

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

2021

Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2021. № 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	ГУ «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» (Россия)
Остапко В. М. , проф., д-р биол. наук	ГУ «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» (Россия)
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, ДНР, г. Донецк, ул. Щорса, 46, к. 310
Донецкий национальный университет,
Биологический факультет
Тел.: (062) 302-09-95; (071) 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 28.12.2021 г.

© ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», 2021

Problems of ecology and nature protection of technogenic region. 2021. № 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 (Russia)
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 (Russia)
Shtirts A. D. (Managing editor)	Donetsk National University
	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, 283050.

Tel.: (062) 302-09-95

(071) 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 28.12.2021*

© Donetsk National University, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ФЛОРА, ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА

Гермонова Е. А. Картографическая визуализация альфа- и бета-разнообразия фитоэкологических индикаторов центрального Донбасса	6
Демьяненко Т. В. Способность к вегетативному размножению некоторых видов рода <i>Thymus</i> L.	13
Калинина А. В. Динамика фиторазнообразия сообществ породного отвала шахты «Капитальная» г. Макеевки	19
Мирненко Н. С. Мониторинг экотопов г. Донецка по палинологическим данным <i>Populus nigra</i> L.	24
Мирненко Э. И. Минерализация водных экосистем как фактор трансформации комплексов фитопланктона прудов г. Донецка	30
Морозова Е. И. Новые находки бриобионтов в Донбассе (2020–2021 гг.)	36
Сафонов А. И. Эмпирика фитоквантификации антропогенно трансформированной среды	42

ФАУНА, ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ЖИВОТНОГО МИРА

Оголь И. Н. Рацион питания ос-полистов (Hymenoptera: Vespidae: <i>Polistes</i>) города Донецка	48
Рева М. В., Семушин Р. Д., Агаркова Л. Д. Фауна и биология мошек (Diptera, Simuliidae) г. Донецка и его окрестностей	64
Штирц А. Д. Особенности экологической структуры сообществ панцирных клещей рекультивированного и нерекультивированного отвалов угольных шахт г. Макеевки ..	73

ФИЗИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ, МИКОЛОГИЯ

Гридько О. А., Дембицкая Д. К. Санитарно-бактериологический эффект интерьерных растений в условиях лечебного помещения г. Макеевки	87
Демченко С. И. Перспективы использования съедобных базидиальных ксилотрофов в биоконверсии растительных отходов сельского хозяйства	95
Загнитко Ю. П., Кочнева В. С., Палагута А. П. Динамика пектолитической активности некоторых базидиальных ксилотрофов	103
Фрунзе О. В., Олюнина Е. А. Содержание ионов кобальта и марганца в проростках газонных трав в условиях контролируемого загрязнения	108
Чайка А. В., Михайлова Д. Ю. Оценка влияния продуктов грибной трансформации растительных отходов на огурец посевной	115
Чемерис О. В. Целлюлозолитическая активность штаммов <i>Irpex lacteus</i> (Fr.) Fr. при жидкофазном культивировании на древесных опилках	120
Штирц Ю. А., Сыщиков Д. В., Агурова И. В. Вариабельность размеров листовой пластинки <i>Polygonum monspeliense</i> Thiébaud ex Pers. в зависимости от параметров почвы	126
Правила для авторов	133

C O N T E N T S

FLORA, ECOLOGY AND PROTECTION OF THE PLANT KINGDOM

Germonova E. A. Cartographic visualization of alpha and beta diversity of phytoecological indicators of Central Donbass	6
Demyanenko T. V. The ability to vegetative reproduction of some species of the genus <i>Thymus</i> L.	13
Kalinina A. V. The dynamics of phytodiversity in the communities of the waste dump of «Kapitalnaya» mine of Makeevka	19
Mirnenko N. S. Monitoring of Donetsk ecotopes according to palynological data of <i>Populus nigra</i> L.	24
Mirnenko E. I. Mineralization of aquatic ecosystems as an anthropogenic factor in the transformation of phytoplankton complexes in the ponds of Donetsk	30
Morozova E. I. New finds of bryobionts in Donbass (2020–2021)	36
Safonov A. I. The empirics of phytoquantification of an anthropogenically transformed environment	42

FAUNA, ECOLOGY AND PROTECTION OF THE ANIMAL KINGDOM

Ogol I. N. Diet of <i>Polistes</i> wasps (Hymenoptera: Vespidae: <i>Polistes</i>) in Donetsk city	48
Reva M. V., Semuschin R. D., Agarkova L. D. Fauna and biology of black-flies (Diptera, Simuliidae) of the Donetsk city and Donetsk region	64
Shtirts A. D. Features of ecological structure of oribatid mites communities on recultivation and non-recultivation dumps of coal mines in Makeevka	73

PHYSIOLOGY AND ECOLOGY OF THE PLANT, MYCOLOGY

Hrydko O. A., Dembitskaya D. K. Sanitary and bacteriological effect of interior plants in the conditions of a medical room in Makeevka	87
Demchenko S. I. The prospects of using edible xylotrophic basidiomycetes for bioconversion of vegetable waste from agriculture	95
Zagnitko Yu. P., Kochneva V. S., Palaguta A. P. Dynamic of pectolytic activity of some xylotrophic basidiomycetes	103
Frunze O. V., Oliunina E. A. The content of cobalt and manganese ions in lawn grass seedlings under controlled pollution conditions	108
Chaika A. V., Mikhailova D. Yu. Evaluation of the effect of plant waste fungal transformation products on the cucumber	115
Chemeris O. V. Cellulolytic activity of strains <i>Irpex lacteus</i> (Fr.) Fr. with submerged liquid fermentation on wood saws	120
Shtirts Yu. A., Syshchykov D. V., Agurova I. V. Variability of leaf blade sizes <i>Polygonum monspeliense</i> Thiébaud ex Pers. depending on soil parameters	126
Rules for authors	133

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

УДК 574 : 58.632 : 581.4 : 502 (477.60)

© Е. А. Гермонова

**КАРТОГРАФИЧЕСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ АЛЬФА- И БЕТА-РАЗНООБРАЗИЯ
ФИТОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО ДОНБАССА**

*ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет»
283000, г. Донецк, ул. Артема, 58; e-mail: germonova@mail.ru*

Гермонова Е. А. Картографическая визуализация альфа- и бета-разнообразия фитоэкологических индикаторов Центрального Донбасса. – Проведен анализ зонирования территорий с разной фитоиндикационной составляющей для экотопов Центрального Донбасса. Выделены два уровня оценки среды по растительной компоненте: видовой состав в точке геолокалитета и объем признаков экспертизы, реализуемой в индикационном эксперименте. Для альфа- и бета-разнообразия фитоэкологических индикаторов составлены картографические материалы с эмпирически подобранными диапазонами варьирования всех признаков и расчетом соответствующих процентных и интервальных значений для всей территории мониторингового исследования.

Ключевые слова: картографическая визуализация, фитоиндикация, Донбасс, экологический мониторинг.

Введение

В региональных экологических программах [2, 4, 7], которые в совокупности формируют представления о крупномасштабных природных процессах [15, 16, 21], важным является не только получение первичной информации в конкретном геолокалитете [5, 8, 9, 14, 18], но и обработка этих данных, что преимущественно отражается в получении картографических материалов разного целевого назначения [1, 6, 17, 20, 22]. В Донецком экономическом регионе учеными-ботаниками накоплен большой объем данных о состоянии растительных организмов в разных условиях антропогенной трансформации среды в сравнении с природными контрольными участками [10–13, 20]. Статистически регистрируемая структурно-функциональная разница для изначально генетически гомогенной совокупности при реализации экспериментов пассивного и активного мониторинга является обоснованием для экспертного заключения о формах воздействия неблагоприятных факторов среды на растительный организм [19]. Индикационная ботаника в таких разработках нуждается в территориально-стратегическом планировании и анализе фактов по наглядным ранжированным картам [1, 3, 4, 17].

Цель работы – на основании данных об альфа- и бета-разнообразии фитоэкологических индикаторов Донбасса эмпирическим путем подготовить картографический материал, удобный для визуального восприятия и обобщающий результаты скрининговой программы по экологическому фитомониторингу в регионе за 2020–2021 гг.

Материал и методы исследования

Для достижения цели использовали разработанный в 2017 г. авторский проект в ГИС ArcView 10.4 с узлами мониторинговой сети по фитоиндикационным данным. Точность привязки к каждой точке забора проб составляет ± 5 м. Совокупность пробных площадей представлена в публикации [11]. Были использованы топографические карты двухуровневого масштабирования: 1:10000 и 1:100000. Картографические материалы настроены на открытую общедоступную систему координат WGS 1984 Web Mercator (auxiliary sphere). Проект состоял из базовой части первичных данных о количестве видов-индикаторов из числа элементов местной флоры, используемых в мониторинговом эксперименте за последние 20 лет [10], а также аналитического блока с табличными данными кодировки точек, полями логического типа, суммарным полем по общему количеству образцов. Был использован модуль Spatial Analyst с дополнительными инструментами для

указания абсолютных значений в каждой пробной площадке, интервальных значений по каждому блоку признаков (диапазоны, адекватные в визуализационном процессе), а также расчета территории по процентному соотношению каждого интервала к общей площади зоны эксперимента.

Для альфа-разнообразия было предложено использовать 6 интервальных значений варьирования признаков в экспериментальном блоке: 1) 4–5; 2) 6–8; 3) 9–11; 4) 12–13; 5) 14–16; 6) 17–18. Такие интервалы установлены эмпирическим путем для возможности площадной дифференциации отдельных значений на карте. Первый, четвертый и шестой диапазоны включали два пошаговых увеличения, остальные – по три значимых единицы.

Выполнив двухлетний экологический мониторинг, количество регистрируемых для каждой точки видов цветковых растений с установленной фитоиндикационной значимостью ограничились восемнадцатью из 156. Второй блок по количеству признаков индикаторных видов, которые были доступны для анализа в 2020 и 2021 гг., соответствовал бета-разнообразию фитоэкологических значений: 1) 0–4; 2) 5–7; 3) 8–10; 4) 11–13; 5) 14–16; 6) 17–20. Средние интервалы соответствовали пошаговому увеличению в три единицы, крайние диапазоны включают 4 единицы как минимального, так и максимального показателей разнообразия признаков. Интервальные значения частоты регистрируемых структурных аномалий растений были разделены на 7 категорий: 1) 3,5–15,0; 2) 15,1–30,0; 3) 30,1–45,0; 4) 45,1–60,0; 5) 60,1–75,0; 6) 75,1–90,0; 7) 90,1–100,0.

Результаты и обсуждение

Полученные для публикации три картографических продукта (рис. 1–3) отражают сопряженные характеристики для наглядного пользования в парных группах показателей.

Рис. 1 представляет собой картографическую визуализацию интервальных значений альфа-разнообразия и фиксированных показателей количества признаков в каждой точке геоботанического описания на местности.

Тенденциозно определено, что наивысшие показатели на всей территории анализа соответствовали зонам условно минимальной техногенной трансформации или рекреационным территориям в регионе.

Доказано, что наиболее дифференцируемые граничные разницы можно проследить на территориях с равномерной степенью изменения антропогенного фактора – между населенными пунктами. Тогда как для получения дифференцируемо наглядных картографических данных внутри крупной городской агломерации требуется более детальное рассмотрение по сравнительно мелким территориальным единицам, например, по каждому району городов Донецка и Макеевки отдельно. Для опорного сравнительного максимума территории Центрального Донбасса выделены участки, соединяющие населенные пункты: 1) Ждановка, Ольховка, Горное, Зуевка; 2) Верхняя и Нижняя Крынка, 3) буферная территория между Моспино и Харцызском.

Установление корреляционной связи между количеством регистрируемых видов и количеством признаков не имело функционального значения, поскольку выбранные совокупности имеют разную весовую категорию в фитоиндикации: первый блок альфа-разнообразия имеет таксономическую характеристику, а второй – функционально-аналитическую. Причем, второй блок данных отвечает именно за информацию о состоянии среды по мере воздействия на природные системы и глубины нарушений внутри каждого отдельно взятого экотопа.

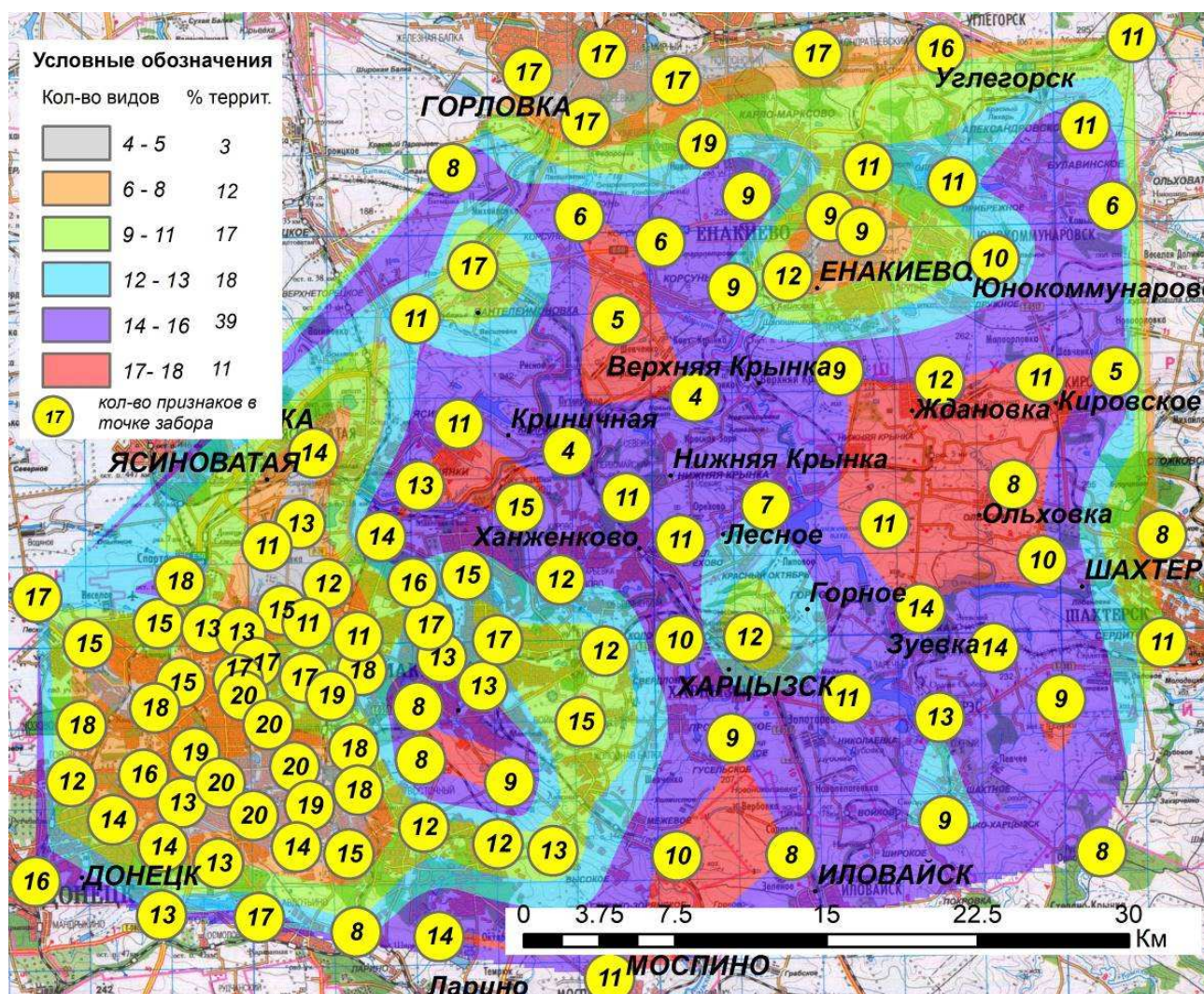


Рис. 1. Альфа-разнообразие фитоиндикаторов Центрального Донбасса (2021 г.)

Визуализация бета-разнообразия фитоиндикационных признаков (рис. 2) по факту отражает детальность изученности территории, поскольку большинство мониторинговых точек было заложено в плотной конструкции наблюдательной сети именно в приуроченности к промышленной инфраструктуре. Максимальная насыщенность доступных индикаторных признаков по растениям соответствует территориям Донецко-Макеевской промышленной агломерации и Горловскому промузлу. Енакиевский промышленный узел в таком случае является исключением, где фиксировалось сопряженно малое количество как альфа-разнообразия, так и функционально значимого для экспертизы бета-разнообразия, что предположительно может стать поводом констатации высокого уровня техногенной нагрузки как по плотности промышленных объектов, так и по силе воздействия на природные среды с естественно сформированной растительностью. Также считаем, что такое площадное распределение показателей связано и с отдаленными эффектами антропогенного воздействия (долгосрочных выбросов на протяжении десятков лет или кратковременных социально-экономических дисбалансов на конкретной территории).

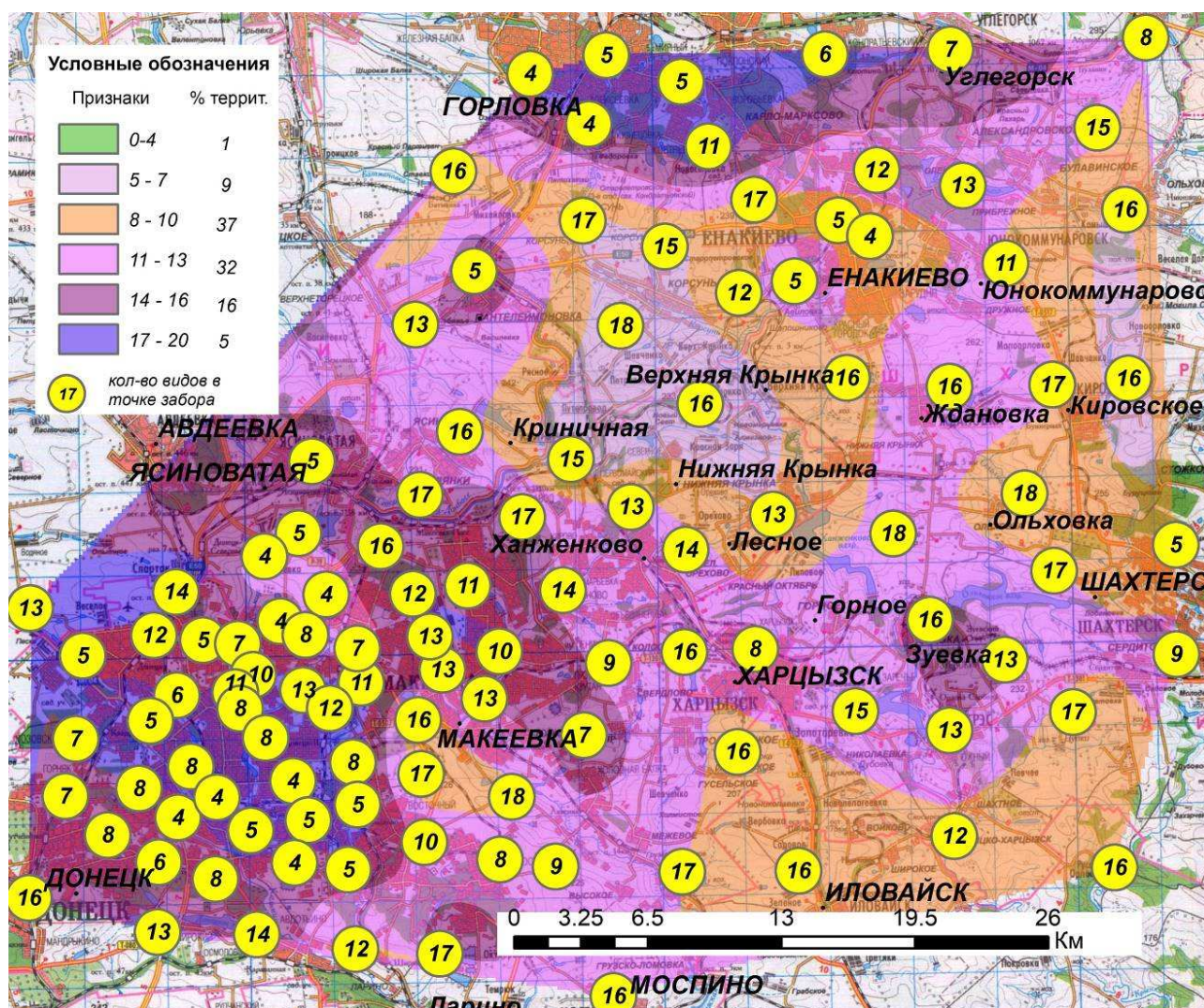


Рис. 2. Варианты картографической визуализации бета-разнообразия Центрального Донбасса

Для характеристики экологических условий в регионе наиболее информативным является картографический продукт по распределению показателей количества тератных проявлений в растениях (рис. 3).

Последний функциональный критерий опытным путем ранжирован на интервалы для визуальной демонстрации переходов между значимыми зонами. Три максимальных диапазона сопряжены с территориями (12 % всей площади) интенсивной антропогенной нагрузки. Если рассмотреть минимальные показатели – наиболее благоприятные для жизни растений территории (7 %), то можно выделить несколько экологических коридоров, которые, по-видимому, являются важными буферными объектами в формировании гармоничного зеленого каркаса и организации природно-заповедного фонда в регионе.

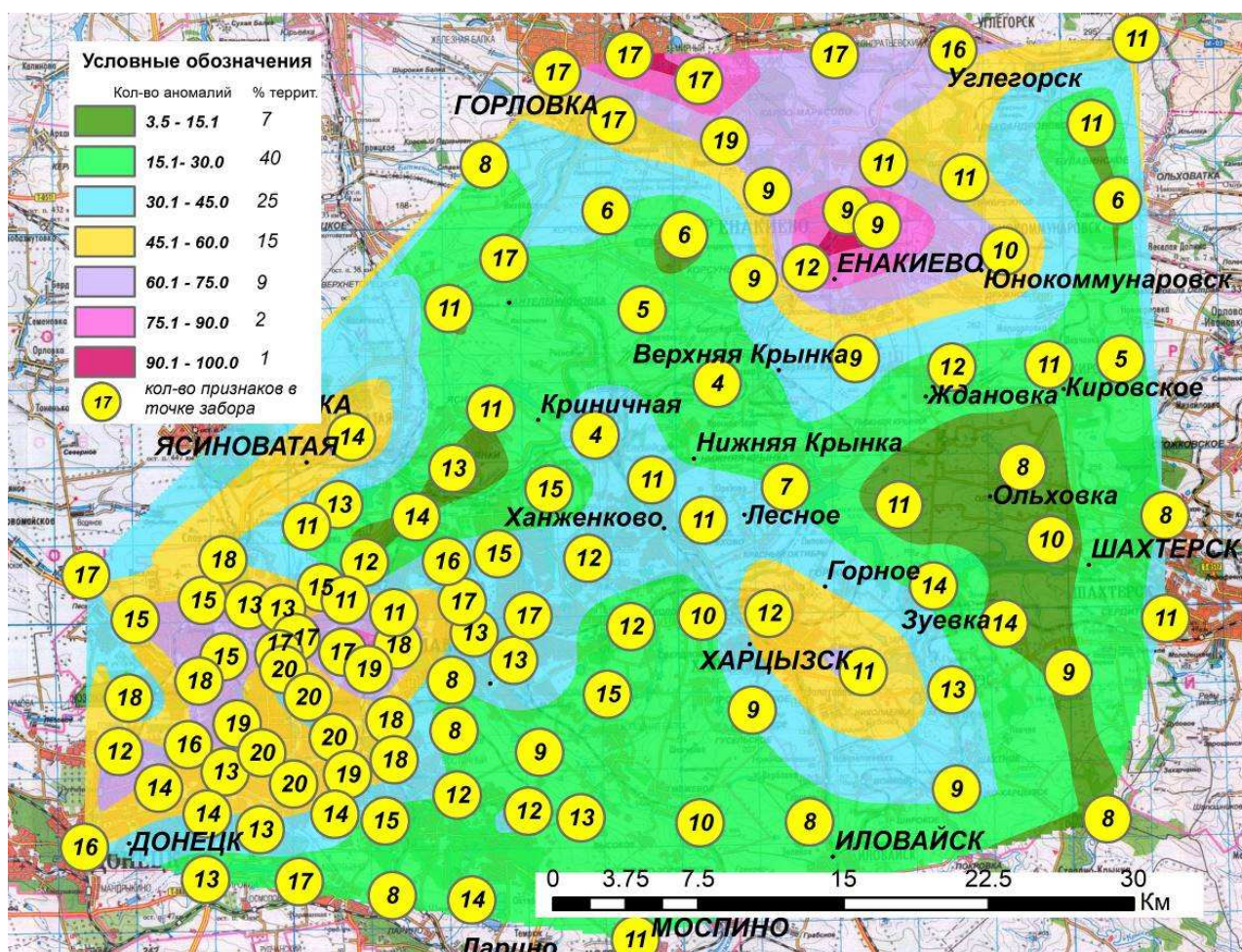


Рис. 3. Визуализации бета-разнообразия Центрального Донбасса по регистрации аномального строения растений из числа индикаторных видов

Выводы

По показателям фитомониторингового эксперимента территория Центрального Донбасса является сложным геостратегическим объектом, требующим наличия доступной в использовании картографической продукции визуально-аналитического назначения.

Опытным путем установленные диапазоны варьирования признаков в проведении фитоиндикационной экспертизы позволили представить картографический материал в доступном для научной публикации виде.

В результате картографической визуализации впервые для Донбасса был проведен эксперимент по ранжированию зон в соответствии с альфа- и бета-разнообразием фитоиндикаторов. Полученные результаты очерчивают границы нескольких принципиально важных для мониторинга данных: по степени изученности индикационной гетерогенности отдельных районов, по степени и глубине трансформации природных сообществ, по выявлению кризисных и наиболее гармоничных территорий для дальнейшей коррекции экологических процессов на государственном уровне.

Список литературы

1. Бешенцев А. Н. Научные основы информационной концепции картографического метода исследования // Вестник СГУГиТ. 2018. Т. 23, № 1. С. 85–110.
2. Бойко Н. В. Палинографические результаты для некоторых фитоиндикаторов Донбасса // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет». Донецк : ДонНУ, 2020. Вып. 12, т. 1. : Естественные науки. С. 27–31.
3. Гермонава Е. А. Визуализация микроклиматических изменений индикаторных признаков в локальных популяциях растений г. Донецка // Глобальные климатические

изменения : региональные эффекты, модели, прогнозы : матер. Междунар. науч.-практ. конф. (Воронеж, 3–5 октября 2019 г.). Воронеж : Изд-во «Цифровая полиграфия», 2019 а. Т. 2. С. 39–40.

4. Гермонова Е. А. Анализ ботанико-экологической информации по геолокации в промышленном Донбассе // Донецкие чтения 2019 : образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : матер. IV Междунар. научн. конф. (Донецк, 31 октября 2019 г.). Донецк : Изд-во ДонНУ, 2019 б. Т. 2. С. 202–204.

5. Глухов А. З. Состояние пыльцы *Tripleurospermum perforatum* (Merat) M. Laipz и *Cichorium intybus* L. при загрязнении почв тяжелыми металлами // Промышленная ботаника. 2001. Т. 1. С. 84–87.

6. Епринцев С. А., Шекоян С. В. Геоинформационное картографирование урбанизированных территорий как механизм пространственной оценки социально-экологических факторов // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2019. Т. 5 (15), № 3. С. 109–115.

7. Жуйкова Т. В., Безель В. С., Позолотина В. Н., Северюхина О. А. Репродуктивные возможности растений в градиенте химического загрязнения среды // Экология. 2002. № 6. С. 431–436.

8. Калинина А. В., Гермонова Е. А. Геостратегическая визуализация фитоценозов породных отвалов угольных шахт г. Макеевки в условиях самозарастания и рекультивации // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2018. № 3–4. С. 28–34.

9. Мирненко Н. С. Диагностика состояния экотопов Донецка по палинологическим данным *Betula pendula* Roth // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2018. № 1–2. С. 20–24.

10. Сафонов А. И. Динамика фитомониторинговых показателей антропогенеза в Донбассе (2000–2019 гг.) // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2020. № 1–2. С. 31–36.

11. Сафонов А. И., Гермонова Е. А. Экологические сети фитомониторингового назначения в Донбассе // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2019. № 3–4. С. 37–42.

12. Сафонов А. И., Захаренкова Н. С. Диагностика воздуха в г. Донецке по спектру скульптур поверхности пыльцы сорно-рудеральных видов растений // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2016. № 1–2. С. 66–72.

13. Сафонов А. И., Мирненко Н. С. Палинологический скрининг в мониторинговой программе Центрального Донбасса // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2019. № 3–4. С. 6–11.

14. Тамахина А. Я., Ахкубекова А. А. Мониторинг состава растительных сообществ на отвалах из отходов обогащения цветных металлов // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 2. С. 61–67.

15. Khondhodjaeva N. B. Bioindication and its importance in the conducting of ecological monitoring // European Science. 2018. N 4 (36). P. 68–70.

16. Meena M. K. Impact of arsenic-polluted groundwater on soil and produce quality : a food chain study // Environmental Monitoring and Assessment. 2020. Vol. 192, N 12. P. 785.

17. Panidi E., Trofimetz L., Sokolova J. Application of phyto-indication and radiocesium indicative methods for microrelief mapping // IOP Conf. Series : Earth and Environmental Science. 2016. N 34. P. 12–29.

18. Pozolotina V. N., Antonova E. V. Temporal variability of the quality of *Taraxacum officinale* seed progeny from the East-Ural radioactive trace : is there an interaction between low level radiation and weather conditions? // Intern. J. of Radiation Biology. 2017. Vol. 93, N 3. P. 330–339. <https://doi.org/10.1080/09553002.2016.1254835>

19. Safonov A. I. Phyto-qualimetry of toxic pressure and the degree of ecotopes transformation in Donetsk region // Problems of ecology and nature protection of technogenic region. 2013. № 1 (13). С. 52–59.

20. *Safonov A., Glukhov A.* Ecological phytomonitoring in Donbass using geoinformational analysis // Problems of Industrial Botany of Industrially Developed Regions 2021. BIO Web Conf. 2021. Vol. 31. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213100020>

21. *White P. J., Brown P. H.* Plant nutrition for sustainable development and global health // Annals of Botany. 2010. Vol. 105. P. 1073–1080.

22. *Yeprintsev S. A., Shekoyan S. V., Lepeshkina L. A.* Technologies for creating geographic information resources for monitoring the socio-ecological conditions of cities // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. Electronic edition. 2019. P. 012012.

Germonova E. A. Cartographic visualization of alpha and beta diversity of phytoecological indicators of Central Donbass. – The analysis of zoning of territories with different phytoindication components for ecotopes of Central Donbass is carried out. Two levels of assessment of the environment by the plant component have been identified: the species composition at the point of geolocality and the scope of the attributes of the examination carried out in the indicator experiment. For the alpha and beta diversity of phytoecological indicators, cartographic materials were compiled with empirically selected ranges of variation of all signs and the calculation of the corresponding percentage values of interval values for the entire territory of the monitoring study.

Key words: cartographic visualization, phytoindication, Donbass, environmental monitoring.

© Т. В. Демьяненко

СПОСОБНОСТЬ К ВЕГЕТАТИВНОМУ РАЗМНОЖЕНИЮ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ РОДА *THYMUS* L.

ГООУ ВПО «Донецкий национальный университет»

283050, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: t.demianenko@donnu.ru

Демьяненко Т. В. Способность к вегетативному размножению некоторых видов рода *Thymus* L. – В работе приведены результаты вегетативного размножения 9 видов тимьянов. Исследовали возможность укоренения тимьянов путем черенкования и путем деления куста. Установили оптимальные сроки для черенкования и оптимальные сроки для деления куста. Определили влияние стимуляторов на корнеобразование у черенков тимьянов.

Ключевые слова: тимьян, зеленый черенок, делёнка, вегетативное размножение, корнеобразование.

Введение

Род *Thymus* L. (тимьян или чабрец) – один из наиболее крупных в семействе Яснотковых. Представители рода – низкорослые ароматические растения, используются в медицине как дезинфицирующее, обезболивающее и антисептическое средство, а также как пряные и эфиромасличные растения в парфюмерной промышленности; многие из них являются хорошими медоносами. Некоторые красивоцветущие виды перспективны для использования в озеленении [1, 12]. Использование растений в зеленом строительстве требует наличия в достаточном количестве посадочного материала. Последний обычно получают путем вегетативного или семенного размножения. Представители исследуемого рода относятся к разнообразным жизненным формам (от аэроксильных и шпалерных кустарничков до полукустарничков с производными травянистыми типами), характеризующихся как симподиальным, так и моноподиальным нарастанием осей [1]. Последний факт является одним из наиболее весомых в низкой приживаемости черенков некоторых видов тимьянов при вегетативном размножении. Также проводимые исследования семенной продуктивности некоторых тимьянов показали низкую семенную продуктивность [10].

В представленной работе основная цель заключалась в изучении способности к вегетативному размножению тимьянов, перспективных для использования в зеленом строительстве.

Материал и методика исследования

В работе исследовали тимьяны, которые характеризуются следующими особенностями. Так, тимьян ползучий – *Thymus serpyllum* L., многолетний полукустарничек до 15 см высотой, заканчивающийся лежащим побегом; цветоносные стебли прямостоячие или приподнимающиеся; листья эллиптические или продолговато-эллиптические, длиной 5–10 мм, шириной 1,5–3,5 мм, на коротком черешке, с железками, наполненными эфирным маслом; цветоносы длиной 5–15 см; соцветия головчатые, компактные; чашечка узкоколокольчатая, длиной около 4 мм; венчик розовато-лиловый, яркий, длиной 6–8 мм. Цветет в июле – августе [5, 13].

Тимьян лимоннопахнущий – *Th. × citriodorus* (Pers.) Schreb., естественный гибрид *Th. pulegioides* × *Th. vulgaris*. Многолетнее растение с мелкими, яйцевидными или округлыми листочками; цветоносные побеги 15–30 см высотой; цветки светло-розовые; цветет в июне – июле. Растение восприимчиво к понижению температуры и требует зимнего укрытия [4, 6, 14].

Тимьян гранитный – *Th. graniticus* Klovov et Des.-Shost., полукустарничек, образующий довольно густые дернинки; стволы тонкие, заканчивающиеся плодущим побегом; стелющиеся бесплодные побеги отходят от стволиков и корневища; цветоносные ветви

несколько восходящие, 3–12 см высотой, опушенные под соцветием короткими, вниз прижатыми волосками; листья узколинейно-эллиптические, 7–11 мм длиной и 0,75–1,25 мм шириной, на плодущих побегах сидячие, на бесплодных побегах с очень коротким черешком, по краям у основания с несколькими ресничками, на поверхности голые, с хорошо заметными точечными железками и слабо выдающимися снизу боковыми жилками; соцветие головчатое, изредка несколько вытянутое и с одним–двумя отодвинутыми кольцами. Чашечка трубчато-колокольчатая, около 3,5 мм длиной, внизу коротко волосистая, вверху голая; зубчики верхней губы остро-треугольные, по краю с мелкими щетинками, средний зубчик заметно крупнее боковых; венчик около 6,5 мм длиной, с очень узкой трубкой, темно-лиловый. Растение с лимонным запахом. Цветет со второй половины июня до первой половины августа [4, 5, 8].

Тимьян альпийский – *Th. alpestris* Tausch., ползучий полукустарничек с низкими (3–8 мм длиной) цветоносными побегами, с округлыми или продолговато-яйцевидными листьями 4–8 мм длиной и 3–5 мм шириной, на заметных черешках, особенно развитых на нижних листьях, где они превышают длину пластинки; чашечка пурпурная, 4,0–4,5 мм длиной. Цветет в июле – августе [6, 13].

Тимьян блошиный – *Th. pulegioides* L., кустарничек высотой около 15 см с тонким одревесневающим корневищем, с многочисленными стелющимися или приподнимающимися стеблями; листья до 10–20 мм длиной и 5 мм шириной, мелкие, линейной или яйцевидной формы, цельно-крайние и часто опушенные; соцветие головчатое; чашечка во время цветения 3–3,5 мм длиной при плодах до 4,5 мм длиной; венчик ярко окрашен. Цветет с июня по август [6, 13].

Тимьян Сибторпа – *Th. sibthorpii* Benth., небольшой кустарничек, стебли стоячие от 10 до 30 см длиной, одревесневающие у основания и часто разветвленные; побеги густо коротко опушены, отчего они имеют зеленоватую или зеленовато-серую окраску; листья ланцетные или ланцетно-эллиптические от 10 до 15 мм длиной и от 3 до 5 мм шириной, пластинки листа чаще голые, но встречаются и коротко опушенные листья; длина соцветия колеблется от 2 до 18 см; прицветники похожи на листья; чашечка от 2,5 до 4 мм в длину, густо опушена оттопыренными волосками. Венчик розовый, 3–6 мм длиной [6, 14].

Тимьян ранний – *Th. praecox* Opiz., полукустарничек, образующий ковровые густые дерновины 4–7 см высотой; стволы короткие, лежащие, деревянистые; вегетативные побеги распростерты или ползучие, относительно длинные, цветоносные побеги многочисленные, прямостоячие, четырехгранные, опушены по двум противоположным граням; листья 0,5–0,8 см длиной и около 0,25 см шириной, от широкоэллиптических до узкоэллиптических или узкообратно-яйцевидных, с тупой верхушкой, по краю длинно-реснитчатые, голые или вверху слабо волосистые, железисто-точечные, внизу с семью выдающимися жилками, короткочерешковые; цветки собраны в полусферические головчатые соцветия 1,5–2 см шириной; прицветные листья по форме похожи на стеблевые, но пурпурной окраски; венчик около 0,7 см длиной, розовато-лиловый, малиновый, пурпурный, реже беловатый. Цветет в июне – июле, обильно, около месяца [5, 14].

Тимьян холмовой – *Th. collinus* M. Bieb., многолетнее, в нижней части одревесневшее растение с восходящими разветвленными стеблями, опушенными в верхней части; цветоносные ветви высотой 7–12 см; листья черешковые, от продолговато-яйцевидных до яйцевидных, длиной 7–11 см и шириной 3–5 мм, точечно-железистые; цветки розовые, собраны в головчатые соцветия [4, 5].

В работе изучали способность к вегетативному размножению тимьянов двумя способами – это черенкование и деление куста.

Размножение тимьянов путем черенкования. Для размножения стеблевыми черенками используют отрезки побега с несколькими почками. Стеблевые черенки могут быть трех видов: одревесневшие, полуодревесневшие и зеленые [12]. В качестве листовых черенков могут быть использованы как целые листовые пластины растения, так и их части. Способность к размножению листовыми черенками основана на свойствах регенерации

растений и образования придаточных почек. В опыте использовали стеблевые зеленые черенки длиной 5–7 см, которые заготавливали из нижней и средней частей одревесневших и зеленых годичных побегов. Было взято по 50 контрольных черенков каждого исследуемого вида и по 50 опытных черенков. Высаживали опытный материал в четыре срока: первая и вторая декада июля, вторая декада сентября и вторая декада мая. Укоренение черенков проводили в открытом грунте, высаживали в субстрат, приготовленный из чернозема, песка, перегноя в соотношении 2 : 1 : 1. Для обработки одной части опытных объектов использовали биостимулятор «Эпин» – это стрессовый адаптоген, обладающий сильной ростостимулирующей активностью, а также широким спектром стимуляторного и защитного действия. Улучшает прорастание семян и укоренение черенков, повышает устойчивость к ряду заболеваний, способствует снижению в тканях растения токсинов, тяжелых металлов, избытка нитратов. Для укоренения другой части черенков использовали органическое удобрение «БиоВит» – это водная вытяжка из биогумуса высокой концентрации с добавлением микро- и макроэлементов питания. В комплекс органических веществ данного препарата входят также биологические стимуляторы роста растений, гуминовые и фульвокислоты. «БиоВит» повышает всхожесть семян, улучшает рост корневой системы, усиливает иммунитет растений, подавляет патологическую микрофлору.

Черенки перед посадкой замачивали на 30 минут в растворе «Эпина», разведенном водой в отношении 1 : 5000, и в растворе «БиоВита», разведенном водой в отношении 1 : 50.

После посадки каждые 7–10 дней проводили опрыскивание раствором «Эпина», т.к. этот препарат не усваивается через корни, а при опрыскивании равномерно смачиваются все части растения (листья, побеги). Опрыскивание и полив всех опытных растений проводили каждый день чистой отстоянной водой.

Размножение тимьянов путем деления куста. В опыте крупные особи делили на части. Деление кустов производили так, чтобы каждая делёнка имела надземные побеги и корни. Делёнки высаживали в субстрат, приготовленный из чернозема и песка в соотношении 4 : 1, затем высаживали в открытый грунт в два срока: в начале августа и середине сентября. Всего было высажено по 40 делёнок каждого исследованного вида. После посадки тимьяны обильно поливали водой. В очень жаркие летние дни, когда тимьяны находились под прямыми лучами солнца, их немного притеняли. Обязательным был регулярный полив и рыхление земли.

Результаты и обсуждение

Вегетативное размножение – это воспроизведение новых особей из соматических клеток, тканей и органов родительского растения. В естественных условиях произрастания способность к вегетативному размножению является важным фактором, обеспечивающим вместе с семенным размножением устойчивость вида в фитоценозе, его конкурентноспособность и способность к возобновлению. Поэтому способность к вегетативному размножению является важным условием для рекомендации растения в практику зеленого строительства [9].

Тимьяны, как многолетние растения, содержат представителей разнообразных жизненных форм, от аэроксильных и шпалерных кустарничков до полукустарничков с производными травянистыми типами, которые характеризуются как симподиальным, так и моноподиальным нарастанием осей [1]. Исследованные тимьяны имеют два периода активного роста побегов. Весенний рост заканчивается формированием терминальных соцветий на главных осях и верхних боковых ветвях побегов. К наступлению летнего засушливого периода плоские боковые крупные и мезоморфные листья весенней генерации засыхают, и рост вегетативных побегов приостанавливается, вследствие чего на них образуется зона укороченных междоузлий. Почки, заложившиеся в этой зоне и в основании нижних скелетных ветвей, в отличие от остальных, обладают более или менее выраженным периодом покоя. После окончания цветения отмирают лишь отплодоносившие соцветия с изредка развивающимися побегами обогащения. Эти особенности строения наземного тела

исключают возможность вегетативного размножения растений, хотя в культуре в необычных условиях недостатка освещения и повышенного увлажнения его скелетные ветви, соприкасаясь с почвой, способны укореняться [1]. В культуре крупные особи тимьянов частично теряют привлекательность, так как внутренняя часть оголяется, поэтому такие особи делят на части и рассаживают, при этом обязательно учитывают время цветения. В нашем регионе тимьяны цветут с мая по июль, поэтому деление крупных особей проводят в конце лета или начале осени.

Результаты укоренения делёнок, взятых от крупных особей опытных образцов тимьянов, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Укореняемость видов рода *Thymus* L. путем деления куста

№ п/п	Вид	Количество укореняемых делёнок, шт.	Количество укоренившихся делёнок, шт.
Укоренение в начале августа			
1	<i>Thymus serpyllum</i> L.	40	38
2	<i>Th. × citriodorus</i> (Pers.) Schreb.	40	27
Укоренение в середине сентября			
1	<i>Th. serpyllum</i> L.	20	20
2	<i>Th. × citriodorus</i> (Pers.) Schreb.	20	20
3	<i>Th. praecox</i> Opiz.	20	19
4	<i>Th. graniticus</i> Klokov et Des.-Shost.	20	20
5	<i>Th. alpestris</i> Tausch.	20	17
6	<i>Th. pulegioides</i> L.	20	20
7	<i>Th. sibthorpii</i> Benth.	20	20
8	<i>Th. collinus</i> M. Bieb.	20	20
9	<i>Th. podolicus</i> Klokov et Des.-Shost.	20	16

В результате установили, что при размножении исследованных видов тимьянов делением куста процент укореняемости делёнок в летнее время максимально составил 95 % и до 100 % в осеннее время. Абсолютную приживаемость наблюдали у *Th. serpyllum*, *Th. × citriodorus*, *Th. graniticus*, *Th. pulegioides*, *Th. sibthorpii*, *Th. collinus* в осенний период. Также высокий процент приживаемости делёнок показали и другие виды, например, *Th. praecox* – 95 %, *Th. alpestris* – 85 % и *Th. podolicus* – 80 %.

Таким образом, на укореняемость тимьянов сроки деления оказывают незначительное влияние. Однако необходимо соблюдать следующие условия: период цветения особей, обеспечить недолгое затенение в дневное время суток и регулярный полив.

Черенкование – способ вегетативного размножения путем укоренения определенных частей растения. Черенки могут быть стеблевыми, листовыми, корневыми [12]. В работе использовали стеблевые зеленые черенки. В целом побеги тимьянов характеризуются двумя периодами активного роста – весенним и летне-осенним. Весенний период роста, когда все побеги, даже стелящиеся ростовые, развиваются ортотропно, длится недолго. Во время цветения рост вегетативных осей приостанавливается, а затем вновь активизируется, вследствие чего их верхушки поникают и продолжают расти плагиотропно. Это ежегодное изменение направления роста находит отражение в слабой волнистости многолетней части осей. Период летнего покоя выражен слабо. Весенний прирост успевает одревеснеть к концу лета, летне-осенний в большей своей части одревесневает только весной следующего года [1]. Методика черенкования тимьянов не раз была описана в литературе, но не было дано конкретных рекомендаций. Наиболее часто указывается, что укоренение посадочного материала зависит от сроков черенкования [3, 7, 12]. Черенки не способны выдерживать большие температуры даже при регулярном поливе, поэтому высокая летняя температура губительно влияет на опытные растения. Также, важным фактором, влияющим на результаты черенкования, в летний период является то, что опытные растения в этот период

находятся в фазе цветения. Нами изучены оптимальные сроки черенкования тимьянов в зависимости от фазы развития растений (вегетация, период цветения). Результаты укоренения опытных образцов показаны в табл. 2.

Таблица 2

Укореняемость черенков исследованных видов рода *Thymus* L.

№ п/п	Вид	Контроль		Эксперимент			
				«Эпин»		«БиоВит»	
		укореняемые черенки, шт.	укорененные черенки, шт.	укореняемые черенки, шт.	укорененные черенки, шт.	укореняемые черенки, шт.	укорененные черенки, шт.
Укоренение в начале июля							
1	<i>Thymus serpyllum</i> L.	50	1	50	2	50	3
2	<i>Th. × citriodorus</i> (Pers.) Schreb.	50	2	50	1	50	1
3	<i>Th. praecox</i> Opiz.	50	0	50	0	50	0
4	<i>Th. graniticus</i> Klokov et Des.-Shost.	50	0	50	2	50	0
5	<i>Th. alpestris</i> Tausch.	50	0	50	1	50	0
6	<i>Th. pulegioides</i> L.	50	2	50	3	50	2
7	<i>Th. sibthorpii</i> Benth.	50	1	50	1	50	1
8	<i>Th. collinus</i> M. Bieb.	50	0	50	0	50	0
Укоренение в конце июня							
1	<i>Th. serpyllum</i> L.	50	2	50	4	50	3
2	<i>Th. × citriodorus</i> (Pers.) Schreb.	50	1	50	2	50	1
3	<i>Th. praecox</i> Opiz.	50	0	50	1	50	2
4	<i>Th. graniticus</i> Klokov et Des.-Shost.	50	0	50	1	50	0
5	<i>Th. alpestris</i> Tausch.	50	1	50	2	50	1
6	<i>Th. pulegioides</i> L.	50	4	50	5	50	3
7	<i>Th. sibthorpii</i> Benth.	50	0	50	0	50	0
8	<i>Th. collinus</i> M. Bieb.	50	0	50	0	50	1
9	<i>Th. podolicus</i> Klokov et Des.-Shost.	50	0	50	0	50	0
Укоренение в середине сентября							
1	<i>Th. serpyllum</i> L.	50	10	50	13	50	10
2	<i>Th. × citriodorus</i> (Pers.) Schreb.	50	2	50	5	50	3
3	<i>Th. praecox</i> Opiz.	50	4	50	6	50	3
4	<i>Th. pulegioides</i> L.	50	11	50	14	50	16
5	<i>Th. sibthorpii</i> Benth.	50	0	50	2	50	3
Укоренение в середине мая							
1	<i>Th. serpyllum</i> L.	50	1	50	2	50	2
2	<i>Th. × citriodorus</i> (Pers.) Schreb.	50	1	50	1	50	3
3	<i>Th. praecox</i> Opiz.	50	0	50	0	50	0
4	<i>Th. graniticus</i> Klokov et Des.-Shost.	50	0	50	0	50	0
5	<i>Th. alpestris</i> Tausch.	50	0	50	0	50	0
6	<i>Th. pulegioides</i> L.	50	0	50	2	50	1
7	<i>Th. sibthorpii</i> Benth.	50	0	50	0	50	0
8	<i>Th. collinus</i> M. Bieb.	50	1	50	0	50	2
9	<i>Th. podolicus</i> Klokov et Des.-Shost.	50	0	50	0	50	0

В результате установили, что размножение всех видов тимьянов черенками дает неудовлетворительные результаты. Так, процент укоренения черенков в летний период составил до 10 %, в осенний – до 32 % и в весенний период – до 6 %. Обработка перед посадкой черенков как «Эпином», так и «БиоВитом» оказала незначительное влияние на процент укоренения. Лишь в некоторых случаях процент укореняемости экспериментальных образцов был выше, чем у контрольных, например, у вида *Th. pulegioides* L.

При заметном понижении температуры в сентябре черенкование дало более высокие результаты, возможно, это связано с активным отрастанием вегетативных побегов. Следует отметить, что после черенкования прижившиеся черенки успевают хорошо укорениться до наступления первых заморозков и благоприятно переносят зиму.

Выводы

Установлено, что наиболее продуктивным является размножение тимьянов путем деления куста. Укоренение зеленых стеблевых черенков в различные сроки вегетационного периода показало, что именно соблюдение сроков черенкования является одним из условий, определяющих возможность успешного получения посадочного материала. При этом оптимальным сроком черенкования тимьянов при своевременном поливе является период, совпадающий с активным летне-осенним отрастанием вегетативных побегов.

Автор выражает огромную **благодарность** лаборатории цветоводства ГУ «Донецкий ботанический сад» за предоставление экспериментального материала.

Список литературы

1. Борисова А. Г. Род 26. *Thymus* L. // Флора средней полосы европейской части СССР. Л. : Колос, 1964. С. 501–505.
2. Гогина Е. Е. Изменчивость и формообразование в роде Тимьян. М. : Наука, 1990. 208 с.
3. Гарнизоненко Т. С. Справочник современного ландшафтного дизайнера. Ростов н/Д : Феникс, 2005. 283 с.
4. Клоков М. В. Род 1299. Тимьян – *Thymus* L. // Флора СССР. М.; Л. : Изд-во АН СССР, 1954. Т. 21. С. 470–590.
5. Клоков М. В. Рід 748 Чабрець – *Thymus* L. // Флора УРСР. К. : Наук. думка, 1960. Т. 9. С. 666–669.
6. Клоков М. В., Десятова-Шостенко Н. А. Род 546. *Thymus* L. – Чабрець // Флора юго-востока европейской части СССР. М.; Л. : Изд-во АН СССР, 1936. Вып. 6. С. 171–178.
7. Корсакова С. П., Работягов В. Д., Федорчук М. И. Интродукция и селекция видов рода *Thymus* L. (биология, экология и биохимия). Херсон : Айлант, 2012. 180 с.
8. Остапко В. М. Тимьяны юго-востока Украины // Интродукция и акклиматизация растений. 1987. Вып. 7. С. 6–16.
9. Остапко В. М., Бойко А. В., Мосякин С. Л. Сосудистые растения юго-востока Украины. Донецк : Изд-во «Ноулидж», 2010. 247 с.
10. Остапко В. М., Зубцова Т. В. Интродукция редких видов флоры юго-востока Украины. Севастополь : «Вебер», 2006. 296 с.
11. Ребрик Е. Лишь запах чабреца, сухой и горьковатый // Вестник цветовода. 2003. Вып. 10. С. 24–25.
12. Шалыт М. С. Вегетативное размножение и возобновление высших растений и методы его изучения // Полевая геоботаника. М.; Л. : Изд-во АН СССР, 1960. С. 163–205.
13. Takhtajan A. Flowering Plants. Second Edition. Springer-Verlag, 2009. P. XLV+872.
14. The International Plant Names Index (IPNI). 2004–2010. URL : <http://www.ipni.org/>

Demyanenko T. V. The ability to vegetative reproduction of some species of the genus *Thymus* L. – The paper presents the results of vegetative reproduction of 9 species of thyme. The possibility of thyme rooting by cuttings and bush division was investigated. We have established the optimal timing for cuttings and the optimal timing for dividing the bush. The effect of stimulants on root formation in thyme cuttings was determined.

Key words: thyme, green stalk, division, vegetative reproduction, root formation.

© А. В. Калинина

**ДИНАМИКА ФИТОРАЗНООБРАЗИЯ СООБЩЕСТВ ПОРОДНОГО ОТВАЛА
ШАХТЫ «КАПИТАЛЬНАЯ» Г. МАКЕЕВКИ***ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»**283050, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: a.kalinina@donnu.ru*

Калинина А. В. Динамика фиторазнообразия сообществ породного отвала шахты «Капитальная» г. Макеевки. – Представлены результаты анализа динамики фиторазнообразия за 2019–2021 гг. некоторых растительных сообществ породного отвала угольной шахты «Капитальная» г. Макеевки с использованием параметров биоразнообразия: видовое богатство, видовая насыщенность, индекс Шеннона, индекс Симпсона.

Ключевые слова: породный отвал, техногенный экотоп, фиторазнообразие, растительное сообщество, г. Макеевка.

Введение

Современный процесс трансформации природных экосистем под влиянием антропогенного фактора достигает глобальных масштабов [7, 9]. Быстрые темпы и рост урбанизации способствуют дестабилизации в естественных сообществах [10, 12]. Степень антропогенной трансформации экосистем имеет неодинаковую выраженность для различных регионов, как правило, связана с состоянием их экономического развития [2, 7, 8].

Отличительной особенностью урбосистем Донбасса является наличие уникальных искусственных новообразований – породных отвалов угольных шахт. Они являются долговременным источником экологической опасности [3, 6]. Техногенные экосистемы обладают восстановительным потенциалом, что способствует нейтрализации их вредного воздействия и сближению характерных антропогенных экосистем с натурализованными. По состоянию растительного покрова отвалов можно судить о стадии его соответствия естественным параметрам фитосреды в регионе [3–5].

Флора техногенных экотопов является наиболее динамичным элементом региональной флоры, поэтому существует необходимость мониторинга растительного покрова отвалов [2, 4, 10].

Разнообразие растительных сообществ техногенных экосистем свидетельствует об их состоянии, отражает их сложность и структуру [1]. Формализируемой процедурой для выявления фиторазнообразия является определение индексов биоразнообразия [3, 4]. Индексы разнообразия выступают показателями благополучия экосистем [1, 11]. По значениям индексов можно оценить особенности и ход саморазвития фитоценозов [3].

Цель работы – установить динамику фиторазнообразия растительных породного отвала угольной шахты «Капитальная» по значениям индексов разнообразия.

Материал и методы исследования

Исследование выполнено на типичном для центрального Донбасса породном отвале угольной шахты «Капитальная» Советского района г. Макеевки. Отвал относится к средневозрастным, негорящим, на отвале была проведена фрагментарная фиторекультивация.

Исследования проводили в 2019–2021 гг. на северо-западной и южной экспозициях породного отвала (растительные сообщества № 1 и 2 соответственно). Выбор экспериментальных участков обусловлен жесткими локальными условиями экотопа. Почвообразование на склонах идет замедленными темпами, т.к. на склонах отвалов происходит вымывание формирующегося мелкозема, наблюдается преобладание крупнообломочной фракции породы, как ранее отмечалось [4, 5]. Экспериментальные участки не рекультивированы, постепенно зарастали в результате заноса семян, сформировались травянистые сообщества.

Для достижения цели исследования применяли традиционные методы маршрутного флористического обследования со сбором гербария и закладкой постоянных учетных площадок. На экспериментальных участках с типичным растительным покровом размером 10×10 м случайным образом выделяли 10 учетных площадок (1 м²), для которых были выполнены геоботанические описания по стандартным методикам.

Индексы биоразнообразия рассчитывали в MS Excel на основе анализа списков видов сосудистых растений травянистого яруса. Для оценки разнообразия применяли индексы Шеннона (H'), индекс Симпсона (1/D), которые позволяют оценить обилие видов и их выравненность, наблюдения за изменениями значений индексов проводили в годы исследования [1].

Результаты и обсуждение

Растительный покров исследуемого отвала неоднороден, что отражает гетерогенность и специфичность техногенного экотопа. Зафиксировано неравномерное распределение растительности: встречаются как одновидовые повторяющиеся сообщества, так и довольно сформированные двух- или трехъярусные фитоценозы. Нижние части склонов отвала являются более молодыми участками, на которых сформированы в ходе самозарастания разреженные сообщества, представленные в большей степени малолетниками.

Видовое богатство и видовая насыщенность в разные годы исследования непостоянны. В вегетационный период 2019 г. в пределах исследуемого растительного сообщества № 1 выявлено 9 видов ($S = 9$), видовая насыщенность (N) составляет $2,44 \pm 0,23$ на 1 м². Проективное покрытие составляло около 50–55 %. Доминантом выступает *Melica transsilvanica* Schur., субдоминантом – *Galium aparine* L. Отмечено присутствие *Acer negundo* L. в имматурном возрастном состоянии.

В 2020 г. наблюдали увеличение показателей видового богатства ($S = 11$) и видовой насыщенности ($N = 2,77 \pm 0,34$). Проективное покрытие ставило 60 %. Выявлены единичные экземпляры *Berteroa incana* (L.) DC., ювенильная особь *Padellus mahaleb* (L.) Vass. Лидирующее место в сообществе занимает *Melica transsilvanica* Schur.

В 2021 г. в сообществе № 1 не были обнаружены особи *B. incana*, выявленные в прошлом вегетационном периоде, новых видов не обнаружено. Значительно увеличилось обилие *Oberna behen* (L.) Ikonn., особи находятся в стадии розетки. Отмечено 11 видов, видовая насыщенность $N = 4,25 \pm 0,33$ (рис. 1). Проективное покрытие несколько увеличилось по сравнению с предыдущим годом, определено 65–67 %.

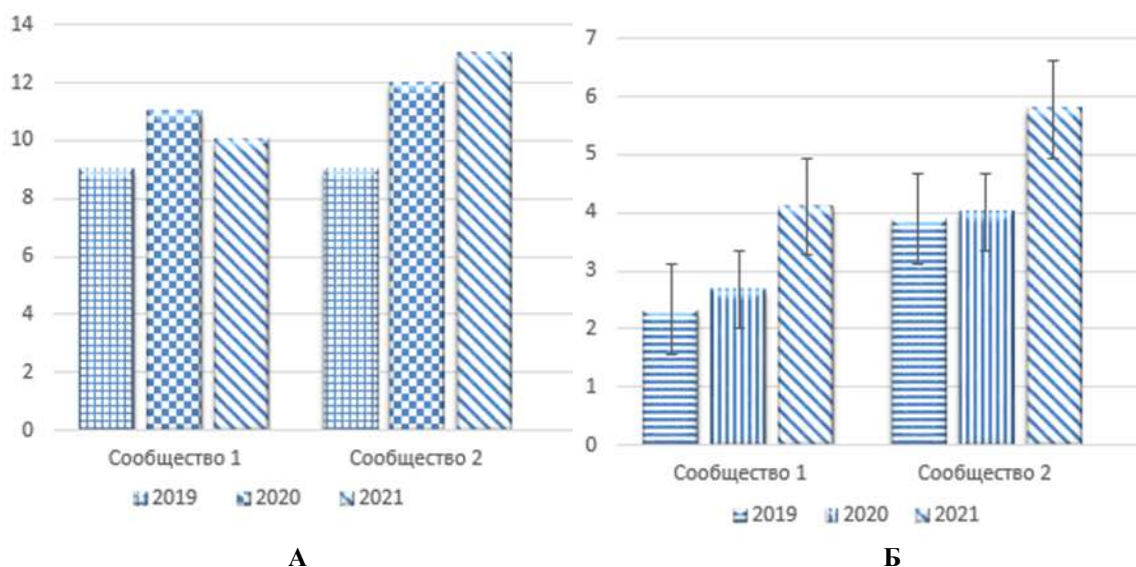


Рис. 1. Показатели фиторазнообразия растительных сообществ породного отвала шахты «Капитальная» г. Макеевки (2019–2021 гг.): А – видового богатства (S), Б – видовой насыщенности (N)

В ходе исследования растительного покрова в 2019 г. на мониторинговом участке № 2 обнаружено 9 видов, видовая насыщенность $N = 3,89 \pm 0,49$. Проективное покрытие поверхности участка растительностью 60–65 %. Доминирующее место в сообществе принадлежит *Oxybaphus nyctagineus* (Michx.) Sweet., отмечено значительное обилие особей *Diplotaxis tenuifolia* (L.) DC. Растения *O. nyctagineus* хорошо развиты, присутствуют особи разных возрастных состояний.

В 2020 г. в сообществе № 2 отмечено появление особей *B. incana*, *Linaria vulgaris* Mill., *Salsola* sp. Увеличиваются значения видового обилия ($S = 12$) и видовой насыщенности $N = 4,00 \pm 0,45$. Проективное покрытие – 60 %. *O. nyctagineus* остается доминантным видом, обилие особей вида уменьшилось.

В 2021 г. в сообществе № 2 сохранились виды, присутствующие в прошлом вегетативном периоде, обнаружены единичные экземпляры *Elytrigia repens* (L.) Nevski. Обилие вида *O. nyctagineus* уменьшилось. Лидирующее место в структуре сообщества занял вид *O. behen*, большинство особей находится на стадии розетки.

Индекс Шеннона считается одним из самых показательных индексов разнообразия, учитывает обилие и выравненность видов [1, 5, 6, 11]. Показатель индекса Шеннона для сообщества № 1 за период наблюдения характеризуется незначительными изменениями. Отмечено постепенное увеличение индекса Шеннона в 2019–2021 гг. (1,53–1,69 нат), связанное с несущественным варьированием флористического состава и количественными изменениями в структуре сообщества (рис. 2).

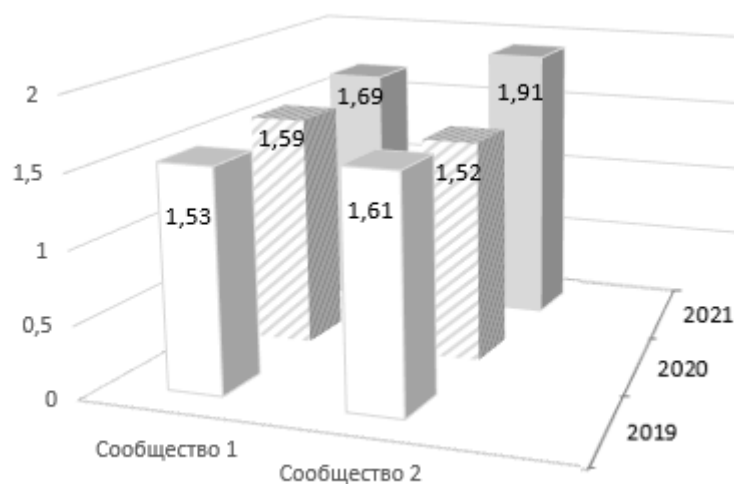


Рис. 2. Значения индекса Шеннона (нат) для растительных сообществ породного отвала шахты «Капитальная» г. Макеевки (2019–2021 гг.)

Индекс Шеннона для фитоценоза № 2 варьирует в более широких пределах по сравнению с сообществом № 1. В 2020 г. наблюдаем уменьшение индекса с 1,61 до 1,52 нат, связанное с уменьшением обилия доминанта – *O. nyctagineus*. В вегетационный период 2021 г. наблюдается тенденция снижения участия *O. nyctagineus* в сообществе, однако увеличивается обилие *O. behen*, индекс возрастает до 1,91 нат (см. рис. 2).

Анализируя полученные значения мер видового богатства для исследуемых растительных сообществ, установили, что они характеризуются невысокими величинами в сравнении с более сформированными фитоценозами других исследованных ранее сообществ отвалов [5, 6], обладают низким фиторазнообразием. Растительное сообщество № 2 южной экспозиции, для которой типичны более жесткие экологические условия, на основании примененных параметров разнообразия является более сформированным, чем сообщество № 1 северо-западной экспозиции с более благоприятными условиями. Вероятно, на развитие исследуемых сообществ повлияла зональная растительность: с южной экспозиции к отвалу прилегает лесополоса, которая благоприятно влияет на микроклимат, а с северо-западной – нарушенные травянистые сообщества.

Использование индекса Симпсона рассматривали как меру доминирования, – при его расчете уделяется внимание значимости обилия самых обычных видов, а не видовому богатству. Полученные величины индекса Симпсона для сообщества № 1 характеризуются достаточно выраженным доминированием, значения индекса варьируют в пределах от 3,57 до 3,86 (рис. 3). За период исследования отмечены малозначимые колебания индекса Симпсона, что свидетельствует об относительно стабильном распределении растений в сообществе.

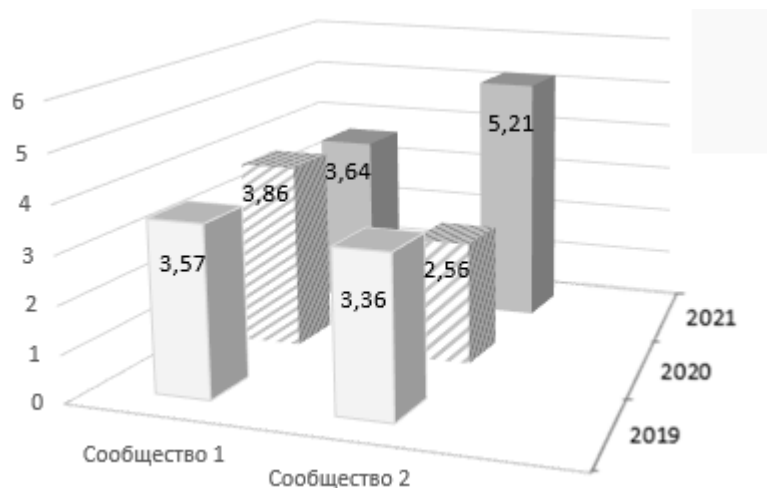


Рис. 3. Значения индекса Симпсона (1/D) для растительных сообществ породного отвала шахты «Капитальная» г. Макеевки (2019–2021 гг.)

Растительное сообщество № 2 обладает более выраженным колебанием доминирования. В 2020 г. наблюдали снижение значения индекса до 2,56, демонстрирующее снижение доминирования и более равномерное соотношение видов в сообществе. Изменения в структуре доминирования связаны с уменьшением обилия доминантного вида *O. nycetagineus*. В вегетационный период 2021 г. значение индекса возросло до 5,21, увеличилось доминирование вида *O. behen*. Вариабельность индекса свидетельствует о неустойчивости сообщества, нестабильном и неравновесном развитии сообщества в разные годы наблюдений.

Выводы

Применение индексов разнообразия для исследования динамики состояния сообществ породных отвалов на примере шахты «Капитальная» г. Макеевки позволяет проанализировать процессы саморазвития техногенных экотопов. Выявленные колебания индексов фиторазнообразия определяют исследуемые сообщества отвалов как динамичные системы, отражают изменения флористического состава и количественные изменения в структуре растительного сообщества.

На основании полученных индексов установлено, что исследуемые сообщества являются неустойчивыми. Высокие величины индекса Симпсона указывают на дисбаланс в структуре сообщества, демонстрируют выраженное доминирование, наличие видов с большим количеством особей. Показатели видового богатства указывают на низкое фиторазнообразие исследуемых растительных сообществ. О положительной динамике саморазвития указывает появление видов семейства Роасеа, древесных видов в первых возрастных состояниях. Следует отметить, что на процесс восстановления экосистемы отвалов большое влияние оказывают погодные условия разных лет, которые также могут являться причиной трансформации структуры растительных сообществ.

Работа является частью комплексного исследования кафедры ботаники и экологии ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет» в рамках научной темы: «Функциональная ботаника: экологический мониторинг, ресурсные технологии, фитодизайн» № 0117D00019.

Список литературы

1. Алексанов В. В. Методы изучения биологического разнообразия. Калуга, 2017. 70 с.
2. Глухов А. З., Хархота А. И., Прохорова С. И., Агурова И. В. Фитоадаптивная типизация техногенных экотопов // Промышленная ботаника. 2012. Вып. 12. С. 3–11.
3. Жуков С. П. К методике определения организации и устойчивости фитоценозов в ходе их развития на отвалах угольных шахт // Промышленная ботаника. 2012. Вып. 12. С. 19–24.
4. Жуков С. П. О возможности регулирования развития фитоценозов в техногенных экотопах Донбасса на основе сукцессионного подхода // Промышленная ботаника. 2006. Вып. 6. С. 15–20.
5. Калинина А. В. Диагностика фитоценозов породного отвала шахты «Калиновская-Восточная» на основе системных индексов разнообразия // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2020. № 3–4. С. 6–10.
6. Калинина А. В. Альфа-разнообразие некоторых фитоценозов нерекультивированного породного отвала шахты Калиновская-Восточная г. Макеевка // Проблемы трансформации естественных ландшафтов в результате антропогенной деятельности и пути их решения : сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч. экол. конф. Краснодар : КубГАУ, 2021. С. 694–696.
7. Сафонов А. И. Динамика фитомониторинговых показателей антропогенеза в Донбассе (2000–2019 гг.) // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2020. № 1–2. С. 31–36.
8. Сафонов А. И. Экологическая фитодиагностика в регионе антропогенных трансформаций // Проблемы трансформации естественных ландшафтов в результате антропогенной деятельности и пути их решения : сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч. экол. конф. Краснодар : КубГАУ, 2021. С. 681–684.
9. Сафонов А. И., Глухов А. З. Эмпирические критерии фитомониторинга техногенной нагрузки в Донбассе // Экобиотех. 2021. Т. 4, № 3. С. 195–202.
10. Тохтарь В. К., Хархота А. И. Временная динамика флор техногенных территорий юго-востока Украины // Промышленная ботаника. 2003. Вып. 3. С. 7–13.
11. Штирц А. Д., Винник Ю. А. Панцирные клещи как биоиндикаторы состояния окружающей среды на рекультивированных терриконах шахт г. Донецка // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2020. № 1–2. С. 65–72.
12. Safonov A. I. Phytoindicational monitoring in Donetsk // World Ecology Journal. 2016. Vol. 6, N 4. P. 59–71.

Kalinina A. V. The dynamics of phytodiversity in the communities of the waste dump of «Kapitalnaya» mine of Makeevka. – The analysis results of the phytodiversity dynamics for 2019–2021 of some plant communities of the waste dump of «Kapitalnaya» coal mine of Makeevka using the biodiversity parameters: species richness, species saturation, Shannon's index, Simpson's index are presented.

Key words: waste dumps coal mines, technogenic ecotope, phytodiversity, plant community, Makeevka.

© Н. С. Мирненко

**МОНИТОРИНГ ЭКОТОПОВ Г. ДОНЕЦКА ПО ПАЛИНОЛОГИЧЕСКИМ
ДАНЫМ *POPULUS NIGRA* L.**

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

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

Мирненко Н. С. Мониторинг экотопов г. Донецка по палинологическим данным *Populus nigra* L. – В работе представлены данные о количественном и качественном состоянии, морфологической изменчивости пыльцевых зерен *Populus nigra* L. в условиях антропогенного воздействия на пробных участках г. Донецка. Установлена статистическая значимость параметрических данных.

Ключевые слова: г. Донецк, пыльцевые зерна, жизнеспособность, стерильность, аномалии, палинология, палиноиндикация.

Введение

В процессе онтогенеза растения испытывают воздействие абиотических и биотических факторов среды, но значение таких факторов неодинаково. В большинстве случаев один из них является лимитирующим, в результате чего, влияние других факторов не становится определяющим для выживания [4, 10, 18].

Микроспорогенез растений сопровождается большим количеством делений клеток спорогенной ткани. Формирование пыльцы начинается с мейотического деления клетки археспориальной ткани, в результате которого формируются 4 гаплоидные тетрады [2]. Процесс созревания пыльцевых зерен является особенно чувствительным к изменениям факторов окружающей среды, сопровождается перестройкой биохимических процессов. Доказано [8], что изменения в аминокислотном составе связаны с нарушением азотного обмена, который отражается на формировании и жизнеспособности пыльцевых зерен. Кроме того, практически любой антропогенный стресс приводит к началу адаптационного процесса, при котором нагрузку испытывает в первую очередь репродуктивная система растений [4, 6, 7, 19].

Пыльцевые зерна за счет микроскопического строения характеризуются аэрофильным и энтомофильным распространением. Более легкая и сухая пыльца (*Betula pendula* L. и *Ambrosia artemisifolia* L.) распространяется аэрофильно на расстояния до 500 км, а выпадает не более чем на 10 км от продуцируемой особи. Тяжелая и липкая (*Tilia cordata* L.) – разносится за счет распространения насекомых (энтомофильно) [1, 5, 14, 17, 18].

Одним из важных показателей в биоиндикации состояния окружающей среды является жизнеспособность пыльцы. Подобные исследования для древесных растений проводятся обычно в населенных пунктах, имеющих лесное или лесостепное нахождение. Однако данные результаты приравниваются к естественным условиям обитания и их необходимо корректно использовать для биоиндикации в условиях степной зоны [20–24].

Донбасс является территорией степной зоны северного Причерноморья. Исторически сложилось, что древесные растения имели ограниченное распространение в степи вследствие неподходящих климатических условий. С ростом промышленности и процессов урбанизации происходило поэтапное антропогенное озеленение Донецкого региона. Более 90% видов древесных растений были интродуцированы для выполнения определенных функций (пылеосаждение, звукоизоляция, защита от эрозии и т.д.). Однако эффективность ожидаемых функций снижается, поскольку в результате выбросов промышленных предприятий и автомобильного транспорта происходит угнетение развития растений [13, 20–24].

Следовательно, палинологические исследования являются перспективными и актуальными в разработке систем биологического мониторинга Донбасса. Для степной зоны Донецкого региона исследования в области палинологии и палиноиндикации проводятся

сотрудниками и студентами кафедры ботаники и экологии Донецкого национального университета [12–18, 20–24].

Цель работы – установить изменчивость морфологических признаков и качества пыльцевых зерен *Populus nigra* L. в условиях антропогенного воздействия на пробных участках г. Донецка.

Материал и методика исследования

Объектом исследования был определен вид *Populus nigra* L., который широко распространен (вдоль дорог, в парках, скверах, на бульварах, возле промышленных предприятий) на территории г. Донецка.

Вид *Populus nigra* L. – тополь черный (осокорь) относится к семейству Salicaceae (Ивовые). Этимология названия рода *Populus* происходит от слова «народ», видовое название *nigra* означает «черный». Растение двудомное. Мужские цветки имеют по 20–30 тычинок, женские формируют пестик из двух сросшихся плодолистиков. Листья очередные, черешковые. Крона широкая или яйцевидная, высотой до 24 м. Цветет в конце апреля – начале мая. Плод – многосемянная двухстворчатая коробочка [2].

Морфологически пыльцевые зерна *P. nigra* представлены средним размером и округлой формой (за счет условно округлой экваториальной части), со стороны полюсов пыльцевое зерно имеет несколько эллиптическую форму (рис. 1).

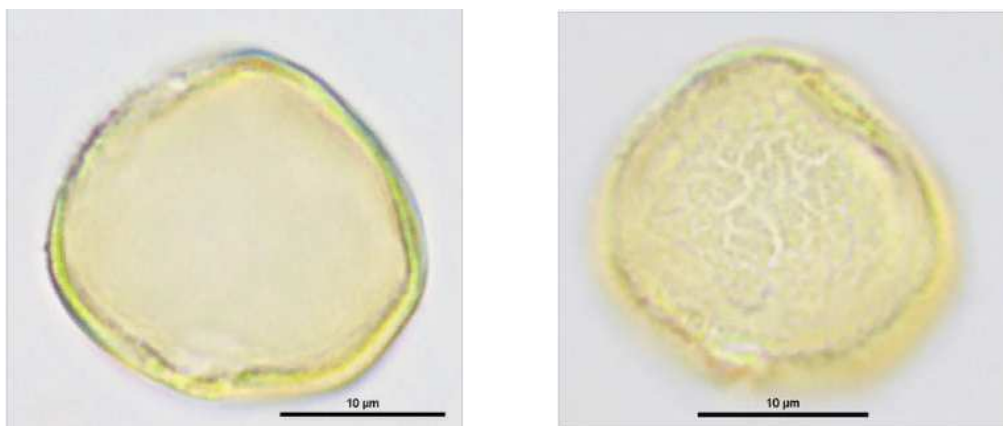


Рис. 1. Внешний вид пыльцевого зерна *Populus nigra* L. [9]

Исследования проводили в течение 2020–2021 гг. в г. Донецке. Отбор проб биоматериала осуществляли на территории с предполагаемым низким (контроль) и высоким (опыт) уровнями загрязнений. Основные методики обработки палинологического материала представлены в публикациях [1, 3, 11–15, 17]. Микроскопирование, фиксация и окрашивание материала проведены по стандартным методикам [1, 3, 11–22].

Сбор соцветий (с пылью) проводили в апреле – мае 2020–2021 гг. с одновозрастных особей без видимых повреждений. Для оценки качественного состояния была собрана пыльца с 25 особей на 5 пробных площадках г. Донецка: 1) пр-т Ленинский; 2) пр-т Киевский; 3) ул. Артема; 4) пр-т Ильича (Дендрарий ГУ «Донецкий ботанический сад»); 5) бул. Пушкина.

Статистическую значимость параметрических данных оценивали с помощью t-критерия Стьюдента, а равномерность распределения данных – коэффициентом ранговой корреляции Спирмена. Также в работе были рассчитаны элементарные статистические характеристики (стандартное отклонение, ошибка среднего и коэффициент вариации). Все расчеты проводили в программах Statistica 10 и MS Office Excel.

Результаты исследований

Исследуемые тополя в г. Донецке представляют собой одноствольные деревья с хорошо выраженным штамбом (стволом) до 40% и произрастающие с различным световым режимом. Смежные древесно-кустарниковые посадки расположены на расстоянии 3–4 м друг от друга. Городские службы по уходу за зелеными насаждениями осуществляют уход в виде своевременного полива и защиты коры от поедания вредителями. Однако крона большинства видов деформирована, имеет загустение, полная санитарная обрезка не проводится.

В результате проведенных исследований определено качественное состояние пыльцевых зерен *P. nigra* по показателям стерильности и фертильности (рис. 2). Неокрашенные пыльцевые зерна в ходе эксперимента считались стерильными.

Количественный анализ стерильности пыльцевых зерен показал, что наиболее чистыми являются точки № 1 (8,76%) и № 4 (8,37%). Наибольший процент стерильных пыльцевых зерен отмечен в точках сбора № 2 (25,79%) и № 5 (25,37%). В точке № 3 количество пыльцевых зерен не превышало 15%.

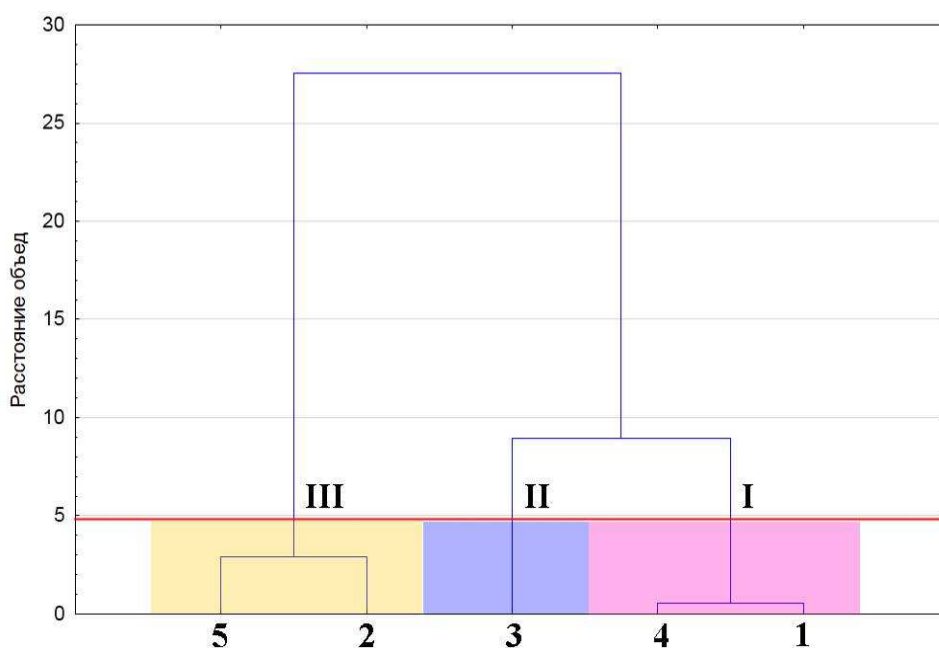


Рис. 2. Дендрограмма кластеризации фертильности пыльцевых зерен методом полной связи

Анализ дендрограммы показал наличие трех кластеров. Первый кластер объединяет точки № 1 и 4 по минимальному соотношению количества стерильных видов, что характеризует площадки на пр. Ленинском и Дендрарий Донецкого ботанического сада, как участки с наименьшей антропогенной нагрузкой. Точка № 3 (ул. Артема) является промежуточной по количеству стерильных видов. Высокий уровень антропогенной нагрузки отмечен в третьем кластере (точки № 2 и 5 – пр. Киевский и бульвар Пушкина).

Коэффициент корреляции статистической значимости не превышал значение $p = 0,05$, табличный коэффициент Спирмена равен 0,72, что является достоверным при различном уровне значимости объектов. В данном случае установленный коэффициент означает, что количество стерильной пыльцы снижается в связи с удалением от техногенных объектов.

В ходе эксперимента также была проведена оценка морфологической изменчивости соцветий. Так, в местах с наибольшей степенью антропогенной нагрузки соцветия содержали большое количество стерильной пыльцы. Практически во всех точках было определено нарушение цвета соцветий и наличие пигментации. Некоторые соцветия развивались в латеральных почках, находящихся в участке междоузлия, что несвойственно для тополя. Данный факт изменения места расположения почек наблюдали в точке № 5 по пр. Киевскому.

Степень пылевых аномалий рассчитывали по пропорции (количество аномальных клеток к общему количеству). Так, количество аномалий стабильно невысокое (рис. 3). Среди рассмотренных образцов наиболее часто встречались: гипертрофия, неоднородность размеров, стерильность, изменения форм и количества апертур. Так, в точке № 3 (ул. Артема) наиболее часто регистрировался факт расхождения слоев экзины и интины. Менее часто встречалась стерильность. В точке № 2 (пр. Киевский) часто присутствовали редуцированные, недоразвитые, уменьшенные и стерильные пылевые зерна. В точках № 1 и 4 частота и разнообразие пылевых аномалий снижена, часто в пробах присутствовали только стерильные пылевые зерна. Точка № 5 имела аномалии, характерные для всех наблюдаемых площадок.

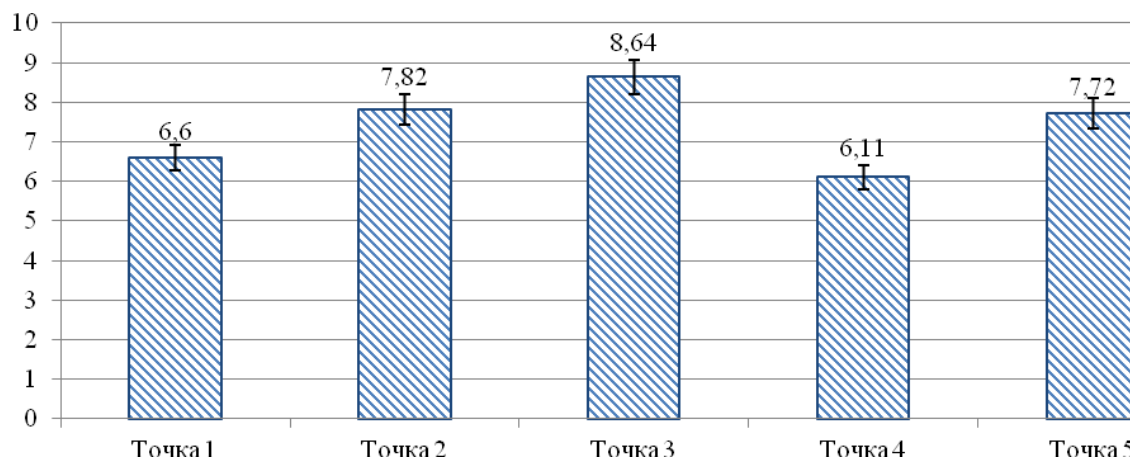


Рис. 3. Процент частоты пылевых аномалий в исследуемых точках г. Донецка

Выводы

Полученные данные жизнеспособности и анализа аномалий пылевых зерен являются показательными для биоиндикации степени антропогенного воздействия. Наблюдаемые точки № 3 (ул. Артема) и № 5 (пр. Киевский) определены как наиболее подверженные загрязнению (по показателю стерильности и по соотношению аномалий пылевых зерен), что подтверждается данными статистической обработки. Точки № 1 и 4 являются относительно устойчивыми, однако при дальнейшем увеличении антропогенного воздействия жизнеспособность пыльцы будет уменьшаться при увеличении аномальных пылевых форм.

Работа является частью комплексного исследования кафедры ботаники и экологии ГОУ ВПО «ДОННУ» в рамках научных тем: «Функциональная ботаника: экологический мониторинг, ресурсные технологии, фитодизайн» и «Диагностика природных и трансформированных экотопов по состоянию фитокомпонентов».

Список литературы

1. Абрашкина Ю. В. Изучение жизнеспособности пыльцы древесных растений в условиях города Актобе // Наука через призму времени. 2018. № 4 (13). С. 26–30.
2. Антонова Е. В., Морозова И. М. Ботаника: анатомия и морфология растений : уч. пособие. Витебск : ВГУ им. П. М. Машерова, 2014. 236 с.
3. Барыкина Р. П. Справочник по ботанической микротехнике. Основы и методы. М. : Изд-во МГУ, 2004. 312 с.
4. Буглова Л. В., Гусар А. С., Дзюба О. В., Морозова А. О. Фертильность пыльцы *Trollius* в естественных местообитаниях и условиях культуры // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2019. № 18. С. 92–96.
5. Бухарина И. Л., Двоеглазова А. А. Биоэкологические особенности травянистых и древесных растений в городских насаждениях. Ижевск : Изд-во Удмуртского ун-та, 2010. 184 с.

6. Васильев Д. В. Аномалии пыльцы сосны обыкновенной, произрастающей вдоль автотрассы // Вестник современных исследований. 2020. № 2–8 (32). С. 12–15.
7. Воронова О. Н., Гаврилова В. А. Количественный и качественный анализ пыльцы подсолнечника (*Helianthus* L.) и его использование в селекционной работе // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019. № 180 (1). С. 95–104.
8. Иванов А. И., Стаценко А. П., Селина Е. Е., Скобанева О. В. Использование пыльцы древесных и травянистых растений для биоиндикации загрязнения окружающей среды // Вестник ДВО РАН. 2009. № 6. С. 68–73.
9. Информационная система идентификации растительных объектов на основе карпологических, палинологических и анатомических данных [Электронный ресурс]. М. : МГУ, 2021. URL : <http://botany-collection.bio.msu.ru> (дата обращения: 25.11.2021).
10. Крутских Н. В., Лазарева О. В. Изучение качества пыльцы *Alnus incana* как палиноиндикатора состояния компонентов природной среды // Геология и полезные ископаемые Карелии. 2014. Вып. 17. С. 118–121.
11. Лях В. А., Войтович Е. Н., Дубовая Е. В., Пересыпкина Т. Н. Степень прорастания *in vitro* пыльцы древесных растений как показатель их устойчивости к загрязнению фторидами // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Биол. науки. 2008. Вып. 15. С. 77–80.
12. Мирненко Н. С. Состояние пылевых зерен *Ambrosia artemisiifolia* L. и *Artemisia absinthium* L. в г. Донецке // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2017. № 3–4. С. 12–17.
13. Мирненко Н. С., Сафонов А. И. Спорово-пылевой 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 молодых ученых (Донецк, 17–20 октября 2017 г.). Т. 2 : Хим.-биол. науки / под общ. ред. С. В. Беспаловой. Донецк : Изд-во ДонНУ, 2017. С. 97–99.
14. Мирненко Н. С. Диагностика состояния экотопов Донецка по палинологическим данным *Betula pendula* Roth // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2018 а. № 1–2. С. 20–24.
15. Мирненко Н. С. Качество пыльцы *Diplotaxis muralis* (L.) DC. в условиях пгт. Новый свет Старобешевского района // Вестник Донецкого национального университета. Сер. А : Естеств. науки. 2018 б. № 3–4. С. 157–162.
16. Мирненко Н. С. Палинологические исследования в микропопуляциях *Ambrosia artemisiifolia* L. // Донецкие чтения 2020: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : матер. V Междунар. науч. конф. (Донецк, 17–18 ноября 2020 г.). Т. 2 : Хим.-биол. науки / под общ. ред. С. В. Беспаловой. Донецк : Изд-во ДонНУ, 2020 а. С. 222–224.
17. Мирненко Н. С. Фертильность и жизнеспособность пыльцы *Salix alba* L. в условиях г. Донецка // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2020 б. № 1–2. С. 6–12.
18. Мирненко Н. С. Цитологические исследования пылевых зерен *Aesculus hippocastanum* L. в г. Донецке // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2020 в. № 3–4. С. 20–25.
19. Позняк С. С., Хох А. Н., Тонконогов Б. А. Практические аспекты использования информационно-поисковой системы «Пыльца растений, произрастающих в республике Беларусь» в криминалистике и экологии // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2020. № 1. С. 91–97.
20. Сафонов А. И. Структурная разнокачественность эмбриональных структур фитоиндикаторов в Донбассе // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2016. № 3–4. С. 23–29.
21. Сафонов А. И. Новые виды растений в экологическом мониторинге Донбасса // Вестник Донецкого национального университета. Сер. А : Естеств. науки. 2020 а. № 1. С. 96–100.

22. Сафонов А. И. Тканевая диагностика эмбриональных структур фитоиндикаторов Донбасса // Вестник Донецкого национального университета. Сер. А: Естеств. науки. 2020 б. № 3–4. С. 110–115.

23. Сафонов А. И., Захаренкова Н. С. Диагностика воздуха в г. Донецке по спектру скульптур поверхности пыльцы сорно-рудеральных видов растений // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2016. № 1–2. С. 66–72.

24. Сафонов А. И., Мирненко Н. С. Палинологический скрининг в мониторинговой программе Центрального Донбасса // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2019. № 3–4. С. 6–11.

Mirnenko N. S. Monitoring of Donetsk ecotopes according to palynological data of *Populus nigra* L. – The paper presents data on the quantitative and qualitative state, morphological variability of pollen grains of *Populus nigra* L. in the conditions of anthropogenic impact on the trial sites of Donetsk. The statistical significance of parametric data is established.

Key words: Donetsk, pollen grains, viability, sterility, anomalies, palynology, palinoindication.

© Э. И. Мирненко

МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ КАК ФАКТОР ТРАНСФОРМАЦИИ КОМПЛЕКСОВ ФИТОПЛАНКТОНА ПРУДОВ Г. ДОНЕЦКА

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

283050, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: eduard_mirnenko@list.ru

Мирненко Э. И. Минерализация водных экосистем как фактор трансформации комплексов фитопланктона прудов г. Донецка. – В работе представлены данные о корреляции параметров минерализации и количественных характеристик фитопланктона в прудах г. Донецка. Установлено количество сухого остатка и галобный статус водоемов на основании видов-индикаторов. Сопоставлены параметры галобных характеристик вод и экологических спектров видов фитопланктона.

Ключевые слова: г. Донецк, пруды, минерализация, галобность, фитопланктон.

Введение

Природные воды представляет собой сложное вещество, в состав которого (кроме H_2O) входят различные газы, ионы минеральных солей, взвешенные и органические вещества, концентрация которых варьирует в зависимости от сезона года [2, 4].

Взвешенные вещества в природных водах подразделяют на: взмученный грунт (мелкодисперсный минеральный состав с небольшим количеством органического вещества) и детрит (минеральные и органические частицы, содержащие большое количество растворенного органического вещества). Формирование детрита обусловлено свойством минеральных частиц абсорбировать растворенную органику на своей поверхности, которая впоследствии заселяется микроорганизмами, формируя сложный биокосный комплекс. Сформированный мезо- и макродетрит оседает на дне, взаимодействуя с бентосными организмами. Ультра- и микродетрит долгое время может оставаться в толще воды. Избыточное количество взвешенных веществ в водоеме приводит к увеличению общей минерализации, что сказывается на ухудшении процесса фотосинтеза в фитопланктоне, а также к изменению пастбищных цепей для гидробионтов, обитающих в воде и на суше [1, 3, 5–8].

Не менее важная составляющая часть природных вод – это истинные растворы, которые образуются при наличии минеральных солей. Наличие растворенных минеральных веществ в морях и океанах формирует *соленость*, а в континентальных водах *минерализацию*. При этом существует несколько важных отличий солености от минерализации. В морской воде хлориды составляют 88,64 %, сульфаты – 10,80 %, карбонаты – 0,34 %, остальные минеральные вещества – 0,22 % общей солености (на натрий и хлор приходится 85,0 % растворенных солей). В континентальных водах содержится 5,2 % хлоридов, 24,8 % сульфатов, 60,1 % карбонатов, 24,8 % остальных солей. Следовательно, в континентальных водах преобладают карбонаты, в морской – хлориды [3].

При исследовании водоемов на минерализацию или галобность наиболее информативным является автотрофный фитопланктон, т.к. при резком изменении солености видовой состав значительно беднеет. Индикаторная характеристика фитопланктона по его отношению к галобности может указывать на степень минерализации водоема. Наиболее солеустойчивы галофилы – организмы, обитающие в засоленных водоемах, способные накапливать большое количество солей. Солеустойчивость фитопланктона связана с его осморезистентностью, которая хорошо выражена у организмов, обитающих в условиях с сильными периодическими изменениями концентраций солей, например, в приливной зоне морских бассейнов [1, 3, 9–11].

Цель нашего исследования – установить степень воздействия минерализации на формирование фитопланктона прудов г. Донецка.

Материал и методы исследования

Пробы воды отобраны в прудах на территории г. Донецка: пруды Донецкого ботанического сада № 2–5 (далее пруд ДБС), пруд Ветковский № 1–2, пруд Городской № 1–2. Все исследуемые водоемы являются частью сети бассейна р. Кальмиус, имеют подземное питание и подвергаются условно одинаковому антропогенному воздействию, т.к. находятся в черте города.

Отбор проб осуществляли в 2020 г. по общепринятой методике согласно ГОСТ 51592-2000 [14]. Для изучения видового состава фитопланктона использовались сгущенные пробы, полученные с помощью насоса Комовского. При отборе проб использовали 1,5 л воды, которые попускали через насос. Фиксацию проводили 4 %-м раствором формальдегида.

Определение качественного состава фитопланктона проводили в препаратах раздавленной капли с помощью светового микроскопа МБИ-3, Primo Star (Zeiss). Численность водорослей устанавливали в специальной счетной камере Горяева объемом 1 мм³. Экологический анализ видов включал определение приуроченности по галобности с использованием системы, предложенной С. С. Бариновой [1, 14].

Измерение сухого остатка проводили методом выпаривания. Для измерения отбирали 250–500 см³ профильтрованной воды, выпаривали в предварительно высушенной до постоянной массы фарфоровой чашке. Выпаривание вели на водяной бане с дистиллированной водой. Затем чашку с сухим остатком помещали в термостат при 110 °С и сушили до постоянной массы [5, 12].

При выявлении степени минерализации была применена классификация водоемов поверхностных вод, приложенная А. С. Константиновым [4] (табл. 1).

Таблица 1

Классификация водоемов и их зон в зависимости от солености вод [4]

Зона	Соленость, ‰
Гипергалинная	40
Эвригалинная	40–30
Миксогалинная	(40) 30–0,5
Миксоэвгалинная	Более 30, но меньше, чем океаническая
(Миксо) полигалинная	30–18
(Миксо) мезогалинная	18–5
α- мезогалинная	18–10
β- мезогалинная	10–5
(Миксо) олигогалинная	5–0,5
α- Олигогалинная	5–3
β- Олигогалинная	3–0,5
Лимнетическая (пресноводная)	0,5

Статистическую обработку полученных результатов проводили в программе Statistica 10 и MS Office Excel.

Результаты и обсуждение

В результате проведенной работы в исследуемых прудах г. Донецка было выявлено 154 видовых таксона, включающих 5 отделов, 10 классов, 24 порядка, 44 семейства и 61 род. По видовому богатству доминирующим является отдел Chlorophyta, субдоминантом – отдел Bacillariophyta. Наименьшее количество видов было отмечено для отдела Cyanophyta. Систематическая структура водорослей фитопланктона приведена в табл. 2.

Таблица 2

Систематическая структура водорослей фитопланктона прудов г. Донецка

Отделы	Классов	Порядков	Семейств	Родов	Видов
Cyanophyta	2	4	11	15	37
Bacillariophyta	2	9	12	16	39
Chlorophyta	4	5	14	29	60
Euglenophyta	1	2	2	4	13
Xanthophyta	1	2	3	5	5
Всего	10	22	42	69	154

Исследуемые пруды имеют ряд наиболее часто встречающихся видов фитопланктона: *Chlorella vulgaris* Beijer., *Monoraphidium contortum* (Thur.) Kom.-Legn., *Scenedesmus quadricauda* Kütz., *Diatoma vulgare* Bory, *Navicula pupula* Kütz., *Merismopedia punctata* Meyen., *Euglena viridis* Ehr., *E. proxima* Dang. *Tetraplectron tribulus* (Pasch.) Fott., *Gloeobotrys chlorines* Pasch. *Synechocystis aquatilis* Sauv., *Merismopedia punctata*, *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs., *Oscillatoria lacustris* (Kleb.) Geitl. *O. tenuis* Ag., *Melosira varians* Ag., *Diatoma vulgare* Bory, *Oocystis lacustris* Chod.

В исследуемых прудах был установлен состав индикаторов галобности на уровне отделов (табл. 3).

Таблица 3

Состав индикаторов галобности на уровне отделов для водорослей фитопланктона прудов г. Донецка

Отдел	Полигалобы (ph)	Мезогалобы (mh)	Инди́ффе- ренты (i)	Галофилы (hl)	Галофобы (hb)	Не определено
Cyanophyta	0	0	14	8	2	13
Bacillariophyta	3	6	16	2	6	10
Chlorophyta	0	2	13	1	10	34
Сумма	3	13	45	11	14	86

По галобности в отделе Cyanophyta количество индифферентных видов составило 40,0 % состава, галофобов – 5,5 %, галлофилов – 22,2 %. Для 33,3 % галобность не определена. В отделе Bacillariophyta количество видов полигалобов составило 7,6 % состава, мезогалобов – 15,3 %, галофилов – 5,1 %, галофобов – 15,3 %, индифферентных – 41,3 %. Для 25,6 % видов галобность в данном отделе не определена. В отделе Chlorophyta количество мезогалобов – 3,3 %, галофилов – 1,6 %, галофобов – 16,67 %, индифферентных – 21,6 %. Для 56,6 % видов галобность не определена. По литературным источникам индикаторная характеристика не известна для 86 видов, что составляет 55 % от альгофлоры.

Таким образом, полученные данные по приуроченности видов фитопланктона позволили выделить 5 групп по галобности, с доминирующей индифферентной (устойчивой) группой.

Зависимость параметров минерализации от количественных показателей фитопланктона рассмотрена на рис. 1.

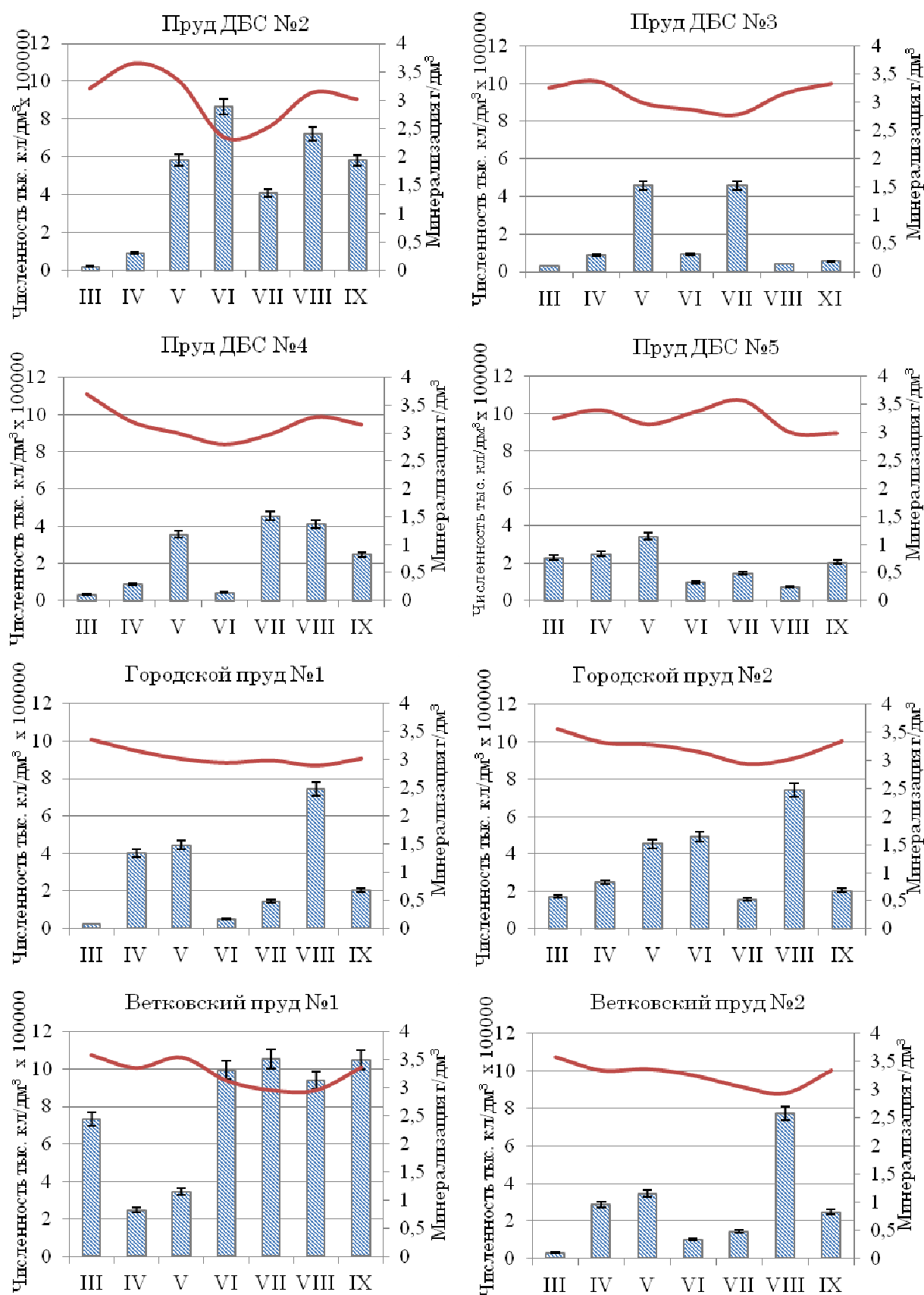


Рис. 1. Соотношение параметров численности фитопланктона и минерализации в прудах г. Донецка

При уменьшении минерализации наблюдается общая тенденция увеличения видового состава. Зависимость между минерализацией и численностью фитопланктона статистически значима (t-критерий Стьюдента – 2,457 при $p \geq 0,05$). Индекс разнообразия Шенонна

(рассчитанный по численности) для исследованных экотопов варьирует в пределах 0,56–2,48. В периоды повышения минерализации происходит изменение структуры сообщества фитопланктона, тем самым указывая на уменьшение биоразнообразия с увеличением процессов деструкции.

В исследуемых прудах индекс Шеннона имеет крайне низкий показатель для весеннего периода (0,56), что, по-видимому, обусловлено увеличением минерализации водоемов после зимней обработки дорог реагентами. Минерализация достигает > 4 г/л. При этом стоит обратить внимание на видовой состав, так часто в прудах наблюдаются представители отдела Bacillariophyta и Chlorophyta.

В июне установлено критическое уменьшение индекса Шеннона ($< 0,83$) при увеличении минерализации до 3–4 г/л, однако в дальнейшем летний период характеризуется общим повышением видового разнообразия ($> 2,5$). Также в исследуемых водоемах наблюдается перестройка сообществ фитопланктона (сукцессия), с доминированием отдела Cyanophyta. Удельная скорость роста популяции достигает уровня в 400 % за одну декаду. Осенний период характеризуется устойчивым уровнем минерализации. Индекс Шеннона варьирует от 0,68 до 2,35. Минимальное альгообразие наблюдается в прудах ДБС и пруду Ветковский после летней сукцессии.

Высокие показатели минерализации вод в прудах бассейна р. Кальмиус определяют условия для адаптации морских инвазионных видов, занесенных преимущественно двумя путями. Первый и наиболее вероятный, с миграцией птиц из побережья Азовского моря. Второй путь связан с деятельностью ветра. Широкое распространение инвазионных видов получили отделы диатомовых и зеленых водорослей. Так, в пробах часто наблюдается виды, характерные для соленых вод (от 5 до 40 ‰): *Phormidium boryanum* (Bory ex Gom.) Anagn. et Kom., *Gyrosigma peisonis* (Grun.) Hust., *Nitzschia longissima* var. *longissima* (Bréb. ex Kütz.) Grun., *Synedra tabulata* var. *tabulata* (C. Ag.) Kütz.

Таким образом, установленный уровень минерализации водных объектов оказывает непосредственное воздействие на количественный состав фитопланктона. По классификации зон солености вод исследуемые пруды относятся к α -олигогалинной и β -олигогалинной, что по уровню минерализации соответствует солености Таганрогского залива Азовского моря в зимне-весенний период (3,64–5,96 ‰) [2].

Выводы

Полученные данные показывают степень воздействия минерализации на формирование сообществ фитопланктона. Стоит учитывать ряд факторов, имеющих прямое и косвенное влияние на видовое разнообразие (наличие мелководья, зарослей водных растений, трофический статус водоема и т.д.), что необходимо принимать во внимание при комплексном экологическом анализе.

Работа является частью комплексного исследования кафедры ботаники и экологии ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет» в рамках научных тем: «Функциональная ботаника: экологический мониторинг, ресурсные технологии, фитодизайн» и «Диагностика природных и трансформированных экотопов по состоянию фитокомпонентов».

Список литературы

1. *Барина С. С.* Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Телль-Авив : Pilies Studio, 2006. 498 с.
2. *Борисюк М. В.* К изучению гидрологического и гидрохимического режима Таганрогского залива Азовского моря // Современные проблемы географии Украины и Донбасса : тез. докл. II обл. науч.-практ. конф. Донецк, 2003. С. 10–12.
3. *Борисюк М. В., Мирненко Э. И., Захаренкова Н. С.* Гидробиология. Водные биоценозы и экосистемы. Донецк : ДонНУ, 2016. Ч. 1. 95 с.
4. *Константинов А. С.* Общая гидробиология. М. : Высш. шк., 1986. 472 с.

5. *Мирненко Э. И.* Оценка загрязнения органическими соединениями прудов г. Донецка // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2017. № 3–4. С. 17–23.
6. *Мирненко Э. И., Макуха А. О.* Фитопланктон как показатель экологического состояния прудов г. Донецка // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2018. № 3–4. С. 44–50.
7. *Мирненко Э. И.* Гидрохимический режим прудов Старобешевского района // Вестн. Донецкого нац. ун-та. Сер. А : Естеств. науки. 2019 а. № 1. С. 115–121.
8. *Мирненко Э. И., Садловская В. В.* Гидрохимические особенности и формирование фитопланктона в искусственных водоемах Донбасса // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2019 б. № 1–2. С. 13–21.
9. *Мирненко Э. И., Касько А. А.* Эколого-географическая характеристика альгофлоры водохранилищ Донбасса // Донецкие чтения 2020: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : матер. V Междунар. науч. конф. Донецк : ДонГУ, 2020. С. 225–227.
10. *Мирненко Э. И.* Особенности выбора биоиндикаторов состояния водной среды // Экология родного края: проблемы и пути их решения : матер. XV Всеросс. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров, 2020 а. С. 166–169.
11. *Мирненко Э. И.* Оценка состояния водохранилищ Донбасса по показателям степени сапробности // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2020 б. № 1–2. С. 12–17.
12. *Садчиков А. П.* Методы изучения пресноводного фитопланктона. М. : МГУ, 2003. С. 90–97.
13. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения : СанПиН 4630-88 от 04.07.1988 г.
14. *Фомин Г. С.* Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам : энцикл. справ. М. : Протектор, 2000. 838 с.

Mirnenko E. I. Mineralization of aquatic ecosystems as an anthropogenic factor in the transformation of phytoplankton complexes in the ponds of Donetsk. – The paper presents data on the correlation of mineralization parameters and quantitative characteristics of phytoplankton in the ponds of Donetsk. The amount of dry residue and the halogenous status of water bodies were established on the basis of indicator species. The parameters of the halogen characteristics of waters and the ecological spectra of phytoplankton species are compared.

Key words: Donetsk, ponds, mineralization, dryness, phytoplankton.

УДК 582.32-34 : 635.05 : 581.09/95 (477.6)

© Е. И. Морозова

НОВЫЕ НАХОДКИ БРИОБИОНТОВ В ДОНБАССЕ (2020–2021 ГГ.)

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

283050, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: kf.botan@donnu.ru

Морозова Е. И. Новые находки бриобионтов в Донбассе (2020–2021 гг.). – Впервые для территории Центрального Донбасса таксономически идентифицированы, описаны и экологически определены по фитоиндикационным параметрам виды мохообразных: *Abietinella abietina* (Hedwig) Fleisch., *Plagiomnium affine* (Blandow ex Funck) T. J. Kop. и *Radula complanata* (L.) Dumort. Каждый из указанных видов проиллюстрирован в двух ключевых стадиях вегетации, имеет систематическую принадлежность, описан морфологически и проявляет установленную жизненную стратегию в условиях произрастания в Донецко-Макеевской промышленной агломерации.

Ключевые слова: бриобионты, фитоиндикация, Донбасс, экологический мониторинг.

Введение

Таксономическое и экологическое изучение мохообразных является одним из приоритетных направлений научной деятельности кафедры ботаники и экологии Донецкого национального университета [6, 10, 13] в рамках общей тематики по функциональной ботанике в промышленном регионе с акцентом на фитоиндикационные возможности бриобионтов, описанные в научной литературе [16, 18, 20]. Спектр научно-прикладных интересов в изучении мохообразных Донбасса позволяет выделить некоторые востребованные задачи: экологический мониторинг природных сред по показателям накопления токсических элементов [1], систематизация коллекционных сборов и экспозиционная работа с мохообразными [2], созологический блок исследований, определение статуса редких видов [11], справочно-аналитические сводки, работа с иллюстративным материалом [12] и пр. Регулярные маршрутно-экспедиционные обследования бриологически малоизученных биотопов позволяют на современном этапе идентифицировать новые виды, которые ранее не были зарегистрированы во флоре Северного Приазовья.

Цель работы – представить иллюстративные и описательные результаты новых видов бриологических экспертиз за 2020–2021 гг. в Центральном Донбассе. В целевой программе важно отобразить региональные морфологические особенности идентифицированных видов для формирования образцов бриотеки и ориентира в полевых сборах.

Материал и методы исследования

В основе систематического анализа опирались на современные справочные материалы бриобионтов Европы [4, 16]. Эколого-мониторинговые исследования реализованы в соответствии с требованиями организации полевых и камеральных работ в системе наблюдения и квантификации среды [3, 7, 15, 17] и спецификой региональной фитоиндикационной лаборатории [5, 8, 9, 12, 19], имеющей также функцию образовательно-просветительского назначения в Донбассе [14].

Объектом описания, иллюстрации и анализа стали три вида мохообразных:

Abietinella abietina (Hedwig) Fleisch. – абиетинелла елеобразная (координаты WGS-84, м: 1) 6118937 (x); 4222037 (y); долгота – 37°55'37.9"; широта – 48°4'21.3"; 2) 6119565 (x); 4226006 (y); долгота – 37°57'46.3"; широта – 48°4'34.8") – два локалитета;

Plagiomnium affine (Blandow ex Funck) T. J. Kop. – плагиомниум аффины (координаты WGS-84, м: 1) 6100865 (x); 4223009 (y); долгота – 37°56'9.4"; широта – 47°57'50.3"; 2) 6099650 (x); 4228471 (y); долгота – 37°59'6.0"; широта – 47°57'24.0") – два локалитета;

Radula complanata (L.) Dumort. – радула сплюсненная (координаты WGS-84, м: 61105840 (x); 4222716 (y); долгота – 37°55'59.9"; широта – 47°59'38.0" – один локалитет.

Результаты и обсуждение

Полученные данные систематизировали по принятой схеме, ранее опубликованной в работе [12]. Также приведены иллюстрации объектов исследования (рис. 1–3) и даны соответствующие морфо-экологические описания.

Семейство Thuidiaceae Schimp.

Род *Abietinella* Müll. Hal.

Вид *Abietinella abietina* (Hedwig) Fleisch. (рис. 1).

Встречается на петрофитном склоне, в образованных там трещинах и насыпях (микро-карьерах), известковой песчаной почве, старых сооружениях и камнях. Предпочитает солнечные открытые места.



А

Б

Рис. 1. *Abietinella abietina* (Hedwig) Fleisch.: А – общий вид, Б – спорогон

Дерновинки рыхлые, от желто-зеленого до ржаво-коричневого цвета, имеет стебли 2–8 см (редко – 12 см) в длину, от которых возникают ветви в четыре ряда в двух плоскостях, каждый около 5–10 см. Листья стебля широкоовальные, вогнутые, продольно-складчатые с широким основанием и сужаются к длинной вершине, веточные – меньше, яйцевидно-ланцетные с короткой тупой вершиной. Жилка толстая, занимает $\frac{3}{4}$ от листа.

Двудомный. Коробочка короткая цилиндрическая и изогнутая, при созревании красно-коричневая. Крышечка коническая с длинным клювиком. Спороносит довольно редко, в основном в конце лета.

Жизненная форма: перисто-ветвистые сплетения.

Доминирующая жизненная стратегия: бриопатент экотопический и (или) бриопатент ценотический.

Семейство Mniaceae Schwägr.

Род *Plagiomnium* T. J. Kop.

Вид *Plagiomnium affine* (Blandow ex Funck) T. J. Kop. (рис. 2).

Растет на сухих и умеренно влажных участках, а также в почве, несколько богатой гумусом, зарегистрирован на стенах канав, в заболоченных местах, у основания деревьев. Места произрастания часто затененные, но могут быть относительно открытыми.

Дерновинки неплотные, полупрозрачные, зеленого или желто-зеленого цвета, стебли полупрямостоячие, постепенно ползучие, от 2 до 10 см, плотно крепятся ризоидами к субстрату. Листья от широко эллиптических до округлых с небольшим острием на верхушке и маленькими зубцами по краям, иногда имеется розетка больших листьев на конце ветви. В сухом состоянии сильно скручены, во влажном состоянии раскидистые. Жилка средняя по толщине выходит за границу листа острием.



А



Б

Рис. 2. *Plagiomnium affine* (Blandow ex Funck) T. J. Кор.: А – общий вид, Б – спорогон

Двудомный. Коробочка висячая или полувисячая на желто-красных ножках, часто растут по несколько на каждом побеге. Крышечка имеет коническую форму. Спороносит редко и поздней весной.

Жизненная форма: рыхлая дерновина, ковер.

Доминирующая жизненная стратегия: бриопатент ценотический, иногда бриовиолент.

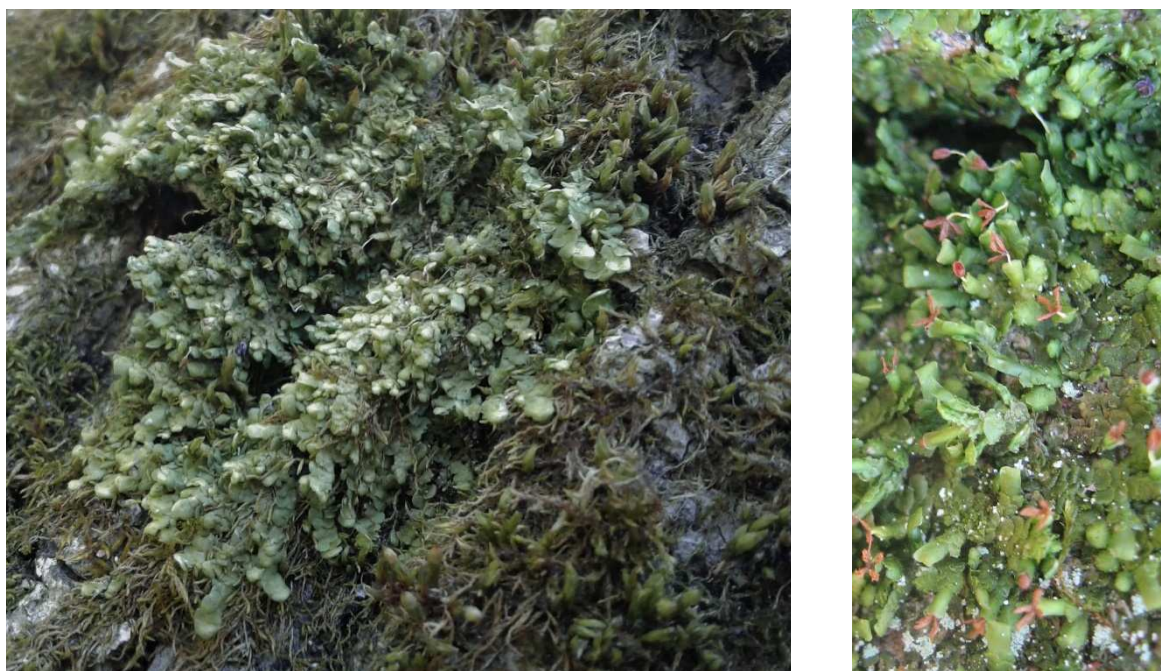
Семейство Radulaceae Müll. Frib.

Род *Radula* Dumort.

Вид *Radula complanata* (L.) Dumort. (рис. 3).

Колонизирует чаще всего на коре лиственных деревьев, но иногда может встречаться на поверхностях валунов и скал или на гниющих бревнах с корой. Предпочитает полутененные места и умеренную или повышенную влажность.

Дерновинки плотные, но тонкие, зеленого или темно-зеленого цвета. Стебель цилиндрический, перисторазветвленный 3–4 см в длину, имеет два ряда широких листьев, тесно примыкающих друг к другу. Листья плоские уплотненные, каждый состоит из двух прижатых лопастей, одна из которых – более круглая и широкая, другая – неправильной угловатой формы. Дорсальные листья крупнее, часто имеют небольшие дольки по краям, которые со временем превращаются в геммы.



А

Б

Рис. 3. *Radula complanata* (L.) Dumort.: А – общий вид, Б – спорогон

Однодомный. Архегоний (обычного строения, имеет покрывальце – перихеций) и антеридий (на длинной ножке) на одном растении. Амфигастрии отсутствуют. Раскрывание антеридиев и оплодотворение происходит во время дождей. Зрелый спорогон сидит на концах стебля и ветвей, состоит из короткой продолговато-яйцевидной коробочки, ножки (после созревания удлинняющейся) и гаустории. В коробочке развиваются споры и пружинки, раскрывается она 4 створками. Почти всегда спороносит. Доминирующее поколение – гаметофит.

Жизненная форма: плоский ковер.

Доминирующая жизненная стратегия: бриопатент экотопический.

Сформулированные описания дополняют ранее составленный систематический список представителей надотдела Bryobionta биотопов городов Донецка и Макеевки, требуют изучения и в других доступных для полевых работ биотопах Донбасса.

Работа является частью инициативной темы кафедры ботаники и экологии ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет» «Функциональная ботаника: экологический мониторинг, ресурсные технологии, фитодизайн» (государственная регистрация научной программы № 0117D000192).

Выводы

Описанные и экотопически проанализированные новые для Донбасса виды Bryobionta являются малораспространенными: *A. abietina* хорошо адаптируется к условиям пониженной влажности и повышенных температур (что важно констатировать в летний период), а два других вида (*R. complanata* и *P. affine*) неотделимо требовательны к влажным биотопам.

Оценка изменчивости формы и жизненной стратегии, встречаемости, а также пластичности видов помогает корректно оценивать их сукцессионный статус и прогнозировать дальнейшие изменения бриокомплексов на урбанизированной территории городов Донецка и Макеевки, так как бриофлора выявлена еще не полностью и, несомненно, нуждается в дальнейшем планомерном исследовании.

Данные выполненной работы могут быть использованы для оптимизации и развития сети экологического мониторинга, позволить оценить степень воздействия атмосферного

загрязнения и уровень деградации экосистем, возможно, в дальнейшем создании охраняемых мест произрастания редких видов Bryobionta на территории Республики (при формировании новых Красной и Зеленой книг региона).

Список литературы

1. *Алемасова А. С.* Накопление тяжелых металлов мохообразными в различных экотопах Донбасса // Трансформация экосистем под воздействием природных и антропогенных факторов : матер. Междунар. науч. конф. (Киров, 16–18 апреля 2019 г.). Киров : ВятГУ, 2019. С. 60–65.
2. *Бондарь Е. Н.* Фрагмент брiотеки городских агломераций Донбасса // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет». 2021. Т. 1, № 13. С. 19–23.
3. *Глухов А. З.* Экосистемное нормирование по данным фитоиндикационного мониторинга // Донецкие чтения 2016 : Образование, наука и вызовы современности : матер. I Междунар. науч. конф. (Донецк, 16–18 мая 2016 г.). Ростов-на-Дону : Изд-во ЮФУ, 2016. Т. 1. С. 311–312.
4. *Игнатов М. С., Игнатова Е. А.* Флора мхов средней части европейской России. М. : КМК, 2003. Т. 1. 608 с.; М. : КМК, 2004. Т. 2. С. 608–994.
5. *Морозова Е. И.* Мониторинг в условиях промышленных экотопов с помощью мохообразных // Донецкие чтения 2016 : Образование, наука и вызовы современности : матер. I Междунар. науч. конф. (Донецк, 16–18 мая 2016 г.). Ростов-на-Дону : Изд-во ЮФУ, 2016. Т. 1. С. 317–318.
6. *Морозова Е. И., Сафонов А. И.* Видовой состав, особенности произрастания и морфометрическая характеристика мхов-индикаторов г. Макеевки // Донецкие чтения 2017 : Русский мир как цивилизационная основа научно-образовательного и культурного развития Донбасса : матер. Междунар. науч. конф. студ. и молодых ученых (Донецк, 17–20 октября 2017 г.). Донецк : Изд-во ДонНУ, 2017. Т. 2. С. 100–102.
7. *Сафонов А. И.* Стратегическая потенциализация фитоиндикаторов техногенных загрязнений // Аграрная Россия. 2009. № 51. С. 58–59.
8. *Сафонов А. И.* Динамика фитоиндикаторных показателей антропогенеза в Донбассе (2000–2019 гг.) // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2020. № 1–2. С. 31–36.
9. *Сафонов А. И., Глухов А. З.* Комплексная оценка техногенной нагрузки в импактном фитоиндикаторном Донбасса // ЭкоБиоТех 2021 : матер. VII Всеросс. конф. с Междунар. участием (г. Уфа, 4–7 октября 2021 г.). Уфа : УИБ УФИЦ РАН, 2021. С. 150–154.
10. *Сафонов А. И., Морозова Е. И.* Видовое разнообразие мохообразных Донецко-Макеевской промышленной агломерации // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2017. № 3–4. С. 24–32.
11. *Сафонов А. И., Морозова Е. И.* Редкие виды мохообразных Донецко-Макеевской промышленной агломерации // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2018 а. № 1–2. С. 33–43.
12. *Сафонов А. И., Морозова Е. И.* Мохообразные Донецкой агломерации : иллюстрированный атлас и брiоиндикация. Донецк : ДонНУ, 2018 б. 128 с.
13. *Сафонов А. И., Морозова Е. И.* Видовое разнообразие брiобионтов мониторинговой сети Центрального Донбасса // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2021. № 1–2. С. 39–43.
14. *Сафонов А. И., Приходько С. А., Глухов А. З.* Инновационные учебные дисциплины для специализации на кафедре ботаники и экологии ДонНУ // Донецкие чтения 2021 : образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : матер. VI Междунар. науч. конф. (Донецк, 26–27 октября 2021 г.). Донецк : Изд-во ДонНУ, 2021. Т. 3. С. 148–151.

15. Bespalov V. I., Gurova O. S., Samarskaya N. S. Main principles of the atmospheric air ecological monitoring organization for urban environment mobile pollution sources // Procedia Engineering. 2016. Vol. 150. P. 2019–2024. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.286>
16. Ignatov M. S., Afonina O. M., Ignatova E. A. Check-list of mosses of East Europe and North Asia // Arctoa. 2006. Vol. 15. P. 1–130.
17. Morant J., González-Oreja J., Martínez J. E., Lopez-Lopez P., Zuberogoitia I. Applying economic and ecological criteria to design cost-effective monitoring for elusive species // Ecological Indicators. 2020. Vol. 115. P. 106366. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106366>
18. Pakeman R. J., Brooker R. W., O'Brien D., Genney D. Using species records and ecological attributes of bryophytes to develop an ecosystem health indicator // Ecological Indicators. 2019. Vol. 104. P. 127–136. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.04.084>
19. Safonov A. I. Phytoindicational monitoring in Donetsk // World Ecology Journal. 2016. Vol. 6, N 4. P. 59–71.
20. Teteryuk L. V. Experience in using ecological phytoindication scales for revealing unfavorable factors at the boundary of species distribution // Russian Journal of Ecology. 2000. Vol. 31, N 4. P. 251–255. <https://doi.org/10.1007/BF02764056>

Morozova E. I. New finds of bryobionts in Donbass (2020–2021). – For the first time for the territory of Central Donbass, bryophytes have been taxonomically identified, described and ecologically determined by phytoindication parameters: *Abietinella abietina* (Hedwig) Fleisch., *Plagiomnium affine* (Blandow ex Funck) T. J. Kop. and *Radula complanata* (L.) Dumort. Each of these species is illustrated in two key stages of the growing season, has a systematic affiliation, is described morphologically and exhibits an established life strategy in the conditions of growth in the Donetsk–Makeevka industrial agglomeration.

Key words: bryobionts, phytoindication, Donbass, environmental monitoring.

**ЭМПИРИКА ФИТОКВАНТИФИКАЦИИ АНТРОПОГЕННО
ТРАНСФОРМИРОВАННОЙ СРЕДЫ***ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»**283050, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: andrey_safonov@mail.ru*

Сафонов А. И. Эмпирика фитокоантификации антропогенно трансформированной среды. – Представлены результаты апробации некоторых методологических подходов реализации возможных сценариев количественной оценки состояния экотопов антропогенно трансформированной среды. Для территории Центрального Донбасса опорными в экологическом мониторинге являются функциональные критерии комплексной коантификации с помощью растений-индикаторов. Эмпирический метод установления индикационной значимости растений положен в основу диагностических мероприятий экологического содержания в регионе.

Ключевые слова: фитоиндикация, фитомониторинг, Донбасс, диагностика, антропогенные экотопы.

Введение

Технологии коантификации природных сред, как правило, обусловлены приоритетными секторами национальных экономик и межведомственных промышленных объектов, например, в системах горно-перерабатывающего производства [1], в условиях конструирования и эксплуатации полигонов промышленных и бытовых отходов [4], для урбанизированных территорий и объектов фитодизайна в обеспечении экологической безопасности этих регионов [7, 8, 17], при создании экологических сетей и зеленых коридоров ландшафтно-биологического функционала на больших массивах горно-добывающей промышленности [20], в том числе угледобывающей [19, 22]. Постпроектная ландшафтная эксплуатация трансформированных природных сред является мировой задачей и особо актуальна для антропогенно измененных экотопов степной зоны промышленно развитой Европы, где буферная выносливость природных систем значительно уязвима и трудно восстанавливается до прежнего квазинатурального состояния без применения передовых технологий рекультивации. В таких случаях ботанические объекты являются важной средообразующей компонентой ожидаемых и контролируемых сукцессионных преобразований, нуждающихся в информации о текущем и тенденциозном состоянии экотопов в условиях постоянной диагностики и коррекции внедряемых технологических процессов.

Цель работы – представить спектр эмпирических подходов в установлении фитопригодности природных сред Донбасса при осуществлении коантификации антропогенно трансформированных экотопов.

Материал и методы исследования

В основу используемых методов положена модель многоуровневой реакции вегетативных и генеративных систем растений на действие факторов специфического и неспецифического стресса. Среди прогрессивных методологических приемов эколого-индикационной эмпирики использовали биомониторинговые принципы при работе в промышленно загрязненных средах [6], методы интеллектуальной системы экологического мониторинга [9], подходы в создании цифрового программного обеспечения мониторинга отдельного промышленного предприятия [12], способы оценки по принятому матричному методу [5], методы количественной оценки риска на техногенных сооружениях [18] и ландшафтной ординации биологических процессов в нестабильных экологических условиях [22].

В региональной коантификации Центрального Донбасса реализованы программы геоинформационных способов обработки материала при картографическом зонировании и одноплоскостной модели расчета ранжированных территорий [16], рассмотрены ботанико-

экологические маркеры фитодиагностики экологических сред по индикаторным шкалам и градационным признакам [2], эмпирически сформированы некоторые критерии мониторинга техногенного напряжения по группам растений [3], проведена первичная фитоквалиметрия токсического прессинга и степени трансформации экотопов [13], апробированы принципы фитоиндикационного мониторинга для выявления и решения локальных бытовых и коммунально-технологических проблем в г. Донецке [14], а также представлена моновидовая классификация случаев тератообразования как пример индикационной пластичности видов растений в условиях антропогенного воздействия [15].

Результаты и обсуждение

По целевому заказу мониторинговой программы на финальной стадии визуализации геостратегических данных всегда существует запрос на получение картографического материала, доступного в эксплуатационно-менеджментном восприятии, чтобы было технологически удобно очертить зоны риска, бедствия, стремительных трансформаций, балансового восстановления и пр. Поэтому эмпирика шкалообразования отошла в дробном представлении от унифицированной 10-балльной оценки и в каждом частном случае (для разного принципа и критерия) диапазоны варьирования в дискретном эквиваленте были представлены в соответствии с заданным программным условием и назначением использования в научно-прикладных, хозяйственных или научно-теоретических областях знаний и деятельности человека.

Спектр эмпирических подходов в установлении фитоприспособности природных сред Донбасса при осуществлении квантификации антропогенно трансформированных экотопов был разделен на 10 групп по разным принципам методологического соответствия.

1. Классический ординационный способ шкалообразования, но с учетом картографической дифференциации для отдельного участка исследований. Апробирован для видов растений *Agrostis stolonifera* L., *Amblystegium serpens* (Hedw.) Schimp., *Artemisia vulgaris* L., *Berteroa incana* (L.) DC., *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub, *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., *Centaurea diffusa* Lam., *Chenopodium album* L., *Cichorium intybus* L., *Cirsium arvense* (L.) Scop., *Cyclachaena xanthiifolia* (Nutt.) Fresen., *Dactylis glomerata* L., *Diplotaxis muralis* (L.) DC., *Echium vulgare* L., *Gypsophila paniculata* L., *Grimmia pulvinata* (Hedw.) Sm., *Lactuca tatarica* (L.) C. A. Mey., *Orthotrichum speciosum* Nees, *Papaver rhoeas* L., *Plagiomnium cuspidatum* (Hedw.) T. Kop., *Plantago lanceolata* L., *Plantago major* L., *Polygonum aviculare* L., *Reseda lutea* L., *Senecio vulgaris* L., *Stellaria subulata* Boeber ex Schlecht., *Tanacetum vulgare* L., *Tragopogon major* Jacq., *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip. Это наиболее распространенный вариант эмпирики фитоквантификации в Донбассе, поскольку, как правило, использует одинаковый шаг при формировании индикационной шкалы и прост в технической реализации. Достоверность показателей при повторяемости эксперимента доказана 4–6-летними исследованиями.

2. Континуальное распределение данных на плоскости для очерчивания межгодовой или многолетней динамики изменения показателя состояния экотопа. Подход использован для видов растений: *Achillea nobilis* L., *Amblystegium subtile* (Hedw.) Schimp., *A. vulgaris*, *Atriplex hortensis* L., *Atriplex patula* L., *B. incana*, *Atriplex mircantha* C. A. Mey., *B. inermis*, *Bromus arvensis* L., *C. bursa-pastoris*, *C. diffusa*, *C. intybus*, *C. arvense*, *Convolvulus arvensis* L., *C. xanthiifolia*, *D. glomerata*, *Daucus carota* L., *D. muralis*, *Dianthus campestris* M. Bieb., *E. vulgare*, *Glaucium corniculatum* (L.) Rudolph, *L. tatarica*, *Leskea polycarpa* Hedw., *P. lanceolata*, *P. major*, *R. lutea*, *S. vulgaris*, *T. vulgare*, *T. major*, *T. inodorum*. Повторяемость эксперимента при проверке достоверности составила 2 периода (2010–2014 гг. и 2016–2021 гг.) в случае использования разных видов. Этот подход требует многолетних наблюдений и вычленения флуктуационных процессов.

3. Подход выделения экокризисных зональных характеристик (участков) – территорий, требующих незамедлительного вмешательства и реорганизации эксплуатационных мероприятий апробирован для следующих видов растений *Ambrosia artemisiifolia* L.,

A. hortensis, *B. incana*, *Bryum capillare* Hedw., *C. bursa-pastoris*, *C. diffusa*, *C. album*, *C. intybus*, *C. arvensis*, *C. xanthiifolia*, *Deschampsia cespitosa* (L.) Beauv., *E. vulgare*, *Hyoscyamus niger* L., *Melilotus albus* Medik., *P. major*, *P. aviculare*, *Platygyrium repens* (Brid.) Schimp., *R. lutea*, *S. vulgaris*, *T. vulgare*, *T. major*, *T. inodorum*, *Fumaria schleicheri* Soy.-Willem. На практике в категорию критически неблагоприятных участков отнесены по разным примерам 1,5–4,6 % всей территории Центрального Донбасса – преимущественно это зоны непосредственного импакта крупных промышленных предприятий или урбанизированные территории, в 2020 и 2021 гг. к зонам экокризисного состояния добавились сорно-бытовые и рудеральные полигоны.

4. Обозначение на картографическом материале отдельных данных, имеющих чрезвычайное проявление по характеру фиксированного сомато-генетического мутационного процесса, например, уникальные случаи тератообразования, появления редких аномалий, которые невозможно вписать в систему статистических закономерностей за счет единичных случаев проявления. Этот способ на практике использован для видов растений: *Amaranthus retroflexus* L., *A. vulgaris*, *A. hortensis*, *A. patula*, *Aulacomnium palustre* (Hedw.) Schwägr., *B. inermis*, *B. arvensis*, *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Chelidonium majus* L., *C. arvense*, *D. glomerata*, *D. carota*, *D. muralis*, *E. vulgare*, *Galinsoga parviflora* Cav., *L. tatarica*, *Orthotrichum pallens* Bruch ex Brid., *Persicaria maculosa* Gray, *P. lanceolata*, *P. major*, *Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt, *Portulaca oleracea* L., *R. lutea*, *Radula complanata* (L.) Dumort., *Rumex crispus* L., *T. major*, *T. inodorum*. Эмпирика этой категории квантификационных мероприятий, как правило, не имеет прямых связей с работой промышленности или урбанизации территории. Каждый частный случай рассматривается как фиксируемый процесс, результат которого, возможно, проявится статистически в последующих поколениях.

5. По реализации программы индивидуального активного мониторинга, например, при использовании гомогенизированного семенного материала, вегетативных трансплантаций или выращивании растений в контролируемых условиях начального формирования для выделения разницы после смены геолокалитета с другими токсическими характеристиками. Подход использован для следующих видов растений: *A. nobilis*, *A. stolonifera*, *A. artemisiifolia*, *B. incana*, *Brachythecium campestre* (Müll. Hal.) Bruch et al., *C. bursa-pastoris*, *C. album*, *C. intybus*, *C. arvense*, *C. arvensis*, *C. xanthiifolia*, *Cynoglossum officinale* L., *D. carota*, *D. cespitosa*, *Erigeron canadensis* L., *G. parviflora*, *Homalothecium lutescens* (Hedw.) H. Robins., *Kochia laniflora* (S. G. Gmel.) Borb., *Orthotrichum pumilum* Sw., *Otites media* (Litv.) Klovov, *P. major*, *P. aviculare*, *R. lutea*, *S. vulgaris*, *Sisymbrium polymorphum* (Murray) Roth, *T. vulgare*, *T. major*, *T. inodorum*, *Sagina procumbens* L. В этой программе активного мониторинга выделены закономерности выбора признаков фенотипической природы проявления, что во многих случаях является принципиально важным в реализации широкомасштабных программ и получения корректно обоснованных выводов об информативной значимости индикаторов в процедуре фитоэкологических экспертиз.

6. Создание 3–5-ступенчатой дискретной шкалы квантификации для концептуального разграничения экотопов трех–пяти уровней трансформации. Указанный подход реализован в практических работах для следующих видов растений: *A. stolonifera*, *A. retroflexus*, *A. vulgaris*, *A. hortensis*, *Alsine media* L., *B. incana*, *B. inermis*, *B. arvensis*, *Brachythecium mildeanum* (Schimp.) Schimp., *C. epigeios*, *C. bursa-pastoris*, *C. diffusa*, *C. majus*, *C. intybus*, *D. carota*, *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop., *D. muralis*, *Fallopia convolvulus* (L.) Á. Löve, *Melilotus officinalis* (L.) Pall., *Moehringia trinervia* (L.) Clairv., *Nigella arvensis* L., *P. major*, *P. aviculare*, *Plagiomnium affine* (Blandow ex Funck) T. J. Kop., *Pleuridium acuminatum* Lindb., *R. lutea*, *R. crispus*, *Sonchus arvensis* L., *T. major*, *T. inodorum*, *Weissia brachycarpa* (Nees & Hornschuch) Juratzka. Такой пример является, по сути, частным случаем первого принципа из указанного перечня, однако для некоторых признаков слабодискретной природы перевод качественных показателей затруднен в эквивалентную экологическую шкалу вариации, тогда

использование 3, 4 или 5 диапазонов наличия или специализации отдельных анатомо-морфологических признаков являются наиболее оправданы эмпирически.

7. Использование данных о пределах выносливости растительных организмов – функциональный подход с основным критерием антропотолерантности, используется для классических убиквистов или типично стенобионтных видов по сопряженному механизму выделения эдификаторов и ассектаторов в сообществах разной степени сформированности. Эмпирически способ апробирован для видов: *A. nobilis*, *A. artemisiifolia*, *Abietinella abietina* (Hedwig) Fleisch., *A. hortensis*, *A. patula*, *B. inermis*, *Brachythecium salebrosum* (F. Weber & D. Mohr) Bruch et al., *Campyliadelphus chrysophyllus* (Brid.) R. S. Chopra, *C. epigeios*, *C. diffusa*, *C. album*, *C. intybus*, *C. arvense*, *C. officinale*, *D. glomerata*, *D. cespitosa*, *D. sanguinalis*, *E. vulgare*, *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *G. parviflora*, *Galium mollugo* L., *L. tatarica*, *Oberna behen* (L.) Ikonn., *P. major*, *R. lutea*, *Salsola australis* R. Br., *S. vulgaris*, *Sinapis arvensis* L., *Syntrichia ruralis* (Hedw.) F. Weber & Mohr, *T. vulgare*, *T. major*, *T. inodorum*, *Xanthium albinum* (Widd.) H. Scholz. Такой подход наиболее оправдан с позиций фитоценотического анализа, однако почти во всех случаях речь не идет о сформировавшихся растительных сообществах (с учетом сильно трансформации экотопов), поэтому на современном этапе в Донбассе реализован на аутэкологическом уровне.

8. Подход полевой диагностики – это совокупность экспресс-способов квантификации на основании визуально-экспертного анализа в натуральных условиях проведения экспертизы. При всей кажущей простоте реализация такого подхода доказана для сравнительно небольшого количества видов из числа фитоиндикаторов в условиях Донбасса: *C. bursa-pastoris*, *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid., *C. intybus*, *C. arvense*, *E. vulgare*, *P. major*, *R. lutea*, *S. vulgaris*, *T. major*, *T. inodorum*. Виды растений указанной категории индикационного эксперимента часто встречаются и в сопряженных диагностических группах по выделенным отдельным подходам анализируемого перечня, имеют широкую экологическую амплитуду и долгосрочный период использования в мониторинговых программах Центрального Донбасса.

9. Анализ вторичных данных при вариантах формирования статистически сопряженных корреляционных плеяд – учет не прямых фактических индексов, полученных уже как совокупность данных интегральной оценки состояния отдельного экотопа или территориальных характеристик для всего региона. Используются виды-индикаторы: *A. nobilis*, *A. retroflexus*, *A. artemisiifolia*, *A. vulgaris*, *A. hortensis*, *B. incana*, *B. arvensis*, *Bryum argenteum* Hedw., *Bryum torquescens* Bruch & Schimp., *C. epigeios*, *C. bursa-pastoris*, *C. diffusa*, *C. majus*, *C. intybus*, *C. xanthiifolia*, *C. officinale*, *D. carota*, *D. cespitosa*, *D. muralis*, *Euphorbia seguieriana* Neck., *G. parviflora*, *Hypnum cupressiforme* Hedw., *K. laniflora*, *P. lanceolata*, *P. major*, *P. aviculare*, *R. lutea*, *S. vulgaris*, *S. polymorphum*, *T. vulgare*, *Thlaspi arvense* L., *T. major*, *Tortula mucronifolia* Schwaegr., *T. inodorum*. Такой способ количественной оценки на практике характерен в комплексной оценке, что также часто востребовано экологическими службами региона.

10. Способ функционала – подход квантификации в оценке общей жизненности особей конкретного вида без дробного учета факториальных характеристик; на практике организован для случаев временно не установленной причинно-следственной связи такого проявления в состоянии растительных организмов: *A. stolonifera*, *A. artemisiifolia*, *A. vulgaris*, *A. patula*, *B. incana*, *B. inermis*, *B. arvensis*, *Bryum caespitium* Hedw., *C. epigeios*, *C. bursa-pastoris*, *C. album*, *C. intybus*, *C. arvensis*, *C. xanthiifolia*, *C. officinale*, *D. glomerata*, *D. carota*, *D. cespitosa*, *E. vulgare*, *P. major*, *Polygonum patulum* M. Bieb., *R. lutea*, *S. vulgaris*, *T. vulgare*, *T. major*, *T. inodorum*, *Weissia controversa* Hedw. Такая категория экспериментов технически может рассматриваться как вариант экспресс-анализа, однако выделена в отдельную группу диагностического способа, поскольку количественный учет идет по другому признаку – функциональный критерий состояния отдельных особей в дробном геолокалитете.

Выводы

Система цифровизации и количественных диагностик в эколого-ботанических исследованиях имеет свое применение и посредством анализа фитоиндикационных данных, когда совокупность реакций организмов на действие фактора или группы факторов можно ранжировать в соответствии с определенным принципом или способом получения итоговой экспертной информации.

Эмпирика фитоколичественной реализации на сегодня в десяти методологических подходах, каждый из которых существенным образом дополняет представление о ландшафтно-функциональном состоянии мест с различным уровнем антропогенной трансформации. Указанные способы опытной количественной реализации имеют свою специфику и используют опорные виды-индикаторы из числа цветковых и споровых видов растений Донбасса.

Работа выполнена в рамках инициативной научной темы «Функциональная ботаника: экологический мониторинг, ресурсные технологии, фитодизайн» (госрегистрация № 0117D000192) на кафедре ботаники и экологии ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет».

Список литературы

1. Архипов И. А., Любимов Р. В., Трошкова И. А. Состояние компонентов природной среды в зоне воздействия горно-перерабатывающих производств Республики Алтай // География и природные ресурсы. 2021. Т. 42, № 1 (165). С. 49–55. <https://doi.org/10.15372/GIPR20210106>
2. Сафонов А. И. Ботанико-экологические маркеры количественной реализации природных сред в Донбассе // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2020. № 3–4. С. 40–47.
3. Сафонов А. И., Глухов А. З. Эмпирические критерии фитомониторинга техногенной нагрузки в Донбассе // Экобиотех. 2021. Т. 4, № 3. С. 195–202. <https://doi.org/10.31163/2618-964X-2021-4-3-195-202>
4. 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>
5. Ashofteh P. S., Bozorg-Haddad O., Loáiciga H. A. Multi-criteria environmental impact assessment of alternative irrigation networks with an adopted matrix-based method // Water Resources Management. 2017. Vol. 31. P. 903–928. <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1554-9>
6. Bayouli I. T., Bayouli H. T., Dell'Oca A., Meers E., Sun J. Ecological indicators and bioindicator plant species for biomonitoring industrial pollution : Eco-based environmental assessment // Ecological Indicators. 2021. Vol. 125. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107508>
7. Gorodnichaya A., Melchenko A. Environmental monitoring and urban phytodesign in ensuring the radioecological safety of urban buildings // E3S Web of Conferences : 2018 Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics, TPACEE 2018. Moscow : EDP Sciences, 2019. P. 06001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199106001>
8. Gorodnichaya A., Pogorelova V., Glinyanova I. Eco-phytomonitoring in ensuring radiological safety of urban buildings // E3S Web of Conferences : International Scientific Conference «Construction and Architecture», CATPID 2019. Kislovodsk : EDP Sciences, 2019. P. 01022. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913801022>
9. Matytsyna D. A., Tokarev K. E., Protsyuk M. P. Development of an intelligent system for environmental monitoring of atmospheric pollution // Journal of Physics : Conference Series. Volgograd, 2021. P. 012033. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1801/1/012033>
10. Mezheva L. A., Lugovsky A. M., Gorbunov V. S., Sagova Z. M., Sushkova O. Yu. Organizing geographic and environmental monitoring for urban cadastral appraisal // IOP Conference Series : Earth and Environmental Science. Moscow, 2020. P. 012127. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/579/1/012127>

11. Neamtu R., Sluser B., Plavan O., Teodosiu C. Environmental monitoring and impact assessment of Prut River cross-border pollution // Environmental Monitoring and Assessment. 2021. Vol. 193, N 340. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09110-1>
12. 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.
13. Safonov A. I. Phyto-qualimetry of toxic pressure and the degree of ecotopes transformation in Donetsk region // Problems of ecology and nature protection of technogenic region. 2013. N 1 (13). P. 52–59.
14. Safonov A. I. Phytoindicational monitoring in Donetsk // World Ecology Journal. 2016. Vol. 6, N 4. P. 59–71.
15. Safonov A. I. Theratogenesis of indicator plants of industrial Donbass // Diversity of plant world. 2019. N 1 (1). P. 4–16. <https://doi.org/10.22281/2686-9713-2019-1-4-16>
16. Safonov A., Glukhov A. Ecological phytomonitoring in Donbass using geoinformational analysis // Problems of industrial botany of industrially developed regions 2021. BIO Web Conf. 2021. Vol. 31. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213100020>
17. 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>
18. 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>
19. Wu Z., Lei S., Yan Q., Bian Z., Lu O. Landscape ecological network construction controlling surface coal mining effect on landscape ecology: A case study of a mining city in semi-arid steppe // Ecological Indicators. 2021. Vol. 133. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108403>
20. 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>
21. 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>
22. Zhang P., Ye Q., Yu Y. Research on farmers' satisfaction with ecological restoration performance in coal mining areas based on fuzzy comprehensive evaluation // Global Ecology and Conservation. 2021. Vol. 32. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01934>

Safonov A. I. The empirics of phytoquantification of an anthropogenically transformed environment. –

The results of approbation of some methodological approaches to the implementation of possible scenarios for a quantitative assessment of the state of ecotopes of the anthropogenically transformed environment are presented. For the territory of Central Donbass, the functional criteria for complex quantification with the help of indicator plants are the reference in environmental monitoring. The empirical method for establishing the indicative significance of plants is the basis for diagnostic measures for ecological content in the region.

Key words: phytoindication, phytomonitoring, Donbass, diagnostics, anthropogenic ecotopes.

УДК 595.798

© И. Н. Оголь

РАЦИОН ПИТАНИЯ ОС-ПОЛИСТОВ (HYMENOPTERA: VESPIDAE: POLISTES)
ГОРОДА ДОНЕЦКАГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
283050, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: ylyaogol@mail.ru

Оголь И. Н. Рацион питания ос-полистов (Hymenoptera: Vespidae: Polistes) города Донецка. – Изучен рацион питания ос *Polistes dominula*, *Polistes gallicus* и *Polistes nimpha* в г. Донецке. Отмечено использование ими в качестве углеводной пищи нектара, мякоти плодов и раневого сока 87 видов цветковых растений. Белковое питание обеспечивается охотой на насекомых не менее 6 отрядов (предпочтение отдается гусеницам бабочек), очень редко – также сбором останков мертвых животных.

Ключевые слова: общественные осы, углеводное питание, белковое питание, трофические связи.

Введение

Питание общественных ос традиционно разделяется на два вида: углеводное – нектаром цветков, соком плодов и вегетативных органов растений, а также сладкими выделениями равнокрылых хоботных насекомых, и белковое – тканями животных [21]. Для ос рода *Polistes* Latreille, 1802 характерно наличие обоих типов питания в рационе как имаго, так и личинок [3, 5]. При белковом питании эти осы являются энтомофагами, перспективными для использования в биометоды борьбы с листогрызущими вредителями сельскохозяйственных растений [21]. В то же время установлено, что они могут играть и негативную роль в растениеводстве, повреждая плоды в процессе углеводного питания [9, 11]. По этим причинам детальное изучение трофических связей различных видов ос-полистов в каждом конкретном регионе их ареалов весьма актуально.

На территории г. Донецка отмечено обитание трех видов ос-полистов: *Polistes gallicus* (Linnaeus, 1767), *Polistes dominula* (Christ, 1791) и *Polistes nimpha* (Christ, 1791) [4].

Цель настоящей работы – познание их пищевых связей. Для ее достижения были поставлены следующие задачи: 1) для каждого изучаемого вида ос составить списки растений, служащих источниками углеводной пищи, и провести их сравнение для установления видоспецифических особенностей; 2) выявить некоторые объекты охоты ос-полистов в природе; 3) определить некоторые потенциальные объекты охоты всех изучаемых видов в лабораторных условиях; 4) раскрыть и проанализировать количественно естественный спектр добычи модельного вида *P. dominula*, считающегося наиболее перспективным для использования в биометоды [21]; 5) дать оценку потенциальной пользы и вреда ос-полистов для растениеводства в условиях Донбасса.

Результаты данного исследования частично были опубликованы ранее [1, 2, 5], однако к настоящему моменту они в значительной степени уточнены и дополнены. В частности, по сравнению с публикацией [2], список кормовых растений расширен и исправлен.

Материал и методы исследования

В основу работы положен материал, собранный в г. Донецке автором в 2003–2021 гг., а также данные наблюдений А. В. Амолина (начиная с 1999 г.) [личное сообщение].

Сбор материала проводили четырьмя методами:

1. Планомерные наблюдения за питанием ос-полистов в природе в различных биотопах: в кварталах многоэтажной и одноэтажной застройки, на прилежащих к ним пустырях, кладбищах, огородах, полях, залежах, терриконах, в лесных насаждениях и балках с остатками ненарушенной лугово-степной растительности, а также в Донецком ботаническом

саду. При необходимости образцы кормовых растений и добычи собирали для последующего определения.

2. Осмотр принесенной добычи в процессе ее пережевывания осами (что всегда предшествует кормлению личинок) на гнездах *P. gallicus* и *P. nimpha*, размещенных на стеблях растений в природе, а также на гнездах *P. dominula*, изъятых из антропогенных укрытий, в которых они были построены, и перемещенных на лоджию пятого этажа многоквартирного дома с последующим предоставлением свободного доступа наружу для фуражировки.

3. Отлов 27 июня – 18 июля 2021 г. при помощи энтомологического сачка фуражиров *P. dominula*, возвращающихся с добычей на гнезда, естественным образом построенные в пустотах утеплителя той же лоджии и недоступные для непосредственного наблюдения. Оставленные осами в сачке пищевые комки (всего 36 шт.) исследовали безотлагательно, не допуская их высыхания.

4. Ежегодные лабораторные эксперименты с участием изолированных в инсектариях семей, изъятых их природы вместе с гнездами, или групп перезимовавших самок-основательниц ос-полистов. В инсектарии ежедневно помещали живых (активных или обездвиженных) либо умерщвленных личинок и имаго насекомых различной систематической принадлежности, а иногда также небольшие порции некоторых продуктов питания человека животного происхождения и отмечали все случаи питания ими ос-полистов. Также отмечали те потенциальные пищевые объекты, которые они систематически игнорировали. При этом потребность в углеводной пище обеспечивали предоставлением сахарного сиропа *ad libitum*.

На всех этапах исследования производилась фотофиксация при помощи камер Canon PowerShot A540, Canon PowerShot A570 IS и Sony Alpha NEX-3, снабженных макронасадками или макрообъективами оригинальной конструкции.

Для большинства растений определение произведено по «Определителю высших растений Украины» [6], а названия таксонов приведены в соответствии с работой В. М. Остапко и др. [7]. Для каждого выявленного вида кормовых растений отмечали виды питавшихся ос-полистов, тип собираемой ими пищи (нектар цветков, мякоть плодов или раневой сок), среднюю высоту цветущего растения по трехбалльной шкале (< 0,5 м – 1 балл, 0,5–1,5 м – 2 балла, > 1,5 м – 3 балла), статус в местной флоре (культурное, дикорастущее автохтонное или дикорастущее адвентивное), отношение к увлажнению почвы и к освещенности по шкалам Я. П. Дидука [12]. При этом адвентивные и автохтонные для Донбасса виды различали согласно работе В. М. Остапко и др. [7]. Если питание ос происходило на растениях одного вида, принадлежащих к популяциям с разными флорогенетическими статусами (например, и на культурных, и на адвентивных), оба их отмечали в таблице, но для дальнейшего статистического анализа за видом закрепляли только статус той популяции, посещение которой осами отмечали чаще. Поскольку шкалы Дидука являются интервальными, для статистического анализа использована середина интервала для показателя требований к освещенности и нижняя граница интервала для показателя требований к влажности. Последнее обусловлено двумя обстоятельствами: 1) климат г. Донецка сравнительно засушлив, а поскольку большинство выявленных видов при оценке по среднему значению интервала относятся к мезофитам, то следует ожидать, что их условия произрастания в большинстве биотопов города будут смещены в левую часть интервала (в сторону нижнего предела выносливости по фактору увлажнения почвы); 2) ранжирование растений по нижней границе интервала дало последовательность, лучше согласующуюся с нашими наблюдениями относительно мест произрастания этих видов в г. Донецке, чем ранжирование по среднему значению или по верхней границе.

Все вышеназванные характеристики растений, на которых было отмечено питание ос-полистов нектаром цветков, были включены в качестве предикторов в модель канонического анализа соответствий (ССА – canonical correspondence analysis), где зависимой переменной выступил факт наличия или отсутствия наблюдений питания каждого из трех изучаемых

видов ос. При этом учет оценок по экологическим шкалам для культурных растений сочли нецелесообразным, поскольку их популяции поддерживаются человеком, в связи с чем, в непосредственной близости могут произрастать и цвести представители видов с весьма разнообразными требованиями, и при этом быть в равной степени доступными для гнездящихся в окрестностях ос. Поэтому перед включением в модель им были присвоены средние арифметические значения соответствующих показателей для всех включенных в нее дикорастущих видов, что позволило полностью нейтрализовать влияние этих факторов для культурных видов. В то же время для дикорастущих растений их влияние учтено, так виды с разными оценками по данным шкалам в естественных условиях произрастают в разных местах, в связи с чем могут различаться по доступности для того или иного вида ос. Таким образом, для дикорастущих видов модель учитывает четыре предиктора, а для культурных – только два из них: высоту растения и флорогенетический статус. По результатам анализа строили совмещенную ординационную диаграмму, позволяющую визуальную оценить видоспецифические закономерности выбора осами кормовых растений. При этом статистическую значимость модели в целом и вкладов каждого предиктора оценивали путем перестановочных критериев на основе статистики «псевдо-F» (9999 перестановок в каждом случае)[17].

Собранные образцы добычи *P. dominula* рассматривали под стереомикроскопом МБС-1. В случаях, когда детально рассмотреть структуру пищевого комка не удавалось, образец выдерживали 1–2 суток в 10 % водном растворе КОН, промывали дистиллированной водой и помещали в 70 % раствор этанола. По прошествии не менее 3 суток изготавливали временные влажные микропрепараты, которые рассматривали под микроскопом. Затем образцы полностью высушивали на нагревательном столике и заключали в канадский бальзам. По результатам микроскопирования все образцы добычи сортировали по таким признакам как наличие крыльев, сложных глаз, опушение, окраска, степень прозрачности, толщина и жесткость покровов, особенности строения дыхалец, головной капсулы, мандибул и ног на морфологически однородные группы. В качестве допущения для дальнейшего анализа принято, что каждая такая группа соответствует одному биологическому виду, но это не гарантируется, поскольку большая часть образцов содержала лишь фрагменты жертв. Поэтому приведенные в работе данные о количестве выявленных видов добычи в рационе *P. dominula* носят приблизительный, в значительной мере гипотетический, характер и относиться к ним следует с осторожностью. Определение систематической принадлежности жертв производили путем сравнения с собранными в природе эталонными образцами насекомых, а также с фотографиями представителей местной энтомофауны, ранее сделанными автором. При определении гусениц также пользовались Интернет-ресурсом Lepiforum [15], который содержит фотоснимки личинок большинства европейских видов бабочек. Проверку гипотезы о равных долях каждого вида добычи в рационе *P. dominula* производили при помощи точного мультиномального критерия по алгоритму Ресина [20]. Для доли в нем представителей отряда, наиболее предпочитаемого осами, был построен 95 % точный доверительный интервал Блэйка для параметра биномиального распределения по алгоритму Клашки [13].

Статистический анализ и построение диаграмм проведены в программной среде R с использованием пакетов расширений *vegan* 2.3-1, *ExactMultinom* 0.1.2, *BlakerCI* 1.0-6, *eulerr* 4.1.0. Для улучшения эстетических качеств диаграммы затем доработаны в редакторе векторной графики *Inscaper* 0.92.

Результаты и обсуждение

Источники углеводной пищи. Установлены пищевые связи 3 видов ос-полистов с 87 видами цветковых растений из 75 родов, 33 семейств и двух классов (табл. 1). На подавляющем большинстве из них (77 видах из 66 родов и 30 семейств) осы питались нектаром цветков (рис. 1, А–О), как правило, отдавая предпочтение видам с неглубокими венчиками, позволяющими брать нектар коротким язычком.

Кормовые растения ос-полистов г. Донецка

Кормовые растения		Виды кормящихся ос-полистов		
Систематическая принадлежность	Статус*	<i>P. dominula</i>	<i>P. gallicus</i>	<i>P. nimpha</i>
Питание нектаром цветков				
Сем. Ranunculaceae <i>Nigella arvensis</i> L. <i>Ficaria verna</i> Huds.	адв. авт.	 +	 +	 +
Сем. Caryophyllaceae <i>Alsine media</i> L. <i>Gypsophila paniculata</i> L. <i>Saponaria officinalis</i> L.	авт. авт. адв.	 + + +	 + +	
Сем. Polygonaceae <i>Polygonum aviculare</i> L.	авт.		+	
Сем. Plumbaginaceae <i>Limonium platyphyllum</i> Lincz.	авт.	+	+	+
Сем. Salicaceae <i>Salix acutifolia</i> Willd. <i>Salix babylonica</i> L. <i>Salix caprea</i> L. <i>Salix fragilis</i> L. <i>Salix</i> sp.	к. к. к. адв. к.	 + + + + +	 + + + + +	 + + +
Сем. Violaceae <i>Viola odorata</i> L.	к.	+		
Сем. Brassicaceae <i>Alliaria petiolata</i> (M. Bieb) Cavara et Grande <i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik. <i>Sinapis arvensis</i> L.	авт. авт. адв.	 + +	 +	
Сем. Resedaceae <i>Reseda lutea</i> L.	адв.	+	+	
Сем. Tiliaceae <i>Tilia cordata</i> Mill.	к.	+		+
Сем. Euphorbiaceae <i>Euphorbia marginata</i> Pursh <i>Euphorbia stepposa</i> Zoz ex Prokh. <i>Euphorbia virgata</i> Waldst. & Kit.	к. авт. авт.	 + + +	 + + +	 +
Сем. Crassulaceae <i>Hylotelephium spectabile</i> (Boreau) H. Ohba	к.	+	+	
Сем. Grossulariaceae <i>Grossularia reclinata</i> (L.) Mill.	к.	+		
Сем. Rosaceae <i>Amygdalus nana</i> L. <i>Padus avium</i> Mill. <i>Crataegus monogyna</i> Jacq. <i>Prunus cerasifera</i> Ehrh. <i>Rubus idaeus</i> L.	авт. к. к. к. к.	 + + +	 +	 +
Сем. Fabaceae <i>Melilotus albus</i> Medik.	авт.	+	+	
Сем. Hippocastanaceae <i>Aesculus parviflora</i> Walter	к.	+		

Кормовые растения		Виды кормящихся ос-полистов		
Систематическая принадлежность	Статус*	<i>P. dominula</i>	<i>P. gallicus</i>	<i>P. nimpha</i>
Сем. Aceraceae				
<i>Acer platanoides</i> L.	к.	+		+
<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	к.	+		
<i>Acer tataricum</i> L.	авт.	+	+	+
Сем. Celastraceae				
<i>Euonymus europaeus</i> L.	авт.	+		
Сем. Caprifoliaceae				
<i>Symphoricarpos albus</i> (L.) S. F. Blake	к., адв.	+		
Сем. Apiaceae				
<i>Chaerophyllum bulbosum</i> L.	авт.		+	
<i>Conium maculatum</i> L.	авт.	+		
<i>Daucus carota</i> L.	адв.	+	+	
<i>Eryngium campestre</i> L.	авт.	+	+	+
<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.	к.	+	+	
<i>Falcaria vulgaris</i> Bernh	авт.	+	+	+
<i>Heracleum sibiricum</i> L.	авт.	+	+	+
<i>Peucedanum ruthenicum</i> M. Bieb.	авт.	+	+	+
<i>Seseli libanotis</i> (L.) W. D. J. Koch	авт.	+	+	+
<i>Seseli arenarium</i> M. Bieb.	авт.	+	+	+
<i>Xanthoselinum lubimenkoanum</i> (Kotov)	авт.	+	+	+
Fedoronczuk				
<i>Sium sisarum</i> L.	авт.	+	+	+
Сем. Araliaceae				
<i>Hedera helix</i> L.	к.	+	+	+
Сем. Asteraceae				
<i>Arctium lappa</i> L.	авт.	+		
<i>Carduus acanthoides</i> L.	адв.	+	+	
<i>Centaurea diffusa</i> Lam.	адв.		+	
<i>Cirsium setosum</i> (Willd.) Besser	авт.	+	+	
<i>Cirsium ukranicum</i> Besser	авт.	+	+	+
<i>Galatella dracunculoides</i> (Lam.) Ness.	авт.	+	+	+
<i>Rudbeckia triloba</i> L.	к.	+		
<i>Senecio macrophyllus</i> M. Bieb.	авт.	+		
<i>Solidago canadensis</i> L.	адв., к.	+	+	+
<i>Symphyotrichum novi-belgii</i> (L.) G. L. Nesom	к.	+	+	
<i>Tanacetum vulgare</i> L.	авт.		+	
<i>Taraxacum officinale</i> Wigg.	авт.	+		
<i>Tussilago farfara</i> L.	авт.			+
Сем. Vitaceae				
<i>Ampelopsis aconitifolia</i> Bunge	к.	+		+
Сем. Rubiaceae				
<i>Galium humifusum</i> M. Bieb.	авт.	+		
<i>Galium articulatum</i> Lam.	авт.			+
Сем. Apocynaceae				
<i>Cynanchum acutum</i> L.	авт.	+	+	
<i>Vinca minor</i> L.	к.	+		
Сем. Cuscutaceae				
<i>Cuscuta campestris</i> Yunck.	адв.	+	+	
<i>Cuscuta cesatiana</i> Bertol.	адв.		+	

Кормовые растения		Виды кормящихся ос-полистов		
Систематическая принадлежность	Статус*	<i>P. dominula</i>	<i>P. gallicus</i>	<i>P. nimpha</i>
Сем. Veronicaceae <i>Linaria vulgaris</i> L.	авт.	+	+	
Сем. Bignoniaceae <i>Campsis radicans</i> (L.) Seem.	к.	+		+
Сем. Lamiaceae <i>Lamium purpureum</i> L. <i>Mentha piperita</i> L. <i>Satureja montana</i> L. <i>Teucrium polium</i> L.	адв. к. к. авт.	+	+	
Сем. Verbenaceae <i>Vitex cannabifolia</i> Siebold et Zucc.	к.	+		
Сем. Alliaceae <i>Allium ramosum</i> L. <i>Allium sphaerocephalon</i> L.	к. авт.	+	+	
Питание сочной мякотью зрелых плодов				
Сем. Rosaceae <i>Armeniaca vulgaris</i> Lam. <i>Cerasus vulgaris</i> Mill. <i>Malus domestica</i> Borkh. <i>Prunus domestica</i> L. <i>Prunus cerasifera</i> Ehrh. <i>Pyrus communis</i> L.	к., адв. к. к. к. к., адв. к.	+	+	+
Сем. Cucurbitaceae <i>Citrullus lanatus</i> (Thunb.) Matsum. et Nakai <i>Melo sativus</i> Sageret ex M. Roem.	к. к.	+		
Питание раневым соком вегетативных и генеративных органов				
Сем. Ulmaceae <i>Ulmus</i> sp.	к.	+		
Сем. Malvaceae <i>Lavatera thuringiaca</i> L.	авт.			+
Сем. Aceraceae <i>Acer tataricum</i> L.	авт.	+		
Сем. Asteraceae <i>Cirsium ukranicum</i> Besser <i>Sonchus arvensis</i> L.	авт. авт.	+	+	+

Примечания:

1. * – флорогенетический статус растения: авт. – дикорастущее автохтонное, адв. – дикорастущее адвентивное, к. – культурное;

2. перечисление нескольких статусов для одного вида растения идет в порядке снижения количества отмеченных случаев питания.

Из цветков с длинной трубкой венчика (*Saponaria officinalis*, *Carduus acanthoides*, *Cirsium ukranicum*, *Arctium lappa*) осы-полисты добывали нектар, прогрызая ее стенку сбоку около основания (рис. 1, Л). В стенках менее длинных трубок венчиков *Cirsium setosum* они делали продольные погрызы спереди между лепестками (рис. 1, М). Питаясь нектаром *Linaria vulgaris*, осы пользовались готовыми отверстиями в шпорцах венчиков, оставленных, вероятно, шмелями. На цветках *Campsis radicans* самки *P. dominula* целиком залазили внутрь трубки венчика за нектаром. Также на данном растении отмечено питание обоих полов *P. dominula* и самцов *P. nimpha* выделениями экстрафлоральных нектарников,

расположенных на внешней стороне чашелистиков. Цветки и соцветия выявленных кормовых растений весьма разнообразны по размерам, форме и окраске, но в большинстве своем имеют сильный приятный аромат, из чего можно сделать вывод о вероятном преобладании ольфакторных стимулов над визуальными при поиске источников углеводной пищи изучаемыми видами ос.

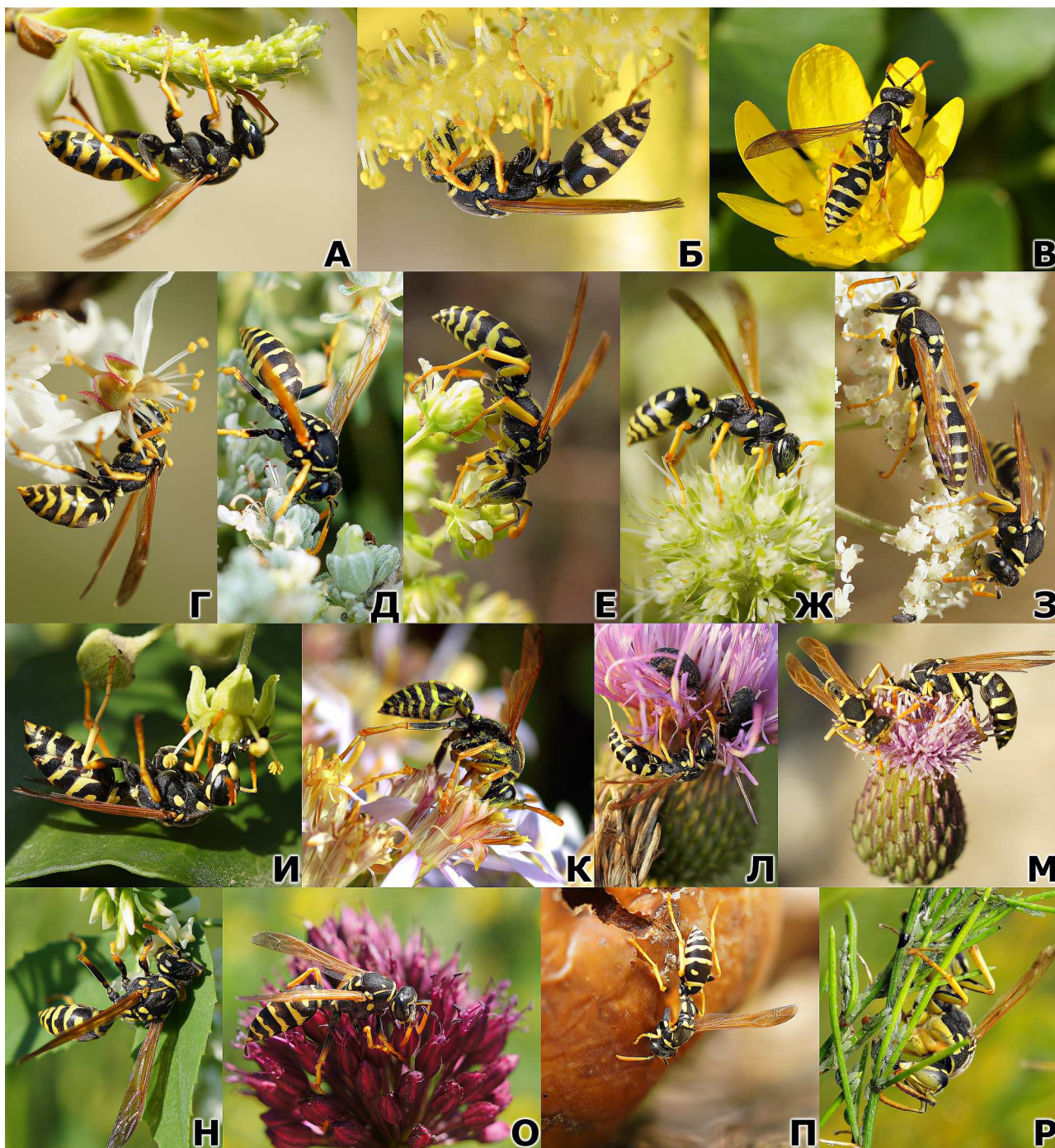


Рис. 1. Углеводное питание ос-полистов в природе:

А – самка *P. dominula* на *Salix fragilis*; Б – самка *P. gallicus* на *Salix babylonica*; В – самка *P. gallicus* на *Ficaria verna*; Г – самка *P. dominula* на *Prunus cerasifera*; Д – самец *P. dominula* на *Teucrium polium*; Е – самец *P. gallicus* на *Reseda lutea*; Ж – самка *P. gallicus* на *Eryngium campestre*; З – самцы *P. gallicus* на *Seseli arenarium*; И – самка *P. dominula* на *Hedera helix*; К – самец *P. nimpha* на *Galatella dracunculoides*; Л – самка *P. gallicus* на *Cirsium ukranicum*; М – самцы *P. gallicus* на *Cirsium setosum*; Н – самка *P. dominula* на *Melilotus albus*; О – самка *P. dominula* на *Allium sphaerocephalon*; П – самка *P. gallicus* на упавшем гниющем плоде *Malus domestica*; Р – самец *P. nimpha* слизывает падь тлей, питающихся соком *Asparagus officinalis*

Наибольшее количество видов кормовых нектароносных растений (66) отмечено в рационе *P. dominula*, наименьшее (28) – в рационе *P. nimpha*, промежуточное положение по данному показателю занимает *P. gallicus* (47 видов) (рис. 2, А). При этом на цветках 20 видов растений наблюдали питание всех трех изучаемых видов ос, на цветках 19 видов – только *P. dominula* и *P. gallicus*, на цветках 5 видов – только *P. dominula* и *P. nimpha*. Нектар 22, 8 и 3 видов отмечен исключительно в рационах *P. dominula*, *P. gallicus* и *P. nimpha* соответственно.

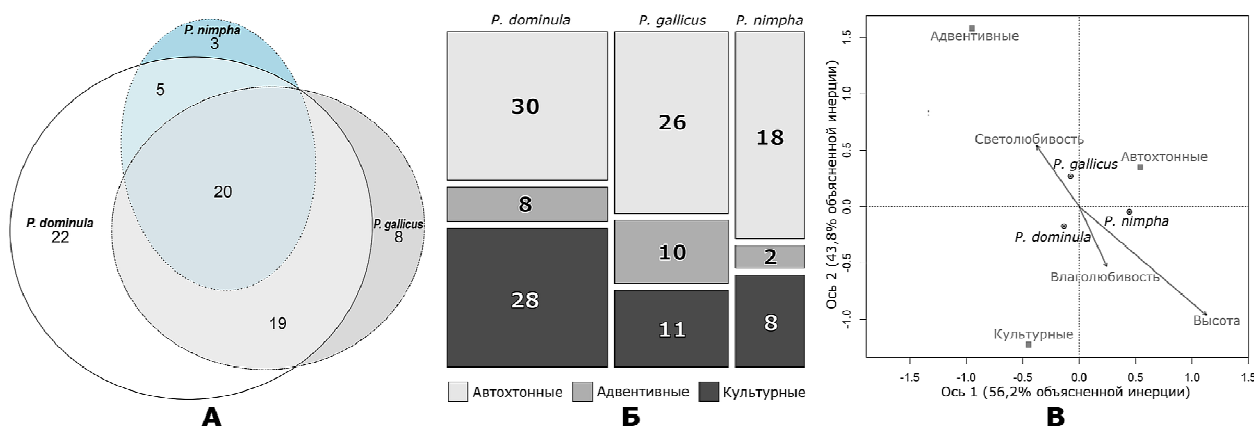


Рис. 2. Сравнение видовых спектров растений, на которых отмечено питание ос-полистов нектаром цветков:

А – диаграмма Эйлера, отображающая отношения между рационами трех видов ос-полистов;
Б – соотношение количеств видов растений с разными флорогенетическими статусами в рационах ос-полистов;
В – совмещенная ординационная диаграмма ССА, показывающая связь видоспецифических предпочтений ос-полистов в отношении кормовых растений с их флорогенетическим статусом, высотой побегов и оценками по экологическим шкалам Дидуа

Соотношение количества видов растений с разными флорогенетическими статусами в рационах изучаемых видов ос различалось, но всегда преобладали автохтонные дикорастущие растения (рис. 2, Б). Доля культурных видов в спектре кормовых растений *P. dominula* была почти столь же велика, но у двух других видов – более чем в два раза меньше. Число адвентивных видов во всех случаях было наименьшим, но у *P. gallicus* оно больше, чем у двух других видов ос. Перечисленные закономерности также обнаруживаются на ординационной диаграмме ССА (рис. 2, В). Помимо этого она демонстрирует большую приуроченность *P. gallicus*, по сравнению с остальными видами, к низкорослым, светолюбивым и засухоустойчивым растениям. Модель ССА показала высокую статистическую значимость ($p < 0,002$). 15,7 % общей вариации (инерции) видового состава питающихся нектаром ос-полистов может быть объяснено совокупным действием включенных в анализ предикторов. Как статистически значимые по результатам тестов «типа III» [17] оценены вклады лишь двух из них: флорогенетического статуса растения ($p < 0,001$) и его средней высоты ($p < 0,01$). Достигнутые уровни значимости для двух других предикторов – оценок по экологическим шкалам – превышали 0,5, следовательно, их влияние не доказано. Однако следует отметить, что это может быть лишь следствием исключения из модели эффектов данных переменных для культурных растений, вследствие чего в оценке их влияния фактически была задействована лишь часть видов (автохтонные и адвентивные), в то время как предикторы, показавшие значимые эффекты, были оценены по всему набору растений. Для проверки этого предположения была построена вторая модель ССА с предварительным исключением всех культурных видов. Она не показала статистически значимого эффекта ни для одного предиктора, кроме флорогенетического статуса (с двумя оставшимися категориями: автохтонный и адвентивный). Таким образом, по результатам настоящего исследования нельзя сделать однозначный вывод о том, что

отношения растения к увлажнению почвы и к освещенности имеют меньшее влияние на видовой состав кормящихся нектаром ос-полистов, чем высота растения, а лишь следует заключить, что данных для оценки статистической значимости их эффектов оказалось недостаточно.

Межвидовые различия в спектрах кормовых растений изучаемых видов ос большей частью объясняются различиями в ландшафтно-биотопических распределениях их гнездовых и фуражировочных участков [4]. Так, в г. Донецке *P. gallicus* строго приурочен к ландшафтам с травянистой растительностью, в частности, к степным и остепненным участкам, с чем согласуется преобладание в его рационе нектара автохтонных и адвентивных дикорастущих травянистых растений. Кроме того, он нередко гнездится в ксеротермальных антропогенных биотопах, таких как выведенные их эксплуатации терриконы, что может объяснить большую долю в рационе ксерофитов. Например, посещение соцветий *Centaurea diffusa* отмечено только для *P. gallicus*, гнездившихся на терриконе шахты № 19, и, вероятно, связано с дефицитом на нем иных нектароносов. В более богатых ими биотопах осы-полисты игнорировали нектар данного растения, даже если строили гнезда на его побегах. *P. dominula* гнездится преимущественно в урболандшафте, в связи с чем, чаще других видов посещает цветки культивируемых растений, как травянистых, так и древесных. Осы этого вида также часто питаются нектаром степных растений вдали от собственных гнезд, вторгаясь на фуражировочную территорию *P. gallicus*, иногда даже оттесняя последних от наиболее привлекательных соцветий. В результате спектр растений, с цветков которых *P. dominula* брали нектар, оказался наиболее широким среди всех весоподобных ос Донецка [2]. *P. nimpha* гнездится как в природном, так и в антропогенном ландшафте, но относительно малочисленен, что обуславливает меньшее, чем у других представителей рода, количество отмеченных видов растений в рационе. При гнездовании в балках и на залежных землях этот вид сильнее привязан к источникам воды (родникам и ручьям), чем *P. gallicus*, а в ксеротермальных биотопах его гнезда не найдены, что объясняет меньшую долю ксерофитов в спектре кормовых растений.

Другим важным источником углеводной пищи для *P. dominula* является сочная мякоть плодов культурных растений (8 видов из 7 родов и 2 семейств). Особенно часто кормящихся ос наблюдали на упавших грушах, начавших бродить. На одном плоде собиралось до 20 особей, большей частью – молодых репродуктивных самок. Изредка совместно с *P. dominula* мякотью груш питались единичные особи *P. nimpha*. Нередко также отмечали питание *P. dominula* плодами вишни, сливы, алычи и абрикоса, все еще висющими на деревьях, что свидетельствует о потенциальном вреде данного вида ос для садоводства в исследуемом регионе. Для *P. gallicus* этот источник пищи, в целом, не характерен. Лишь в августе 2021 г. отмечены единичные случаи питания самок данного вида гниющими яблоками, упавшими в родник, служивший обычным местом водопоя ос (рис. 1, П). Очевидно, плоды были найдены насекомыми случайно при сборе воды. Таким образом, *P. gallicus* вызывает наименьшие опасения в плане возможности причинения вреда плодовым культурам. Не отмечено случаев повреждения осами-полистами плодов овощных культур в г. Донецке, в отличие от США, где инвазивный *P. dominula* массово повреждает плоды томатов, нанося значительный урон сельскому хозяйству [11]. Это может быть обусловлено большей доступностью на исследуемой территории более предпочтительных источников углеводной пищи (подходящих для сбора нектара цветков, сладких фруктов).

Для всех изучаемых видов ос отмечено питание раневым соком вегетативных и генеративных органов травянистых и древесных растений (5 видов из 4 родов и 4 семейств). При этом причиной повреждений служили либо абиотические факторы (ветер, налипание снега на деревья), либо погрызы других насекомых, в частности *Vespa crabro* Linnaeus, 1758 и *Tettigonia viridissima* (Linnaeus, 1758). Кроме непосредственных пищевых связей ос-полистов с цветковыми растениями, нами отмечены также опосредованные связи – питание сладкими выделениями равнокрылых хоботных насекомых, потребляющих сок растений. В частности для *P. dominula* и *P. nimpha*, обитающих в селитебной зоне г. Донецка, характерно

слизывание пади тлей с поверхности листьев абрикоса весной и с листьев груши и клена остролистного – осенью. Для гнездящихся в балках *P. gallicus* и *P. nimpha* падь тлей, живущих на карагане кустарниковой (*Caragana frutex* (L.) K. Koch) и спарже лекарственной (*Asparagus officinalis* L.) (рис 1, Р), становится основным источником углеводной пищи осенью в отдельные годы, при этом на зараженных растениях наблюдается большая концентрация кормящихся ос.

Источники белковой пищи. Путем наблюдения за охотой *P. dominula* в природе выявлены 4 вида добычи: гусеницы пяденицы *Operophtera brumata* (Linnaeus, 1758) (рис. 3, А), личинки клопа *Pyrrhocoris apterus* (Linnaeus, 1758), имаго мух-жужжал *Bombylius major* Linnaeus, 1758 и *Villa* sp. (рис. 3, Б). Также отмечена охота на гусениц неустановленного вида бабочек семейства Tortricidae, находящихся в свернутых листьях *Acer tataricum*. А. В. Амолин [личное сообщение] на приусадебном участке в г. Донецке наблюдал систематическую охоту этого вида ос на гусениц *Aglais io* (Linnaeus, 1758) и личинок пилильщика *Pristiphora appendiculata* (Hartig, 1837) – важного вредителя крыжовника и смородины. Для *P. gallicus* отмечен случай извлечения гусеницы *Eucosma* sp. из хода в сердцевине стебля *Carduus acanthoides*, а также случай извлечения неопределенной гусеницы из пространства между цветковыми чешуями зрелого колоса *Elytrigia intermedia* (Host) Nevski. У обоих названных видов ос поиск добычи обычно занимал намного больше времени, чем атака и разделка жертвы. Нередко он продолжался более часа, из-за чего наблюдать охоту в природе очень трудно, что согласуется с литературными данными [8].

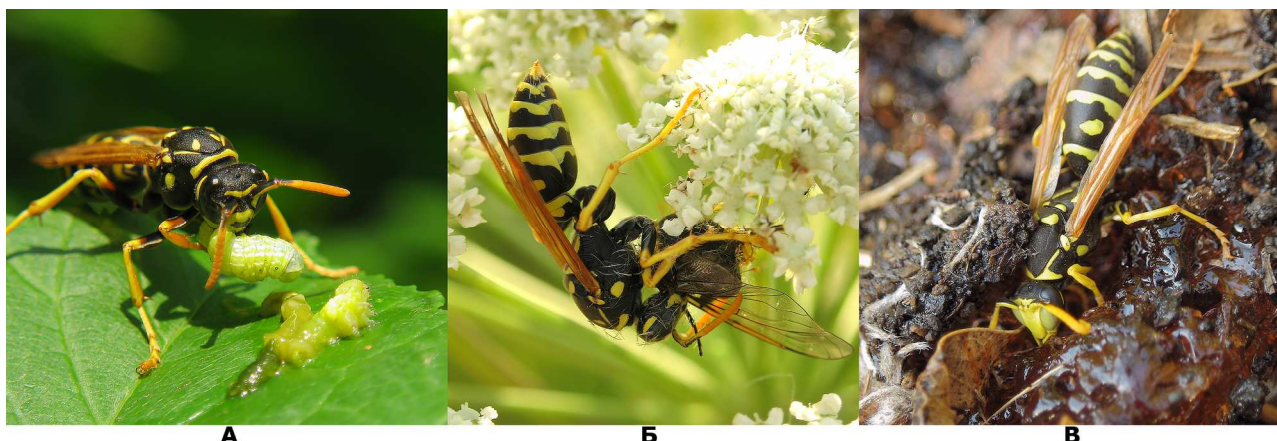


Рис. 3. Белковое питание ос-полистов в природе:

А – самка *P. dominula* раздвигает убитую ею гусеницу *Operophtera brumata*;

Б – самка *P. dominula* пережевывает пойманную ею муху *Villa* sp.;

В – самец *P. gallicus* пьет жидкость, вытекающую из тела улитки *Helix albescens*, раздавленной человеком

Питание падалью не считается характерным для ос рода *Polistes*, в отличие, например, от представителей рода *Vespula*, в рационе которых она занимает важное место [21]. Однако автором отмечен один случай слизывания самцом *P. gallicus* жидкости, вытекающей из тела улитки *Helix albescens* Rossmässler, 1839, раздавленной ногой человека (рис. 3, В). Улитка находилась рядом с родником, из которого самец осы перед этим пил воду. Таким образом, как и в случае питания самок данного вида мякотью яблок, очевидно, имеет место случайная находка источника пищи во время водопоя.

По данным визуальных наблюдений за гнездами *P. dominula* в составе добычи, доставляемой фуражирами, присутствовали мягкотелые личинки (вероятно, гусеницы бабочек или ложногусеницы пилильщиков), а также мухи, в том числе, судя по жилкованию крыла, полностью сохранившегося в одном пищевом комке, – семейства Tachinidae. Кроме того, отмечен случай, когда одна рабочая оса в течение часа многократно приносила комки однородной массы малинового цвета, не похожей на фрагменты тела насекомого и, вероятно, являющейся падалью или продуктом питания человека животного происхождения.

В условиях инсектария осы-полисты утилизировали разнообразных насекомых, но представителей большинства предложенных таксонов – только в полностью или частично обездвиженном либо мертвом виде (табл. 2).

Таблица 2

Насекомые, утилизируемые осами-полистами в условиях инсектария

Добыча		Хищники		
Систематическая принадлежность	Фаза	<i>P. dominula</i>	<i>P. gallicus</i>	<i>P. nimpha</i>
Отр. Lepidoptera				
<i>Ypsolopha chazariella</i> (Mann, 1866)	личинка	+	+	+
<i>Pyralis farinalis</i> (Linnaeus, 1758)	личинка	+	+	+
	имаго	±	±	±
<i>Tortrix viridana</i> Linnaeus, 1758	личинка	+	+	+
	имаго	±	±	±
<i>Tortricodes alternella</i> (Denis & Schiffermüller, 1775)	личинка	–	–	–
	имаго	±	±	±
<i>Archips rosana</i> (Linnaeus, 1758)	личинка	+	+	+
	имаго	±	±	±
<i>Archips xylosteana</i> (Linnaeus, 1758)	личинка	+	+	+
	имаго	±	±	±
<i>Pandemis</i> sp.	личинка	+	+	+
<i>Notodonta</i> sp.	личинка	+		
Noctuidae gen. spp.	личинка	+	+	+
	имаго	±	±	±
Geometridae gen. spp.	личинка	+	+	+
	имаго	±	±	±
Lycaenidae gen. sp.	личинка	+		
<i>Colias</i> sp.	имаго	–	–	–
<i>Argynnis pandora</i> (Denis & Schiffermüller, 1775)	имаго	–	–	–
<i>Polygonia c-album</i> (Linnaeus, 1758)	личинка	+		
Отр. Coleoptera				
<i>Protaetia speciosissima</i> (Scopoli, 1786)	личинка	–		
Отр. Hymenoptera				
<i>Latibulus argiolus</i> (Rossi, 1790)	куколка	±		
<i>Sceliphron curvatum</i> (F. Smith, 1870)	куколка	±		
Отр. Diptera				
<i>Calliphora</i> sp.	личинка	–	–	–
	имаго	±	±	±
<i>Lucilia</i> sp.	имаго	±	±	±
<i>Pollenia</i> sp.	имаго	±	±	±
<i>Fannia canicularis</i> (Linnaeus, 1761)	имаго	±	±	±
<i>Culex pipiens</i> Linnaeus, 1758	имаго	±	±	±
Отр. Orthoptera				
<i>Chorthippus</i> sp.	имаго	–	±	

Примечание. «+» – охота на полностью подвижных насекомых; «±» – питание только полностью или частично обездвиженными либо умерщвленными имаго или же вынутыми из коконов куколками; «–» – питание не отмечено; пустые ячейки – осам данного вида не предлагали данный вид добычи.

Исключение составили гусеницы бабочек, большинство из которых осы легко и особенно охотно добывали в полностью активном состоянии, если те превышали их по длине тела не более чем в 1,5 раза. Отмечено, что самки *P. dominula* способны добраться до гусениц листоверток (Tortricidae), находящихся в трубках из свернутых листьев, только посредством прогрызания стенок укрытия, что занимало продолжительное время (десяtkи минут), нередко попытки заканчивались неудачей. В случае наличия в инсектарии альтернативных легкодоступных кормовых объектов осы обычно быстро переключались на них, оставляя гусениц листоверток в укрытиях нетронутыми.

Таким образом, возможности утилизации осами-полистами представителей этого семейства бабочек, являющихся важными вредителями садовых культур, сильно ограничены. Из общего ряда листоверток выбивается *Tortricodes alternella*, гусениц которой все три вида ос-полистов игнорировали. Еще одной неожиданностью стало полное отсутствия интереса ос-полистов к имаго дневных бабочек семейств Pieridae и Nymphalidae, в то время как ночные бабочки различных семейств охотно поедались. Вероятно, запах дневных бабочек непривлекателен для ос, что может являться адаптацией, защищающих их от хищников, реагирующих на ольфакторные стимулы.

Помимо свежеумерщвленных насекомых *P. dominula* и *P. gallicus* иногда поедали их трупы суточной давности, хотя и менее охотно. *P. dominula* также брали сушеных имаго бабочек-совок после их предварительного размачивания в течение часа. Кроме того, в лабораторных экспериментах отмечено успешное использование в качестве белкового корма для *P. dominula* кусочков свежемороженого мяса бычка *Neogobius fluviatilis* (Pallas, 1814) из пресного водоема и несоленого куриного фарша.

Таким образом, наблюдения за гнездами и опыт кормления в неволе свидетельствуют о потенциальной возможности поедания трупов позвоночных осами-полистами в естественных условиях. Следует, однако, отметить, что непосредственно случаи питания падалью осами рода *Polistes*, в отличие от ос рода *Vespula*, автором не наблюдались, из чего можно сделать вывод о незначительной роли этого источника пищи в их рационе.

Количественные данные о естественном спектре добычи *P. dominula* удалось получить микроскопированием отнятых у фуражиров пищевых комков. По его результатам установлено, что спектр добычи исследуемой группы осиных семей в период с 27 июня по 18 июля 2021 г. включал не менее 11 видов насекомых, принадлежащих не менее чем к 4 отрядам (рис. 4). Как по количеству видов (6), так и по количеству случаев (28 из 36) преобладали гусеницы бабочек. Доля отряда Lepidoptera в рационе оценена методом Блэйка как лежащая с 95 % вероятностью в пределах от 61,4 до 89,4 %. Большинство видов гусениц (4) были определены как представители семейства совок (Noctuidae). Объем данного семейства, в настоящее время носящий дискуссионный характер, здесь принимается в наиболее широкой трактовке [14]. Особенно выделяется количественное доминирование одного вида, отмеченного в 20 образцах добычи, предположительно определенного как *Nycteola* sp. Для гусениц бабочек данного рода характерно групповое проживание в рыхлых паутинных гнездах на верхушках ветвей деревьев, что, по-видимому, делает их достаточно легкой добычей для ос-полистов. Фуражиры этих ос могут многократно возвращаться на места успешной охоты, что делает особенно уязвимыми для них компактные малоподвижные группы жертв. Последовательная утилизация всех гусениц в группе облегчает и ускоряет фуражировку, так как при этом длительный поиск ведется только для первой жертвы, все последующие находятся фуражиром быстро в окрестностях запомненного им места находки первой. Второй по численности вид гусениц совок в рационе, найденный в 3 образцах добычи (рис. 5, А), очевидно, был собран осами с травянистой растительности, так как в подошве брюшной ноги одной из гусениц был зажат фрагмент листа злака. Следовательно, в условиях кварталов жилой девятиэтажной застройки *P. dominula* охотится во всех ярусах растительного покрова: от низких трав до верхушек деревьев.

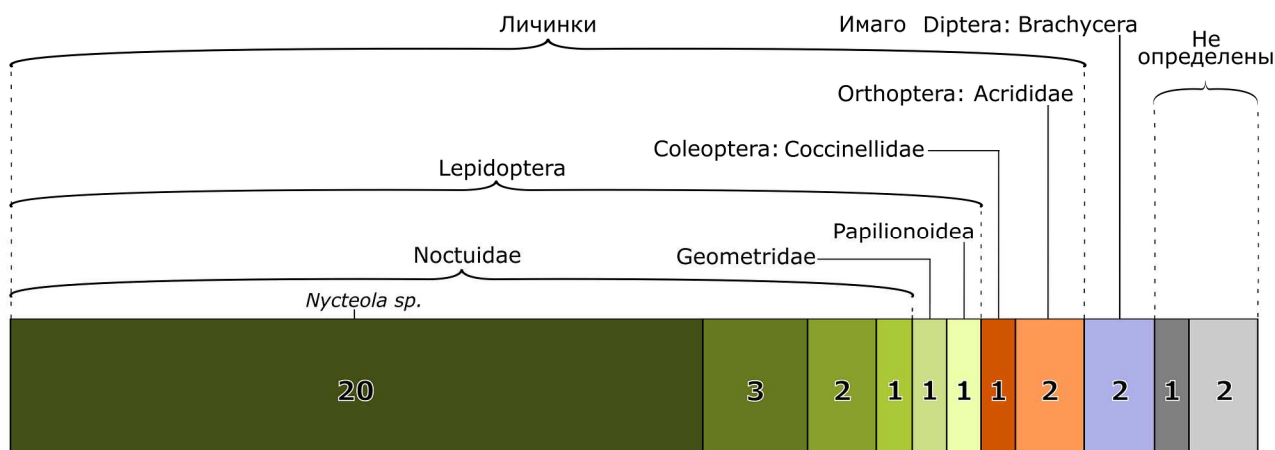


Рис. 4. Спектр добычи ос *P. dominula* в селитебной зоне г. Донецка 27 июня – 18 июля 2021 г. по результатам анализа 36 пищевых комков (цветами показаны разные виды жертв)



Рис. 5. Некоторые образцы пищевых комков, доставляемых фуражирами *P. dominula* на гнезда: А – гусеница Noctuidae gen. sp.; Б – личинка Coccinellidae gen. sp.; В – имаго мухи (Diptera: Brachycera)

Известна способность *P. dominula* к эффективной утилизации токсичных гусениц [10, 19]. В этой связи не вызывает удивления обнаружение в его рационе личинки божьей коровки (рис. 5, Б), несмотря на то, что виды данного семейства жуков с апосематической окраской имеют химическую защиту против энтомофагов в виде содержащихся в гемолимфе алкалоидов [18]. Поскольку божьи коровки являются эффективными хищниками тлей, в этом случае роль ос-полистов в защите растений отрицательна. Но следует отметить относительную редкость данного вида добычи, несмотря на его широкую доступность, поэтому урон от нечастых случаев уничтожения божьих коровок незначителен в сравнении с пользой, приносимой утилизацией основных жертв – листогрызущих фитофагов. Наличие в образцах добычи двух имаго мух (рис. 5, В) показывает, что в естественных условиях *P. dominula* способны эффективно охотиться даже на осторожных летающих насекомых, а не только на малоподвижных личинок.

Гипотеза о равных долях всех видов жертв в рационе *P. dominula* уверенно отклоняется (точный мультиномиальный критерий, $p < 0,0001$). Однако после удаления из выборки всех образцов *Nycteola* sp., эта гипотеза уже не может быть отклонена для оставшихся видов ($p = 0,99$). Таким образом, нет оснований считать, что осы отдавали предпочтение какому-либо виду добычи, за исключением *Nycteola* sp. Данное явление можно объяснить следующей моделью поведения: когда богатые и легкодоступные скопления гусениц *Nycteola* sp. были обнаружены осами, произошло переключения большинства фуражиров на этот вид жертв, как было показано для *P. dominula* на примере с личинками жука *Cassida rubiginosa* O. F. Müller, 1776 в качестве добычи [22]. Такой тип поведенческой реакции на изменение

плотности популяций жертв считается характерным для общественных ос вообще [21], и может приводить к сильному сокращению популяции приоритетного вида добычи [22]. Поэтому при использовании ос-полистов для борьбы с фитофагами следует ожидать наиболее активной утилизации самых массовых видов, а также видов, ведущих групповой образ жизни. Прочие же виды, обнаруженные в спектре добычи *P. dominula*, вероятно, вели одиночный образ жизни, поэтому охота на каждую их особь являлась следствием длительного поиска, не специализированного на каком-либо конкретном виде. В результате доля каждого из этих видов оказалась многократно меньшей. Вместе с тем, совокупная их доля составила почти половину рациона, что сделало его более разнообразным и позволило избежать полной зависимости от одного приоритетного вида жертв. Таким образом, на исследуемой территории *P. dominula* в качестве энтомофага показал себя как генералист широкого профиля со способностью к временной частичной специализации на наиболее удобных видах добычи, что согласуется с литературными данными [16, 22].

Выводы

В качестве источников углеводной пищи осы-полисты г. Донецка используют не менее 87 видов цветковых растений из 75 родов, 33 семейств и двух классов. На подавляющем большинстве из них осы питаются нектаром цветков, при этом, как правило, отдавая предпочтения видам с легкодоступными нектарниками. Для цветков с труднодоступными нектарниками осы-полисты оперируют венчики либо используют готовые отверстия, оставленные другими насекомыми.

Спектры растений, с которых каждый вид ос-полистов берет нектар, различаются по соотношению видов с разными флорогенетическими статусами и видов с разной высотой побегов. Эти различия большей частью объясняются различиями в ландшафтно-биотопических распределениях их гнездовых и фуражировочных участков. *P. gallicus* на исследуемой территории строго приурочен к открытым ландшафтам с травянистым растительным покровом, вследствие чего в его рационе более, чем у прочих изучаемых видов ос-полистов, выражено преобладание низкорослых автохтонных и адвентивных дикорастущих трав и мало культурных растений. *P. dominula* благодаря своей синантропности, имеет в рационе наибольшую долю культурных растений разнообразных жизненных форм: трав, кустарников, деревьев. Но также он нередко питается вдали от гнезд, вторгаясь почти во все типы ландшафтов города, поэтому спектр его кормовых нектароносных растений наиболее широк среди всех бесполодных ос г. Донецка. *P. nimpha* гнездится как в природном, так и в антропогенном ландшафте, но относительно малочисленен, что обуславливает меньшее, чем у других представителей рода, количество отмеченных видов растений в рационе.

Для всех трех изученных видов ос-полистов также характерно питание соком, вытекающим из различного рода повреждений генеративных и вегетативных органов растений. Во второй половине лета и в начале осени в углеводном питании *P. dominula* большую роль приобретает сочная мякоть фруктов, в то время как *P. nimpha* и *P. gallicus* используют этот источник пищи редко. Сбор пади тлей обычен для всех трех изучаемых видов ос.

Источниками белковой пищи для ос-полистов г. Донецка в природе выступают, в первую очередь, живые насекомые, принадлежащие не менее чем к 6 отрядам: личинки Lepidoptera, Hymenoptera, Coleoptera, Orthoptera, Hemiptera, а также имаго Diptera. Наиболее часто в рационе встречаются гусеницы бабочек. Изредка возможно питание останками мертвых животных. В условиях инсектария показана возможность питания ос-полистов живыми и мертвыми насекомыми 5 отрядов, а для *P. dominula* – также мясом позвоночных животных.

Рацион добычи *P. dominula* позволяет охарактеризовать его как энтомофага широкого профиля со способностью к временной частичной специализации на наиболее удобных видах добычи, которыми могут выступать листогрызущие гусеницы бабочек, ведущие

групповой образ жизни, с высокой плотностью популяции. Осы данного вида успешно охотятся во всех ярусах растительности. Перечисленные качества могут оказаться полезными при использовании *P. dominula* для контроля численности некоторых важных вредителей растениеводства.

Роль ос-полистов в сельском хозяйстве на территории Донбасса следует считать в основном положительной, в связи с их мощным давлением на популяции широкого спектра листогрызущих фитофагов. Вместе с тем, *P. dominula* играет и некоторую отрицательную роль, изредка уничтожая хищных насекомых, таких как личинки божьих коровок, а также повреждая плоды фруктовых деревьев. При этом повреждение плодов овощных культур не отмечено.

Наиболее перспективным энтомофагом следует признать *P. dominula*, поскольку осы этого вида имеют более крупные размеры тела, позволяющие им добывать более широкий размерный диапазон добычи. В связи с возможностью повреждения осами фруктов, а также принимая во внимание региональные особенности фенологии, *P. dominula* может быть использован для защиты плодово-ягодных культур в условиях Донбасса с апреля по июнь (после чего семьи следует удалить с участка до появления дочерних основательниц), а для защиты иных сельскохозяйственных и декоративных растений – с апреля по сентябрь. Из-за меньших размеров тела *P. gallicus* является менее эффективным энтомофагом в отношении крупных насекомых, однако вызывает меньшие опасения в плане возможности порчи спелых плодов, поэтому может быть рекомендован для защиты фруктовых садов с апреля по сентябрь. В связи с относительной малочисленностью *P. nimpha* на изучаемой территории для оценки его перспектив в качестве биологического агента защиты растений требуются дополнительные исследования.

Благодарности

Автор выражает глубокую благодарность А. В. Амолину за предоставление данных личных наблюдений за питанием ос-полистов в г. Донецке, В. В. Проклову, И. Устьянцеву – за помощь в определении некоторых видов бабочек, А. А. Курганову, Д. М. Мирину, П. Е. Евсеенкову, А. Г. Малихиной – за помощь в определении некоторых видов растений.

Список литературы

1. Амолин А. В., Оголь И. Н. Пищевые связи ос-веспид (Hymenoptera: Vespidae) с цветковыми растениями (Magnoliophyta) в Донбассе // IV Евроазиатский симпозиум по перепончатокрылым насекомым (Владивосток, 9–15 сентября 2019 г.) : тез. докл. Владивосток : ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, 2019. С. 46–47.
2. Амолин А. В., Оголь И. Н. Пищевые связи складчатокрылых ос (Hymenoptera: Vespidae) с цветковыми растениями (Magnoliophyta) в Донбассе // Евразийский энтомологический журнал. 2019. № 18, вып. 5. С. 365–376.
3. Гринфельд Э. К. Питание общественной осы *Polistes gallicus* L. (Hymenoptera, Vespidae) // Энтомологическое обозрение. 1977. Т. 56, вып. 1. С. 34–42.
4. Оголь И. Н. Об особенностях ландшафтно-биотопического распределения ос-полистов (Hymenoptera, Vespidae, Polistinae) в Донецке // Матер. XIV съезда Русского энтомологического общества (Санкт-Петербург, 27 августа – 1 сентября 2012 г.). СПб., 2012. С. 321.
5. Оголь И. Н., Ярошенко Н. Н. Охотничье поведение ос *Polistes dominula* (Christ) и *Polistes gallicus* (L.) (Hymenoptera: Vespidae) // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов : матер. XIV Междунар. конф. асп. и студ. Донецк : ГОУ ВПО «ДОННТУ», 2020. С. 185–187.
6. Определитель высших растений Украины / Под ред. Ю. Н. Прокудина. К. : Наук. думка. 548 с.
7. Остапко В. М., Бойко А. В., Мосякин С. Л. Сосудистые растения юго-востока Украины. Донецк : Изд-во «Ноулидж», 2010. 247 с.

8. Русина Л. Ю. Структура участка обитания ос-полистов (Hymenoptera: Vespidae) в Херсонской области // Известия Харьковского энтомологического общества. 2002. № 9, вып. 1–2. С. 245–247.
9. Скалдина О. В. Функциональная роль общественных ос (Hymenoptera; Vespidae) в естественных и трансформированных экосистемах Юга Украины // Біорізноманіття та роль тварин в екосистемах : матер. V Міжнар. наук. конф. Дніпропетровськ : ДНУ, 2009. С. 224–226.
10. Baker A. M., Potter D. A. Invasive paper wasp turns urban pollinator gardens into ecological traps for monarch butterfly larvae // Scientific Reports. 2020. Vol. 10, № 1. P. 1–7.
11. Cranshaw W. S., Larsen H. J., Zimmerman R. J. Notes on fruit damage by the European paper wasp, *Polistes dominula* (Christ) (Hymenoptera: Vespidae) // Southwestern Entomologist. 2011. Vol. 36, № 1. P. 103–105.
12. Didukh Ya. P. The ecological scales for the species of Ukrainian flora and their use in synphytoindication. Kyiv : Phytosociocentre, 2011. 176 p.
13. Klaschka J. BlakerCI: An Algorithm and R Package for the Blaker's binomial confidence limits calculation. Technical report No. 1099 [Electronic resource] // Institute of Computer Science Academy of Sciences of the Czech Republic. 2010. URL : <http://www.library.sk/arlcav/en/contapp/?repo=crepo1&key=99673653505> (date of appeal: 26.11.2021).
14. Lafontaine J. D., Fibiger M. Revised higher classification of the Noctuoidea (Lepidoptera) // The Canadian Entomologist. 2006. Vol. 138, № 5. P. 610–635.
15. Lepiforum e.V. Bestimmung von Schmetterlingen und ihren Präimaginalstadien [Electronic resource]. URL : <https://lepiforum.org> (date of appeal: 27.11.2021).
16. Nannoni A., Cervo R., Turillazzi S. Foraging activity in European *Polistes* wasps (Hymenoptera, Vespidae) // Bollettino della Società Entomologica Italiana. 2001. Vol. 133, № 1. P. 67–78.
17. Oksanen J. Multivariate analysis of ecological communities in R: vegan tutorial [Electronic resource]. 2013. URL : http://www.pelagicos.net/MARS6910_spring2015/manuals/R_vegan_multivariate.pdf (date of appeal: 27.11.2021).
18. Pasteels J. M., Deroe C., Tursch B., Braekman J. C., Daloze D., Hootele C. Distribution et activités des alcaloïdes défensifs des Coccinellidae // Journal of Insect Physiology. 1973. Vol. 19, № 9. P. 1771–1784.
19. Rayor L. S., Mooney L. J., Renwick J. A. Predatory behavior of *Polistes dominulus* wasps in response to cardenolides and glucosinolates in *Pieris napi* caterpillars // Journal of chemical ecology. 2007. Vol. 33, № 6. P. 1177–1185.
20. Resin J. A. Simple Algorithm for Exact Multinomial Tests [Electronic resource] // arXiv e-Print archive. 2021. arXiv:2008.12682v2 [stat.CO]. URL : <https://arxiv.org/abs/2008.12682v2> (date of appeal: 26.11.2021).
21. Richter M. R. Social wasp (Hymenoptera: Vespidae) foraging behavior // Annual review of entomology. 2000. Vol. 45, № 1. P. 121–150.
22. Schenk D., Bacher S. Functional response of a generalist insect predator to one of its prey species in the field // Journal of Animal Ecology. 2002. Vol. 71, № 3. P. 524–531.

Ogol I. N. Diet of *Polistes* wasps (Hymenoptera: Vespidae: *Polistes*) in Donetsk city. – The diet of wasps *Polistes dominula*, *Polistes gallicus* and *Polistes nimpha* in Donetsk was studied. They noted the use of nectar, fruit pulp and sap of 87 species of flowering plants as carbohydrate food. Proteinaceous nourishment is provided by hunting for insects at least 6 orders (preference is given to caterpillars of butterflies), very rarely – also by collecting carrion.

Key words: social wasps, carbohydrate nourishment, proteinaceous nourishment, trophic relations.

УДК 595.771

© М. В. Рева¹, Р. Д. Семушин², Л. Д. Агаркова³**ФАУНА И БИОЛОГИЯ МОШЕК (DIPTERA, SIMULIIDAE) Г. ДОНЕЦКА И ЕГО ОКРЕСТНОСТЕЙ**¹ ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
283050, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: mvreva@mail.ru² ГБОУ ВПО «Донбасская аграрная академия»
286157, г. Макеевка, ул. Островского, 16³ Республиканский центр санитарно-эпидемиологического надзора
Государственной санитарно-эпидемиологической службы
283015, г. Донецк, ул. Любавина, 3

Рева М. В., Семушин Р. Д., Агаркова Л. Д. Фауна и биология мошек (Diptera, Simuliidae) г. Донецка и его окрестностей. – Приведено описание мошек г. Донецка и его окрестностей, обобщены сведения по их биологии.

Ключевые слова: мошки, фауна, биология.

Введение

Большинство мошек семейства Simuliidae являются кровососами человека и животных. Взрослые мошки занимают одно из первых мест среди кровососущих двукрылых [1, 4, 7, 9, 10, 14, 15, 17, 18, 20, 22, 23]. Личинки мошек живут только в проточной воде, отдают предпочтение местам с наиболее быстрым течением (реофилия). Взрослые мошки держатся около воды и нападают на животных и людей, причиняя неприятный зуд и жжение. Размножаясь в больших количествах, они являются источником беспокойства и истощения пастбищных животных [2, 12, 14, 18].

Кровососущие мошки являются неспецифическими и специфическими переносчиками возбудителей ряда инфекционных заболеваний. Нападая на человека и животных, мошки прокалывают кожу, погружают в ранку свой хоботок и сосут кровь. При этом они выделяют в ранку слюну, которая препятствует свертыванию крови. При массовом нападении мошек на людей, кроме боли и зуда, наблюдается повышение температуры, головокружение и другие признаки легкого отравления, а при множественных укусах может развиваться симулидотоксикоз, вплоть до гибели неимунных животных. Личинки же мошек входят в состав гидробиоценозов и принимают участие в процессах биологического самоочищения водоемов. На численность мошек и их видовом разнообразии сказываются антропогенные факторы: загрязнение водотоков отходами промышленного производства, сельскохозяйственными стоками и минеральными удобрениями. Все это ухудшает условия выплода симулиид [3, 5, 6, 11, 13, 15, 19].

Целью данной работы является изучение видового состава и биологии мошек г. Донецка и его окрестностей.

В задачи исследований входило: определение видового состава мошек, изучение биологии взрослых мошек и преимагинальных фаз в водоемах г. Донецка и его окрестностей.

Материал и методы исследования

Материалом для написания работы послужили сборы различных фаз развития мошек на территории г. Донецка и его окрестностей. Стационарные наблюдения были проведены на реках Кальмиус, Крынка, Миус, Лугань, а также на перекатах между Центральными городскими прудами и в ручьях балки Калиновая г. Донецка (рис. 1–3). Периодически сборы мошек проводили в текущих ручьях на окраинах г. Донецка. Изучены также коллекции кафедры зоологии и экологии ДонНУ за период с 1965 г. по настоящее время.



Рис. 1. Река Кальмиус (у с. Яковлевка)

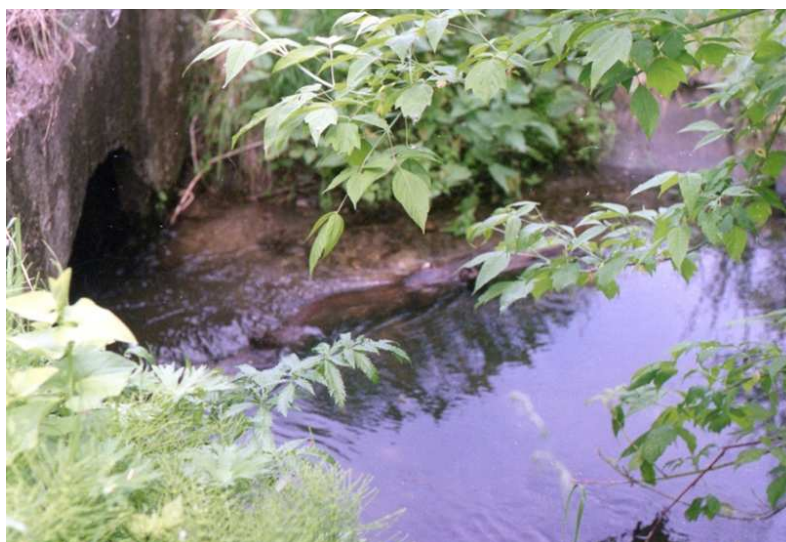


Рис. 2. Перекаты между 1-м и 2-м Центральными городскими прудами г. Донецка

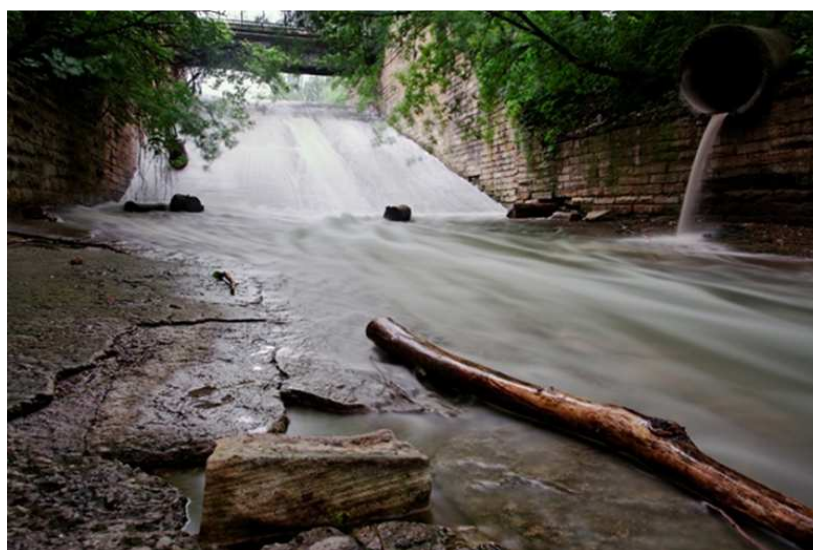


Рис. 3. Водоток в парке им. А. С. Щербакова г. Донецка

Сбор и фиксацию личинок и куколок проводили по общепринятой методике [16, 21, 22]. Биологию отдельных видов изучали с использованием традиционных методик И. А. Рубцова [16] и З. В. Усовой [20–23]. Камеральную обработку материала и изготовление микропрепаратов проводили с помощью микроскопов МБС-3, МБР-1 и рисовального аппарата РА-6. Измерения микроскопических объектов проводили по методике З. П. Паушевой [8].

Выявление видов – биоиндикаторов чистоты воды проводили путем сравнения видового состава мошек в водоемах, сходных по гидробиологическим характеристикам, но отличающихся по степени загрязненности. Уровень загрязненности водоемов определяли по результатам исследований Е. С. Фоминой и Е. А. Трошиной [24], а также на основании данных, полученных нами в предыдущих исследованиях [19].

Результаты и обсуждение

В ходе исследований в водоемах г. Донецка и его окрестностей были найдены следующие виды мошек: род *Wilhelmia* Enderlein, 1921: *W. balcanica* (End.), *W. mediterranea* (Puri), *W. salopiensis* (Edw.); род *Nevermannia* Enderlein, 1921: *N. angustitarsis* (Lundstrom), *N. latigonia* (Rubz.); род *Eusimulium* Roubaud, 1906: *E. aureum* (Fries), *E. securiforme* (Rubz.); род *Boophthora* Enderlein, 1921: *B. erythrocephala* (De Geer); род *Odagmia* Enderlein, 1921: *O. ornata* (Mg.); род *Argentisimulium* Rubzov et Yankovsky, 1982: *A. noelleri* (Fried); род *Simulium* Latreille, 1802: *S. behningi* (End.).

Согласно индексу доминирования, такие виды, как *E. aureum*, *E. securiforme*, *N. angustitarsis*, *N. latigonia*, *W. balcanica*, и *S. behningi* являются малочисленными, остальные – многочисленными видами. По индексу встречаемости – обычным видом является *E. aureum*, широко распространенные – *O. ornata*, *B. erythrocephala*, *N. angustitarsis*, *N. latigonia*, *A. noelleri*, все остальные являются редкими видами.

Изучена биология преимагинальных фаз развития симулиид и биология взрослых мошек.

Распределение мошек в водоемах. Развитие личинок протекает вблизи от мест отрождения, на листьях, камнях и погруженных в воду ветвях (см. рис. 1), при скорости течения не ниже 0,1–0,2 м/с. Личинки видов *W. balcanica*, *B. erythrocephala*, *E. aureum* отдают предпочтение водным растениям, а *W. mediterranea* субстратом выбирают листья рогоза, аира, камыша, которые плавают на поверхности воды или свисают в воду. Личинки *O. ornata* встречаются на всех видах перечисленного субстрата.

Особенно важное значение для видового состава мошек имеют скорость течения и распределение субстрата. Так, в средних реках, на перекатах, соединяющих городские пруды, встречались скопления личинок при скоростях течения 0,5–0,8 м/с (*A. noelleri*) или 0,5–0,7 м/с (*W. mediterranea*). При этом личинки прикрепляются не произвольно, а выбирают определенные точки, которые граничат с прямым ударом быстрого течения, там, где наблюдается завихрение, чем, наверное, определяется наиболее интенсивный поток пищи и кислорода.

Личинки мошек заселяют в основном узколистные растения. Во всех случаях личинки летних генераций располагаются на внешней поверхности растительной массы (рис. 4). Личинки зимующей генерации почти всегда встречаются на нижней стороне субстрата. Высокая численность личинок в некоторых водоемах связана с сильным зарастанием водоема растительностью. В этих условиях личинки находят не только субстрат для прикрепления, но и достаточно пищи в форме многочисленных водорослей, бактерий, простейших и др. Чем гуще растительность, тем диффузнее распределение личинок. Это, вероятно, связано со снижением скорости течения внутри зарослей.

Факторы развития и распределения личинок в водоемах. Наиболее важным условием развития личинок является соответствующий температурный режим воды. Определенные требования характерны для каждого вида.



Рис. 4. Личинки и куколки мошек на субстрате

Большинство найденных видов мошек являются stenothermic, но есть эвритермные (например, *O. ornata*, *A. noelleri*) и теплолюбивые виды (например, *W. mediterranea*, *W. salopiensis*).

Наибольшее видовое разнообразие было отмечено в небольших и средних по размерам водоемах с устойчивым режимом воды и невысокой (10–15 °C) температурой воды на протяжении года. Водоемы со значительным колебанием и повышенной температурой воды (20–30 °C) в видовом отношении беднее мошками.

Необходимым условием является достаточно высокий уровень содержания кислорода в воде. В емкости со стоячей водой мошки быстро гибнут. Дыхание осуществляется не только через трахейную систему, но и всей поверхностью тела. К другим факторам среды, к которым достаточно чувствительны личинки, относится содержание органических веществ в воде. Чем выше показатели окисления, тем менее благоприятен водоем для личинок, что также связано, вероятно, с повышенной потребностью в кислороде. К колебанию других условий внешней среды, в частности, pH и солевого режиму, личинки мошек достаточно терпимы. Личинки некоторых «антропофильных» видов (например, *O. ornata*, *A. noelleri*) могут существовать в относительно загрязненных водоемах.

Каждый вид отдает предпочтение определенному, иногда очень короткому участку одного типа водоема с определенным режимом температуры, кислорода, скорости течения и др. Виды, обитающие в источниках и ручьях, не встречаются в больших реках и наоборот. В водоеме может обитать одновременно 2–3 вида и более.

Поведение личинок и питание. Поведение личинок в водоеме однообразное. Личинка колеблется в струе воды, прикрепившись задним концом тела к субстрату и широко расставив фильтровальный аппарат – веера. Время от времени веера складываются, ротовые придатки начинают двигаться, очищая веера от осевшего планктона: бактерий, водорослей, детрита. Пища почти непрерывным потоком поступает в пищевод и через него в пищеварительный канал, проходя последний в течение нескольких часов. Для быстрого прохождения пищи имеет значение поступление по кишечнику новых ее порций: с прекращением притока пищи прохождение ее по кишечнику замедляется. Усвоение пищи у личинок низкое. Важное значение в питании личинок, особенно у некровососущих видов, имеют бактерии, судя по морфологии вееров.

Зимовка. Знание мест и характера зимовки очень важно для прогнозирования численности видов и организации способов борьбы с ними. По характеру зимовки выделяют

3 группы видов: зимующие в фазе яйца, зимующие в фазе личинки и зимующие в фазе яйца и личинки. В районе наших исследований в фазе яйца зимуют 2 вида (*E. securiforme*, *E. aureum*). Отрождение личинок начинается в марте и продолжается до апреля – мая при температуре воды от 2–6 до 14 °С. В фазе личинки зимуют *O. ornata*, *W. balcanica*, *W. mediterranea*. Отрождение личинок из яиц у видов, зимовка которых происходит в фазе личинки, отмечено во второй половине сентября – первой половине ноября при температуре воды 3–12 °С. Появление личинок этих видов второй раз наблюдается в декабре – январе при температуре воды 2–5 °С. Субстрат – водная растительность, опавшие листья и ветки, камни, расположенные на глубине от 10 до 50 см. В фазе яйца и личинки зимуют *A. noelleri*, *B. erythrocephala*, *S. behningi*. Вылупление личинок из яиц у этих видов зависит от погодных условий. В годы с холодными зимами, когда водотоки покрываются льдом и снегом (с декабря по февраль), эти виды зимуют в фазе яйца. В такие годы личинки отрождаются из яиц сразу после освобождения водотоков ото льда (февраль – март). В годы с теплыми непродолжительными зимами виды зимуют в фазе личинки. Таким образом, факторами, которые определяют разницу во времени отрождения зимующих личинок из яиц, являются температура воды и продолжительность периода замерзания водотока.

Миграции личинок. При проведении мероприятий по уничтожению личинок необходимо учитывать особенности миграции личинок отдельных видов. Миграции личинок связаны со сменой факторов среды их существования: скорости течения, мутности воды, освещенности, солевого и газового режимов и др.

У личинок мошек отмечена активная и пассивная миграция. Активная миграция происходит с помощью грудной «ноги» и паутинной нити. В поисках мест с оптимальными условиями личинки могут активно передвигаться как вниз по течению, так и против него. Личинки родов *Wilhelmia* и *Eusimulium*, которые развиваются в малых речках и ручьях, интенсивно мигрируют в период их пересыхания. При этом личинки накапливаются в небольших перекатах, порогах и участках сужения русла, где отмечена наивысшая скорость течения воды.

Чаще мигрируют личинки молодых и средних возрастов. Это характерно для личинок летних генераций *A. noelleri*, *E. aureum*. Значительная протяженность миграций наблюдается у личинок *O. ornata*, *W. balcanica*, *W. mediterranea*, *W. salopiensis*.

Пассивные миграции личинок наблюдаются, по мнению большинства исследователей, в период паводков, ледохода и др. Дальность этих миграций зависит от размеров водотоков, скорости течения, от силы и продолжительности действующего фактора, который вызывает миграцию. Расстояние, на которое перемещаются личинки видов *W. mediterranea* и *A. noelleri* во время весеннего паводка, достигает 3–8 км. Протяженность пассивного перемещения личинок в ручьях составляет до 8 км и более.

Можно выделить осеннюю миграцию личинок из мест их существования в места зимовки. Необходимо также отметить незначительную возможную миграцию личинок мошек после их отрождения из яиц. Личинки всплывают со дна и прикрепляются к водным растениям, но протяженность такой миграции проследить трудно. Распределение личинок при миграции в толще воды также неравномерное. Так, на глубине до 0,1 м движутся около 10 % личинок, от 0,1 до 0,8 м – 75 %, от 0,8 до 1 м – 12 % и в придонном слое (1–2 м) встречаются единичные экземпляры.

Видовой состав мигрирующих личинок прямо зависит от соотношения видов в определенном водотоке.

Фенология. Фенологические явления в жизни мошек определяются широтным положением и особенностями основных физико-географических факторов: рельефа, климата, характера водотока и др.

Большинство видов в течение года имеют 1–2 генерации. Существуют виды, которые имеют 2, 3 или более поколений. Так у *E. aureum* за год развивается 2 поколения, у *A. noelleri* – 3–4, у *O. ornata* – до 5 генераций в год.

Для многих видов характерна диапауза яиц. Она может быть летняя или осенне-

зимняя.

В среднем лёт мошек продолжается в течение семи месяцев (с марта по октябрь). Соотношение самок и самцов почти всегда 1 : 1. Самцы вылетают на несколько дней раньше самок. Оплодотворение происходит почти сразу после отрождения. У некоторых видов оплодотворение происходит в воздухе.

Для многих видов характерно массовое отрождение. Некоторое время после выхода насекомое обсыхает на прибрежной растительности. Иногда в этот период наблюдается массовое скопление самцов у берега.

Именно с копуляцией связывают характерное для мошек роение. Размер роя может быть разнообразным. Формирование роя происходит в определенное время: утром, на рассвете или вечером. После роения, которое завершается спариванием, самки мошек разлетаются в поисках добычи и скапливаются вдоль дорог, около населенных пунктов, вокруг стад. Дальность и направление разлета мошек от мест выплода имеет большое теоретическое и практическое значение. Распространяются они как активно, так и пассивно с помощью воздушных токов, ветра, транспорта. Активно мошки способны улетать от мест выплода на расстояния от 2 до 10 км, что обусловлено поисками пищи или укрытия. Дальность активного разлета у разных видов неодинакова. Самки вида *E. aureum* нападают на расстоянии от 500–800 м до 1 км в сторону от мест выплода. Самки рода *Wilhelmia* преследуют животных на расстоянии 1–2 км от русла водотока, *O. ornata* – до 2–3 км.

Некоторые некровососущие виды копулируют сразу или через несколько часов после отрождения, и на том же месте начинают яйцекладку. Самки кровососущих видов появляются около животных и сосут кровь уже оплодотворенными.

У мошек, как и у большинства кровососущих двукрылых, кровососами являются самки. Самцы питаются соками растений. Наряду с кровососущими видами в семействе мошек есть виды облигатно-растительоядные. Они не имеют колюще-режущих ротовых придатков и неспособны прокалывать кожу. Это довольно редкие виды. Подавляющее большинство мошек имеет ротовые органы кровососущего типа, но не все нападают на человека и животных. Это нельзя объяснить специализацией питания на диких животных и птицах. Кормовая специализация кровососущих мошек вообще невелика. Основными донорами крови являются млекопитающие. Мошки нападают на крупный рогатый скот, лошадей, домашних птиц и человека. Питание кровью амфибий является случайным.

Кровососущая активность одного и того же вида может меняться в зависимости от условий развития личинок. Как правило, она растет, если личинки развивались в больших водоемах. Когда личинки того же вида развиваются в водотоках меньшего размера, то кровососущая активность падает. Для мошек (как и для других кровососущих двукрылых) характерен двойной тип питания. Их пищей являются с одной стороны – растительные и углеродные вещества, с другой – кровь. Совокупность различных фактов говорит о том, что у мошек широко распространено факультативное питание имаго кровью и возможность развития половых продуктов без потребления крови. Благоприятные условия питания и накопления жира-белковых соединений в жировом теле личинки обуславливают возможность созревания половых продуктов у взрослых насекомых без дополнительного питания кровью и наоборот.

Яйцекладки. Большинству массовых видов свойственна совместная кладка яиц в одно место, то есть на один участок субстрата яйца откладываются многими самками. Совместные яйцекладки нельзя объяснить нехваткой субстрата. Большое количество видов откладывает яйца кучками. Иногда яйца располагаются в правильной шахматной последовательности. Характер яйцекладки зависит от видовой специфики развития, особенностей водотока и других условий.

Известны три основных способа откладки яиц: 1) самки откладывают яйца на урезе воды, яйца располагаются хаотично, многослойно (такой способ наблюдается у видов *E. aureum*, *N. angustitarsis*, *A. noelleri*); 2) самка откладывает яйца под поверхностный слой воды на 15–25 см (такой способ наблюдается у *W. mediterranea*), отрождение личинок из яиц

одновременное; 3) в период откладки самки летают медленно у поверхности воды, через несколько секунд касаются воды концом брюшка и откладывают яйца по одному или группами.

Самки *O. ornata* откладывают яйца и на субстрат, и на поверхность воды.

Сезонная и суточная активность нападения мошек определяется численностью вылетевших особей и зависит от факторов внешней среды: температуры воздуха, освещенности, силы ветра и др.

В течение сезона отмечено два пика активности нападения мошек: весенний (конец мая – начало июня) и летний (конец июля – начало августа). Первый обусловлен нападением *O. ornata* и *B. erythrocephala*. Второй вызван нападением *O. ornata* и *W. mediterranea*. Такое явление характерно в годы с теплой весной и жарким летом. В годы с холодной весной и прохладным летом наблюдается лишь один максимум активности, который продолжается с конца мая до августа. В течение суток также выделяют два пика численности нападения мошек: утренний (7–11 часов) и вечерний (с 16–17 до 19–20 ч.). Днем с 11–12 до 16–17 часов активность мошек резко снижается.

В летнее время активность мошек определяют температура и влажность воздуха, а также освещенность. Наибольшая активность проявляется при 19–27 °С (оптимум – 12–20 °С) и относительной влажности 70 %. Активность нападения мошек снижается при повышении температуры до 35 °С и прекращается с темнотой.

Влажность воздуха и сила ветра имеют второстепенное значение. Нападение мошек происходит при влажности воздуха от 20 до 90 %. Летом мошки нападают даже во время небольшого дождя. В часы наибольшей активности мошек дует слабый ветер (до 0,3 м/с). Если сила ветра превышает 1 м/с, то мошки не нападают или нападают «наползанием» снизу из растительности на ноги. Мошки, вылет которых совпадает с неблагоприятными погодными условиями (низкие температуры, туман), концентрируются в прибрежной растительности. Активность самок усиливается перед дождем, примерно за 15–30 минут перед грозой.

Выводы

В результате исследований на территории г. Донецка и его окрестностей обнаружено 11 видов мошек, относящихся к 7 родам: род *Wilhelmia* Enderlein, 1921: *W. balcanica* (End.), *W. mediterranea* (Puri), *W. salopiensis* (Edw.); род *Nevermannia* Enderlein, 1921: *N. angustitarsis* (Lundstrom), *N. latigonia* (Rubz.); род *Eusimulium* Roubaud, 1906: *E. aureum* (Fries), *E. securiforme* (Rubz.); род *Boophthora* Enderlein, 1921: *B. erythrocephala* (De Geer); род *Odagmia* Enderlein, 1921: *O. ornata* (Mg.); род *Argentisimulium* Rubzov et Yankovsky, 1982: *A. noelleri* (Fried); род *Simulium* Latreille, 1802: *S. behningi* (End.).

В исследуемом регионе виды *A. noelleri* (Fried) и *S. behningi* (End.) можно считать видами – биоиндикаторами чистоты водоемов.

Изучение биологии преимагинальных фаз развития мошек г. Донецка и его окрестностей показало, что развитие личинок протекает вблизи от мест их отрождения на листьях, камнях и погруженных в воду ветвях при скорости течения не ниже 0,1–0,2 м/с. Наиболее важным условием развития личинок является соответствующий температурный режим воды, а также высокий уровень содержания кислорода в воде и наличие питательных веществ.

В районе наших исследований по характеру зимовки выделяют 3 группы видов: зимующие в фазе яйца (*E. securiforme*, *E. aureum*), зимующие в фазе личинки (*O. ornata*, *W. balcanica*, *W. mediterranea*) и зимующие в фазе яйца и личинки (*A. noelleri*, *B. erythrocephala*, *S. behningi*).

Большинство видов в течение года имеют 1–2 генерации. Существуют виды, которые имеют 2, 3 или более генераций. Так, у *E. aureum* за год развивается 2 генерации, у *A. noelleri* – 3–4, у *O. ornata* – до 5 генераций в год. Лёт мошек в районе исследований продолжается с марта по октябрь.

В течение сезона отмечено два пика активности нападения мошек: весенний (конец мая – начало июня) и летний (конец июля – начало августа). Первый обусловлен нападением *O. ornata* и *B. erythrocephala*, второй вызван нападением *O. ornata* и *W. mediterranea*.

В течение суток также выделяют два пика численности нападения мошек: утренний (7–11 часов) и вечерний (с 16–17 до 19–20 часов). Днем активность мошек резко снижается.

В летнее время активность мошек определяют температура и влажность воздуха, а также освещенность. Наибольшая активность проявляется при 19–27 °С (оптимум – 12–20 °С) и относительной влажности 70 %. Активность нападения мошек снижается при повышении температуры до 35 °С и прекращается с темнотой.

Список литературы

1. Дебеляя Н. В., Маслодудова Е. Н. Мошки и их паразиты в водотоках г. Донецка // Экология и фауна юго-востока Украины : Сб. науч. тр. Донецк : ДонНУ, 2006. Вып. 6. 123 с.
2. Демьянченко Г. Ф. Токсичность слюны мошек (сем. Simuliidae) для организма сельскохозяйственных животных // Тр. Ин-та ветеринарии, санитарии и эктопаразитологии. 1958. № 12. С. 91–104.
3. Кузнецов А. В. О спектре питания личинок кровососущего вида *Simulium argureatum* Mg. в условиях Донбасса // Тез. докл. IX конф. Укр. паразитол. общ-ва. К., 1980. С. 56–62.
4. Маслодудова Е. Н., Белоножко А. А., Рязанцева А. Е. Кровососущие двукрылые окрестностей г. Красный луч // Интеграция теории и практики мирового научного знания в XXI веке : Тез. докл. Междунар. науч.-иссл. конф. (Трехгорный, 15 марта 2018 г.). Трехгорный : Изд-во Нац. иссл. ядерного ун-та «МИФИ», 2018. С. 80–86.
5. Маслодудова Е. Н., Рязанцева А. Е. Влияние антропогенных факторов на формирование биотопов преимагинальных фаз кровососущих двукрылых (Diptera : Culicidae, Simuliidae, Ceratopogonidae, Tabanidae) в условиях г. Донецка и окрестностей // Донецкие чтения 2016 : образование, наука и вызовы современности : Матер. I Междунар. науч. конф. (Донецк, 16–18 мая 2016 г.). Ростов-на-Дону : Изд-во ЮФУ, 2016. Т. 2. С. 159–162.
6. Мирненко Э. И. Оценка загрязнения органическими соединениями прудов г. Донецка // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2017. № 3–4. С. 17–23.
7. Непоклепов А. А., Брюшинина Г. Т., Новиков О. Г. К экологии кровососущих мошек // Проблемы ветеринарии, санитарии, гигиены и экологии: Тез. докл. Междунар. науч. конф. М., 1999. С. 80–81.
8. Паушева З. П. Практикум по цитологии растений. 4-е изд., перераб. и доп. М. : Агропромиздат, 1988. 271 с.
9. Рева М. В., Бакланова А. Э. Видовой состав мошек водоемов г. Донецка // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов : сб. докл. XIII Междунар. науч. конф. асп. и студ. (Донецк, 16–17 апреля 2019 г.). Донецк : Изд-во ГОУ ВПО «ДОННТУ», 2019. С. 153–155.
10. Рева М. В., Бакланова А. Э. Мошки (Diptera, Simuliidae) г. Донецка // Донецкие чтения 2019: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : матер. IV Междунар. науч. конф. (Донецк, 31 октября 2019 г.). Т. 2 : Хим.-биол. науки / под общ. ред. С. В. Беспаловой. Донецк : Изд-во ДонНУ, 2019. С. 314–316.
11. Рева М. В., Криволап М. С. Мошки как биоиндикаторы загрязненности водоемов Донецкой области // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов : сб. докл. X Междунар. науч. конф. асп. и студ. (Донецк, 13–14 апреля 2016 г.). Ростов-на-Дону : Изд-во ЮФУ, 2016. – С. 283–285.
12. Рева М. В., Усова З. В. О сезонной изменчивости мошек. К., 1994. 89 с.
13. Рева М. В., Щелкова Е. В. Индикация качества воды проточных водоемов по видовому составу мошек // Донецкие чтения 2019 : образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : матер. IV Междунар. науч. конф. (Донецк, 31 октября 2019 г.). Т. 2 : Хим.-биол. науки / под общ. ред. С. В. Беспаловой. Донецк: Изд-во ДонНУ, 2019. С. 319–

321.

14. Рева М. В., Щелкова Е. В., Бакланова А. Э. Сезонная динамика и особенности экологии мошек (*Diptera, Simuliidae*) города Донецка // Донецкие чтения 2020 : образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : матер. V Междунар. науч. конф. (Донецк, 17–18 ноября 2020 г.). Т. 2 : Хим.-биол. науки / под общ. ред. С. В. Беспаловой. Донецк : Изд-во ДонНУ, 2020. – С. 278–279.

15. Рева М. В., Семушин Р. Д. Мошки Приазовья // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2019. – № 1–2. – С. 53–61.

16. Рубцов И. А. Фауна СССР. Насекомые двукрылые. Мошки (сем. *Simuliidae*). М. : Изд-во АН СССР, 1956. Т. VI, вып. 6. 648 с.

17. Семушин Р. Д. Мошки (*Diptera, Simuliidae*) юго-востока Украины : Автореф. дис. ... канд. биол. наук. К., 1982. 27 с.

18. Семушин Р. Д. Мошки Донбасса и их вредоносное значение // Исследования по энтомологии и акарологии на Украине : тез. докл. II съезда УЭО. К., 1980. С. 70–71.

19. Семушин Р. Д., Рева М. В., Усова З. В. Мошки (*Diptera, Simuliidae*) как биоиндикаторы чистоты водоемов юго-востока Украины // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2011. № 1 (11). С. 188–202.

20. Усова З. В. Об очагах и причинах массового размножения мошек на юго-востоке Украины // Тез. докл. III съезда УЭО. К., 1987. Ч. 3. С. 205–206.

21. Усова З. В. Паразитологическое взаимоотношение мошек, их врагов и паразитов в водоемах юго-востока Украины // Тез. докл. I Всесоюз. съезда паразитологов СССР. К., 1978. Ч. 2. С. 108–110.

22. Усова З. В. Фауна и биология мошек (*Diptera, Simuliidae*) юго-востока Украины // Тез. докл. конф. Укр. паразитол. общ-ва. К. : Наук.думка, 1980. Ч. 5. С. 96–97.

23. Усова З. В. Эколого-фаунистический обзор мошек Украины // Проблемы паразитологии. К., 1975. С. 221–223.

24. Фомина Е. С., Трошина Е. А. Мониторинг качества воды и донных отложений поверхностных водоемов г. Донецка // Науч. тр. Донецкого нац. техн. ун-та. Сер. «Химия и химическая технология». Донецк : Изд-во ДонНТУ, 2018. С. 112–120.

Reva M. V., Semuschin R. D., Agarkova L. D. Fauna and biology of black-flies (*Diptera, Simuliidae*) of the Donetsk city and Donetsk region. – The dates on the species composition and biology of species of the black-flies of Donetsk city and Donetsk region are present.

Key words: black-flies, fauna, biology.

© А. Д. Штирц

ОСОБЕННОСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ СООБЩЕСТВ ПАНЦИРНЫХ КЛЕЩЕЙ РЕКУЛЬТИВИРОВАННОГО И НЕРЕКУЛЬТИВИРОВАННОГО ОТВАЛОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ Г. МАКЕЕВКИ

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
283050, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: eco-1999@mail.ru

Штирц А. Д. Особенности экологической структуры сообществ панцирных клещей рекультивированного и нереккультивированного отвалов угольных шахт г. Макеевки. – Проанализированы основные экологические характеристики сообществ панцирных клещей на рекультивированном и нереккультивированном отвалах угольных шахт № 6-14 и «Ганзовка» № 2 г. Макеевки. На основании критериев оценки экологических характеристик структуры сообществ орибатид по интегральному показателю дана оценка состояния окружающей среды. Отмечено, что проводимые на терриконах рекультивационные мероприятия улучшают количественные и качественные характеристики экологической структуры сообществ панцирных клещей, что в свою очередь, учитывая роль орибатид в почвообразовательных процессах, ускоряет сукцессионные процессы восстановления нарушенных техногенных ландшафтов.

Ключевые слова: панцирные клещи, орибатиды, отвал, террикон, рекультивация, экологическая структура сообщества, биоиндикация.

Введение

Характерной чертой ландшафта Донбасса являются отвалы угольных шахт – терриконы. На территории Донбасса находится 1257 терриконов общим объемом 1056520 тыс. м³, которые занимают площадь 5526 га; из них около 30 % являются горящими [16]. Порода отвалов на начальном этапе ее складирования очень фитотоксична, отличается низкой влагоемкостью и содержанием элементов минерального питания, в особенности азота, фосфора и органических соединений, необходимых для роста и развития растений [4]. Поэтому развитие эдафотопов, а также естественное поселение растений и формирование пионерных фитоценозов на отвалах растянуто во времени и происходит в течение десятилетий [9]. Ускорить этот процесс можно с помощью технических и биологических рекультивационных мероприятий.

Рекультивацию отвалов можно рассматривать как ускоренное искусственное создание более благоприятных условий для формирования растительного покрова на их поверхности [9]. Фиторекультивацию относят к одному из наиболее эффективных способов уменьшения вредного влияния отвалов на окружающую среду [1, 7].

Панцирные клещи (орибатиды) являются одной из пионерных групп микроартропод, заселяющих отвалы шахтных пород, и активно участвующих в почвообразовании в ходе сукцессионных процессов, происходящих на терриконах.

Микроартроподы и другие почвенные членистоногие заселяют почвенные субстраты на самых ранних стадиях сукцессии. Эта колонизация, благодаря переносу мельчайших членистоногих ветром и водой, осуществляется уже в первые часы после формирования открытой горной выработки или отвала [8, 20]. Специфика антропогенно обусловленных сукцессий на отвалах и заброшенных выработках шахт заключается в том, что при горных разработках на поверхность в большом количестве выносятся подпочвенные и материнские породы. Сукцессия на них обладает чертами как первичной, так и вторичной. Наиболее молодые отвалы характеризуются дисбалансом между процессами минерализации-иммобилизации органического вещества и доминированием в сообществе беспозвоночных пионерных группировок. Наиболее высокой численностью и разнообразием микроартропод характеризуются более старые отвалы с естественным лесовосстановлением и формированием гумусного горизонта [8, 19].

Сукцессии населения почвенных беспозвоночных, и в частности, микроартропод, на заброшенных горных выработках и отвалах изучались с начала 1960-х гг. [8, 20]. В целом, в зависимости от стадии развития эдафотопы и растительности, положения площадки на катене и экспозиции склона, с течением времени разнообразие микроартропод увеличивается, численность же испытывает волнообразные колебания. При возрасте отвала около 5 лет (от 3 до 8) пионерные группировки начинают сменяться композициями видов, свойственными данному ландшафту, при этом обилие рудеральных видов, порою высокое в первые годы, резко снижается, меняются и спектры экологических групп [8, 23]. Сообщество почвенных беспозвоночных горных выработок и отвалов становится все более похоже на нативное, но полного восстановления не происходит даже к 46 годам после забрасывания [8, 21].

На начальной стадии восстановительной сукцессии после отсыпки отвалов все исследователи отмечают «крайнюю бедность» видового состава орибатидных сообществ. На средних стадиях сукцессии происходит увеличение видового богатства и численности орибатид, но с разной скоростью. Даже на «старых» отвалах сообщества орибатид (по обилию видов) значительно беднее таковых в соответствующих фоновых (естественных) экосистемах. На «старых» отвалах набор видов значительно отличается от такового в фоновых экосистемах. Это говорит о восстановлении сообществ только в количественном соотношении, но не в качественном. В отвалах каждого региона выявлены свои характерные виды-индикаторы нарушений при горных разработках, а также виды-индикаторы, соответствующие разным стадиям восстановления нарушенных экосистем [3]. Таксоценопанцирных клещей реагирует на нарушение среды обитания изменением основных параметров сообщества: численности (обилия), уровня видового богатства, состава видов и их количественных соотношений [2].

В ходе восстановительной сукцессии происходят структурно-функциональные перестройки сообществ панцирных клещей в направлении увеличения видового состава, усложнения структуры, возрастания доли поверхностных и неспециализированных форм [15].

По мнению А. А. Лисковой [11], любой из способов рекультивации является более эффективным для восстановления нарушенных территорий по сравнению с их исходным состоянием.

Целью нашей работы являлось установление особенностей экологической структуры сообществ панцирных клещей на рекультивированном и нереккультивированном отвалах угольных шахт № 6-14 и «Ганзовка» № 2 г. Макеевки.

На свежих терриконах растения долго не заселяются и не растут. Главными причинами гибели растений является высокая кислотность и наличие токсичных веществ в верхних слоях породы. Поэтому из свойств субстрата наиболее важными индикаторами пригодности для роста растений на отвалах угольных шахт являются показатель pH субстрата, степень засоленности и токсичности [14].

Оба исследуемых отвала угольных шахт относятся к старым, эксплуатация которых закончена еще в 70-е годы XX века. Так, для нижней части рекультивированного террикона шахты № 6-14 характерна слабокислая реакция почвенного раствора, близкая к нейтральной. Для средней части значение pH изменяется незначительно (с 6,5 до 7,2). В процессе переформирования отвала шахты № 6-14 завозилась и выравнивалась по поверхности отвала почва, поэтому в некоторых местах наблюдается значение pH, которое является неестественным для такого техногенного объекта как отвал угольной шахты (7,7–7,8), однако является естественным для зональных почв нашего региона [1].

На нереккультивированном терриконе шахты «Ганзовка» № 2 до сих пор остаются очаги горения, площадь занимаемая инициальным эмбриоземом на отвале до сих пор достаточно большая, на вершине и даже в средней части террикона встречаются участки с безжизненным субстратом с очень низким значением pH [1].

На породных отвалах угольных шахт могут встречаться породы с pH 3–4. Такая повышенная кислая реакция среды не может не сказываться самым активным образом на

растениях, которые поселяются в таких экотопах или высаживаются там в ходе их рекультивации. В начальных стадиях процесса развития эдафотопов отвалов угольных шахт кислотность породных субстратов и связанная с нею в генезисе засоленность являются ведущими факторами, определяющими характер зарастания и возможность выращивания мелиоративных насаждений [6].

Материал и методы исследования

Обработан материал, собранный на переформированном рекультивированном отвале угольной шахты № 6-14 и нерекультивированном отвале шахты «Ганзовка» № 2 г. Макеевки.

Исследовали характер распределения и экологическую структуру населения панцирных клещей у подножия, на склоне и на вершине отвалов. Всего обработано 60 стандартных проб объемом 250 см³ (по 10 проб с каждого участка). Из 30 проб, взятых на отвале шахты № 6-14, извлечено 601 экз. имаго орибатид, которые относятся к 29 видам; на отвале шахты «Ганзовка» № 2 из 30 проб извлечено 347 экз., относящихся к 16 видам.

Сбор и обработка материала проводились по общепринятой методике Е. М. Булановой-Захваткиной [5] поэтапно: взятие проб объемом 250 см³, доставка в лабораторию акарологии, выгонка клещей с помощью термоэлектродов Тульгрена, фиксация, изготовление микропрепаратов с использованием жидкости Фора под биноклем Olympus SZ51, определение видового состава под микроскопом Zeiss Primo Star (Германия), математическая обработка и анализ материала. Для оценки экологического разнообразия исследуемых сообществ панцирных клещей применялся информационно-статистический индекс Шеннона, рассчитанный с использованием натурального логарифма [12]. Для анализа структуры доминирования сообществ применялись градации доминирования по шкале Г. Энгельманна [22] для микроартропод. Анализ распределения жизненных форм проведен в соответствии с работами Д. А. Кривошукского [10, 13]. Кластерный анализ для построения дендрограмм сходства проведен с использованием программы Statistica 8.0. При этом в качестве меры расстояния использовалась Евклидова дистанция, метод объединения кластеров – Варда (Ward). Оценка состояния окружающей среды по интегральному показателю структуры сообществ панцирных клещей проведена по предложенной нами ранее методике [17]. Все расчеты проведены в MS Excel.

Результаты и обсуждение

На рекультивированном отвале шахты № 6-14 г. Макеевки из 30 проб извлечен 601 экз. имаго панцирных клещей, которые относятся к 29 видам (табл. 1).

Таблица 1

Видовой состав, численность, индексы доминирования и жизненные формы панцирных клещей отвала угольной шахты № 6-14 г. Макеевки

Вид	Подножие	Склон	Вершина	ЖФ
<i>Sphaerochthonius dilutus</i> Sergienko, 1991	3/1,99/R	-	1/1,92/R	НФ (п)
<i>Liochthonius</i> sp.	-	3/0,75/SR	-	НФ (п)
<i>Acrotritia (Rhysotritia) ardua affinis</i> Sergienko, 1989	-	1/0,25/SR	-	ОТП
<i>Epilohmannia cylindrica cylindrica</i> (Berlese, 1904)	-	1/0,25/SR	-	ГФ
<i>Nothrus biciliatus</i> C. L. Koch, 1841	-	-	1/1,92/R	ОТП
<i>Camisia biverrucata</i> (C. L. Koch, 1839)	1/0,66/SR	2/0,50/SR	-	ОТП
<i>Gymnodamaeus bicostatus</i> (C. L. Koch, 1835)	1/0,66/SR	5/1,26/SR	-	ОПП
<i>Licnodamaeus undulatus</i> (Paoli, 1908)	-	-	1/1,92/R	ОТП
<i>Belba dubinini</i> Bulanova-Zachvatkina, 1962	1/0,66/SR	-	-	ОПП
<i>Metabelba pulverulenta</i> (C. L. Koch, 1839)	1/0,66/SR	-	-	ОПП
<i>Metabelba</i> sp.	-	3/0,75/SR	-	ОПП
<i>Tectocephus velatus</i> (Michael, 1880)	45/29,80/D	248/62,31/E	26/61,54/E	НФ (в)

Вид	Подножие	Склон	Вершина	ЖФ
<i>Anomaloppia chitinofincta</i> (Kulijew, 1962)	-	6/1,51/R	-	ОМПС
<i>Medioppia obsoleta</i> (Paoli, 1908)	3/1,99/R	68/19,85/D	3/5,77/SD	ОМПС
<i>Ramusella mihelčiči</i> (Perez-Inigo, 1965)	19/12,58/D	-	1/1,92/R	ОМПС
<i>Suctobelbella perpendiculata</i> (Forsslund, 1958)	-	3/0,75/SR	-	ОМПС
<i>Suctobelbella</i> sp.	1/0,66/SR	9/2,26/R	-	ОМПС
<i>Scutovertex sculptus</i> Michael, 1879	-	5/1,26/R	-	НФ (в)
<i>Zygoribatula exarata</i> Berlese, 1917	31/20,53/D	9/2,26/R	3/5,77/SD	НФ (в)
<i>Protoribates capucinus</i> (Berlese, 1908)	8/5,30/SD	13/3,27/R	1/1,92/R	НФ (в)
<i>Protoribates pannonicus</i> Willmann, 1951	-	1/0,25/SR	-	НФ (в)
<i>Scheloribates laevigatus</i> (C. L. Koch, 1835)	21/15,23/D	3/0,75/SR	7/13,46/D	НФ (в)
<i>Ceratozetes macromediocris</i> Shaladybina, 1970	3/1,99/R	-	-	НФ (в)
<i>Ceratozetes</i> cf. <i>minutissimus</i> Willmann, 1951	-	3/0,75/SR	1/1,92/R	НФ (в)
<i>Ceratozetella sellnicki</i> (Rajski, 1958)	-	1/0,25/SR	-	НФ (в)
<i>Tectoribates ornatus</i> (Schuster, 1958)	-	1/0,25/SR	-	НФ (в)
<i>Galumna lanceata</i> Oudemans, 1900	2/1,32/R	2/0,50/SR	-	ОПП
<i>Pilogalumna allifera</i> (Oudemans, 1915)	9/5,96/SD	-	-	ОПП
<i>Galumna</i> sp.	-	-	1/1,92/R	ОПП
Численность, экз. в 10 пробах	151	398	52	
Количество видов	15	20	11	
Средняя плотность (экз./м ²)	6040	15920	2080	
Индекс Шеннона, нат	2,01	1,39	1,43	

Примечания:

1. Индексы доминирования по шкале Г. Энгельмана [22] для микроартропод: Е – эудоминант (> 40 %); D – доминант (12,5–39,9 %); SD – субдоминант (4,0–12,4 %); R – рецедент (1,3–3,9 %); SR – субрецедент (<1,3 %);

2. ЖФ – жизненные формы орибатид: ОПП – обитатели поверхности почвы; ОТП – обитатели толщи подстилки; ОМПС – обитатели мелких почвенных скважин; НФ (п) – первично неспециализированные формы; НФ (в) – вторично неспециализированные формы; ГФ – глубокопочвенные формы.

Анализируя параметры численности и видового богатства панцирных клещей на исследуемом терриконе можно отметить, что максимум этих показателей наблюдается на склоне (плотность – 15920 экз./м², количество видов – 20), минимум отмечен на вершине (плотность – 2080 экз./м², количество видов – 11) (рис. 1).

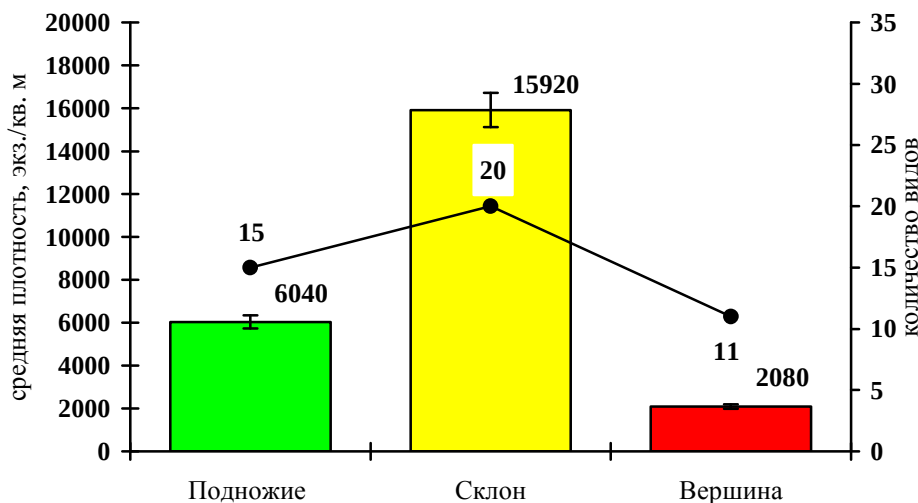


Рис. 1. Видовое богатство и средняя плотность населения панцирных клещей рекультивированного террикона шахты № 6-14 г. Макеевки

Структура доминирования сообществ панцирных клещей отражена на рис. 2–4.

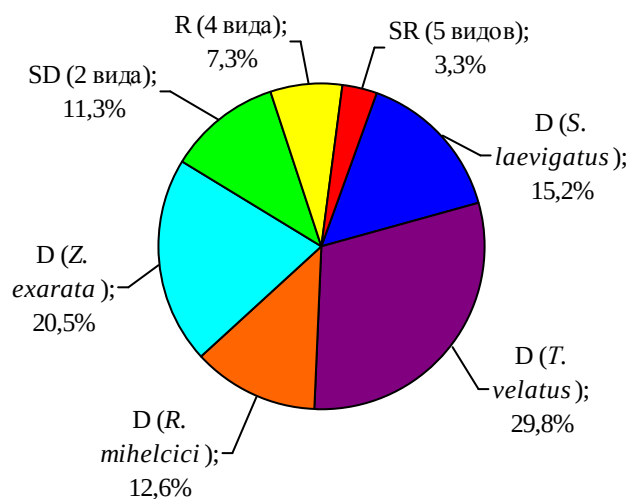


Рис. 2. Структура доминирования сообщества панцирных клещей у подножия рекультивированного террикона шахты № 6-14 г. Макеевки

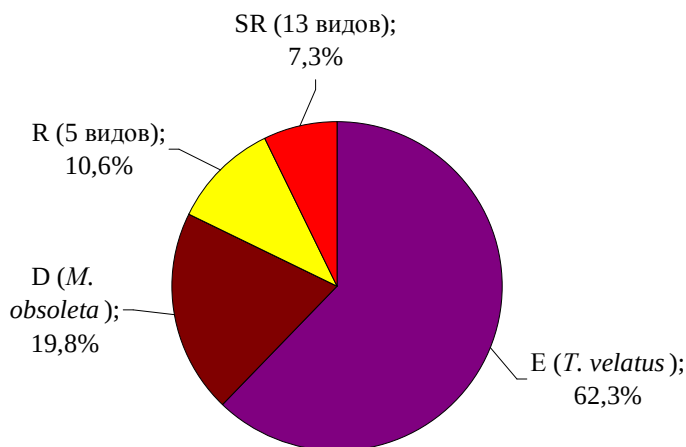


Рис. 3. Структура доминирования сообщества панцирных клещей на склоне рекультивированного террикона шахты № 6-14 г. Макеевки

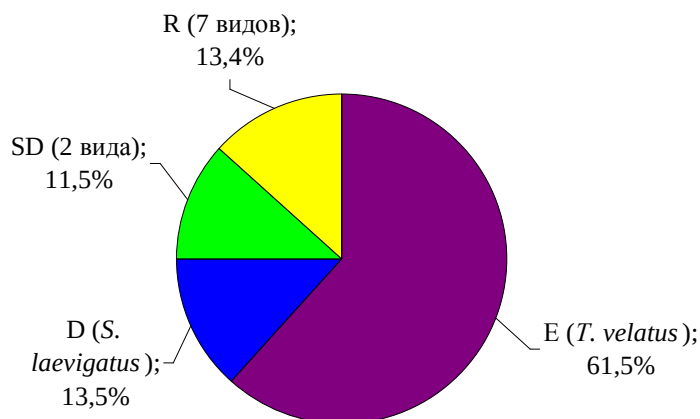


Рис. 4. Структура доминирования сообщества панцирных клещей на вершине рекультивированного террикона шахты № 6-14 г. Макеевки

В целом по всему террикону наблюдается явное доминирование одного вида – *Tectocepheus velatus*, что в целом характерно для нарушенных экосистем, и терриконов Донбасса в частности. Доля этого вида превышает 60 % на склоне и вершине отвала и достигает 30 % у его основания, что свидетельствует о явном дисбалансе в структуре сообщества. Этот экологически пластичный вид хорошо приспосабливается к экстремальным эдафическим и гидротермическим условиям, которые складываются на терриконах.

У подножия отвала структура сообщества панцирных клещей более выровнена, отмечено 4 доминирующих вида (*T. velatus*, *Z. exarata*, *R. mihelcici*, *S. laevigatus*), 2 субдоминанта и 9 редких видов (R и SR), составляющих более 10% от общей численности. На склоне доля *T. velatus* возрастает до 62 % и он переходит в ранг эудоминантов, значительно увеличивается доля *M. obsoleta*, который становится доминирующим видом, при этом исчезает группа субдоминантов, а 18 редких видов составляют почти 18 %. На вершине доля эудоминанта *T. velatus* остается практически такой же, как на склоне, к доминантам отнесен вид *S. laevigatus*, присутствуют только 7 рецедентных видов – 13 %, а группа субрецендента исчезает (см. рис. 2-4).

Максимум экологического разнообразия сообщества орибатид, рассчитанного с помощью индекса Шеннона, отмечен у подножия шахтного отвала – 2,01 нат, на склоне и вершине террикона эти показатели составили 1,39 и 1,43 нат, соответственно.

Анализируя соотношение жизненных форм панцирных клещей (рис. 5), следует отметить, что на всем терриконе преобладают вторично неспециализированные формы, наиболее приспособленные к неблагоприятным условиям окружающей среды. Максимум процентного соотношения отмечен на вершине отвала – 86,6 %, на склоне и у подножия их доля составила 71,4 и 73,0 %, соответственно. Значительно уступает им группа обитателей мелких почвенных скважин, доля которых максимальна на склоне террикона – 24,4 %, минимум отмечен на вершине – 7,7 %. Все остальные адаптивные типы орибатид представлены незначительно, можно выделить еще обитателей поверхности почвы, доля которых у подножия террикона достигает 9,1 %.

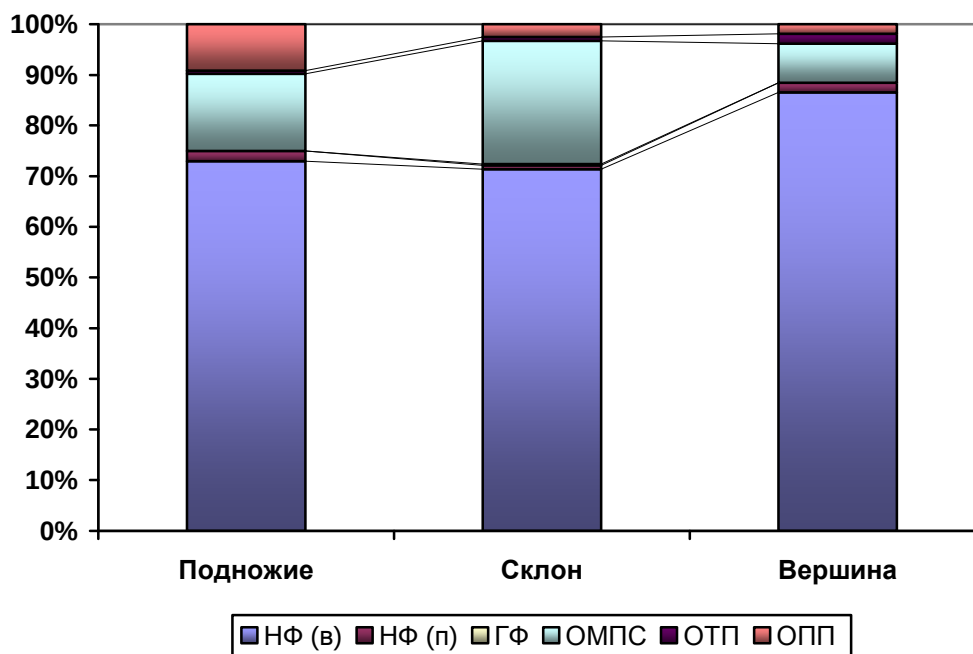


Рис. 5. Распределение жизненных форм панцирных клещей на рекультивированном терриконе шахты № 6-14 г. Макеевки: ОПП – обитатели поверхности почвы, ОТП – обитатели толщи подстилки, ОМПС – обитатели мелких почвенных скважин, НФ (п) – первично неспециализированные формы, НФ (в) – вторично неспециализированные формы, ГФ – глубокопочвенные формы

Следует также отметить, что на склоне обнаружены представители всех адаптивных типов, тогда как у подножия и на вершине отвала не найдены представители глубокопочвенных форм клещей. Такой характер распределения жизненных форм орибатид в целом характерен для техногенных ландшафтов и терриконов в частности.

Проведенный кластерный анализ показал, что сообщество панцирных клещей вершины сходно с сообществом подножия, а население орибатид на склоне отвала значительно отличается от них (рис. 6).

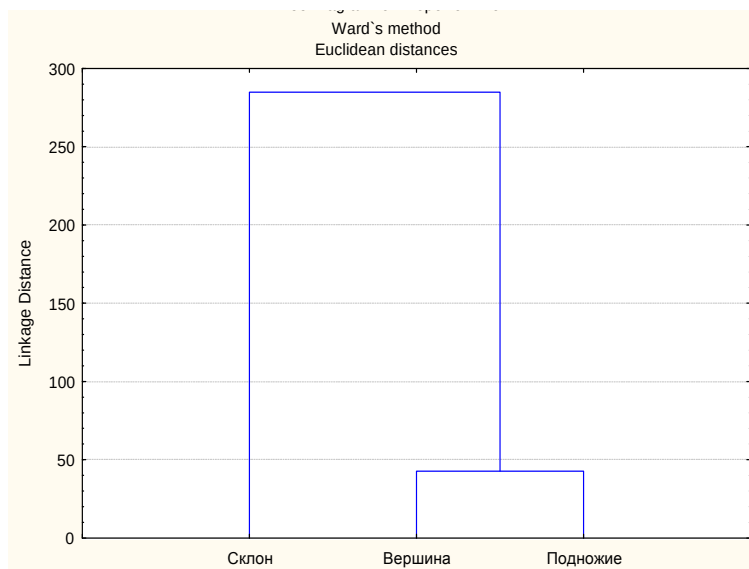


Рис. 6. Кластерный анализ структуры сообществ панцирных клещей рекультивированного террикона шахты № 6-14 г. Макеевки

Оценка состояния окружающей среды проводилась по предложенной нами шкале, где интегральный показатель от 0 до 5 баллов соответствует *критическому состоянию*, 6–10 баллов – *значительным отклонениям от нормы*, 11–15 баллов – *среднему уровню отклонений от нормы*, 16–20 баллов – *незначительным отклонениям от нормы* и 21–25 баллов – *условно нормальному состоянию* [17]. Ранее было установлено, что техногенная нагрузка в виде создания породных отвалов шахт отрицательно влияет на экологическое состояние окружающей среды, при этом интегральный показатель структуры сообществ панцирных клещей рекультивированных терриконов, в основном, соответствует *среднему уровню отклонений от нормы*. Отмечено, что рекультивационные мероприятия, которые проводятся на терриконах, содействуют улучшению качества окружающей среды [17, 18].

Согласно результатам проведенных нами исследований, интегральный показатель экологической структуры сообществ орибатид на склоне отвала шахты № 6-14 г. Макеевки, где проводились успешные рекультивационные мероприятия, составляет 18 баллов, что соответствует *незначительным отклонениям от нормы* (II уровень). На вершине и у подножия террикона экологическое состояние окружающей среды соответствует *среднему уровню отклонений от нормы* (III уровень, 14 и 15 баллов соответственно) (рис. 7).

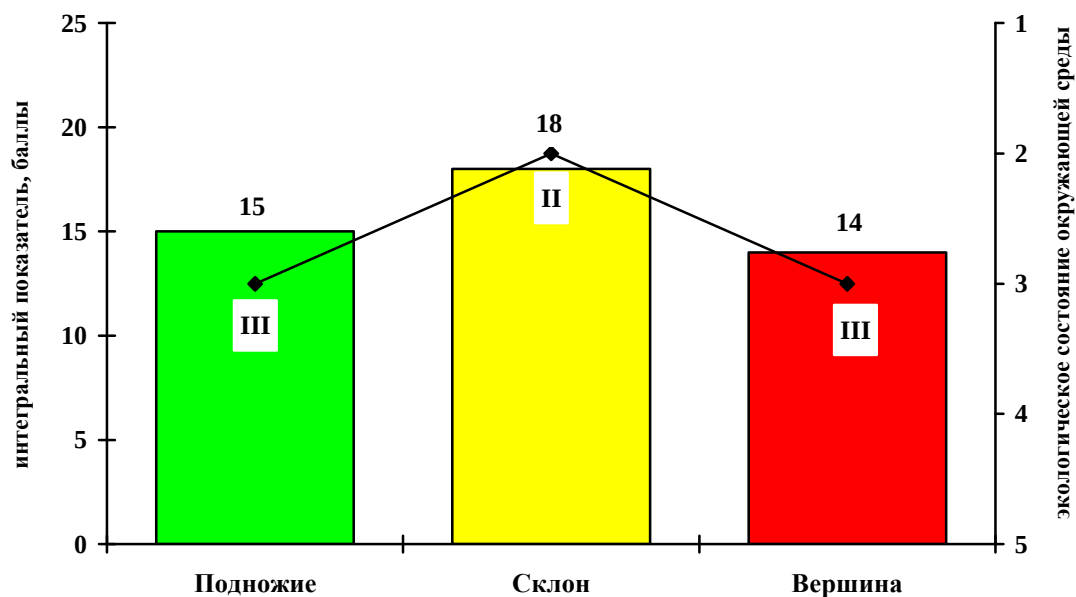


Рис. 7. Экологическое состояние окружающей среды по интегральному показателю сообществ панцирных клещей на рекультивированном терриконе шахты № 6-14 г. Макеевки

На нерекультивированном отвале шахты «Ганзовка» № 2 также было проведено исследование видового состава и экологической структуры сообществ панцирных клещей у подножия, на склоне и на вершине террикона. Всего из 30 проб извлечено 347 экз. имаго орибатид, относящихся к 16 видам. Результаты исследования отражены в табл. 2.

Таблица 2

Видовой состав, численность, индексы доминирования и жизненные формы панцирных клещей нерекультивированного отвала шахты «Ганзовка» № 2

Вид	Подножие	Склон	Вершина	ЖФ
<i>Sphaerochthonius dilutus</i> Sergienko, 1991	-	3/1,49/R	-	НФ (п)
<i>Nothrus biciliatus</i> C. L. Koch, 1841	1/0,72/SR	-	1/6,25/SD	ОТП
<i>Nothrus</i> sp.	1/0,72/SR	-	-	ОТП
<i>Tectocepheus velatus</i> (Michael, 1880)	111/79,86/E	152/75,25/E	3/18,75/D	НФ (в)
<i>Anomaloppia chitinofincta</i> (Kulijew, 1962)	2/1,44/R	5/2,48/R	-	ОМПС
<i>Oppiella nova</i> (Oudemans, 1902)	-	-	5/31,25/D	ОМПС
<i>Passalozetes rugosus</i> Sitnikova, 1975	1/0,72/SR	1/0,50/SR	-	НФ (в)
<i>Peloribates europeus</i> Willmann, 1935	4/2,88/R	6/2,97/R	-	НФ (в)
<i>Zigoribatula exarata</i> Berlese, 1917	6/4,32/SD	7/3,47/R	1/6,25/SD	НФ (в)
<i>Zigoribatula frisiae</i> (Oudemans, 1900)	9/6,47/SD	-	-	НФ (в)
<i>Zigoribatula terricola ucrainica</i> Iordansky, 1990	3/2,16/R	24/11,88/SD	2/12,50/D	НФ (в)
<i>Protoribates capucinus</i> (Berlese, 1908)	1/0,72/SR	1/0,50/SR	-	НФ (в)
<i>Sheloribates laevigatus</i> (C. L. Koch, 1835)	-	-	1/6,25/SD	НФ (в)
<i>Ceratozetes</i> cf. <i>minutissimus</i> Willmann, 1951	-	3/1,49/R	-	НФ (в)
<i>Ceratozetes</i> sp.	-	-	2/12,50/D	НФ (в)
<i>Galumna</i> sp.	-	-	1/6,25/SD	ОПП
Численность, экз. в 10 пробах	139	202	16	
Количество видов	10	9	8	
Средняя плотность (экз./м ²)	5560	8080	640	
Индекс Шеннона, нат	0,88	0,96	1,89	

Примечания: см. табл. 1.

Анализируя показатели численности и видового богатства панцирных клещей можно отметить, что максимум наблюдается на склоне (средняя плотность населения – 8080 экз./м², количество видов – 9), минимум – на вершине (плотность населения – 640 экз./м², количество видов – 8) (рис. 8). Такой характер распределения связан, прежде всего, с гидротермическими и эдафическими условиями (вершина террикона голая, встречаются очаги горения, эдафические условия экстремальные, грунт уплотнен, влажность очень низкая).

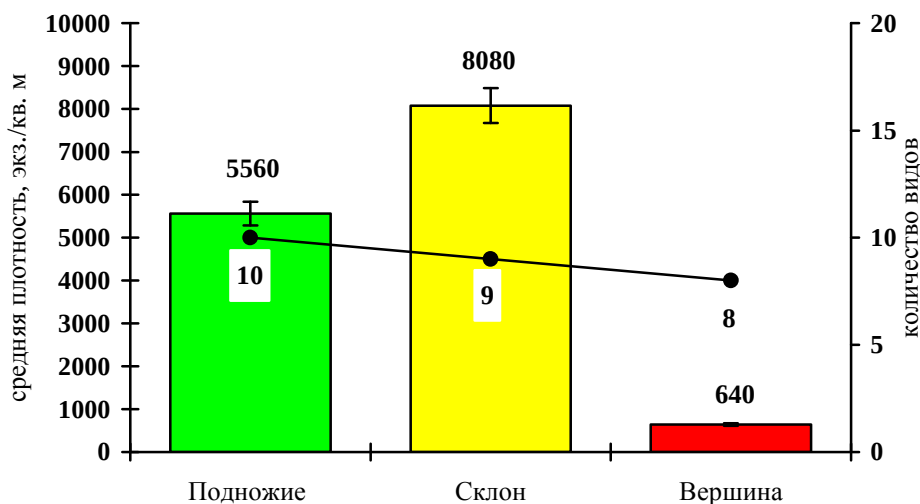


Рис. 8. Видовое богатство и средняя плотность населения панцирных клещей нерекультивированного отвала шахты «Ганзовка» № 2 г. Макеевки

Анализ структуры доминирования (рис. 9–11) показывает, что в целом по всему террикону также наблюдается явное доминирование *T. velatus*. Доля этого вида варьирует от 18,8 % на вершине до 79,9 % у подножия отвала, что свидетельствует о явном дисбалансе в структуре сообщества. У основания террикона, кроме эудоминанта *T. velatus* отмечены 2 субдоминанта и 7 редких видов, доля которых составляет 9,4%. На склоне отвала доля *T. velatus* снижается до 75,3 %, отмечен 1 субдоминант и 7 редких видов (12,8 %). На вершине к доминирующим отнесены 4 вида (*O. nova*, *T. velatus*, *Z. terricola ucrainica*, *Ceratozetes* sp.), общая доля которых составила 75 %, к субдоминантам – 4 вида (25%), группы рецедентов и субрецедентов отсутствуют (см. рис. 9–11).

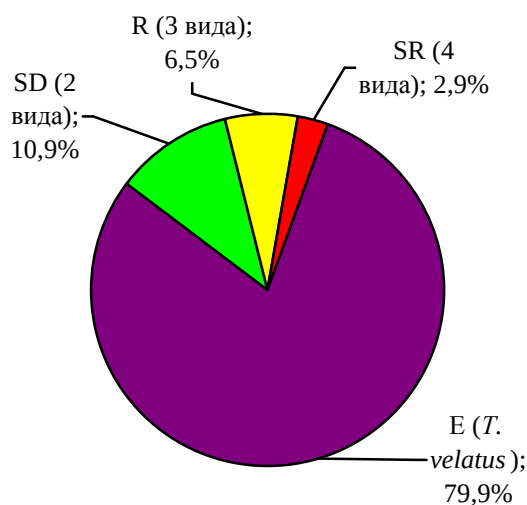


Рис. 8. Структура доминирования сообщества панцирных клещей у подножия нерекультивированного террикона шахты «Ганзовка» № 2 г. Макеевки

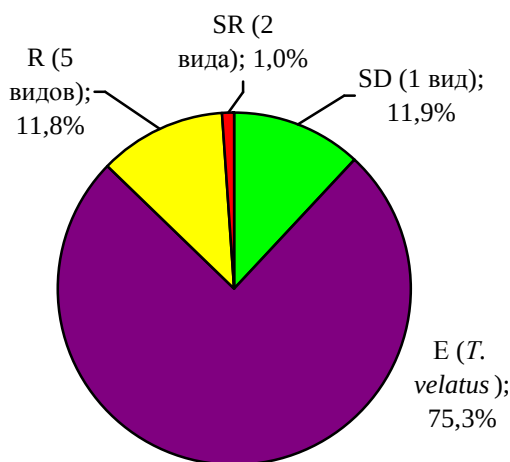


Рис. 9. Структура доминирования сообщества панцирных клещей на склоне некультивированного террикона шахты «Ганзовка» № 2 г. Макеевки

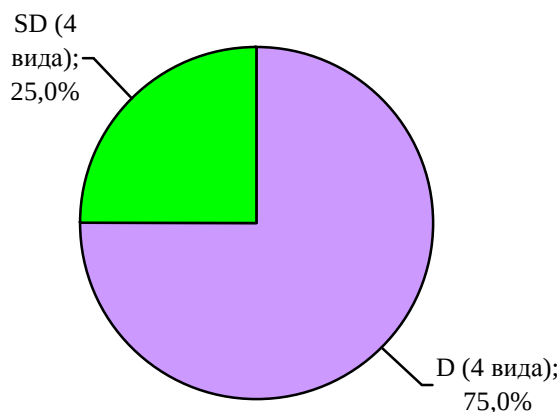


Рис. 10. Структура доминирования сообщества панцирных клещей на вершине некультивированного террикона шахты «Ганзовка» № 2 г. Макеевки

Максимальный индекс экологического разнообразия отмечен на вершине (1,89 нат), у подножия и на склоне террикона индексы очень низкие (0,88 и 0,96 нат, соответственно), что связано с «супердоминированием» вида *T. velatus*, которое снижает общее экологическое разнообразие. На вершине, несмотря на низкую численность (в 10 пробах найдено всего 16 экз.), были обнаружены представители 8 видов орибатида.

Анализируя соотношение жизненных форм (рис. 12), можно сделать вывод о том, что на всем отвале явно доминируют вторично неспециализированные формы, доля которых у подножия и на склоне превышает 95 %, что также связано с «супердоминированием» вида *T. velatus*, относящегося к данной жизненной форме. Все остальные группы представлены незначительно, можно выделить лишь группу мелких почвенных скважников, относительная доля которой возрастает на вершине. У подножия отмечены обитатели поверхности почвы и мелких почвенных скважин, только на склоне – первично неспециализированные формы. Представители глубокопочвенных форм на терриконе не обнаружены.

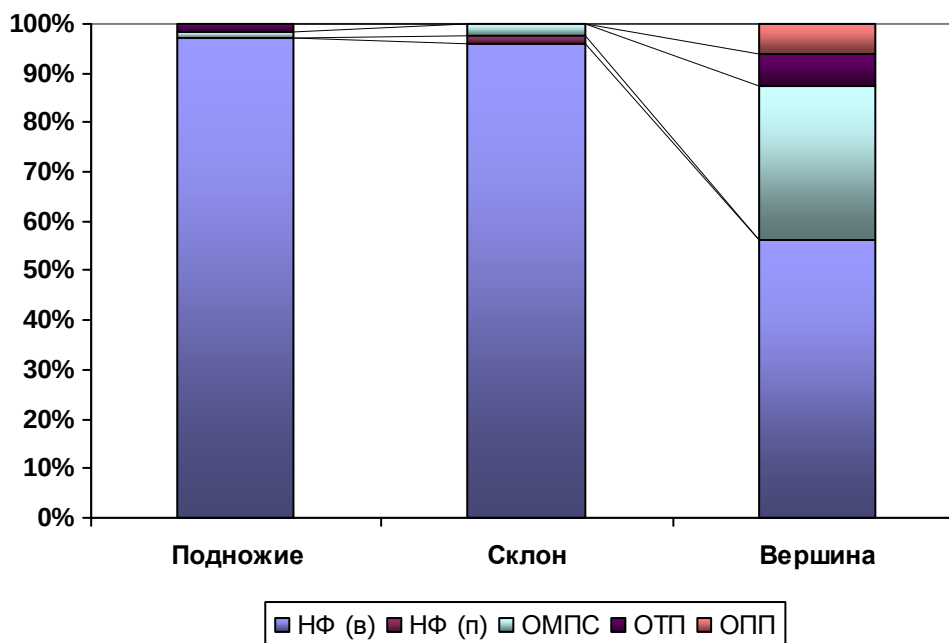


Рис. 12. Распределение жизненных форм панцирных клещей на нерекультивированном терриконе шахты «Ганзовка» № 2 г. Макеевки: ОПП – обитатели поверхности почвы, ОТП – обитатели толщи подстилки, ОМПС – обитатели мелких почвенных скважин, НФ (п) – первично неспециализированные формы, НФ (в) – вторично неспециализированные формы

Кластерный анализ показал, что сообщество панцирных клещей подножия сходно с сообществом склона, а население орибатид на вершине значительно отличается от них (рис. 13).

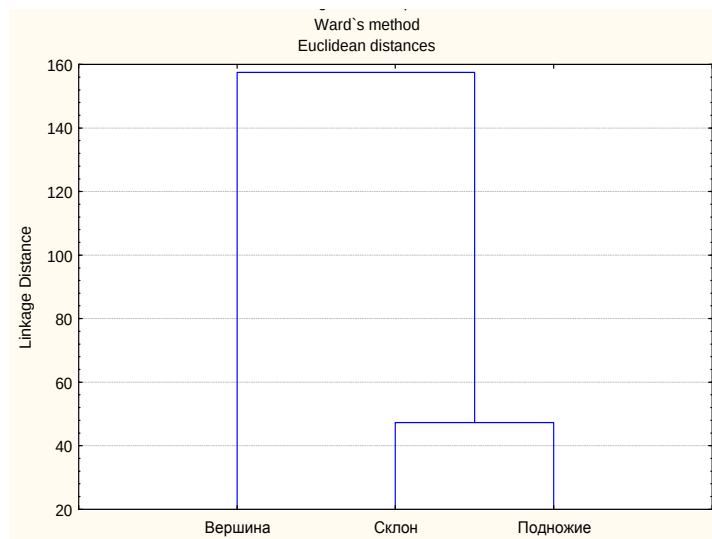


Рис. 13. Кластерный анализ структуры сообществ панцирных клещей нерекультивированного террикона шахты «Ганзовка» № 2 г. Макеевки

Согласно результатам проведенных исследований, интегральный показатель экологической структуры сообществ орибатид, суммирующий баллы по 5 основным синэкологическим параметрам (видовое богатство, среднюю плотность населения, структуру доминирования, соотношение жизненных форм, экологическое разнообразие по индексу Шеннона) на нерекультивированном отвале шахты «Ганзовка» № 2 г. Макеевки варьирует от 12 до 14 баллов, что соответствует *среднему уровню отклонений от нормы* (III уровень) (рис. 14).

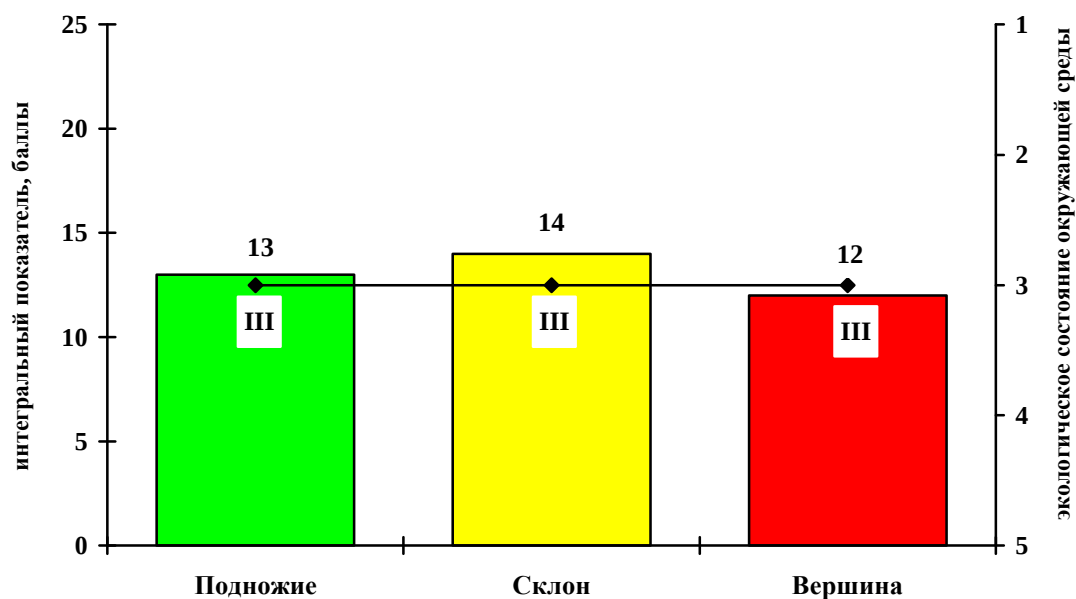


Рис. 14. Экологическое состояние окружающей среды по интегральному показателю сообществ панцирных клещей на нерекультивированном терриконе шахты «Ганзовка» № 2 г. Макеевки

Выводы

Для более успешной фитооптимизации породных отвалов необходимы сведения о ходе сукцессионного почвообразовательного процесса, происходящего в техногенном субстрате. Косвенно об этом можно судить по экологической структуре сообществ почвообитающих панцирных клещей. В результате наших исследований проведено сравнение основных синэкологических характеристик сообществ орибатид на рекультивированном и нерекультивированном отвалах угольных шахт № 6-14 и «Ганзовка» № 2 г. Макеевки.

Анализ показателей видового богатства и средней плотности населения панцирных клещей позволяет сделать вывод о том, что эти параметры почти в 2 раза выше на рекультивированном терриконе, чем на нерекультивированном. Экологическое разнообразие сообществ орибатид по индексу Шеннона также выше у подножия и на склоне отвала шахты № 6-14. Общей чертой для исследуемых сообществ панцирных клещей является монодоминантность (*Tectocepheus velatus*), что в целом характерно для техногенных ландшафтов и, соответственно, явное преобладание вторично неспециализированных форм в общем соотношении адаптивных типов. Кроме увеличения основных количественных показателей, на рекультивированном терриконе изменяется структура доминирования орибатид, снижается степень доминирования эудоминантов, увеличивается количество и доля рецедентных и субрецедентных видов, повышается разнообразие жизненных форм.

Из этого следует, что проводимые рекультивационные мероприятия на шахтных отвалах улучшают количественные и качественные характеристики экологической структуры сообществ панцирных клещей, что в свою очередь, учитывая роль орибатид в почвообразовательных процессах, ускоряет сукцессионные процессы восстановления нарушенных техногенных ландшафтов.

Тем не менее, экологическая структура населения орибатид терриконов еще очень далека до эталонных показателей, характерных для ненарушенных заповедных территорий Донбасса. Исследуемые сообщества представляют собой специфические комплексы, слабо напоминающие естественные сообщества, для полного восстановления которых должно пройти еще много времени.

Список литературы

1. Агурова И. В. Особенности развития эдафотопы в условиях отвалов угольных шахт Донбасса // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2009. № 1 (9). С. 150–157.
2. Андриевский В. С. Сравнительная характеристика сукцессий панцирных клещей (Oribatei) и почвенной микрофлоры на песчаных карьерах в подзоне северной тайги Западной Сибири // Евразийский энтомологический журнал. 2012. № 11 (1). С. 13–18.
3. Андриевский В. С., Барсуков П. А. Почвенные панцирные клещи (орибатиды) как биоиндикаторы воздействия человека на экосистемы (обзор) / Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири : монография / Под ред. В. Г. Сычева, Л. Мюллера. М., 2018. С. 106–111.
4. Башкатов В. Г., Торохова О. Н., Жуков С. П. Рекомендации по формированию мелиоративного растительного покрова на отвалах угольных шахт Донбасса. Донецк : Б. и., 2002. 35 с.
5. Буланова-Захваткина Е. М. Панцирные клещи – оribатиды. М. : Высш. шк., 1967. 254 с.
6. Жуков С. П. Растения, устойчивые к повышенной кислотности почв, в фитоценозах отвалов Донбасса // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2011. № 1 (11). С. 230–234.
7. Зубова Л. Г., Зубов А. Р., Зубов А. А., Харламова А. В., Воробьев С. Г., Макаришина Ю. И., Буняченко В. В. Терриконы : монография. Луганск : Изд-во «Ноулидж», 2015. 712 с.
8. Любечанский И. И., Залиш Л. В., Марченко И. И., Беспалов А. Н. Колонизация почвенными микроартроподами образцов с различными эдафическими свойствами на каменноугольных выработках в Кузбассе (Западная Сибирь) // Евразийский энтомологический журнал. 2019. № 18 (2). С. 84–90. <http://dx.doi.org/10.15298/euroasentj.18.2.02>
9. Коршиков И. И., Жуков С. П. Самовозобновление древесных растений на отвалах угольных шахт Донбасса // Промышленная ботаника. 2008. Вып. 8. С. 17–23.
10. Кривоуцкий Д. А. Морфо-экологические типы панцирных клещей (Acariformes, Oribatei) // Зоол. журн. 1965. Т. 44, № 8. С. 1176–1189.
11. Лисковая А. А. Фаунистическое и экологическое разнообразие панцирных клещей (Acariformes : Oribatei) в экосистемах Кольского Севера : Автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.02.04 зоология, 03.02.08 экология. Петрозаводск, 2011. 27 с.
12. Мэггаран Э. Экологическое разнообразие и его измерение : пер. с англ. М. : Мир, 1992. 184 с.
13. Панцирные клещи : морфология, развитие, филогения, экология, методы, исследования, характеристика модельного вида *Nothrus palustris* С. L. Koch, 1839 / Д. А. Кривоуцкий, Ф. Лебрен, М. Кунст и др. / Под ред. Д. А. Кривоуцкого. М. : Наука, 1995. 224 с.
14. Промышленная ботаника / Е. Н. Кондратюк, В. П. Тарабрин, В. И. Бакланов и др. / Под ред. Е. Н. Кондратюка. К. : Наук. думка, 1980. 260 с.
15. Рябинин Н. А., Паньков А. Н. Сукцессии панцирных клещей (Acariformes : Oribatida) на нарушенных территориях // Известия РАН. Сер. Биол. 2009. № 5. С. 604–609.
16. Террикон. Материал из MiningWiki. URL : <http://miningwiki.ru/wiki/Террикон> (дата обращения: 15.01.2021).
17. Штирц А. Д. Оценка влияния антропогенной нагрузки на экосистемы с использованием интегрального показателя сообществ панцирных клещей // Acta Biologica Sibirica. 2015. № 1 (1–2). С. 51–66. <http://dx.doi.org/10.14258/abs.v1i1-2.782>
18. Штирц А. Д., Винник Ю. А. Панцирные клещи как биоиндикаторы состояния окружающей среды на рекультивированных терриконах шахт г. Донецка // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2020. № 1–2. С. 65–72.

19. *Bogorodskaya A. V., Krasnoshchekova E. N., Trefilova O. V., Shishikin A. S.* Seasonal development dynamics of microbocenoses and complexes of invertebrates on overburden heaps of the Borodinskoye brown-coal mine (KATEK) // *Geography and natural resources*. 2010. Vol. 31, N 4. P. 338. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gnr.2010.11.005>

20. *Dunger W., Voigtländer K.* Soil fauna (Lumbricidae, Collembola, Diplopoda and Chilopoda) as indicators of soil eco-subsystem development in post-mining sites of eastern Germany – a review // *Soil organisms*. 2009. Vol. 81, N 1. P. 1–51.

21. *Dunger W., Wanner M., Hauser H., Hohberg K., Schulz H.-J., Schwalbe T., Seifert B., Vogel J., Voigtländer K., Zimdars B., Zülka K. P.* Development of soil fauna at mine sites during 46 years after afforestation // *Pedobiologia*. 2001. Vol. 45. P. 243–271. <http://dx.doi.org/10.1078/0031-4056-00083>.

22. *Engelmann H.-D.* Zur Dominanzklassifizierung von Bodenarthropoden // *Pedobiologia*. 1978. Bd. 18, Hf. 5/6. S. 378–380.

23. *Kirichok L. G., Illenko M. M., Bezukrovna O. V.* The structure of Mesofauna community in protective-decorative plantations on mine-coal dumps of the Donetsk Basin // *Vestnik zoologii*. 2006. Vol. 40, N 5. P. 437–443.

Shirts A. D. Features of ecological structure of oribatid mites communities on recultivation and non-recultivation dumps of coal mines in Makeevka. – Analyzed the main ecological characteristics of oribatid mites communities on recultivation and non-recultivation dumps of coal mines № 6-14 and «Ganzovka» № 2 in Makeevka. Based on the criteria for assessing the ecological characteristics of structure of oribatid mites communities by the integral indicator, the state of environment was assessed. It is noted that the recultivation measures carried out on coal mine dumps improve the quantitative and qualitative characteristics of ecological structure of oribatid mites communities, which in turn, taking into account the role of oribatids in soil-forming processes, accelerates the successional processes of restoration of disturbed technogenic landscapes.

Key words: oribatid mites, coal mine dump, recultivation, ecological structure of community, bioindication.

**ФИЗИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ, МИКОЛОГИЯ
PHYSIOLOGY AND ECOLOGY OF THE PLANT, MYCOLOGY**

УДК 635.918 : 504.75

© О. А. Гридько, Д. К. Дембицкая

**САНИТАРНО-БАКТЕРИОЛОГИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ИНТЕРЬЕРНЫХ РАСТЕНИЙ
В УСЛОВИЯХ ЛЕЧЕБНОГО ПОМЕЩЕНИЯ Г. МАКЕЕВКИ**

*ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
283050, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: o.hrydko@donnu.ru*

Гридько О. А., Дембицкая Д. К. Санитарно-бактериологический эффект интерьерных растений в условиях лечебного помещения г. Макеевки. — В работе представлены результаты санитарно-бактериологического состояния воздуха в условиях лечебного помещения ГБУ «Городская больница № 6» г. Макеевки при использовании интерьерных растений. Проведен систематический анализ внутреннего озеленения, определены особенности пылеосаждающей способности видов, а также сезонная динамика микрофлоры воздуха в условиях лечебного помещения. Рекомендованы виды интерьерных растений, способствующие оздоровлению воздушной среды и снижающие риск инфекционных заболеваний.

Ключевые слова: интерьерные растения, аэросанация, микрофлора.

Введение

Профилактические мероприятия по аэросанации внутренней среды закрытых помещений занимают одно из ведущих и приоритетных мест в современной медико-биологической науке [5, 10, 12, 13]. Очевидным является то, что проблему охраны и оздоровления воздушной среды следует решать с помощью растений с выраженными газопоглотительными и фитонцидными функциями и свойствами [10–13, 16].

К настоящему времени накоплен большой объем экспериментальных данных по абиотической, антимикробной, антифунгальной, антивирусной активности веществ, выделяемых высшими растениями, и перспективности их использования в практической деятельности. Доказано, что интерьерные растения обладают бактериостатическим и бактерицидным, фунгицидным и фитонцидным эффектами, которые создают не только оптимальные микроклиматические и санитарно-гигиенические условия, но и снижают уровень условно-патогенной микрофлоры и, как следствие, риск инфекционных заболеваний [5, 10–14].

В связи с ростом массового инфицирования населения, поддержание здоровых микроэкологических условий в помещениях, где имеет место скопление значительного числа людей (поликлиники, больницы, места массового досуга), приобретает особую актуальность. Следовательно, проведение мероприятий по оздоровлению воздушной среды закрытых помещений наиболее актуальны в осенне-зимние периоды, связанные с сезонным ослаблением иммунитета человека, повышенным риском острых респираторных и вирусных заболеваний, передающихся воздушно-капельным путем.

Цель работы – анализ санитарно-бактериологического эффекта интерьерных растений в условиях лечебного помещения ГБУ «Городская больница № 6» г. Макеевки.

В связи с этим предполагалось решение следующих задач: провести систематический анализ представленного ассортимента и способы размещения растений в интерьере помещения; выявить особенности пылеосаждающей способности разных видов растений и сезонную динамику микрофлоры воздуха в условиях лечебного помещения; рекомендовать виды, способствующие оздоровлению воздушной среды и снижающие риск инфекционных заболеваний.

Материал и методы исследования

Исследования проводили в течение 2017–2021 гг. в условиях клинико-диагностической лаборатории ГБУ «Городская больница № 6» г. Макеевки [3, 4]. Виды определяли по

характерным морфологическим видовым признакам [9], номенклатура таксонов приведена согласно электронным базам данных [15].

Пылеосаждающая способность листовых пластинок растений в условиях помещения установлена на основании определения среднего количества пыли, осаждаемой на поверхность листа в перерасчете на 1 см^2 его площади [2].

Микробиологическое исследование воздуха, а также определение сезонной динамики микробной загрязненности помещения изучено седиментационным методом в условиях опыта (при наличии растений) и контроля (их отсутствии) [1]. Для культивирования микроорганизмов воздушной среды была использована универсальная среда – мясопептонный агар. Содержание микроорганизмов в 1 м^3 определено по В. Л. Омелянскому [1, 6]. Статистическую обработку данных проводили в соответствии с общепринятыми методиками [8] с использованием программы MS Office Excel. Состояние растений в озеленении интерьера оценено по шкале С. Б. Косухи и Т. М. Бурганской [7].

Результаты и обсуждение

Ассортимент интерьерных растений обследованного лечебного помещения представлен 11 видами тропической и субтропической флор, относящихся к 11 родам и 5 семействам отдела Magnoliophyta [9]. Анализ систематической структуры выявил, что многочисленным по видовому разнообразию является семейство Araceae Juss., которое представлено видами из родов *Aglaonema* Schott, *Spathiphyllum* Schott, *Zamioculcas* Schott, *Zantedeschia* Spreng., *Monstera* Schott, *Syngonium* Schott и составляет 55 % от общего количества видов озелененного помещения. Вторым по составу является семейство Asparagaceae Juss., представленное двумя видами из родов *Chlorophytum* Ker-Gawl. и *Dracaena* Vand. ex L. (18 % от общего количества видов). Единичными видами отмечены роды *Ficus* L. (семейство Moraceae Gaudich), *Pelargonium* L'Herit (Geraniaceae Juss.) и *Eucharis* Planch. (Amaryllidaceae Jaume St.-Hil.). Отмеченный ассортимент растений в большей части относится к декоративно-лиственным (*Aglaonema rotundum* Schott., *Zamioculcas zamiifolia* Schott., *Ficus benjamina* L., *Monstera deliciosa* Liebm., *Syngonium podophyllum* Schott., *Chlorophytum comosum* Bak., *Dracaena marginata* Baker) и декоративно-цветущим (*Spathiphyllum chopin* Schott., *Zantedeschia aethiopica* (L.) Spreng, *Pelargonium zonale* hort., *Eucharis grandiflora* hort.) растениям.

В интерьере клинико-диагностической лаборатории представлены как крупномерные растения (свыше 1 м высотой) – 16,8 %, так и растения средних (до 1 м) – 49,9 % и небольших (до 40 см) размеров – 33,3 %. Растения, в основном, размещены на подоконниках и в емкостях на полу в виде композиционных групп.

Наиболее озелененной функциональной зоной клинико-диагностической лаборатории является комната отдыха и приема пищи. В помещении для проведения лабораторного анализа элементы озеленения отсутствуют.

Для выявления способности растений удалять пылевые частицы из воздуха, нами определено среднее количество пыли, оседающей в течение недели на листовых пластинках. Анализ полученных данных позволил разделить растения на группы с максимальным ($> 1,99 \text{ г/см}^2$) и минимальным количеством ($< 1,31 \text{ г/см}^2$) осаждаемых пылевых частиц. Количество пыли на листовых пластинках *Aglaonema rotundum*, *Spathiphyllum chopin*, *Pelargonium zonale*, *Syngonium podophyllum*, *Eucharis grandiflora* и *Chlorophytum comosum* находилось в пределах от $1,99 \cdot 10^{-3} \pm 0,69$ до $3,77 \cdot 10^{-3} \pm 0,39 \text{ г/см}^2$; *Zamioculcas zamiifolia*, *Zantedeschia aethiopica*, *Dracaena marginata*, *Monstera deliciosa* и *Ficus benjamina* – от $0,31 \cdot 10^{-3} \pm 0,81$ до $1,31 \cdot 10^{-3} \pm 0,22 \text{ г/см}^2$. Разная пылеосаждающая способность листовых пластинок изученных видов интерьерных растений обусловлена анатомо-морфологическими особенностями строения листа: специфическая фактура листа, наличие налета и опушения, архитектура эпидермиса.

При подсчете количества микроорганизмов в 1 м^3 воздуха обследованного помещения городской больницы № 6 были учтены микроклиматические условия помещения (табл. 1).

Характеристика микроклиматических условий лечебного помещения клинично-диагностической лаборатории ГБУ «Городская больница № 6» г. Макеевки

Период проведения эксперимента	Влажность, %	Температура, °С	Освещение, лк	Количество посетителей, чел.	Количество микроорганизмов КОЕ/м ³ М±m
Осень 2017 г.	69	17	1400	72	760,6±49,12
Зима 2018 г.	55	21	700	59	1020,7±120,14
Осень 2020 г.	55	21	1500	50	522,2±9,13
Зима 2021 г.	65	19	800	69	535,0±9,12

Общая площадь помещения составляет 72 м², окна южной ориентации, в зимний период используется дополнительное освещение лампами дневного света (3 шт.). Помещение характеризуется как постоянным, так и временным режимом пребывания сотрудников лаборатории.

Анализируя сезонную динамику микроорганизмов воздуха в условиях лечебного помещения без использования растений, нами отмечено, что на протяжении осенне-зимнего периода 2017–2018 гг. среднее количество микроорганизмов в 1 м³ воздуха находилось в пределах от 760,6±49,12 до 1020,7±120,14 КОЕ/м³. В осенний и зимний периоды 2020–2021 гг. микробная обсемененность воздуха уменьшилась в 1,5–2 раза и составила в среднем 522±9,13 и 535,0±9,12 КОЕ/м³ соответственно. Отмеченная особенность, вероятно, связана с соблюдением повышенного санитарно-противоэпидемиологического режима учреждения в осенне-зимний период 2020–2021 гг. В соответствии с данными ГОСТа [6], санитарно-бактериологическое состояние воздуха в лабораторном помещении наибольшего скопления людей в периоды наблюдений 2017–2021 гг. отмечено как чистое.

После отбора проб воздуха в этом же помещении с использованием растений установлено, что не все виды обладают выраженным фитонцидным эффектом. Сезонная динамика микроорганизмов воздуха в 1 м³ при использовании растений в интерьере лечебного помещения изменяется в течение сезонов наблюдений и отражена на рис. 1. Так, в осенние месяцы 2017 г. количество микроорганизмов в 1 м³ воздуха озелененного помещения находилось в пределах 254,8–760,7 КОЕ/м³. Минимальное количество бактериальных клеток, выросших на питательной среде, отмечено при расположении чашек Петри вблизи с видами *Zamioculcas zamiifolia* (рис. 1 Б) и *Ficus benjamina* (рис. 1 В), что привело к снижению количества микроорганизмов в 1 м³ воздуха по сравнению с контролем, соответственно, на 66,0 и 49,8 %.

Анализ микробной численности показал, что в зимние месяцы 2018 г. количество микроорганизмов в 1 м³ воздуха озелененного помещения сократилось в 1,3–2 раза и составило в среднем 509,6–1007,0 КОЕ/м³. Отмечено, что при использовании видов *Spathiphyllum chopin* и *Pelargonium zonale* в интерьере помещения количество микроорганизмов, выросших в чашках Петри, снизилось на 50,1 % (рис. 1 А, 1 Г); *Aglaonema rotundum*, *Zamioculcas zamiifolia* и *Ficus benjamina* – на 25,5 % по сравнению с контролем. Отсутствие снижения общей микробной численности по отношению к контролю в зимний период 2018 г. отмечено при озеленении помещения с помощью вида *Zantedeschia aethiopica* (рис. 1 Д).

В осенние месяцы 2020 г. количество микроорганизмов в 1 м³ воздуха озелененного помещения сократилось в 1,2–3,2 раза по сравнению с контролем и находилось в пределах от 165,6±15,78 до 420,3±51,44 КОЕ/м³. Минимальное количество бактериальных клеток, выросших на питательной среде, отмечено в чашках Петри, расположенных около видов *Spathiphyllum chopin*, *Pelargonium zonale* и *Aglaonema rotundum*.

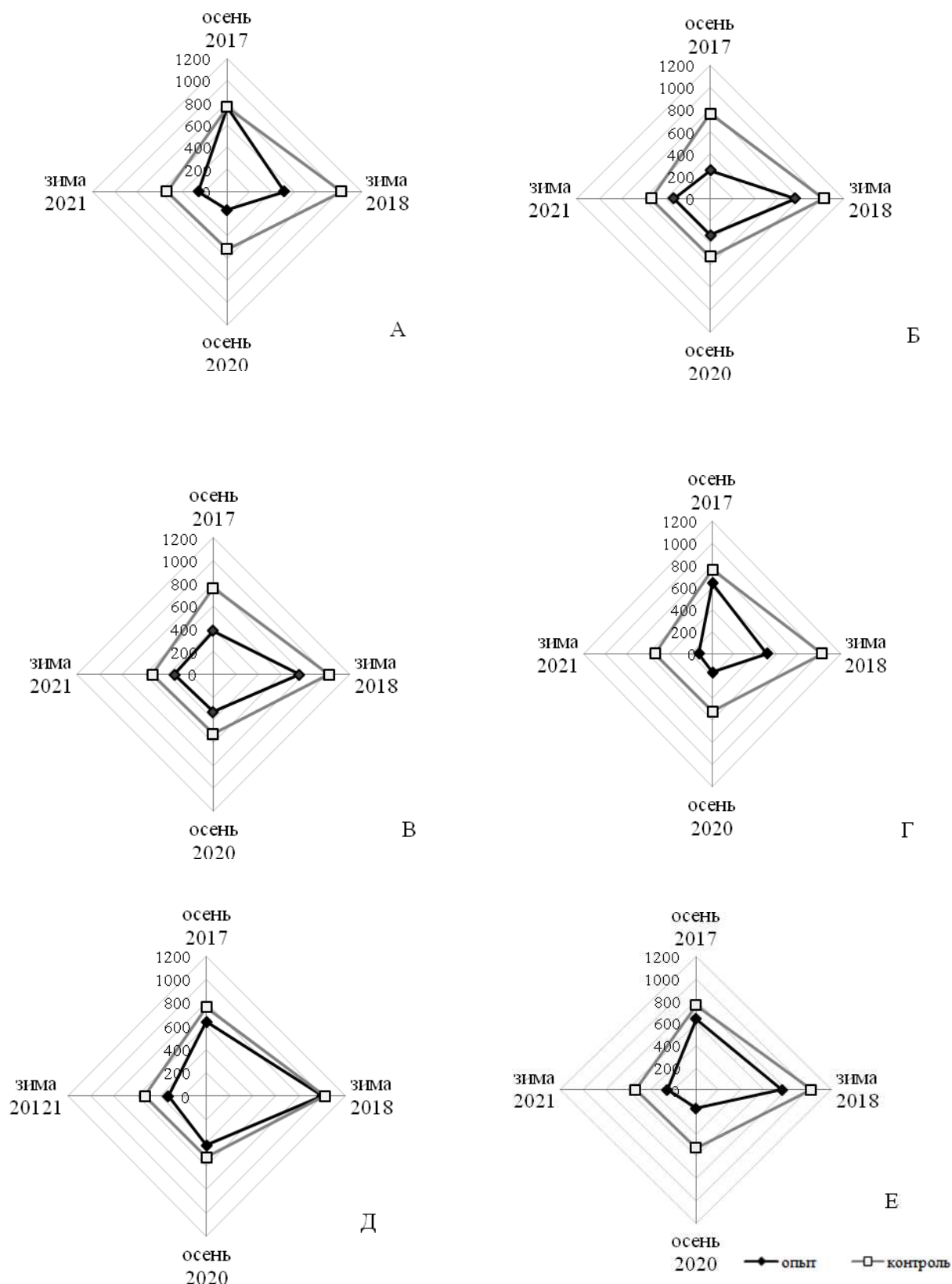


Рис. 1. Сезонная динамика микроорганизмов в 1 м³ воздуха лечебного помещения при использовании интерьерных растений:

A – *Spathiphyllum chopin* Schott., Б – *Zamioculcas zamiifolia* Schott., В – *Ficus benjamina* L., Г – *Pelargonium zonale hort.*, Д – *Zantedeschia aethiopica* (L.) Spreng, Е – *Aglaonema rotundum* Schott. По оси абсцисс и оси ординат указано количество микроорганизмов КОЕ/м³

Снижение общего количества микроорганизмов в 1 м^3 воздуха после введения указанных видов растений составило 68,3 %. Введение в озеленение помещения вида *Zantedeschia aethiopica* уменьшило общую микробную численность воздуха всего лишь на 19,5 % (рис. 1 Е).

Количество микроорганизмов в 1 м^3 воздуха зимнего периода 2021 г. по сравнению с контролем сократилось в 1,6–4,2 раза и находилось в пределах 127,3–343,9 КОЕ/ м^3 . Минимальное количество колоний, выросших на питательной среде, отмечено в чашках Петри, расположенных вблизи с видами *Spathiphyllum chopin* и *Aglaonema rotundum*. Полученный результат свидетельствует о снижении количества микроорганизмов в 1 м^3 воздуха помещения на 52,4 %.

Максимальное снижение (76,0 %) общего количества микроорганизмов воздуха в зимний период 2021 г. было зафиксировано в чашках Петри, расположенных вблизи с видом *Pelargonium zonale*, находящимся в фазе цветения. Данный факт свидетельствует в пользу общепринятого утверждения [12], что на санирующий эффект оказывает влияние не только систематическая принадлежность видов, состав летучих компонентов, вырабатываемых листьями, но и физиологическое состояние и фаза развития растения. Озеленение помещения видом *Zantedeschia aethiopica* не оказало значительного снижения на общую микробную численность воздуха и составило 38,1 %.

При исследовании микроорганизмов выявлены колонии округлой формы с мелким размером (0,5–3 мм). Поверхность колоний гладкая, профиль выпуклый, край ровный. Колонии пигментированы в белый цвет (рис. 2 А, В). Структура – однородная. Прикасаясь к поверхности колоний петлей, отмечена мягкая консистенция.

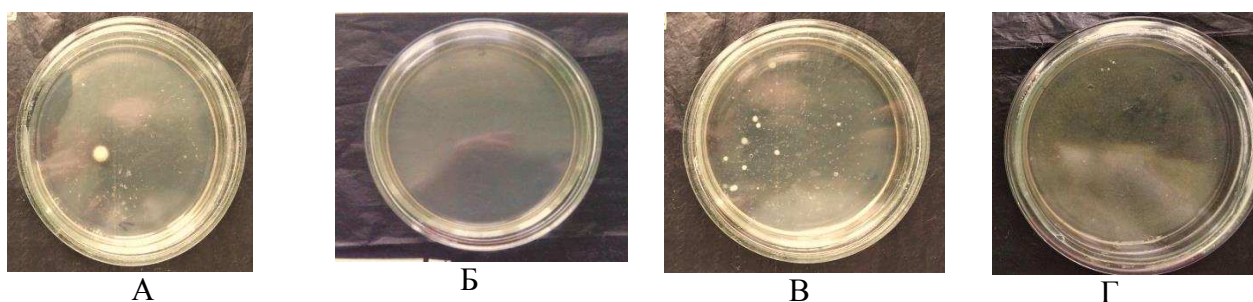


Рис. 2. Внешний вид колоний микроорганизмов, выросших на питательной среде в чашках Петри, при исследовании воздуха лечебного помещения без растений (А, В) и при озеленении *Spathiphyllum chopin* Schott. (Б) и *Pelargonium zonale hort.* (Г)

Таким образом, на основании полученных данных установлено, что в осенне-зимний период общее количество бактерий микрофлоры воздуха лечебного помещения после введения растений уменьшилось на 1,9–66,0 % в 2017–2018 г. и на 19,5–76,2 % в 2020–2021 гг., что обусловлено выделением растениями летучих фитоорганических веществ, в том числе фитонцидов. По данным исследования, анализируемый ассортимент был разделен на две группы. К первой группе отнесены виды, бактерицидный эффект которых в осенне-зимний период оказал снижение количества микроорганизмов воздуха по отношению к контролю на 50 % или более, чем в 2 раза. Во вторую группу вошли виды с бактерицидным эффектом менее 49 % (табл. 2).

Установлено, что в осенне-зимний период наибольшим бактерицидным эффектом (≥ 50 %), оказывающим снижение микробной численности микроорганизмов в 1 м^3 воздуха помещения, обладали виды *Spathiphyllum chopin*, *Pelargonium zonale*, *Aglaonema rotundum*, наименьшим (< 50 %) – *Zantedeschia aethiopica*. Такие виды, как *Zamioculcas zamiifolia* и *Ficus benjamina* в осенний период оказали влияние на сокращение количества бактериальных клеток в воздухе в 2 и более раза, а в зимний период – в 1,3–1,6 раз. Данная особенность может быть объяснена разными физиологическими состояниями растений и фазами их развития.

Бактерицидный эффект видов растений в осенне-зимний период 2017–2021 гг. в условиях клинико-диагностической лаборатории ГБУ «Городская больница № 6» г. Макеевки

Виды	Сезон отбора проб воздуха			
	осень		зима	
	≥ 50 %*	< 50 %**	≥ 50 %	< 50 %
<i>Zamioculcas zamiifolia</i> Schott.	+	+		+
<i>Ficus benjamina</i> L.	+	+		+
<i>Spathiphyllum chopin</i> Schott.	+		+	
<i>Pelargonium zonale</i> hort.	+		+	
<i>Aglaonema rotundum</i> Schott.	+		+	
<i>Zantedeschia aethiopica</i> (L.) Spreng		+		+

Примечание. «*» – снижение КОЕ/м³ более чем на 50 %, «**» – снижение КОЕ/м³ менее 50 % по отношению к контролю.

Состояние растений обследованных растительных композиций при оформлении помещения лечебного помещения соответствует 4 баллам. Отмечено, что представленный ассортимент растений недостаточно разнообразен, однако при его подборе не в полной мере учтены экологические и декоративные особенности растений. Несмотря на данное обстоятельство, растения здоровые, формируют красивую надземную часть; повреждения болезнями и вредителями отсутствуют; растительные композиции выглядят цельно и гармонично.

Для лечебно-оздоровительного эффекта пациентов уместным является озеленение помещения клинико-диагностической лаборатории г. Макеевки с использованием растений-фитофильтров (*Chlorophytum comosum*, *Ficus benjamina*), а также имеющих лечебное (*Monstera deliciosa*, *Pelargonium zonale*) и антимикробное (*Aglaonema rotundum*, *Pelargonium zonale*) действия.

В качестве рекомендаций по оздоровлению воздушной среды обследованного помещения целесообразным является массовое размножение из представленного ассортимента видов *Chlorophytum comosum*, *Ficus benjamina*, *Monstera deliciosa*, расширение ассортимента за счет введения других видов фитонцидных растений.

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что ассортимент интерьерных растений клинико-диагностической лаборатории ГБУ «Городская больница № 6» г. Макеевки представлен 11 видами из семейств Araceae, Asparagaceae, Moraceae, Geraniaceae и Amaryllidaceae.

Анализируемый ассортимент представлен видами, способными осаждать более 1,99 г/см² пылевых частиц (например, *Aglaonema rotundum*, *Spathiphyllum chopin*, *Pelargonium zonale*, *Syngonium podophyllum*, *Eucharis grandiflora* и *Chlorophytum comosum*) и менее 1,31 г/см² (*Zamioculcas zamiifolia*, *Zantedeschia aethiopica*, *Dracaena marginata*, *Monstera deliciosa* и *Ficus benjamina*).

Установлено, что в осенне-зимний период 2017–2021 гг. снижение общего количества бактерий микрофлоры воздуха в 1 м³ лечебного помещения после введения растений уменьшилось на 1,9–76,2 %. Наибольшую бактерицидную эффективность в осенне-зимний период проявили виды *Spathiphyllum chopin*, *Pelargonium zonale*, *Aglaonema rotundum*, наименьшую – *Zantedeschia aethiopica*.

С целью профилактики респираторных заболеваний у пациентов и сотрудников клинико-диагностической лаборатории ГБУ «Городская больница № 6» г. Макеевки,

рекомендовано использование изученного ассортимента растений в виде универсальных фитокомпозиций с оптимальным сочетанием фитонцидно-декоративных признаков, действие которых будет направлено на улучшение комплекса микроклиматических параметров и оздоровление воздушной среды лечебного помещения.

Работа выполнена в рамках инициативной научной темы «Функциональная ботаника: экологический мониторинг, ресурсные технологии, фитодизайн» № 0117D000192 на кафедре ботаники и экологии ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет».

Список литературы

1. *Вольпе И. М., Кучеренко В. Д.* Практическое руководство по санитарной микробиологии. М. : Изд. МГУ, 1970. 147 с.
2. *Глухов А. З., Гридько О. А., Хархота Л. В.* Экологические и ботанические методики исследования растений : справ. пос. Донецк : Изд-во ДонНУ, 2019. 189 с.
3. *Дембицкая Д. К.* Эффективность использования интерьерных растений в условиях закрытого помещения учреждения здравоохранения // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет». Донецк : ДонНУ, 2021. Вып. 13, Т. 1. С. 59–64.
4. *Дембицкая Д. К., Гридько О. А.* Влияние интерьерных растений на сезонную динамику микрофлоры воздуха в условиях закрытого помещения медицинского учреждения г. Макеевки // Донецкие чтения 2020 : образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : матер. V Междунар. науч. конф. (Донецк, 17–18 ноября 2020 г.). Т. 2 : Хим.-биол. науки / под общ. ред. С. В. Беспаловой. Донецк : Изд-во ДонНУ, 2020. С. 182–185.
5. *Казаринова Н. В., Ткаченко К. Г.* Медицинский фитодизайн. Состояние проблемы // Курортные ведомости. 2004. № 1 (22). С. 56–58.
6. *Колешко О. И., Завезенова Т. В.* Микробиология с основами вирусологии. Иркутск : Изд-во Иркутского ун-та, 1999. 452 с.
7. *Косуха С. Б., Бурганская Т. М.* Перспективные направления повышения эффективности использования вечнозеленых растений в озеленении школьных интерьеров различного функционального назначения в условиях республики Беларусь // Труды БГТУ, 2016. № 1. С. 196–200.
8. *Лакин Г. Ф.* Биометрия: уч. пособие для биол. спец. вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М. : Высш. шк., 1990. 352 с.
9. *Сааков С. Г.* Оранжерейные и комнатные растения и уход за ними. Л. : Наука, 1983. 621 с.
10. *Ткаченко К. Г.* Медицинская ботаника и медицинский фитодизайн. Сообщение 2. Лечебный интерьер с использованием растений для здоровья, улучшения состава воздуха и среды обитания человека // Рефлексотерапия и комплементарная медицина. 2013. № 1 (3). С. 40–43.
11. *Турбина И. Н., Горбань М. В., Ямпольская Т. Д.* Использование интерьерных растений для санации воздуха в помещениях различного типа // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17, № 5. С. 229–232.
12. *Фитонциды в медицине* / Отв. ред. А. М. Гродзинский. К. : Наук. думка, 1990. 216 с.
13. *Цыбуля Н. В., Фершалова Т. Д., Давидович Л. П.* Использование тропических растений для санации воздуха в экологически неблагоприятных условиях помещения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2017. Т. 19, № 2 (2). С. 360–364.
14. *Augustowska M., Dutkiewicz J.* Variability of airborne microflora in a hospital ward within a period of one year // Ann. Agric. Environ. Med. 2006. Vol. 13. P. 99–106.
15. *Catalogue of Life: 2020-02-24.* [Electronic resource]. URL : <http://www.catalogueoflife.org> (date of appeal: 22.11.2021).
16. *Cornejo J. A., Mucoz F., Ma C., Stewart A.* Studies on the decontamination of air by plants // Ecotoxicology. 1999. № 6. P. 182–293.

Hrydko O. A., Dembitskaya D. K. Sanitary and bacteriological effect of interior plants in the conditions of a medical room in Makeevka. – The paper presents the results of the sanitary and bacteriological state of the air in the conditions of the medical room of the «City Hospital № 6» in Makeevka using interior plants. A systematic analysis of indoor gardening was carried out, the features of the dust-deposition capacity of species, as well as the seasonal dynamics of the air microflora in the conditions of the treatment room, were determined. The types of indoor plants are recommended that contribute to the improvement of the air environment and reduce the risk of infectious diseases.

Key words: interior plants, aerosanation, microflora.

© С. И. Демченко

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЪЕДОБНЫХ БАЗИДИАЛЬНЫХ
КСИЛОТРОФОВ В БИОКОНВЕРСИИ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
283050, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: sdemch5@mail.ru

Демченко С. И. Перспективы использования съедобных базидиальных ксилотрофов в биоконверсии растительных отходов сельского хозяйства. – Результаты исследований позволили оценить возможность использования базидиальных ксилотрофов в процессах биоконверсии растительных отходов. Путем биотрансформации растительного отхода сельского хозяйства – пшеничной соломы – при непосредственном культивировании нетоксичного штамма гриба *Pleurotus ostreatus* Д-2.3 получен белковый кормовой продукт. На хроматограммах гидролизата полученного белка обнаружено 15 аминокислот, среди которых доминировали лизин, изолейцин, глицин, аргинин, аспарагиновая и глутаминовая кислоты. Гриб обладает целлюлазной и лакказной активностью, что позволяет ему превращать в съедобный белок целлюлозо- и лигнинсодержащие субстраты. Полученный продукт биотрансформации пшеничной соломы может быть хорошей кормовой белковой добавкой в рацион домашних животных.

Ключевые слова: базидиальные ксилотрофы, *Pleurotus ostreatus*, пшеничная солома, целлюлазная и лакказная активность, белковый кормовой продукт, биотрансформация.

Введение

В связи с бурным развитием биотехнологии и микробиологической промышленности появилась возможность получать продукцию сельскохозяйственного назначения (удобрения и кормовые добавки) методом биоконверсии, прежде всего микробиологической и энзимологической. При этом лигноцеллюлозные отходы, являющиеся ежегодно возобновляемыми и обладающие практически неисчерпаемым источником энергии, в условиях истощающихся ресурсов становятся перспективным сырьем для производства разнообразных полезных веществ [2].

Технологическое преимущество биоконверсии по сравнению с процессами химических превращений веществ состоит в том, что необходимые катализаторы синтезируются культурами микроорганизмов, и конверсия может быть осуществлена в одну технологическую стадию. Кроме того, ферментативные процессы в живых системах энергетически более выгодны, чем химический синтез [4].

В процессах биоконверсии используют необработанное растительное сырье (прямая биоконверсия), или сырье, подвергнутое предварительной обработке механическими, химическими, электрохимическими, радиационными методами, а также с помощью ферментных препаратов [11]. При переработке твердых субстратов прямую биоконверсию применяют при наличии микроорганизмов с мощными ферментными системами, способными воздействовать на биополимеры сырья, прежде всего на структурные полимеры [2].

В Донбассе одной из основных зерновых культур является озимая пшеница, при выращивании которой образуются многотоннажные отходы сельского хозяйства – пшеничная солома. В качестве грубых кормов солома озимой пшеницы фактически не используется из-за низкой энергетической (0,21 корм. ед./кг) и питательной ценности. Она богата трудногидролизуемыми полисахаридами и крайне бедна протеином, жиром, витаминами [3]. Для превращения пшеничной соломы в ценные корма требуется глубокая биоконверсия. В процессе биоконверсии из продуктов расщепления углеводов и из минеральных солей азота и других элементов синтезируется белок. Целевое увеличение содержания белка является основным показателем эффективности биоконверсии растительного сырья в корма [2].

Основными продуцентами кормового белка в промышленном производстве являются кормовые дрожжи (*Candida*, *Saccharomyces*, *Torulopsis*) и бактерии (*Methylococcus*, *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Achromobacter*, *Corinectერი*) [2]. Однако известно, что бактериальные и дрожжевые микроорганизмы имеют принципиальные недостатки. Во-первых, клетки дрожжей и бактерий содержат достаточно высокое количество нуклеиновых кислот – от 12 до 16 % соответственно, при разрушении которых в организме животных образуется много нежелательных продуктов распада. В связи с этим только до 10 % белка в рационе кормов можно заменить дрожжевым или бактериальным. Кроме того, дрожжевой и бактериальный белок не сбалансирован по некоторым незаменимым аминокислотам, в том числе по лизину и серосодержащим аминокислотам. Среди дрожжевых и бактериальных культур мало продуцентов ферментов, способствующих гидролизу целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина [4]. Поэтому растительные отходы, используемые для биоконверсии этими микроорганизмами, подвергаются предварительной обработке с помощью разных методов [11].

Ряд авторов для биологической трансформации некондиционных отходов растительного происхождения в продукты кормового назначения предлагают использовать низшие грибы (*Penicillium*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Trichoderma* и др.) [1, 4]. Отличительной особенностью этих грибов является способность к синтезу широкого спектра ферментов, позволяющих превращать крахмал- и целлюлозосодержащие субстраты в растворимые сахара, которые затем используются ими на биосинтетические процессы. Содержание нуклеиновых кислот в биомассе грибов не превышает 2,0–2,8 %. Грибной мицелий, как правило, богат белковыми веществами с полным набором незаменимых аминокислот. Положительным фактором является волокнистое строение мицелиальных культур грибов, поэтому выращенная биомасса легко отделяется простым фильтрованием и не требует использования дорогостоящего оборудования для сепарации и ультрафильтрации [4]. Серьезным недостатком низших грибов является активное продуцирование спор бесполого размножения в период вегетации, что недопустимо для промышленных условий длительного непрерывного процесса выращивания. Поэтому проблема изыскания новых источников белка кормового и пищевого достоинства выросла в настоящее время в одну из самых острых проблем, стоящих перед человечеством. Дефицит белка, равно как и его потребление, неуклонно растет. Прогнозы же специалистов в отношении обеспеченности белком за счет традиционных способов его производства далеко не оптимистичны [2].

На кафедре физиологии растений ГОУ ВПО «ДОННУ» активно ведутся исследования по использованию базидиальных ксилотрофов в процессах биоконверсии растительных отходов сельского хозяйства и пищевой промышленности [13, 14]. Ксилотрофные базидиомицеты обладают более мощной ферментативной системой, чем низшие грибы. Поэтому они могут осуществлять прямую биоконверсию растительных отходов, в состав которых входят сложные полимеры – лигнин и целлюлоза. Ферментативная деградация этих трудногидролизующихся биополимеров осуществляется преимущественно с участием оксидоредуктаз и гидролаз. Вместе с тем, кинетические, продукционные и метаболические характеристики базидиомицетов имеют существенную штаммовую и видовую вариабельность [12]. В связи с этим необходим поиск и изучение активных штаммов-деструкторов грибов, перспективных для практического применения.

Целью работы было изучение процессов биodeградации растительных отходов сельского хозяйства съедобными базидиальными ксилотрофами и отбор среди них твердофазных культур, способных к биоконверсии лигноцеллюлозных отходов в продукты кормового назначения.

Материал и методы исследования

Объектами исследования являлись штаммы съедобных базидиальных ксилотрофов из коллекции кафедры физиологии растений ГОУ ВПО «ДОННУ»: *Agrocybe aegerita* 440, *Flammulina velutipes* 821, *Lentinus edodes* 480, *Pleurotus ostreatus* Д-2.3 и *Pleurotus eryngii* 515.

Музейные культуры грибов хранили при температуре +4 °С на картофельно-глюкозной агаровой среде (КГА) [10] с добавлением опилок из тополя.

В качестве субстрата при твердофазном культивировании грибов использовали солому озимой пшеницы, предварительно измельченную до конечного размера частиц не более 0,8 см. Воздушно-сухой субстрат по 10 г помещали в колбы Эрленмейера объемом 250 мл, увлажняли водопроводной водой до 68 % влажности и стерилизовали в автоклаве на протяжении 1 ч при давлении 1,0 атм. Инокуляцию охлажденных субстратов осуществляли семисуточным маточным мицелием, выращенным на КГА. Культивирование базидиомицетов проводили в течение 15-ти суток при температуре 24 °С. В качестве основного критерия интенсивности биodeградации растительных отходов использовали потребление компонентов субстрата. На 15-е сутки твердофазной ферментации (ТФФ) определяли химический состав мицелиально-субстратных комплексов грибов по содержанию сырого протеина, целлюлозы и лигнина в соответствии с методиками, предложенными Х. Н. Починок [8]. Аминокислотный состав белка мицелиально-субстратного комплекса гриба *P. ostreatus* Д-2.3 устанавливали с помощью аминокислотного анализатора типа LC 3000 (Eppendorf-Biotronic, Германия).

Индекс микогенного ксилотлиза вычисляли как отношение потерь целлюлозы (%) к сумме потерь целлюлозы и лигнина (%) [7].

В водных экстрактах мицелиально-субстратных комплексов базидиальных ксилотрофов определяли активность ферментов, участвующих в деструкции целлюлозы и лигнина. Лакказную активность исследовали фотокolorиметрически по скорости образования продуктов окисления о-дианизидина в 0,1 М Na-ацетатном буфере с pH 5,0 [7]. За единицу лакказной активности принимали такое количество фермента, при действии которого на субстрат образуется 1 микромоль продуктов реакции за 1 мин.

Для определения целлюлазной активности использовали colorиметрический метод, основанный на определении редуцирующих сахаров, образующихся при действии на субстрат ферментов целлюлазного комплекса [7]. В качестве субстрата использовали 1 %-ный раствор Na-КМЦ в 0,1 М ацетатном буферном растворе с pH 5,0. Реакцию гидролиза проводили при 40 °С в течение 1 ч. За единицу Na-КМЦ-активности принимали такое количество фермента, при действии которого на субстрат в условиях ферментативной реакции за 1 мин. образуется 1 микромоль редуцирующих сахаров.

Содержание редуцирующих сахаров (в глюкозном эквиваленте), образующихся в результате ферментативной реакции, определяли colorиметрическим методом, который основан на взаимодействии сахаров с реактивом Шомодьи-Нельсона [7].

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

Результаты и обсуждение

Выбор способа культивирования определяется свойствами сырья и физиологическими особенностями микроорганизмов, предназначенных для биоконверсии [12]. Для получения белково-кормового продукта нами выбрано твердофазное культивирование базидиальных ксилотрофов, так как этот способ имеет ряд преимуществ по сравнению с глубинным: возможность использования крупнодисперсных субстратов; хорошие физические свойства среды, обеспечивающие высокий уровень тепло- и массообменных процессов в культуре; не дает стоков, подлежащих очистке; простота реализации ТФФ в любом хозяйстве при минимальных затратах. Твердофазные культуры имеют высокую ферментативную активность, которая сохраняется в кормовом продукте. Добавление таких препаратов к различным видам кормов способствует повышению их перевариваемости [11].

Твердофазное культивирование грибов на субстрате из пшеничной соломы показало, что мицелий всех исследованных штаммов базидиальных ксилотрофов хорошо растет на

растительных отходах сельского хозяйства. Однако эти грибы в монокультуре достоверно отличались друг от друга по скорости колонизации пшеничной соломы. Среди исследованных твердофазных культур быстрее переходил в стадию полного обрастания субстрата мицелием гриб *P. ostreatus* Д-2.3 (рис. 1).

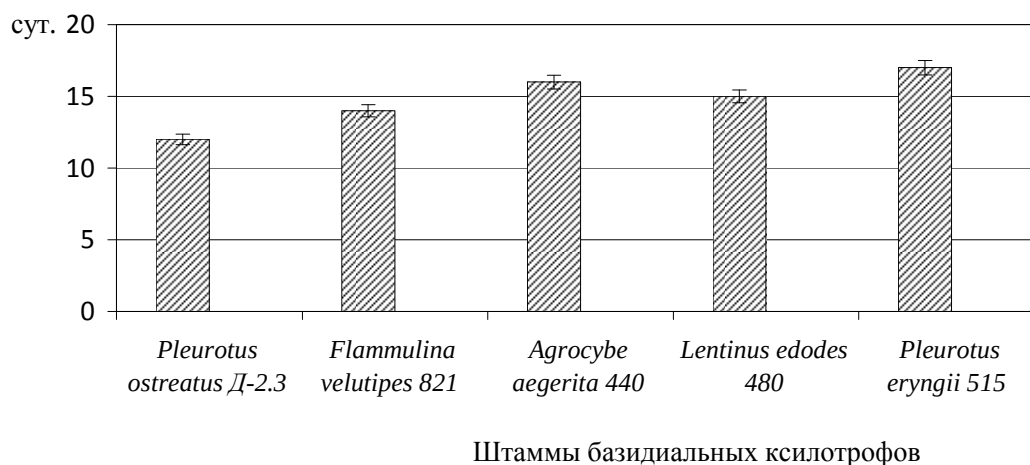


Рис. 1. Продолжительность полной колонизации субстрата из пшеничной соломы вегетативным мицелием съедобных базидиальных ксилотрофов

В течение первых 15-ти суток ТФФ все исследованные культуры базидиальных ксилотрофов способны были усваивать как целлюлозу, так и лигнин в качестве источников питания и энергии. Эти культуры грибов достоверно отличались друг от друга по интенсивности биодеградации биополимеров, о чем свидетельствуют рассчитанные индексы микогенного ксилолиза (табл. 1).

Таблица 1

Потери целлюлозы и лигнина в пшеничной соломе, ферментированной базидиальными ксилотрофами

Виды и штаммы базидиальных ксилотрофов	Потери, в %		Индекс микогенного ксилолиза
	целлюлозы	лигнина	
<i>P. ostreatus</i> Д-2.3	12,7 ± 0,4	18,2 ± 0,5	0,41
<i>F. velutipes</i> 821	10,8 ± 0,2	3,2 ± 0,3	0,75
<i>L. edodes</i> 480	9,6 ± 0,6	16,5 ± 0,7	0,36
<i>A. aegerita</i> 440	6,7 ± 0,8	6,3 ± 0,5	0,52
<i>P. eryngii</i> 515	7,2 ± 0,9	6,8 ± 0,2	0,51

Анализ экспериментальных данных, представленных в табл. 1, показал, что грибы *L. edodes* 480 и *P. ostreatus* Д-2.3 быстрее разлагали лигнин, чем целлюлозу, входящую в состав пшеничной соломы. Ксилотроф *F. velutipes* 821 в период активного роста мицелия предпочтение отдавал целлюлозе, а лигнин утилизировал с небольшой интенсивностью. На стадии полного обрастания субстрата мицелием потери целлюлозы и лигнина были почти равны и невелики при культивировании грибов *A. aegerita* 440 и *P. eryngii* 515. Наиболее полно компоненты субстрата усваивала культура *P. ostreatus* Д-2.3. Этот гриб уменьшал количество целлюлозы в ферментированной пшеничной соломе в 1,2 раза, лигнина – в 1,3 раза по сравнению с исходным субстратом.

Интенсивность биодеградации основных компонентов растительного субстрата зависела от целлюлазной и лакказной активности исследованных грибов (рис. 2, 3).

ед. / г. а.с.в.

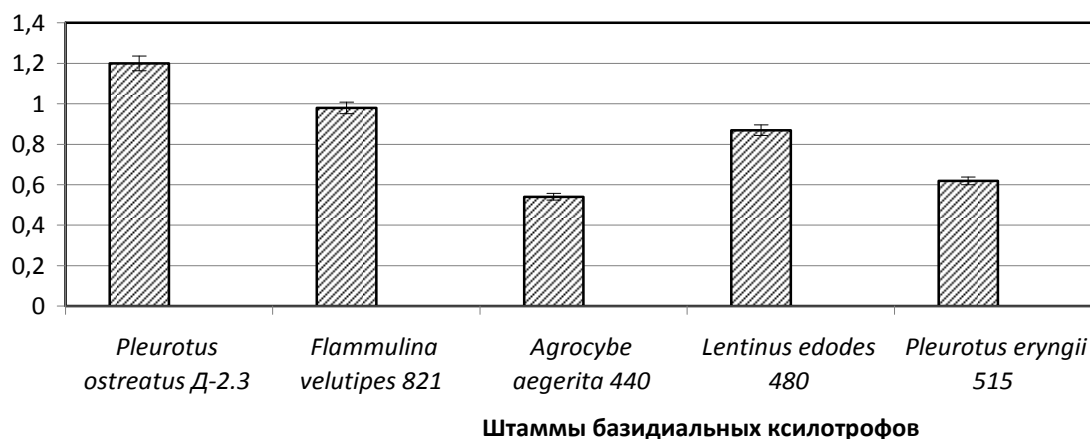


Рис. 2. Целлюлазная активность водных экстрактов мицелиально-субстратных комплексов базидиальных ксилотрофов

ед. / г. а.с.в.

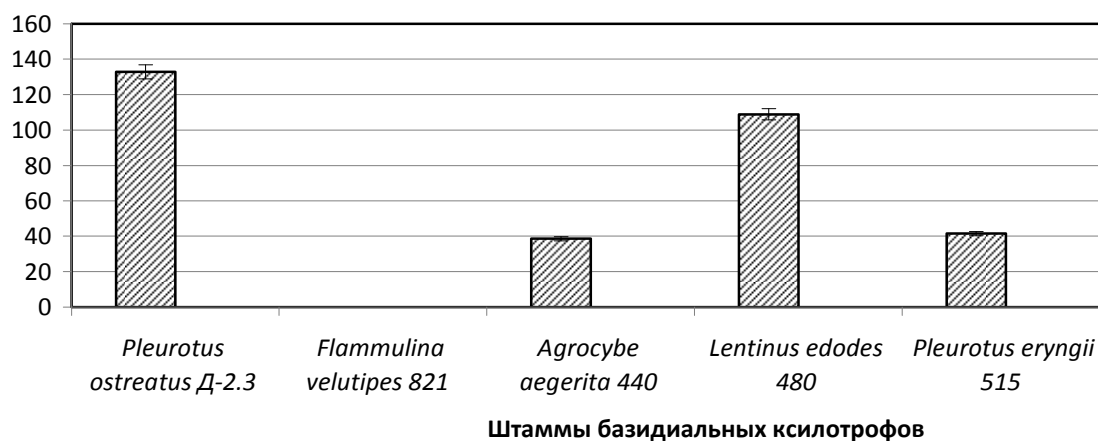


Рис. 3. Лакказная активность водных экстрактов мицелиально-субстратных комплексов базидиальных ксилотрофов

На 15-е сутки ТФФ пшеничной соломы все культуры базидиальных ксилотрофов синтезировали внеклеточные целлюлазы, способные к гидролизу натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы. При этом Na-КМЦ-активность энзимов зависела от видовой принадлежности грибов. Достоверно наибольшая активность ферментов целлюлазного комплекса наблюдалась у гриба *P. ostreatus* Д-2.3.

Среди исследованных базидиомицетов способность к синтезу внеклеточной лакказы не проявила лишь твердофазная культура *F. velutipes* 821. Однако Н. В. Псурцева [15] отмечает, что опенок зимний относится к грибам белой гнили и способен синтезировать внеклеточные лакказы при разных способах культивирования. По-видимому, оксидазная активность данного гриба зависит от субстратной специфичности, физиолого-биохимических и генетических особенностей штаммов. В исследованной выборке грибов наибольшая лакказная активность выявлена у базидиомицета *P. ostreatus* Д-2.3. Второе место по активности внеклеточных лакказ занимала твердофазная культура *L. edodes* 480, у которой

активность фермента составила 82 % от максимальных показателей оксидазной активности гриба *P. ostreatus*.

В процессе обрастания растительного субстрата мицелием базидиальных ксилотрофов во всех вариантах опыта наблюдалось увеличение содержания сырого протеина в ферментированной пшеничной соломе в 1,3–2,4 раза по сравнению с исходным субстратом (рис. 4). В качестве активного продуцента белка была выбрана культура *P. ostreatus* Д-2.3, отличающаяся от других видов исследованных съедобных базидиальных ксилотрофов высокой ферментативной активностью и стабильностью роста мицелия при твердофазном культивировании на растительных отходах, что особенно важно для производственных условий. Отобранный нами базидиальный гриб не образует споры бесполого размножения при твердофазном культивировании на пшеничной соломе и растет в широком диапазоне температур [5].

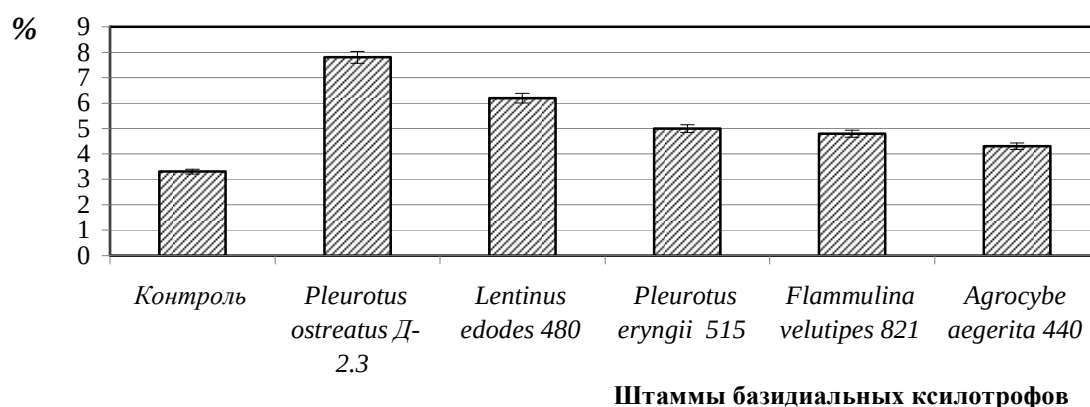


Рис. 4. Содержание сырого протеина в пшеничной соломе, ферментированной базидиальными ксилотрофами

В гидролизате белка мицелиально-субстратного комплекса гриба *P. ostreatus* Д-2.3 обнаружено 15 аминокислот, среди которых доминировали лизин, изолейцин, глицин, аргинин, аспарагиновая и глютаминовая кислоты (табл. 2). Аминокислотный скор составил 80,3 %, что свидетельствует о высокой биологической ценности белка полученного кормового продукта.

Таблица 2

Аминокислотный состав белково-кормового продукта по сравнению с эталонным белком ФАО (мг на 1 г белка)

Аминокислота	Белково-кормовой продукт	Эталонный белок ФАО
Лейцин	36	70
Треонин	43	40
Лизин	53	55
Фенилаланин	28	60
Тирозин	Следы	
Валин	47	50
Изолейцин	58	40
Метионин	24	35
Цистеин	Следы	
Триптофан	Не опред.	10
Аргинин	61	–
Гистидин	14	–
Аланин	30	–
Глицин	67	–

Аминокислота	Белково-кормовой продукт	Эталонный белок ФАО
Серин	25	–
Аспарагиновая кислота	64	–
Глутаминовая кислота	59	–
Пролин	23	–
Сумма незаменимых аминокислот	289	360
Аминокислотный скор, %	80,3	100,0

Выводы

Все исследованные базидиальные ксилотрофы в процессе твердофазного культивирования хорошо колонизируют субстрат из пшеничной соломы, в различной степени изменяя биохимический состав исходного сырья. Эффективная биодеструкция основных компонентов растительных отходов сельского хозяйства – целлюлозы и лигнина – выявлена у твердофазной культуры *P. ostreatus* Д-2.3. Водный экстракт мицелиально-субстратного комплекса этого гриба обладает как целлюлазной, так и лакказной активностью. Благодаря высокой ферментативной активности и стабильности роста мицелия при твердофазном культивировании, вышеуказанный базидиомицет способен осуществлять прямую биоконверсию соломы озимой пшеницы в белково-кормовую добавку, которая содержит почти весь комплекс незаменимых аминокислот.

Список литературы

1. Баурин Д. В., Николюкина Е. В. Исследование процесса биологического разложения растительных отходов микроскопическими грибами // Успехи химии и химической технологии. Т. XXIII. 2009. № 10 (103). С. 77–79.
2. Биоконверсия отходов агропромышленного комплекса : моногр. / Под ред. В. Ю. Барштейна. Новосибирск : Изд. АНС «СибАК», 2016. 88 с.
3. Григорьев Н. Г., Волков Н. П., Воробьев Е. С. Биологическая полноценность кормов. М. : Агропромиздат, 1989. С. 287.
4. Дедков В. Н. Разработка биотехнологии кормового белка из растительного сырья : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 03.01.06 Биотехнология (в том числе бионанотехнологии). Воронеж, 2014. 24 с.
5. Демченко С. И. Влияние высокотемпературного стресса на рост и плодородность активную активность гибридных штаммов *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kumm. // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2020. № 3–4. С. 79–86.
6. Лакин Г. Ф. Биометрия : уч. пособие. 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. Сушкова В. Н., Устюжанинова Л. В., Березина О. В., Яроцкий С. В. Методы подготовки растительного сырья к биоконверсии в кормовые продукты и биоэтанол // Химия растительного сырья. 2013. № 1. С. 93–119.
12. Сычев П. А. Экофизиология высших грибов. Донецк : Кассиопея, 2000. 275 с.
13. 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.

14. Чемерис О. В. Целлюлозолитическая активность штаммов *Irpex lacteus* (Fr.) Fr. при твердофазном культивировании на пшеничной соломе // Промышленная ботаника. 2021. Вып. 1, № 1. С. 28–35.

15. Psurtseva N. V. Diagnostic and taxonomic potential of laccase estimation in the genus *Flammulina* // Методологические основы познания биологических особенностей грибов – продуцентов физиологически активных соединений и пищевых продуктов : матер. I Междунар. науч. конф. (Донецк, 1–4 октября 1997 г.). Донецк : Изд-во Донецкого ун-та, 1997. С. 78–80.

Demchenko S. I. The prospects of using edible xylotrophic basidiomycetes for bioconversion of vegetable waste from agriculture. – The paper provides information about the possibility of using xylotrophic basidiomycetes in the processes of bioconversion of vegetable waste from agriculture. A protein foodstuff is fabricated by transformation of vegetable waste – wheat straw – with the immediate cultivation of the nontoxic industrial strain of fungus *Pleurotus ostreatus* D-2.3. 15 amino acids are found in chromatograms of hydrolyzate of the fabricated protein. Lysine, isoleucine, glycine, arginine, aspartic and glutamine acids dominated among them. A fungus possesses the cellulaze and laccase activity, which allows it to transform of cellulose- and lignin-containing substrates to edible protein. The fabricated product of biotransformation of wheat straw can good feed protein additive to the ration domestic animals.

Key words: xylotrophic basidiomycetes, *Pleurotus ostreatus*, wheat straw, cellulaze and laccase activity, protein foodstuff, biotransformation.

© Ю. П. Загнитко, В. С. Кочнева, А. П. Палагута
**ДИНАМИКА ПЕКТОЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НЕКОТОРЫХ
БАЗИДИАЛЬНЫХ КСИЛОТРОФОВ**

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
283050, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: upzagnitko@mail.ru

Загнитко Ю. П., Кочнева В. С., Палагута А. П. Динамика пектолитической активности некоторых базидиальных ксилотрофов. – Изучена динамика экзополигалактуроназной активности некоторых базидиальных ксилотрофов на пектин-пептонной питательной среде. Показано, что съедобные базидиомицеты способны проявлять высокую пектолитическую активность, и являются перспективными объектами для дальнейших исследований с целью получения фермента пектолитического действия.

Ключевые слова: экзополигалактуроназа, базидиальные ксилотрофы, культуральная жидкость, экзобелки.

Введение

В настоящее время значительно повысился интерес к поиску и изучению биологически активных соединений среди высших базидиомицетов. Основная цель данных исследований – создание на основе грибов и продуктов их метаболизма лекарственных препаратов, а также пищевых и кормовых добавок [1, 2, 4, 6]. Разработка новых биотехнологических схем в пищевой промышленности является приоритетным направлением научно-технической деятельности.

Одним из направлений современной биотехнологии является процесс промышленного получения ферментов, способных гидролизировать пектиновые вещества [3, 5, 7]. Препараты пектиназы широко используются в пищевой и текстильной промышленности, медицине, а также в других областях биотехнологического производства в качестве ферментов мацерирующего действия.

Наиболее изученными и широко используемыми в биотехнологии источниками пектолитических ферментов являются микроскопические грибы, бактерии и дрожжи [8, 11]. Растущая потребность в препаратах пектолитического действия актуализирует поиск активных продуцентов этих веществ среди других объектов живой природы. Исследования, где в качестве объектов-продуцентов ферментов пектолитического действия используют высшие базидиальные грибы практически отсутствуют [10].

Целью исследования было изучение динамики пектолитической активности некоторых базидиальных ксилотрофов.

Материал и методы исследования

Объектами исследования были культуры базидиальных ксилотрофов из коллекции кафедры физиологии растений ГОУ ВПО «ДОННУ»: *Pleurotus eryngii* 515, *Pleurotus pulmonarius* PPH, *Lentinus edodes* 480, *Pleurotus ostreatus* Д-2.3, *Agrocybe aegerita* 440, *Flammulina velutipes* 820, *Pleurotus ostreatus* К-17, *Irpex lacteus* 1080.

Для исследования пектолитической активности культуральных фильтратов штаммы выращивали на пектин-пептонной среде следующего состава (г/л): пектин (яблочный) – 3; 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 10-е, 15-е, 20-е и 25-е сутки культивирования грибов. Активность пектолитических ферментов определяли по методу Кертесза [12]. За единицу пектолитической активности принимали такое количество фермента, которое при гидролизе пектина образовывало 1 μ M галактуронозой кислоты за 1

мин в условиях опыта ($pH = 4$, $t = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$). 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 [9]. Сравнение средних арифметических осуществляли по методу Дункана [9].

Результаты и обсуждение

В ходе эксперимента была изучена динамика экзополигалактуроназной активности базидиальных ксилотрофов *P. eryngii* 515, *P. pulmonarius* PPH, *L. edodes* 480, *P. ostreatus* Д-2.3 и К-17, *A. aegerita* 440, *F. velutipes* 820, *I. lacteus* 1080. Динамика общей пектолитической активности базидиальных культур на стандартной пектин-пептонной среде представлена на рис. 1.

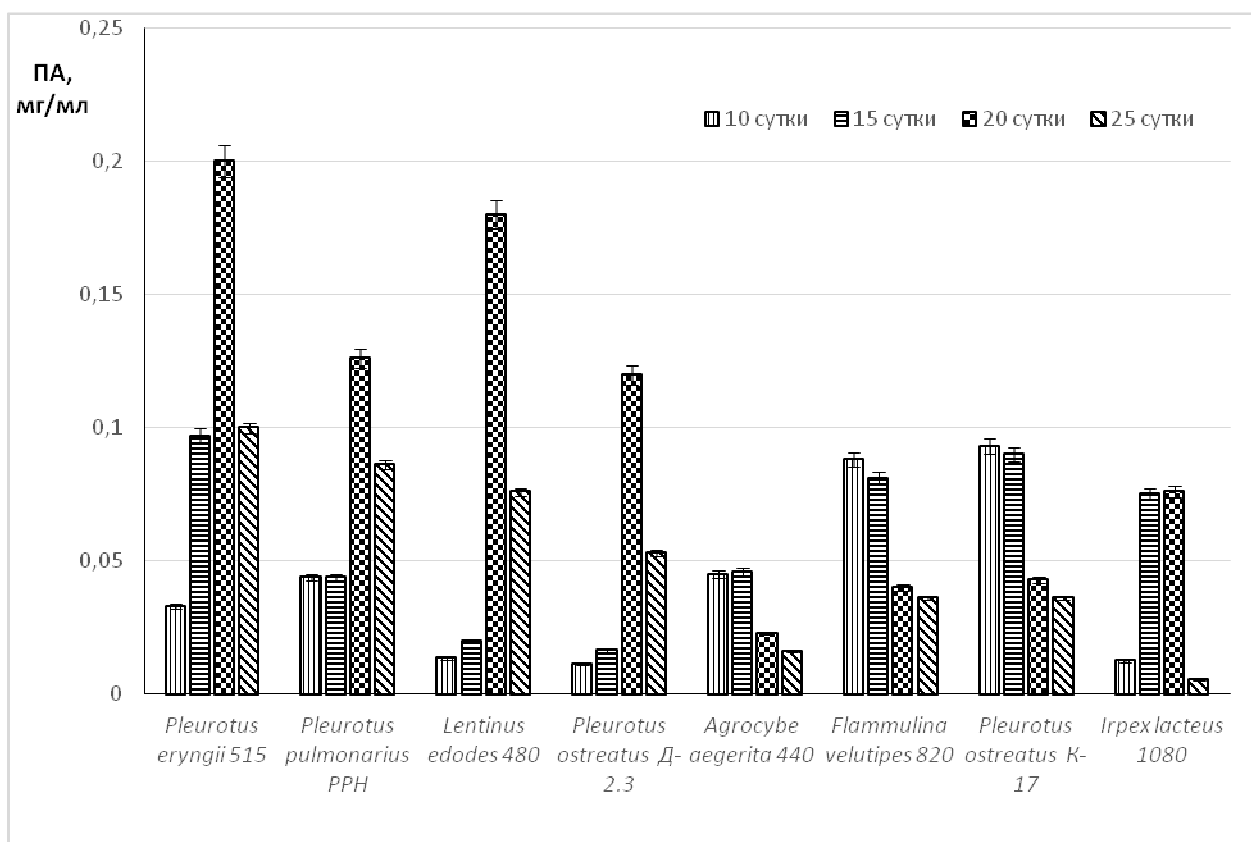


Рис. 1. Динамика экзополигалактуроназной активности (ПА) базидиальных ксилотрофов на пектин-пептонной питательной среде

Анализ результатов исследований показал, что все исследованные базидиальные ксилотрофы активно синтезируют экзополигалактуроназу в питательную среду на разных этапах культивирования. Грибы *P. eryngii* 515, *P. pulmonarius* PPH, *L. edodes* 480, *P. ostreatus* Д-2.3 активно синтезировали экзополигалактуроназу с 10-х по 20-е сутки с пиком активности экзопектиназ на 20-е сутки роста (см. рис. 1). На 25-е сутки все исследованные грибы показали достоверно меньший уровень пектолитической активности.

Грибы *P. ostreatus* К-17, *A. aegerita* 440, *F. velutipes* 820 максимальный уровень пектолитической активности показали на 10–15-е сутки культивирования (см. рис. 1), затем следовало достоверное снижение активности экзополигалактуроназы в культуральной жидкости. У гриба *I. lacteus* 1080 максимальная активность экзополигалактуроназы отмечена на 15–20-е сутки роста. Максимальный уровень активности экзополигалактуроназы отмечен у гриба *P. eryngii* 515 на 20-е сутки эксперимента.

При исследовании динамики изменения концентрации экзобелка в питательной среде обнаружено (рис. 2), что культуры *P. eryngii* 515, *F. velutipes* 820 и *P. ostreatus* K-17 наиболее активно синтезировали белок на 25-е сутки эксперимента. Для грибов *P. pulmonarius* PPH, *P. ostreatus* Д-2.3 и *A. aegerita* 440 достоверные максимумы накопления белка в питательной среде отмечены на 20-е сутки роста. Культуры *L. edodes* 480 и *I. lacteus* 1080 выделили в питательную среду максимальное количество экзобелка на 15-е сутки проведения эксперимента.

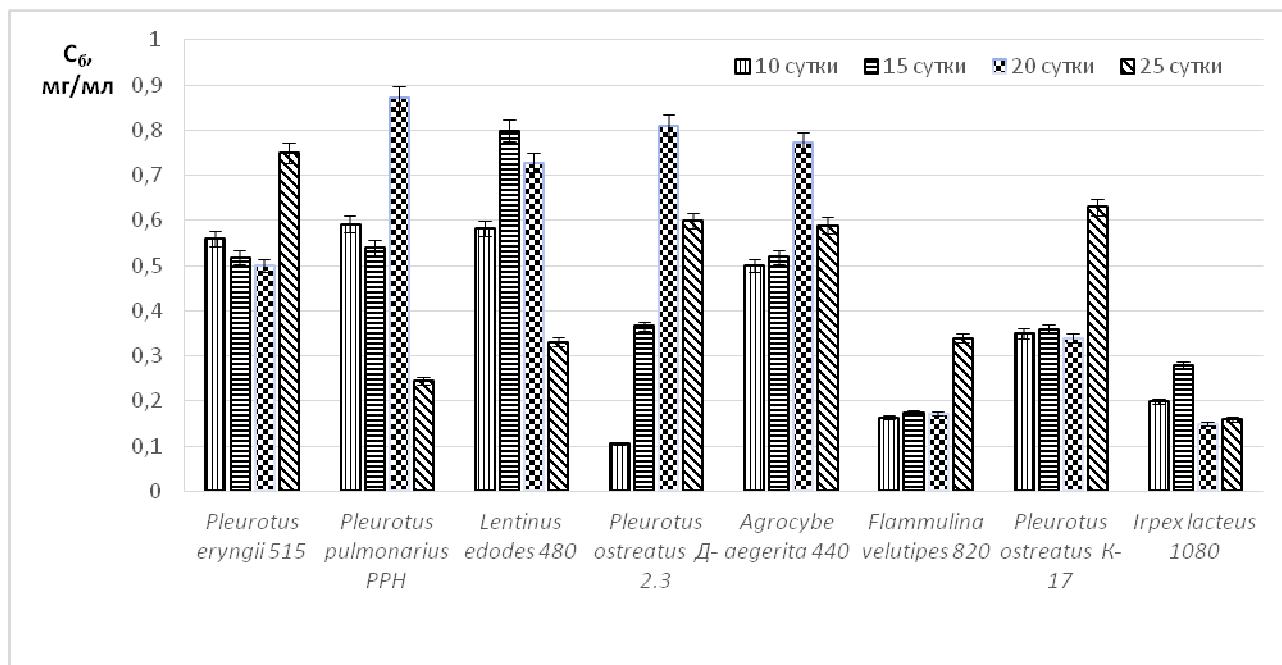


Рис. 2. Динамика накопления белка (C_b) базидиальными ксилотрофами на пектин-пептонной питательной среде

Следует отметить, что практически для всех исследованных культур съедобных грибов точки максимальной активности экзополигалактуроназы не совпадают с таковыми по накоплению экзопротеинов. Исходя из этого, можно предположить, что параллельно со снижением в культуральной жидкости концентрации белка грибы выделяют в нее наибольшее количество ферментов пектолитического действия.

При изучении динамики накопления биомассы базидиальными ксилотрофами (рис. 3) максимальный прирост биомассы для культур *P. pulmonarius* PPH, *L. edodes* 480, *P. ostreatus* Д-2.3 и *F. velutipes* 820 отмечен в конце проведения эксперимента (на 25-е сутки).

Грибы *P. eryngii* 515 и *P. ostreatus* K-17 с 10-х по 20-е сутки культивирования показали плавный прирост биомассы (см. рис. 3) с достоверным максимумом на 20-е сутки опыта. На 25-е сутки роста уровень накопления биомассы достоверно снизился, что, возможно, связано с переходом грибов в фазу старения.

Культура гриба *A. aegerita* 440 активно накапливала биомассу в начале культивирования (10-е сутки), далее следовало достоверное снижение показателей роста биомассы. Для гриба *I. lacteus* 1080 максимальный уровень накопления биомассы отмечен на 15-е сутки эксперимента.

Все исследуемые культуры базидиальных ксилотрофов незначительно подщелачивали культуральную жидкость в процессе культивирования, что, возможно, стимулировало активный синтез экзополигалактуроназы грибами.

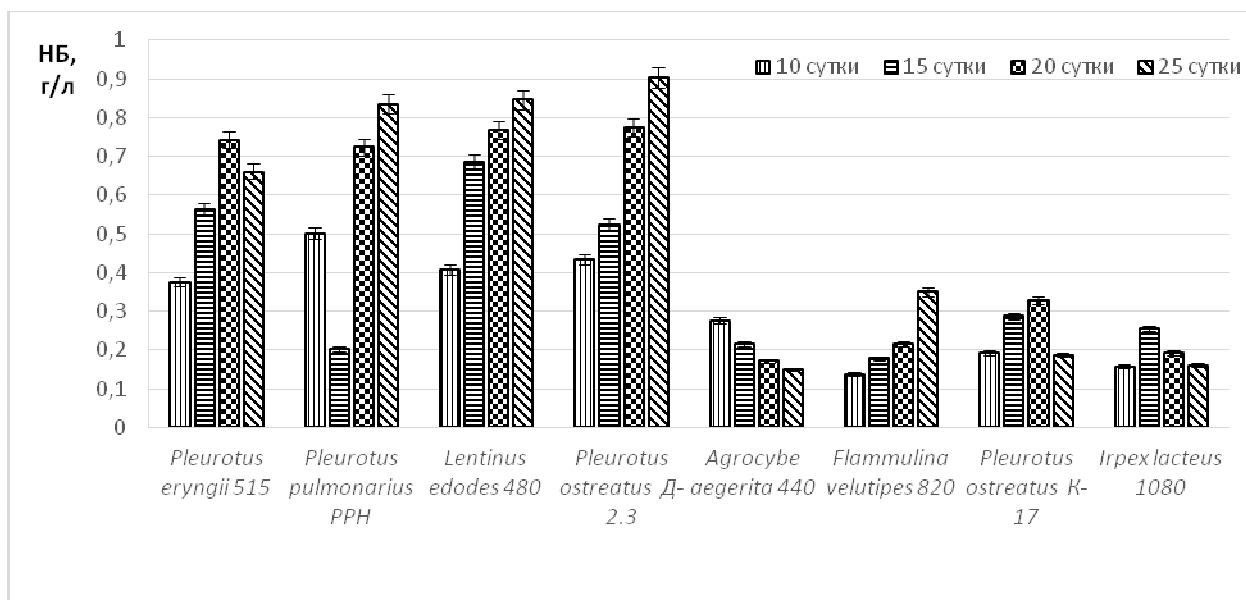


Рис. 3. Динамика накопления биомассы (НБ) базидиальными ксилотрофами на пектин-пептонной питательной среде

Выводы

Исследованные культуры базидиальных ксилотрофов способны к синтезу ферментов пектолитического действия при культивировании на жидких средах с добавлением яблочного пектина. Изменение pH культуральной жидкости в процессе культивирования в щелочную сторону позволяет говорить о присутствии пектиназ с нейтральным и щелочным оптимумом pH действия у исследованных культур грибов.

Список литературы

1. Белова Н. В. Природа биологической активности высших грибов // Успехи медицинской микологии. М. : Национальная академия микологии, 2003. Т. 1. С. 230–233.
2. Бойко С. М., Малюга М. В. Зависимость пектолитической активности некоторых базидиальных грибов от качественного состава питательной среды // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2013. № 1 (13). С. 174–180.
3. Грачева И. М., Кривова А. Ю. Технология ферментных препаратов. М. : Элевар, 2000. С. 8.
4. Даниляк Н. И., Семичаевский В. Д., Дудченко Л. Г., Трутнева И. А. Ферментные системы высших базидиомицетов. К. : Наук. думка, 1989. 280 с.
5. Джакашева М. А. Технология получения пектолитического ферментного препарата, применяемого для улучшения органолептических показателей красных столовых вин : Дис. ... докт. философии : 6D070100 Биотехнология. Алматы, 2017. 183 с.
6. Древаль К. Г., Семилетова О. С., Бойко С. М., Бойко М. І. Пектолітична активність штамів вищих базидіальних грибів – активних продуцентів целюлозолітичних ферментів // Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону. 2010. № 1 (10). С. 195–199.
7. Калашникова Н. А., Гребешова Р. Н., Купцова Г. Б. и др. Обработка плодово-ягодного сырья композициями ферментных препаратов // Консервная и овощесушильная промышленность. 1982. № 8. С. 1–3.
8. Комар Е. И., Шавель М. И., Песнякевич А. Г. Идентификация грамтрицательных пектолитических фитопатогенных бактерий, вызывающих заболевания картофеля в Беларуси // Вестник БГУ. 2014. Сер. 2. № 2. С. 54–60.
9. Приседський Ю. Г. Статистична обробка результатів біологічних експериментів : навч. посібник. Донецьк : Кассиопея, 1999. 210 с.

10. Семенова М. В., Сеницына О. А., Морозова В. В., Федорова Е. А. Использование препарата грибной пектинлиазы в пищевой промышленности // Прикладная биохимия и микробиология. 2006. Т. 42, № 6. С. 681–685.

11. Третьякова О. М., Евтушенко А. Н. Пектолитическая и мацерирующая активность штаммов *Pectobacterium carotovorum*, *Pectobacterium atrosepticum* и *Dickeya dadantii* на тканях клубней картофеля // Картофелеводство. Минск, 2010. № 18. С. 186–190.

12. Kertesz Z. I. Methods in enzymology. New York : Academic Press, 1955. Vol. 2. P. 162–164.

Zagnitko Yu. P., Kochneva V. S., Palaguta A. P. Dynamic of pectolytic activity of some xylotrophic basidiomycetes. – The dynamics of exopolygalacturonase activity of some basidial xylotrophs on pectin-peptone nutrient medium has been studied. It has been shown that edible basidiomycetes are capable of showing high pectolytic activity. They are perspective objects for future researches in order to obtain an enzyme of pectolytic action.

Key words: exopolygalacturonase, xylotrophic basidiomycetes, culture fluid, exoenzymes.

© О. В. Фрунзе, Е. А. Олюнина

СОДЕРЖАНИЕ ИОНОВ КОБАЛЬТА И МАРГАНЦА В ПРОРОСТКАХ ГАЗОННЫХ ТРАВ В УСЛОВИЯХ КОНТРОЛИРУЕМОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

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

Фрунзе О. В., Олюнина Е. А. Содержание ионов кобальта и марганца в проростках газонных трав в условиях контролируемого загрязнения. – Исследовали влияние загрязнения почвы ионами кобальта и марганца на ростовые процессы и сорбционную способность газонных трав. Проведенные исследования показали, что изменение ростовых процессов и аккумулирующей способности зависит как от свойств металла, так и от индивидуальных особенностей растений. Внесение в почву как кобальта, так и марганца оказывает токсичный эффект на длину корня и стебля проростков *Agrostis vulgaris* With., *Festuca rubra* L. На сорбционную способность и морфометрические показатели *Bromus arvensis* L., *Poa pratensis* L. загрязнение почвы кобальтом и марганцем не оказывает угнетающего влияния, совместное внесение поллютантов увеличивает сорбционную способность.

Ключевые слова: кобальт, марганец, газонные травы, сорбционная способность.

Введение

Донбасс можно отнести к числу промышленных регионов, где расположено множество крупных предприятий производственно-промышленного комплекса, предприятий топливно-энергетического комплекса, металлургической, горнодобывающей, химической промышленности, строительной отрасли, отраслей машиностроения, агропромышленного и сельскохозяйственного комплекса.

Высокая концентрация сельскохозяйственного и промышленного производства, автомобильных магистралей, перенаселение региона создали неблагоприятную экологическую обстановку всей техносферы региона в целом. Таким образом, Донбасс относится к наиболее критическим по техногенной обстановке регионам.

При более благоприятных условиях растения справлялись с определенной концентрацией загрязняющих веществ (с помощью биохимических и физиологических механизмов защиты организма), сейчас разница между загрязнением и очисткой несопоставимо выше. Увеличение концентрации загрязнителей в природной среде приводит к увеличению их содержания в клетках растений. При высоких концентрациях загрязняющих веществ их накопление в органах растений увеличивается. В ответ на это в организме растения происходят разные физиологические и биохимические изменения, которые часто носят негативный характер.

Целью нашей работы было изучение влияния загрязнения почвы ионами кобальта и марганца на ростовые процессы и способность проростков газонных трав к сорбированию ионов тяжелых металлов в условиях полиметаллического стресса.

Материал и методы исследования

В процессе исследования для проведения эксперимента были использованы проростки костра полевого (*Bromus arvensis* L.), полевицы тонкой (*Agrostis vulgaris* With.), овсяницы красной (*Festuca rubra* L.), мятлика лугового (*Poa pratensis* L.)

Исследования проводили по схеме полного двухфакторного трехуровневого эксперимента. В качестве загрязнителей использовались сульфат кобальта и сульфат марганца по стехиометрическому отношению. Концентрации марганца составляли 0–3 г/кг, кобальта – 0–10 мг/кг. Семена растений проращивали согласно их биологическим особенностям. Выращивание вели на протяжении тридцати дней, продолжительности светового дня 14 ч, 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 вносились сульфат кобальта и сульфат марганца согласно схеме эксперимента.

При снятии результатов проростков измеряли длину надземной части, длину корней. Сорбционную способность проростков определяли по методу атомно-адсорбционной спектроскопии по В. Прайсу.

Полученные данные обрабатывали статистически с помощью специально разработанных программ.

Результаты и обсуждение

Изучение влияния загрязнения почвы ионами кобальта и марганца на морфометрические показатели изученных видов растений позволяет сделать вывод о неоднозначном влиянии тяжелых металлов на исследуемые показатели. Так, загрязнение почвы ионами кобальта и марганца негативно сказывается на проростках *A. vulgaris*, особенно при совместном внесении загрязнителей (рис. 1).

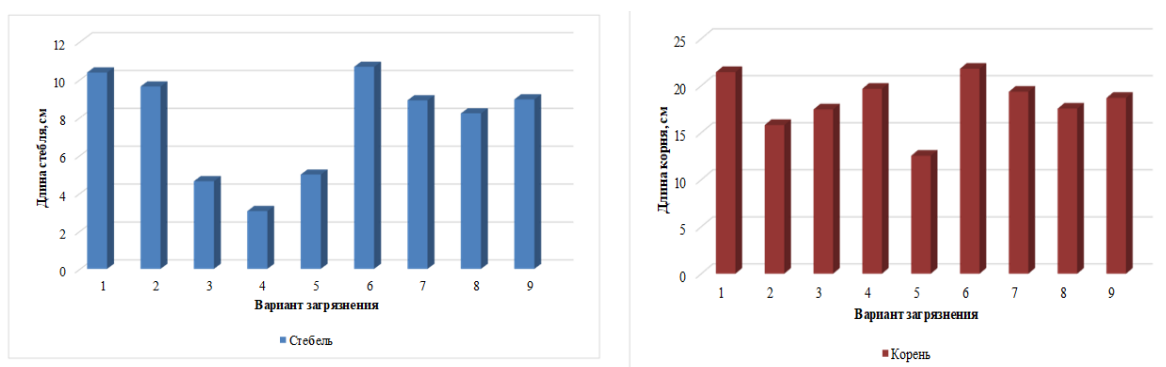


Рис. 1. Влияние загрязнения почвы кобальтом и марганцем на длину стебля и корня *Agrostis vulgaris* With.

Концентрация кобальта 5 мг/кг не оказывает достоверного снижения длины стебля проростков *A. vulgaris* по сравнению с контролем (см. рис. 1). При увеличении концентрации ионов кобальта – длина стебля проростков *A. vulgaris* резко снижается практически в два с половиной раза по сравнению с контролем.

Отдельное внесение марганца оказывает достоверное угнетающее влияние на ростовые процессы стебля *A. vulgaris*, данный показатель снижается на 74,5 %.

При совместном внесении поллютантов отмечено токсичное влияние на рост стебля, при котором этот показатель снижается на 22–45 %. Угнетающее влияние возрастает при повышении концентрации как ионов кобальта, так и ионов марганца.

При внесении в почву кобальта в концентрации 5 мг/кг длина корня проростков *A. vulgaris* снижается на 26,5 %, а при увеличении концентрации поллютанта – на 19 % по сравнению с контролем.

При внесении в почву ионов марганца в концентрации 1,5 и 3 г/кг почвы длина корня проростков *A. vulgaris* уменьшается на 7,5–8,5 % по сравнению с контрольными растениями.

Во всех вариантах совместного внесения загрязнителей длина корней проростков *A. vulgaris* снизилась на 17,5–40,5 %. При увеличении концентрации поллютантов негативное влияние усиливается.

Внесение ионов кобальта и марганца в почву оказывает угнетающее влияние на ростовые процессы корней и стеблей проростков *F. rubra*, которое усиливается с увеличением концентрации поллютантов.

Так, внесение кобальта в концентрации 5 мг/кг уменьшает ростовые процессы корня на 13,5 %, а при внесении 10 мг/кг – на 45 %, по сравнению с растениями, выращенными на незагрязненной почве (рис. 2).

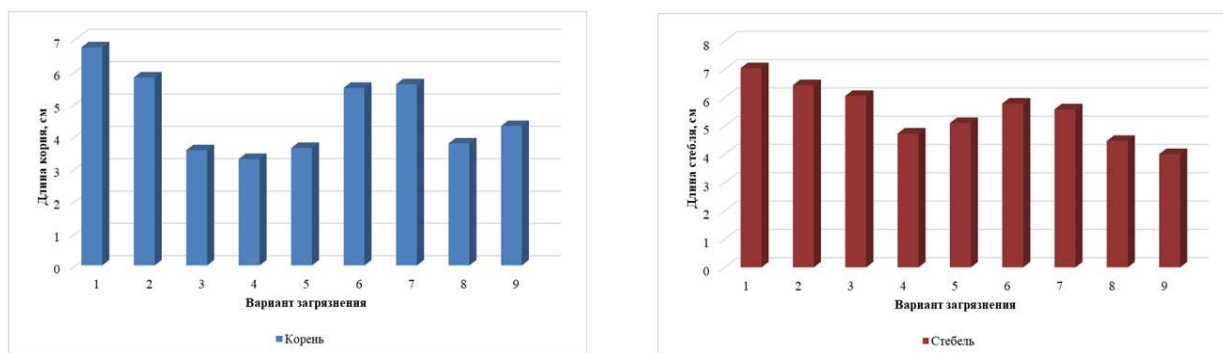


Рис. 2. Влияние загрязнения почвы кобальтом и марганцем на длину корня и стебля проростков *Festuca rubra* L.

Внесение в почву 1,5 г/кг марганца угнетает рост корней проростков *F. rubra* на 50,5 %, а при внесении в почву 3 г/кг – на 16,5 %. Комплексное действие загрязнителей во всех вариантах исследования оказывает угнетающий эффект на ростовые процессы корней *F. rubra* на 18,5–50,9 %.

На длину стебля проростков *F. rubra* внесение поллютантов оказывает негативное влияние. Так, при внесении 5 и 10 мг/кг ионов кобальта длина стебля проростков *F. rubra* снизилась на 8,5 %, а отдельное внесение ионов марганца уменьшает рост надземной части проростков *F. rubra* на 20,6–32,8% по сравнению с контрольными растениями (см. рис. 2).

При совместном внесении ионов кобальта и марганца рост стебля проростков *F. rubra* уменьшился на 27,8–43,1 % по сравнению с контролем.

Загрязнение почвы соединениями кобальта оказывает токсичное влияние на морфометрические показатели проростков *P. pratensis*. Так, при внесении 5 мг/кг кобальта отмечено достоверное снижение ростовых процессов корня проростков на 11,8 %. При увеличении концентрации ионов кобальта до 10 мг/кг длина корня снизилась на 20,2 % по сравнению с контрольными растениями.

Внесение в почву марганца приводит к статистически достоверному снижению ростовых процессов корня проростков *P. pratensis* на 7,5 %, а при концентрации марганца 3 г/кг почвы отмечено уменьшение длины корня на 38,7 % (рис. 3).

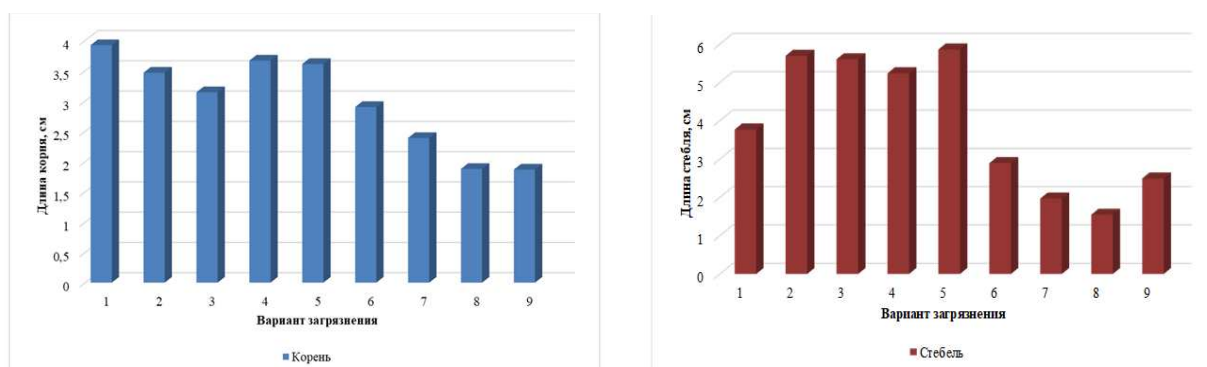


Рис. 3. Влияние загрязнения почвы кобальтом и марганцем на длину корня и стебля проростков *Poa pratensis* L.

Наибольшее угнетение ростовых процессов корневой системы оказывает совместное загрязнение почвы кобальтом и марганцем, при котором уменьшение длины корневой системы проростков *P. pratensis* достигает 51–53 % по сравнению с контролем (вар. 8 и 9).

Внесение в почву 5 мг/кг кобальта не вызывает снижения длины надземной части проростков *P. pratensis* по сравнению с контрольными растениями, а при увеличении концентрации поллютанта длина стебля значительно превышает контрольный показатель на 47,6 % (см. рис. 3).

Отдельное внесение ионов марганца также не оказывает негативного влияния на рост стебля проростков *P. pratensis*. Только при совместном внесении загрязнителей прослеживается снижение ростовых процессов стебля на 33,5–57,3 % (вар. 8 и 9). Токсичное влияние возрастает при увеличении концентрации как ионов кобальта, так и ионов марганца.

Таким образом, загрязнение почвы соединениями кобальта и марганца оказывает значительное угнетающее влияние на ростовые процессы проростков всех изученных видов газонных трав. Выделены наиболее чувствительные к загрязнению почвы виды – *A. vulgaris* и *F. rubra*.

Выделены наиболее устойчивые к действию поллютантов виды – *B. arvensis* и *P. pratensis*. Наиболее сильное токсичное влияние оказывает совместное загрязнение почвы высокими концентрациями или обоих загрязнителей, или одного из них.

Проведенные исследования показали, что способность растений накапливать в своих органах ионы кобальта и марганца зависит как от концентрации металла, так и от видоспецифических особенностей растений.

Так, в вариантах внесения в почву ионов кобальта наблюдалось повышение содержания данного металла в корнях проростков *B. arvensis* (вар. 2 и 3), причем при увеличении концентрации поллютанта увеличивалось и его содержание в корневой системе (рис. 4).

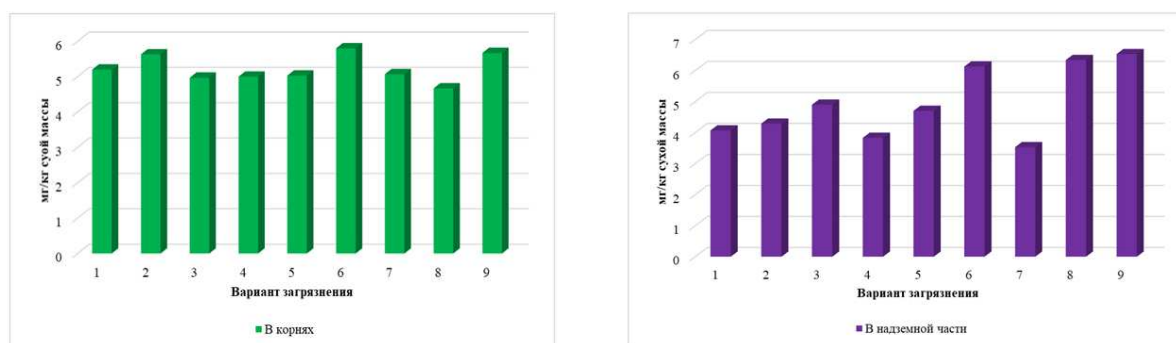


Рис. 4. Содержание кобальта в корнях и стеблях проростков *Bromus arvensis* L.

Подобная тенденция прослеживалась и в способности данного вида накапливать кобальт в надземной части (см. рис. 4). При больших концентрациях ионов кобальта его содержание в надземной части увеличилось на 38,2 %, по сравнению с растениями, выращенными на незагрязненной почве.

При совместном внесении токсикантов способность проростков накапливать металлы увеличилась. Так, в вариантах 8 и 9 количество кобальта увеличилось на 67,3–88,6 % по сравнению с контролем, причем в надземной части концентрация ионов кобальта была выше, чем в корнях.

При внесении в почву незначительного количества ионов марганца наблюдалось достоверное увеличение его содержания как в корневой системе проростков *P. pratensis*, так и в надземной части данного вида (рис. 5).

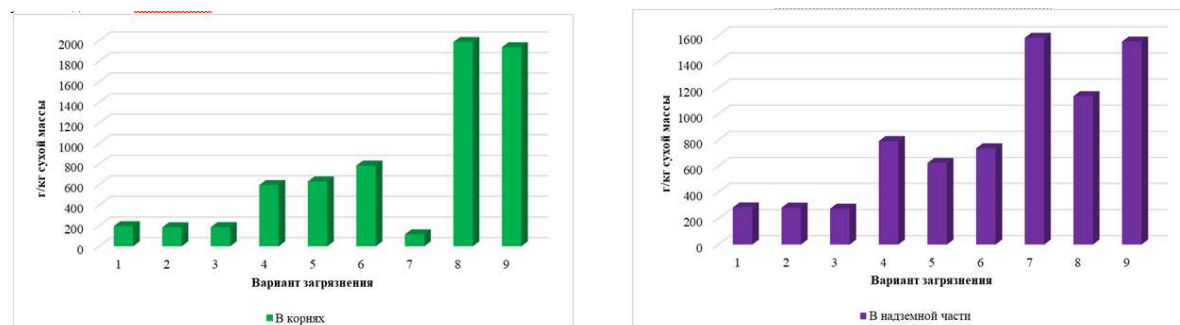


Рис. 5. Содержание марганца в корнях и стеблях проростков *Poa pratensis* L.

С увеличением концентрации марганца практически в два раза уменьшается его концентрация в корнях. Данный факт можно объяснить защитной реакцией растения на токсичное воздействие поллютанта. В стеблях проростков *B. arvensis* L. содержание ионов марганца увеличивалось с увеличением его концентрации в почве. Так, в варианте 7 его содержание возросло на 77,2 %.

Наиболее высокая концентрация марганца в надземной части была обнаружена в вариантах совместного загрязнения почвы ионами кобальта и марганца (вар. 6, 8, 9). Причем с увеличением концентрации в почве токсикантов увеличивалось и их содержание как в корневой системе, так и в стебле проростков изученных видов растений. В надземной части содержание поллютантов было выше, чем в корнях.

У проростков *A. vulgaris* наблюдалась положительная тенденция в накоплении тяжелых металлов растениями. Так, при внесении незначительного количества ионов кобальта наблюдалось статистически недостоверное его увеличение, как в корневой системе, так и в стеблях проростков (рис. 6).

При увеличении концентрации токсиканта увеличивалось его содержание в надземных органах растений.

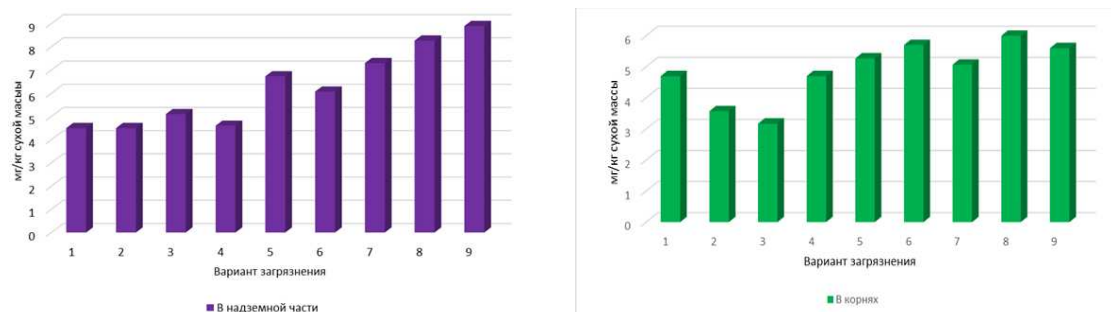


Рис. 6. Содержание ионов кобальта в надземной части и корнях проростков *Agrostis vulgaris* With.

Внесение в почву низких концентраций марганца активировало его сорбцию в корнях проростков на 5,2 %, а при увеличении концентрации его содержание в корнях проростков увеличивалось на 60 % (вар. 4, 7) (рис. 7).

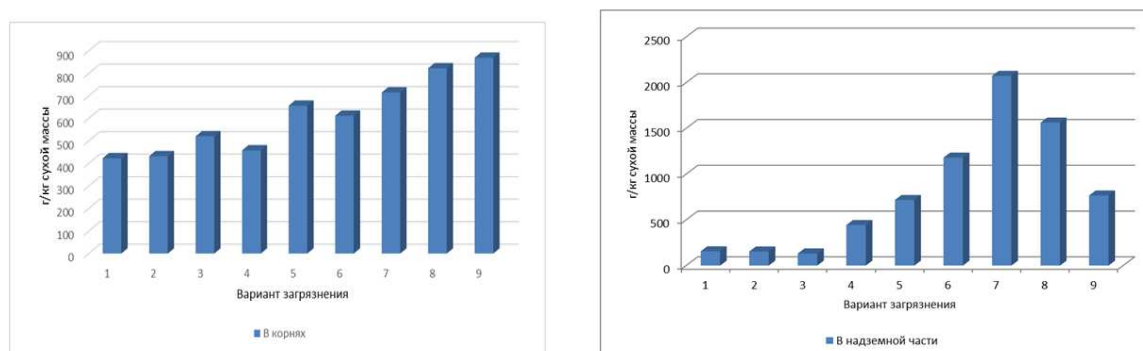


Рис. 7. Содержание марганца в корнях и стеблях проростков *Agrostis vulgaris* With.

При совместном внесении кобальта и марганца прослеживалось увеличение концентрации поллютантов как в корнях, так и в надземной части проростков. Так, в варианте 6 концентрация ионов кобальта возросла на 34,6 %, а марганца – практически в 6,7 раз (см. рис. 7), по сравнению с проростками, выращенными на незагрязненной почве.

При внесении в почву низких концентраций кобальта, его содержание в корневой системе проростков *F. rubra* увеличивалось на 17,9 %, а в надземной части – на 42,8 % по сравнению с контролем. При увеличении концентрации ионов кобальта его содержание в корнях увеличилось на 71,8 %, а в надземной части – на 44,7 % (рис. 8).

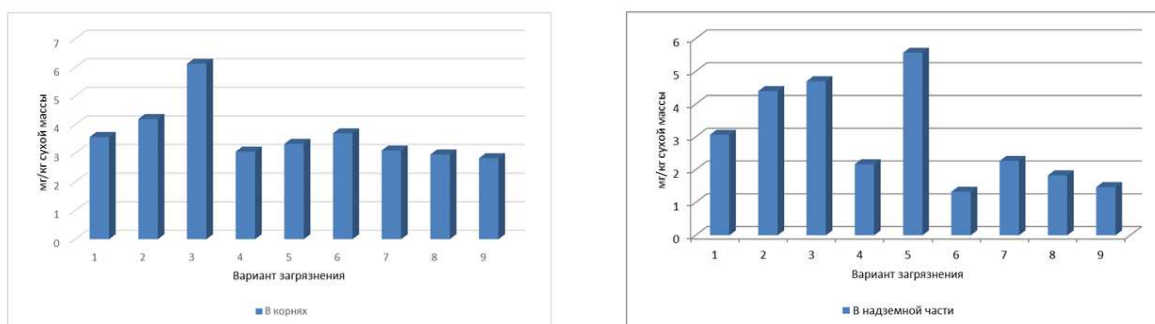


Рис. 8. Содержание кобальта в корнях и надземной части проростков *Festuca rubra* L.

Внесение в почву низких концентраций марганца стимулировало его накопление в надземной части проростков на 283 %, а при внесении высоких концентраций поллютанта этот показатель превысил практически в 5 раз (рис. 9).

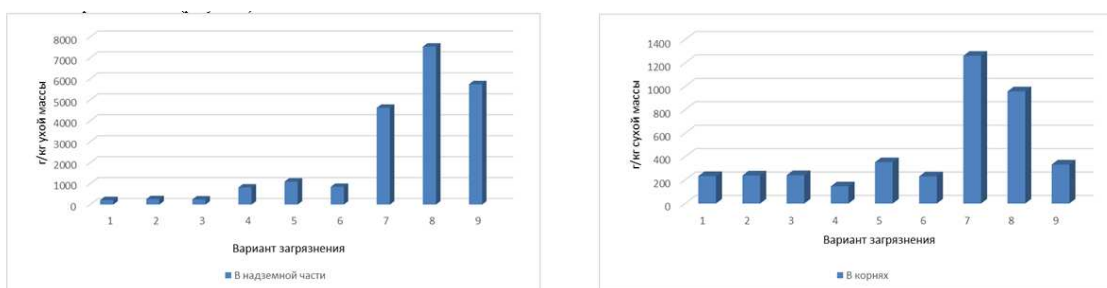


Рис. 9. Содержание марганца в надземной части и корне проростков *Festuca rubra* L.

Противоположные результаты были получены при изучении накопления марганца корнем проростков *F. rubra*. Исследования показали, что при низких концентрациях марганца его содержание в корне уменьшалось на 36,2 % (вар. 4), при увеличении концентрации токсиканта в почве данный показатель незначительно возрастал, но эти данные были статистически недостоверными (см. рис. 9).

При совместном внесении кобальта и марганца концентрация кобальта в корнях проростков *F. rubra* уменьшилась на 42,0–66,5 % по сравнению с контрольными растениями (вар. 6, 8, 9). Такая же тенденция наблюдалась и в накоплении кобальта надземной частью растений. Так, в варианте 6 концентрация данного металла уменьшилась на 86,9 %. Совместное внесение загрязнителей активировало сорбцию марганца, как корневой системой, так и надземной частью проростков.

Выводы

Загрязнение почвы соединениями кобальта и марганца оказывает значительное негативное влияние на ростовые процессы проростков всех изученных видов растений. Наиболее сильное негативное влияние вызывает совместное загрязнение почвы с высокими концентрациями ионов кобальта и марганца. Выделены наиболее чувствительные к загрязнению почвы виды – *A. vulgaris* и *F. rubra*. Выделены наиболее устойчивые к действию поллютантов виды – *B. arvensis* и *P. pratensis*.

С увеличением концентрации ионов кобальта и марганца в почве увеличивается и их содержание как в корневой системе, так и в надземной части проростков всех изученных видов растений. При комплексном внесении загрязнителей увеличивается их содержание в вегетативных органах исследуемых видов.

Наибольшая сорбционная способность ионов тяжелых металлов отмечена у проростков *B. arvensis* и *P. pratensis*, которые можно отнести к растениям-гипераккумуляторам тяжелых металлов и рекомендовать их для фитовосстановления почв урбанизированных территорий.

Список литературы

1. *Алексеев Ю. А.* Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат, 1987. 142 с.
2. *Афанасьев Ю. А.* Мониторинг и методы контроля окружающей среды: уч. пос. М.: Изд-во МНЭПУ, 2015. Ч. 2. 337 с.
3. *Гусакова Н. В.* Техносферная безопасность: физико-химические процессы в техносфере: уч. пос. М.: ИНФРА-М, 2015. 184 с.
4. *Сафонов А. И.* Индикаторная роль растений в системе управления городом в промышленном регионе // Экологическая ситуация в Донбассе: проблемы безопасности и рекультивации поврежденных территорий для их экономического возрождения. М.: Изд-во МНЭПУ, 2016. С. 288–294.
5. *Сафонов А. И.* Функциональная ботаника в Донбассе: экологический мониторинг, информационные ресурсные технологии, фитодизайн // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2017. № 1–2. С. 8–14.
6. *Середина В. П.* Загрязнение почв: уч. пос. Томск: ИД Томского гос. ун-та, 2015. 346 с.
7. *Ясовеев М. Г., Какарека Э. В., Шевцова Н. С., Шершнев О. В.* Промышленная экология: уч. пос. Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2015. 290 с.
8. *Panidi E.* Application of phyto-indication and radiocesium indicative methods for microrelief mapping // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2016. N 34. P. 12–29.
9. *Pilon-Smits E., Pilon M.* Phytoremediation of metals using transgenic plants // Critical reviews in plant sciences. 2014. Vol. 21, N 5. P. 439–456.
10. *Poschenrieder C., Barceló J.* Water relation in heavy metals stressed plants // Heavy metal stress in plants: from molecules to ecosystems. Heidelberg: Springer-Verlag, 1999. P. 207–230.

Frunze O. V., Oliunina E. A. The content of cobalt and manganese ions in lawn grass seedlings under controlled pollution conditions. – Investigated the effect of soil pollution by ions of cobalt and manganese on the morphometric parameters and the sorption capacity of lawn grasses. Studies have shown that the change in the sorption capacity and the morphometric parameters on both the properties of the metal and the specific characteristics of plants. The introduction of both cobalt and manganese into the soil has a depressing effect on the sorption capacity and the length of the root and stem of the seedlings of *Agrostis vulgaris* With., *Festuca rubra* L. On the sorption capacity and growth rates of seedlings of *Bromus arvensis* L., *Poa pratensis* L. soil contamination with cobalt and manganese has no negative impact, the complex introduction of pollutants increases the sorption capacity.

Key words: cobalt, manganese, lawn grasses, sorption capacity.

© А. В. Чайка, Д. Ю. Михайлова

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРОДУКТОВ ГРИБНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ
РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ НА ОГУРЕЦ ПОСЕВНОЙ**

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

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

Чайка А. В., Михайлова Д. Ю. Оценка влияния продуктов грибной трансформации растительных отходов на огурец посевной. – В работе исследовали влияние продукта трансформации древесных опилок штаммом гриба белой гнили *Trametes hirsuta* Th-11, обогащенного биологически активными метаболитами грибного происхождения, на биометрические показатели *Cucumis sativus* Ласточка F1. Установлено, что эффект воздействия зависит от возраста, разведения культуральной жидкости штамма, содержащей продукты трансформации древесных опилок, и способа обработки растений. Наибольший суммарный стимулирующий эффект был обнаружен при поливе растений в течение вегетации разбавленной в 100 раз 33-суточной культуральной жидкостью.

Ключевые слова: растительные отходы, трансформация, регуляторы роста растений, *Cucumis sativus*.

Введение

Благодаря природно-климатическим условиям огурец является одной из наиболее значимых культур, выращиваемых в Донбассе [12, 13]. Данная культура характеризуется скороспелостью, высокими вкусовыми качествами плодов, как в свежем, так и в консервированном виде. Однако для получения стабильных урожаев высокого качества в регионе рискованного земледелия необходимо внедрение эффективных биологически обоснованных технологий возделывания культуры. В последние годы активизировалась работа по поиску и созданию регуляторов роста растений, позволяющих усиливать метаболические процессы, повышать продуктивность, качество продукции и устойчивость культур к неблагоприятным факторам среды. Наиболее широко в агротехнологиях применяются гуминовые вещества [1], представляющие собой темно-коричневые высокомолекулярные азотсодержащие соединения, образующиеся при разложении органических остатков под действием микроорганизмов и абиотических факторов среды [6]. Гуминовые вещества являются основным органическим компонентом почв, сапропелей, твердых горючих ископаемых [5], что и определяет источники их получения.

В настоящее время основные источники гуминовых веществ – бурый уголь и торф [4]. Такие технологии имеют ряд существенных недостатков: нарушение естественных ландшафтов при добыче сырья, привязка к месторождениям полезных ископаемых, наличие жесткого химического и физического воздействия на сырье в технологическом процессе, применение опасных для здоровья человека реагентов. В связи с этим более перспективным и экологически безопасным является получение гуминовых веществ путем биологической конверсии растительных отходов [8]. При этом обеспечивается мягкое протекание процессов, используется малоценное возобновляемое сырье, решаются проблемы, связанные с утилизацией отходов. В отличие от использования бактерий, применение грибов белой гнили позволяет обеспечить более глубокую ферментацию лигнина благодаря наличию у них мощных лигнолитических ферментов [2], не образуются микробные токсины, не происходит спорообразования, в готовом продукте отсутствует нежелательная чужеродная микрофлора. Обогащение продуктов деструкции биомассой и биологически активными метаболитами грибного происхождения, в частности биосурфактантами [11], может обеспечить более выраженное воздействие на растения получаемых регуляторов роста по сравнению с однокомпонентными препаратами.

Исходя из вышеизложенного, целью работы была оценка влияния продуктов трансформации растительных отходов грибом белой гнили *Trametes hirsuta* на огурец посевной Ласточка F1.

Материал и методы исследования

В экспериментах был использован среднерослый раннеспелый гибрид первого поколения Ласточка F1 огурца посевного *Cucumis sativus* L. Оценку влияния продуктов трансформации растительных отходов на исследуемое растение в начальный период онтогенеза проводили путем определения энергии прорастания и всхожести обработанных семян в сравнении с контролем согласно [3].

Вегетационные эксперименты проводили в течение 30 суток в полиэтиленовых сосудах объемом 500 мл с 350 г почвы при продолжительности светового дня 14 часов (освещенность 12000 люкс), температуре 25–27 °С и влажности почвы около 70 %. В каждый сосуд высевали по 3 семени. Эксперимент проводили в 5-кратной повторности. По окончании срока выращивания (30 суток) определяли такие биометрические показатели, как длина побеговой и корневой систем, ассимиляционная поверхность и количество настоящих листьев, абсолютно сухая масса растений. Обработку полученных результатов проводили общепринятыми методами статистической обработки результатов биологических экспериментов [7].

В качестве субстрата для получения продуктов грибной трансформации растительных отходов использовали древесные опилки акации белой. Штамм базидиального ксилотрофа *Trametes hirsuta* (Wulfen) Lloyd Th-11, являющийся перспективным деструктором загрязнителей окружающей среды [10], культивировали глубинным методом на жидкой среде с опилками в качестве единственного источника углеродного и азотного питания. Начальный водородный показатель среды составлял $5,45 \pm 0,16$. Полученный в результате фильтрат культуральной жидкости (КФ) штамма *T. hirsuta* Th-11, содержащий продукты трансформации древесных опилок, использовали для обработки семян или вегетирующих растений *C. sativus* Ласточка F1.

Результаты и обсуждение

Предварительные исследования показали, что штамм *T. hirsuta* Th-11 способен использовать древесные опилки в качестве единственного источника питательных веществ. Скорость убыли абсолютно сухой массы субстратно-мицелиального комплекса в течение культивирования была неодинаковой, в среднем 0,35 % за сутки. При этом активность внеклеточной лакказы в течение всего срока культивирования изменялась, но, за исключением начальной фазы возобновления роста, оставалась на высоком уровне [9]. Известно, что лакказа способна синтезировать из компонентов лигнина гуминовые вещества в большом количестве [14]. Этот факт вместе с постепенным окрашиванием культуральной жидкости *T. hirsuta* Th-11 в темно-коричневый цвет позволяет предположить накопление гуминовых веществ в культуральной жидкости в течение культивирования. Количественная оценка гуминовых веществ и других метаболитов – потенциальных регуляторов роста в КФ (аналоги фитогормонов, биосурфактанты, ферменты) может предоставить наиболее полную информацию о его составе, но этот анализ очень трудоемок. Косвенным свидетельством происходящих изменений в составе КФ во время трансформации опилок штаммом *T. hirsuta* Th-11 может служить изменение силы и характера воздействия разновозрастного КФ на энергию прорастания и всхожесть семян *C. sativus* Ласточка F1. Важно, что подобное биотестирование позволит установить суммарный эффект воздействия всех биологически активных веществ, находящихся в КФ с учетом их взаимодействия.

Для этого исследования отбирали КФ штамма *T. hirsuta* Th-11 каждые 7 суток культивирования и смачивали им фильтровальную бумагу с семенами огурца посевного. Специфика методики измерения энергии прорастания семян не позволила установить значимые воздействия КФ на исследуемое растение.

При оценке воздействия КФ на всхожесть семян *C. sativus* Ласточка F1 подсчитывали количество нормально проросших, аномально проросших, не проросших (набухших, твердых, загнивших и пораженных плесневыми грибами) семян. Влияние КФ ранних сроков культивирования (до 19 суток) на всхожесть семян огурца было незначительным, а 26-

суточного и, особенно, 33-суточного КФ оказывало негативное воздействие. В этих вариантах почти в 3 раза возрастало количество аномально проросших семян по сравнению с контролем, что говорит о появлении в культуральной жидкости *T. hirsuta* Th-11 при длительном культивировании токсичных продуктов разложения опилок. Установлено угнетающее действие таких фильтратов на развитие фитопатогенных бактерий и грибов: почти отсутствовали в этих вариантах не проросшие, загнившие и пораженные плесневыми грибами семена.

Инкубация семян в течение 7 суток с разновозрастными культуральными фильтратами не сказалась на длине проростков. Также не оказывали достоверного влияния КФ *T. hirsuta* Th-11 ранних и средних сроков культивирования (до 26 суток включительно) на абсолютно сухую массу 7-суточных проростков огурца посевного. Следовательно, на первых этапах переработки древесных опилок не образуются вещества, которые могут оказывать влияние на рост исследуемого растения. Стимулирующее воздействие было установлено при использовании 33-суточного культурального фильтрата. В этом варианте опыта достоверный прирост сухой массы проростков *C. sativus* Ласточка F1 составил 17 % по сравнению с контролем. Негативное влияние 33-суточной культуральной жидкости *T. hirsuta* Th-11 на всхожесть при одновременном стимулировании накопления биомассы проростков огурца посевного может быть следствием появления и избыточного накопления в ней веществ-регуляторов роста. Это нарушает гормональный статус и ингибирует метаболические процессы в прорастающих семенах, так как в этот период растения развиваются исключительно за счет запасенных в семенах питательных веществ. В связи с этим, дальнейшая работа была направлена на изучение и подбор оптимальных разведений и способов применения 33-суточного КФ.

В вегетационных экспериментах (рис. 1) КФ штамма *T. hirsuta* Th-11, содержащий продукты трансформации древесных опилок, использовали для полива при посеве семян цельным (1 вариант) и разбавленным в 50 раз (2); предпосевного замачивания семян на 30 минут цельным (3), на 24 часа цельным (4) и разбавленным в 50 раз (5); полива цельным (6) и разбавленным в 10 (6), 50 (7) или 100 раз (8); опрыскивания растений во время культивирования разбавленным в 50 (9) или 100 раз (10).

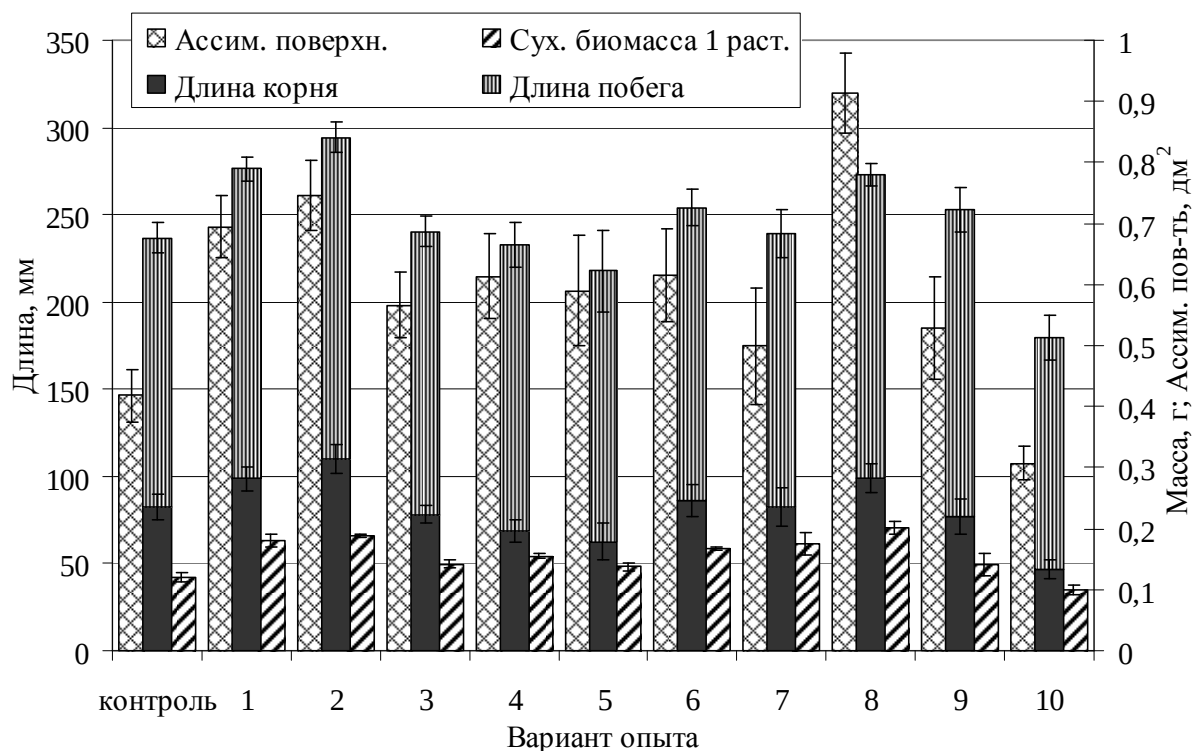


Рис. 1. Влияние КФ штамма *T. hirsuta* Th-11, содержащего продукты трансформации древесных опилок, на биометрические показатели *C. sativus* Ласточка F1

Наблюдалось достоверное увеличение средней длины побеговой системы *C. sativus* Ласточка F1 в вариантах 1, 8 и 9 – от 13 до 15 %, а максимальное – в варианте 2 – на 20 % по сравнению с контролем. Также было установлено негативное влияние КФ в варианте 10, где данный показатель снизился на 14 %. В остальных вариантах статистически значимых различий отмечено не было.

Эффект стимулирования роста корней имеет особое значение для растения, так как обеспечивает ему преимущество в поглощении воды и питательных веществ из почвы. Стимулирующее действие КФ *T. hirsuta* Th-11 на рост корневой системы огурца посевного Ласточка F1 установлено в вариантах 1, 2 и 8, также стимулирующих и рост побеговой системы. Наибольшее увеличение средней длины корневой системы (на 33 %) также было установлено при поливе под посев семян разбавленным в 50 раз КФ. Стоит отметить, что увеличилось количество вариантов, оказывающих негативное влияние на данный показатель. Это 4, 5 и 10 способы внесения КФ. При этом вариант 10 показал наибольшее негативное воздействие – средняя длина корневой системы уменьшилась на 43 % по сравнению с контролем.

Установлено существенное влияние обработок КФ *T. hirsuta* Th-11 на площадь ассимиляционной поверхности огурца посевного (см. рис. 1). Значительный положительный эффект был отмечен в вариантах 1 (66 %) и 2 (78 %). Максимальное увеличение площади ассимиляционной поверхности, почти в 2 раза, было установлено при поливе растений разбавленным в 100 раз КФ (вариант 8). Снижение площади ассимиляционной поверхности отмечено только в 10 варианте опыта и составило 27 %. Увеличение ассимиляционной поверхности огурца посевного Ласточка F1 происходило как за счет увеличения площади отдельных листьев, так и за счет интенсификации формирования новых листьев. Количество настоящих листьев у растений во всех вариантах опыта превышало контроль или было сопоставимо с ним. Наилучшие результаты по данному показателю отмечены в вариантах 4 (превышение на 36 %) и 8 (превышение на 48 %).

Обработка растений культуральным фильтратом штамма *T. hirsuta* Th-11, содержащим продукты трансформации древесных опилок, сказалась и на их средней сухой биомассе. Существенное увеличение абсолютно сухой массы по сравнению с контролем отмечено в вариантах 1 – на 50 %, 2 – на 57 %, а максимальный эффект выявлен от полива разбавленным в 100 раз КФ (вариант 8) – 68 %. Незначительное снижение сухой массы растений было установлено в 10 варианте опыта.

Выводы

Установлено, что культуральная жидкость штамма *T. hirsuta* Th-11 регулирует рост и развитие *C. sativus* Ласточка F1 и угнетает развитие фитопатогенных бактерий и грибов благодаря присутствию в ней продуктов трансформации древесных опилок и биологически активных веществ грибного происхождения. Эффект зависит от возраста, разведения культуральной жидкости и способа обработки растений. Наибольший суммарный стимулирующий эффект был обнаружен при поливе растений в течение вегетации разбавленным в 100 раз 33-суточным КФ. Особый эффект от полива, по сравнению с другими способами применения, может быть результатом кроме непосредственного, также и дополнительного воздействия на растения биологически активных веществ культуральной жидкости штамма через повышение биологической активности почвы. Полученные результаты представляют интерес для разработки технологии получения регуляторов роста растений путем грибной конверсии растительных отходов.

Список литературы

1. Вакуленко В. В., Шаповал О. А. Новые регуляторы роста в сельскохозяйственном производстве // Научное обеспечение и совершенствование методологии агрохимического обслуживания земледелия России. М., 2000. С. 71–89.
2. 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.

3. ГОСТ 12038-84 Семена сельскохозяйственных культур : методы определения всхожести. М. : Госстандарт, 1984.

4. Марыганова В. В., Бамбалов Н. Н., Пармон С. В. Воздействие вида экстрагента на структуру извлекаемых из торфа гуминовых кислот // Химия твердого топлива. 2003. № 1. С. 3–10.

5. Наими О. И. Гумусное состояние и биологическая активность черноземов обыкновенных (североприазовских) при длительном сельскохозяйственном использовании // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 3 (53). С. 161–164.

6. Орлов Д. С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М. : МГУ, 1990. 325 с.

7. Приседський Ю. Г. Статистична обробка результатів біологічних експериментів. Донецьк : Кассіопея, 1999. 210 с.

8. Тарасов С. А., Шершнев О. М. Использование микробиологических препаратов для ускорения деструкции соломы // Вестник Курской сельскохозяйственной академии. 2014. № 6. С. 41–45.

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. Чайка О. В., Федотов О. В., Файнерман В. Б., Лирик С. В. Біотехнологічні аспекти міжфазної тензіометрії і реометрії культуральної рідини ксилотрофних базидіоміцетів // Biotechnologia Acta. 2013. Т. 6, № 6. С. 120–131.

12. Чистякова Л. А., Барбарицкая И. В., Бакланова О. В., Ховрин А. Н. Огурец на юге России // Картофель и овощи. 2019. № 11. С. 38–40.

13. Шевченко Т. С. Тенденции развития овощеводства в ДНР // Молодежная наука: вызовы и перспективы : матер. I Междунар. науч.-практ. конф. студ., асп. и молодых ученых (24 апреля 2018 г.). Макеевка : ГОУ ВПО Донбасская аграрная академия, 2018. Т. II. С. 176–179.

14. Chefetz B., Chen Y., Hadar Y. Purification and characterization of laccase from *Chaetomium thermophilum* and its role in humification // Applied and Environmental Microbiology. 1998. Vol. 64, № 9. P. 3175–3179.

Chaika A. V., Mikhailova D. Yu. Evaluation of the effect of plant waste fungal transformation products on the cucumber. – The effect of sawdust transformation product by the white rot fungus strain *Trametes hirsuta* Th-11, enriched with fungal biologically active metabolites, on *Cucumis sativus* Lastochka F1 biometric parameters was investigated. It was found that the exposure effect depends on the age, the dilution of the strain culture liquid containing transformation products of sawdust and the method of processing plants. The greatest total stimulating effect was found when watering plants during the growing season with a 33-day culture liquid diluted 100 times.

Key words: plant waste, transformation, plant growth regulators, *Cucumis sativus*.

© О. В. Чемерис

ЦЕЛЛЮЛОЗОЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ШТАММОВ *IRPEX LACTEUS* (FR.) FR. ПРИ ЖИДКОФАЗНОМ КУЛЬТИВИРОВАНИИ НА ДРЕВЕСНЫХ ОПИЛКАХ

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

283050, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: chemeris07@rambler.ru

Чемерис О. В. Целлюлозолитическая активность штаммов *Irpex lacteus* (Fr.) Fr. при жидкофазном культивировании на древесных опилках. – Исследовано влияние хвойных опилок и опилок яблони на активность целлюлозолитических ферментов при жидкофазном культивировании штаммов *Irpex lacteus*. Целлюлозолитическая активность штаммов *I. lacteus* зависит от времени культивирования и вида лигноцеллюлозного субстрата.

Ключевые слова: базидиальный гриб *Irpex lacteus*, целлюлозолитическая активность, эндогликаназная активность, жидкофазное культивирование, древесные опилки.

Введение

Объектами интенсивных научных исследований являются базидиальные ксилотрофы – продуценты биологически активных соединений – ферментов, антибиотиков, противоопухолевых и других веществ [1]. Благодаря секреции комплекса гидролитических и окислительных ферментов и высокой проникающей способности мицелия в субстрат базидиальные грибы способны разлагать биополимеры и различные виды растительного сырья. Однако в биотехнологических процессах ферментативной конверсии растительных отходов данный потенциал базидиомицетов не реализован в полном объеме. Это связано с тем, что компонентный состав целлюлаз, физиолого-биохимические особенности биосинтеза продуцентов изучены у небольшого числа базидиальных ксилотрофов. Наиболее изучены продуценты ферментных комплексов целлюлаз микроскопических грибов родов *Trichoderma*, *Aspergillus* и др. [7, 10]. В последнее время стали активно исследоваться целлюлозолитические ферменты высших грибов *Irpex lacteus* [9], *Pycnoporus coccineus* и *Schizophyllum commune* [12, 16], *Trametes versicolor* и *Phanerochete chrysosporium* [12] и др.

Целлюлазы – это индуцибельные ферменты и регуляция их биосинтеза контролируется механизмами активации и репрессии [10]. Такая регуляция является главным фактором синтеза целлюлозолитических ферментов и темпов роста продуцента и представляет интерес для понимания использования целлюлозы в производственных процессах. Биосинтез целлюлозолитических ферментов обычно индуцируется в присутствии целлюлозных субстратов [15]. В качестве индукторов синтеза целлюлазы могут также выступать целлобиоза, d-целлобиоза-1-5-лактон и другие окисленные продукты гидролиза целлюлозы [10, 13].

Одной из основных проблем получения целлюлаз является синтез низкого количества фермента продуцентами. В связи с этим необходимы исследования по увеличению синтеза ферментов целлюлазного комплекса базидиальными грибами путем использования дешевого лигноцеллюлозного сырья в качестве субстратов (индукторов), скрининг активных штаммов-продуцентов, оптимизация условий культивирования.

Целью данного исследования было изучение влияния разных видов лигноцеллюлозного субстрата – хвойных опилок и опилок яблони на биосинтез целлюлаз штаммами базидиального гриба *I. lacteus* при жидкофазном культивировании.

Материал и методы исследования

Исследовали целлюлозолитическую активность пяти штаммов базидиального ксилотрофа *I. lacteus*. Штаммы хранятся в коллекции культур кафедры физиологии растений ГОУ ВПО «ДОННУ» и в Коллекции культур шляпочных грибов Института ботаники им. Н. Г. Холодного НАН Украины (ИБК) под номерами 1080, 1082, 1631, 1632 и 2434.

Штаммы *I. lacteus* культивировали в колбах Эрленмейера объемом 100 мл. В качестве лигноцеллюлозного субстрата использовали 1,5 г воздушно-сухих опилок хвойных пород (размер частиц 2–3 мм) и яблони (размер частиц 5–7 мм) и 50 мл дистиллированной воды. Культивирование проводили в течение 30 суток при температуре 32 °С. Активность ферментов целлюлазного комплекса определяли в культуральной жидкости штаммов *I. lacteus* через каждые 5 суток, начиная с 5-х по 30-е сутки культивирования.

Активность целлюлозолитических ферментов штаммов *I. lacteus* определяли относительно следующих субстратов: фильтровальная бумага (Filtrak, плотность 90 г/м²) – общая целлюлозолитическая активность, Na-карбоксиметилцеллюлоза (C5678, Sigma, США) – эндогликаназная активность. Состав реакционных смесей для определения целлюлозолитической активности и условия проведения реакций соответствовали общепринятым методикам [3, 4, 8]. За единицу целлюлозолитической активности (Ед) принимали такое количество фермента, которое образовывало 1 μmol редуцирующих сахаров на протяжении 1 ч в условиях опыта ($t = +37^\circ\text{C}$). Удельную активность (Ед/мг) определяли отношением общей активности культуральной жидкости (Ед/мл) к содержанию белка в культуральной жидкости (мг/мл). Редуцирующие сахара определяли методом Шомодьи-Нельсона (калибровочный график строили по глюкозе) [3, 4, 14].

Содержание белка в культуральной жидкости определяли по методу Бредфорда [6].

Исследования проводили в трехкратной повторности. Статистическую обработку полученных данных осуществляли методом дисперсионного анализа качественных и количественных признаков, а сравнение средних арифметических величин – по критерию Дункана [2].

Результаты и обсуждение

На рис. 1 представлены результаты исследования целлюлозолитической активности штаммов *I. lacteus* относительно фильтровальной бумаги при жидкофазном культивировании на лигноцеллюлозном субстрате – хвойных опилках и опилках яблони.

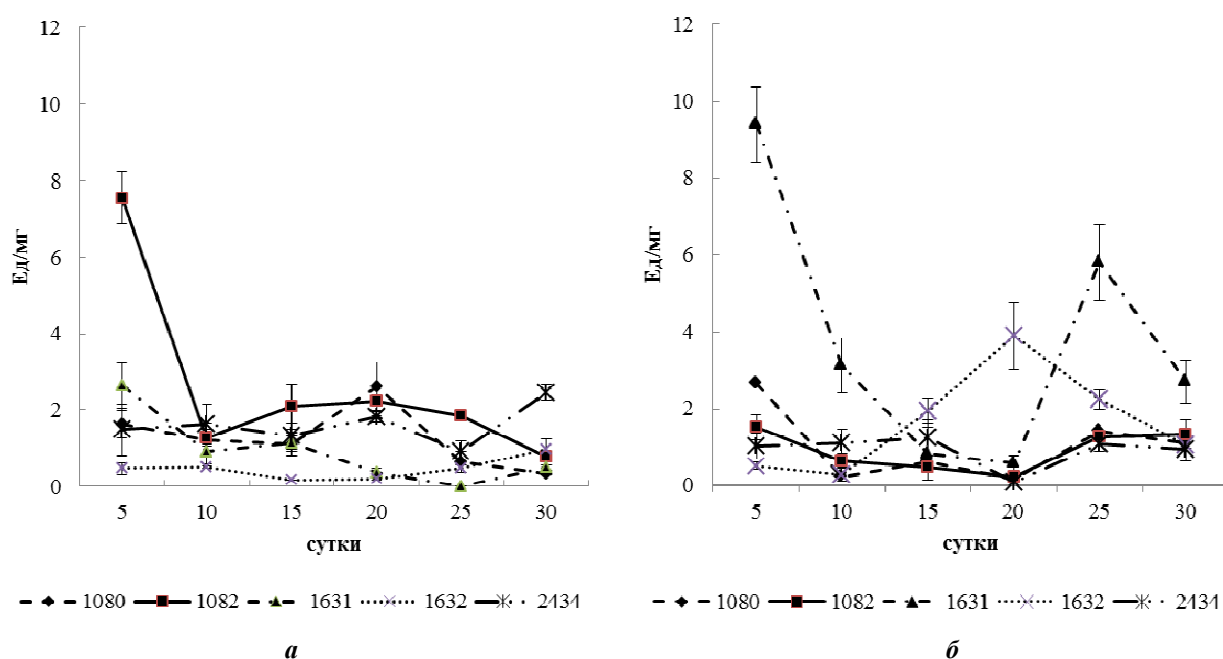


Рис. 1. Удельная общая целлюлозолитическая активность штаммов *I. lacteus* при культивировании на хвойных опилках (а) и опилках яблони (б)

Установлено, что при культивировании штаммов *I. lacteus* на хвойных опилках общая целлюлозолитическая активность находилась на уровне ~2,0 Ед/мг и ниже. Исключение составил штамм *I. lacteus* 1082 с максимальными значениями общей целлюлозолитической

активности на 5-е сутки культивирования – 7,5 Ед/мг. Снижение целлюлозолитической активности относительно фильтровальной бумаги наблюдалось к 30-м суткам для штаммов *I. lacteus* 1080, 1082 и 1631. Наименьшими значениями целлюлозолитической активности ~0,2–0,9 Ед/мг характеризовался штамм *I. lacteus* 1632. Для штамма *I. lacteus* 2434 отмечена активность целлюлаз на уровне от 1,5 Ед/мг с 5-х по 20-е сутки до 2,6 Ед/мг на 30-е сутки культивирования.

При культивировании на опилках яблони отмечено два пика высоких значений общей целлюлозолитической активности штаммов *I. lacteus* – на 5-е и 25-е сутки культивирования. Максимальная целлюлозолитическая активность относительно фильтровальной бумаги отмечена для штамма *I. lacteus* 1631 на уровне 9,4 Ед/мг на 5-е сутки культивирования на опилках яблони, второй пик высокой целлюлазной активности – 5,8 Ед/мг на 25-е сутки культивирования. Для штамма *I. lacteus* 1632 максимальные значения общей целлюлозолитической активности отмечены на 20-е сутки культивирования и составили 3,9 Ед/мг. На 5-е сутки культивирования для штаммов *I. lacteus* 1080 общая целлюлозолитическая активность составляла 2,65 Ед/мг, для штаммов *I. lacteus* 1082 и 2434 – 1,5 Ед/мг и 1,0 Ед/мг соответственно. На 25-е сутки культивирования общая активность целлюлаз данных штаммов составляла 1,1–1,4 Ед/мг.

При культивировании штаммов *I. lacteus* 1080, 1082 и 2434 на хвойных опилках целлюлозолитическая активность относительно Na-карбоксиметилцеллюлозы была низкой и составляла от 0,5 Ед/мг до 21,4 Ед/мг (рис. 2, а). Для штаммов *I. lacteus* 1631 и 1632 активность эндоглюканаз была значительно выше. Так, на 5-е и 10-е сутки культивирования эндоглюканазная активность штамма *I. lacteus* 1631 составляла ~110,0 Ед/мг. Впоследствии активность данного фермента снижалась к 30-м суткам и составляла 25,6 Ед/мг.

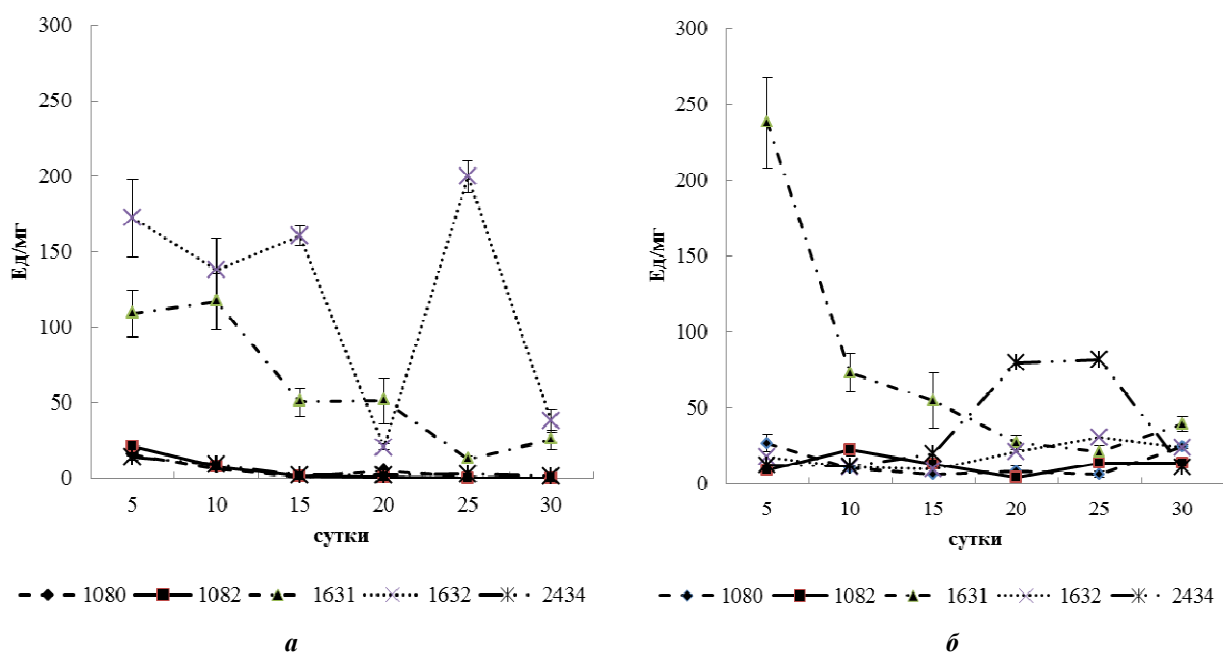


Рис. 2. Удельная целлюлозолитическая активность штаммов *I. lacteus* относительно Na-карбоксиметилцеллюлозы при культивировании на хвойных опилках (а) и опилках яблони (б)

При культивировании штаммов *I. lacteus* 1080, 1082 и 2434 на опилках яблони целлюлозолитическая активность относительно Na-карбоксиметилцеллюлозы была выше, чем при использовании хвойных опилок, а штамм *I. lacteus* 1632 характеризовался более низкими значениями ферментативной активности (рис. 2, б). Достаточно высокие значения целлюлозолитической активности относительно Na-карбоксиметилцеллюлозы отмечены для штамма *I. lacteus* 2434 на 20–25-е сутки культивирования. Максимальные значения эндоглюканазы отмечены для штамма *I. lacteus* 1631 на 5-е сутки культивирования и

составляли 238,0 Ед/мг. При дальнейшем культивировании данного штамма ферментативная активность снижалась более чем в 3 раза.

Целлюлозолитические ферменты по своей природе являются индуцибельными [10]. Их биосинтез индуцируется только в присутствии соответствующего субстрата, т. е. целлюлозы, и, наоборот, репрессируется конечными продуктами [6]. В связи с этим были проведены исследования содержания редуцирующих сахаров в культуральной жидкости штаммов *I. lacteus* при культивировании на хвойных опилках и опилках яблони. Установлено, что при использовании в качестве лигноцеллюлозного субстрата хвойных опилок содержание редуцирующих сахаров в культуральной жидкости штаммов *I. lacteus* 1080 и 1082 возрастало к 15-м суткам (рис. 3, а), а для штамма *I. lacteus* 1632 – на 25-е сутки культивирования. Именно в этот период отмечены низкие значения целлюлозолитической активности данных штаммов.

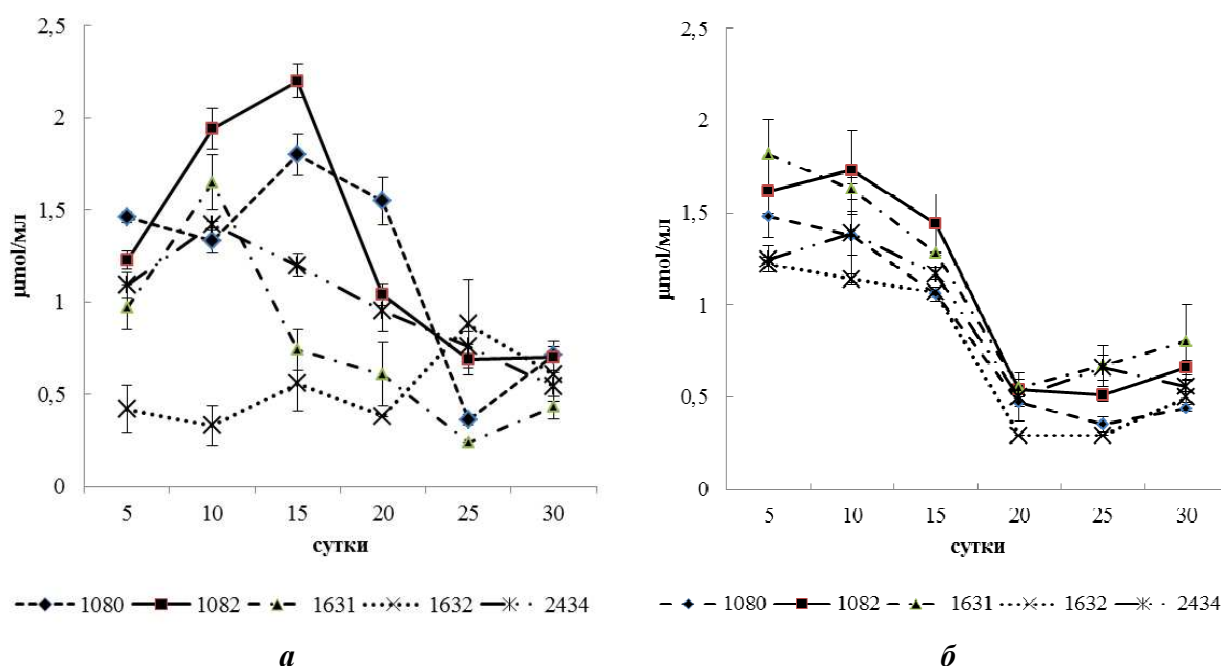


Рис. 3. Содержание редуцирующих сахаров в культуральной жидкости штаммов *I. lacteus* при жидкофазном культивировании на хвойных опилках (а) и опилках яблони (б)

Для штамма *I. lacteus* 1631 максимальные значения содержания редуцирующих сахаров отмечены на 10-е сутки культивирования в период высоких значений эндоглюканазной активности. При дальнейшем культивировании содержание редуцирующих сахаров в культуральной жидкости данного штамма снижалось. Для штамма *I. lacteus* 2434 наблюдалось постепенное снижение содержания редуцирующих сахаров в культуральной жидкости на фоне низкой эндоглюканазной и невысокой общей целлюлазной активности.

При использовании опилок яблони в качестве лигноцеллюлозного субстрата характер изменения содержания редуцирующих сахаров в культуральной жидкости имеет два пика максимальных значений, что совпадает с изменениями общей целлюлозолитической активности исследуемых штаммов *I. lacteus* (рис. 1, б). Очевидно, снижение активности целлюлозолитических ферментов штаммов *I. lacteus* может быть связано с накоплением продуктов гидролиза целлюлозы, которые могут выступать в качестве репрессора.

Проведенные исследования показали, что выбор соответствующего лигноцеллюлозного субстрата имеет важное значение для эффективного синтеза целлюлаз штаммами *I. lacteus*. Данные субстраты стимулируют синтез ферментов целлюлазного комплекса, служат одновременно в качестве источника углерода в питательной среде и в качестве необходимых индуцирующих соединений для продуцентов. Однако подбор соответствующего субстрата при жидкофазном культивировании необходимо проводить для каждого штамма *I. lacteus*,

учитывая их штаммовую изменчивость [5], а также создать условия, предотвращающие накопление редуцирующих сахаров в среде. Кроме того, штаммы *I. lacteus* являются перспективными продуцентами целлюлозолитических ферментов, которые могут быть использованы для осахаривания растительной биомассы с высоким выходом сахаров.

Выводы

Древесные опилки хвойных пород и яблони могут быть использованы при жидкофазном культивировании штаммов базидиального гриба *I. lacteus*. Оба субстрата могут быть использованы в качестве индукторов ферментов целлюлазного комплекса при жидкофазном культивировании штаммов *I. lacteus* 1631, 1632 и 2434. Штамм *I. lacteus* 1082 предпочтительнее культивировать на хвойных опилках.

Список литературы

1. Белова Н. В. Перспективы использования биологически активных соединений высших базидиомицетов в России // Микология и фитопатология. 2004. Т. 38, вып. 2. С. 1–7.
2. Приседський Ю. Г. Статистична обробка результатів біологічних експериментів : навч. посібник. Донецьк : Кассіопея, 1999. 210 с.
3. Синицын А. П., Гусаков А. В., Черноглазов В. М. Биоконверсия лигноцеллюлозных материалов : уч. пособие. М. : Изд-во МГУ, 1995. 224 с.
4. Синицын А. П., Черноглазов В. М., Гусаков А. В. Методы изучения и свойства целлюлозолитических ферментов // Итоги науки и техники. Сер. Биотехнология. 1993. Т. 25. 152 с.
5. Чемерис О. В., Рашевский В. В., Галкова К. А., Бойко М. И. Штаммовая изменчивость синтеза специфических монокосвертывающих протеиназ у базидиального гриба *Irpex lacteus* // Вестник Московского университета. Сер. 16. Биол. 2016. № 4. С. 45–49.
6. 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.
7. Das A., Paul T., Halder S. K., Maity Ch., Mohapatra P. K. D., Pati B. R., Mondal K. Ch. Study on regulation of growth and biosynthesis of cellulolytic enzymes from newly isolated *Aspergillus fumigatus* ABK9 // Polish Journal of Microbiology. 2013. Vol. 62, N 1. P. 31–43.
8. Ghose T. K. Measurement of cellulase activity // Pure Appl. Chem. 1987. Vol. 59, N 2. P. 257–268.
9. Giorgio E. M., Villalba L. L., Robledo G. L., Zapata P. D., Saparrat M. C. N. Cellulolytic ability of a promising *Irpex lacteus* (Basidiomycota: Polyporales) strain from the subtropical rainforest of Misiones province, Argentina // Rev. Biol. Trop. 2018. Vol. 66, N 3. P. 1034–1045.
10. Lynd L. R., Weimer P. J., Van W. H. Pretorius is microbial cellulose utilization: fundamentals and biotechnology // Microbiol. Mol. Biol. 2002. Vol. 66. P. 506–577.
11. Mach R. L., Zeilinger S. Regulation of gene expression in industrial fungi: *Trichoderma* // Appl. Microbiol. Biotechnol. 2003. Vol. 60. P. 515–522.
12. Machado A. S., Valadares F., Silva T. F., Milagres A. M. F., Segato F., Ferraz A. The secretome of *Phanerochaete chrysosporium* and *Trametes versicolor* grown in microcrystalline cellulose and use of the enzymes for hydrolysis of lignocellulosic materials // Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. 2020. Vol. 8. P. 1–15.
13. Metreveli E., Khardziani T., Elisashvili V. The carbon source controls the secretion and yield of polysaccharide-hydrolyzing enzymes of Basidiomycetes // Biomolecules. 2021. Vol. 11, 1341. <http://dx.doi.org/10.3390/biom11091341>
14. Nelson N. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of sugars // J. Biol. Chem. 1944. Vol. 153, N 2. P. 375–379.
15. Sun X., Liu Z., Zheng K., Song X. Qu Y. The composition of basal and induced cellulase systems in *Penicillium decumbens* under induction or repression conditions // Enzyme Microb. Technol. 2008. Vol. 42. P. 560–567.

16. Volpini A. F. N., Thomazine T., Umeo S. H., Pereira G. A., Linde G. A., Valle J. S., Colauto N. B., Barcellos F. G., Souza S. G. H. Identification and characterization of genes related to cellulolytic activity in basidiomycetes // Genet. Mol. Res. 2016. Vol. 15, N 3. P. 1–8. <http://dx.doi.org/10.4238/gmr.15038722>

Chemeris O. V. Cellulolytic activity of strains *Irpex lacteus* (Fr.) Fr. with submerged liquid fermentation on wood saws. – The effect of coniferous sawdust and apple sawdust on the activity of cellulolytic enzymes with submerged liquid fermentation of *Irpex lacteus* strains was studied. The cellulolytic activity of *I. lacteus* strains depends on the cultivation time and the type of lignocellulosic substrate.

Key words: basidiomycete *Irpex lacteus*, cellulolytic activity, endoglucanase activity, submerged liquid fermentation, wood saws.

УДК 58.02 : 574.21 : 581.45 : 582.657.24

© Ю. А. Штирц, Д. В. Сыщиков, И. В. Агурова

ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ РАЗМЕРОВ ЛИСТОВОЙ ПЛАСТИНКИ *Polygonum monspeliense* THIÉBAUT EX PERS. В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПАРАМЕТРОВ ПОЧВЫ

ГУ «Донецкий ботанический сад»

283059, г. Донецк, пр. Ильича, 110; e-mail: yu.shtirts@donnu.ru, 2007dmitry@rambler.ru,
ir.agur@mail.ru

Штирц Ю. А., Сыщиков Д. В., Агурова И. В. Вариабельность размеров листовой пластинки *Polygonum monspeliense* Thiébaud ex Pers. в зависимости от параметров почвы. – В условиях лабораторного выращивания проведена оценка влияния ряда почвенных параметров на изменчивость размерных показателей листовой пластинки *Polygonum monspeliense* Thiébaud ex Pers.: длины, ширины листовой пластинки в середине ее длины, максимальной ширины. Отмечена высокая степень корреляции анализируемых размерных показателей с большинством из рассматриваемых почвенных характеристик. В наибольшей степени на размеры листовой пластинки оказывают влияние содержание гумуса, аммонийного и нитратного азота, сумма обменных оснований.

Ключевые слова: *Polygonum monspeliense*, почва, листовая пластинка, длина, ширина, корреляция, биотестирование, биоиндикация.

Введение

Наиболее целесообразным методом интегральной оценки почвенных условий является биотестирование, в основе которого лежит определение реакции живых организмов на уровень техногенного воздействия и содержание загрязняющих веществ в субстрате. Кроме того, биотестирование дает возможность получать объективную информацию о состоянии почвы при минимальных материальных и физических затратах, без использования сложных и дорогостоящих аналитических методов [2, 7]. Основу метода фитотестирования составляет способность растений реагировать на изменение условий среды, что позволяет оценивать токсичность или биоактивность различных объектов [9, 15]. Чувствительность растений к внешним воздействиям проявляется в изменении биохимических реакций и отражается в морфологических параметрах роста и развития [8]. Фитотестирование как метод оценки почв используется для определения плодородия почв сельхозугодий, и относительно недавно в природоохранной сфере для оценки экологического качества природных сред (вод, почв). Фитотесты можно объединить в три группы методов: лабораторные, вегетационные и микроделяночные. Особую актуальность в экологической оценке приобретают лабораторные методы, как наиболее экспрессные и экономичные [6]. По мнению ряда исследователей [6, 14–16], адекватную оценку качества почв обеспечивает субстратное, или контактное биотестирование. Этот способ обеспечивает непосредственный контакт тест-организма с исследуемым образцом и, таким образом, позволяет установить уровень воздействия почвенных характеристик. В настоящее время используется диагностика состава почв с использованием морфометрических показателей тест-культур [3–5, 8].

Ввиду вышесказанного является актуальным накопление сведений о влиянии различных почвенных факторов на формирование морфологических признаков растений с позиций возможности использования в целях биоиндикации и биотестирования.

Адаптивные процессы растений, вызванные условиями произрастания, приводят к существенным перестройкам ассимилирующего аппарата, который является высокочувствительным к внешним воздействиям и обладает высокой пластичностью, ввиду чего морфологические изменения листа являются функциональным ответом на факторы окружающей среды [17, 18]. Размеры листьев растений традиционно относят к числу наиболее распространенных статистических морфометрических параметров, позволяющих оценить состояние фитопопуляций (и косвенно – их биотопов) [13].

Цель работы – оценка влияния почвенных параметров на размерные показатели листовой пластинки *Polygonum monspeliense* Thiébaud ex Pers. Для выполнения поставленной

цели предусматривалось решение следующих задач: 1) выявление размерных показателей листовой пластинки исследуемого вида, изменчивость которых в значительной степени связана с почвенными параметрами; 2) выявление почвенных параметров, в максимальной степени влияющих на размеры листовой пластинки *P. monspeliense*.

Материал и методы исследования

В качестве модельного вида для выращивания на почвенных образцах исследуемых участков был выбран *P. monspeliense*: данный вид встречается в самых разнообразных биотопах, что дает возможность использовать его в качестве биоиндикатора состояния почв и экосистем в целом.

В целях оценки возможности фитотестирования состояния почв в лабораторных условиях с использованием размерных показателей листовой пластинки осуществлена посадка экспериментальных растений в образцы почв, отобранных на участках. Высадка *P. monspeliense* осуществлялась в апреле 2019 г. в емкости из пищевого пластика объемом 460 мл, заполненные образцами почвы. Местами для отбора почвенных образцов послужил ряд территорий с различной степенью антропогенной трансформации в пределах Донецко-Макеевской городской агломерации: склон отвала бывшей шахты № 12–18 «Наклонная» восточной экспозиции (Пролетарский район, г. Донецк); территория, прилегающая к южной части отвала шахты № 12–18 «Наклонная»; выведенный из эксплуатации карьер по добыче строительного камня (балка Калиновая, Горняцкий район, г. Макеевка); территория ГУ «Донецкий ботанический сад»; территория, прилегающая к реке Богодуховая, загрязненная строительными отходами (Буденновский район, г. Донецк). Отбор образцов проводился в поверхностном слое почвы в вегетационные периоды 2018–2019 гг. Опытные экземпляры растений были пересажены с незначительного по площади локального участка на территории Донецкого ботанического сада, что позволило в определенной степени снизить их генетическую разнородность. К моменту пересадки исследуемые растения имели 3–5 сформированных листовых пластинок, которые были помечены и в дальнейшем анализе не подвергались. В одну емкость высаживали по 7–8 растений. Густота посадки соответствовала плотности популяции *P. monspeliense*, из которой были взяты экспериментальные экземпляры. Дальнейший рост растений происходил в лабораторных условиях. Полив осуществлялся дистиллированной водой, периодичность полива варьировала в зависимости от степени подсыхания поверхностного слоя. С периодичностью один раз в два дня осуществлялся поворот емкостей на 180° вокруг оси с целью более равномерного освещения экспериментальных растений. Сбор листовых пластинок осуществлялся в начале второй декады июля. Учитывая то, что видовой особенностью *P. monspeliense* является значительное отличие листьев, сформировавшихся на побегах первого и второго порядков [10], анализу подвергались листовые пластинки, собранные с побегов первого порядка.

Объем каждой из выборок листовых пластинок *P. monspeliense*, выращенных на исследуемых почвенных образцах, составил 150 листьев. Листовые пластинки были отсканированы при помощи сканера Epson Perfection V33. Проанализированы 3 размерных показателя листовой пластинки *P. monspeliense*: длина, ширина листовой пластинки в середине ее длины, максимальная ширина. Измерения листовой пластинки проводились с использованием программы TPSDig 2.10. Проведена оценка влияния на размерные показатели листовой пластинки следующих почвенных параметров: содержание подвижных фосфатов, гумуса, обменного аммония, нитратного азота, показатели актуальной и потенциальной (обменной и гидролитической) кислотности почвы, суммы обменных оснований, засоления. Определение актуальной и потенциальной кислотности, суммы обменных оснований и степени засоления осуществляли общепринятыми методами [1, 11]. Содержание органического вещества – по методу Тюрина со спектрофотометрическим окончанием по Орлову-Гриндель [11]. Концентрация аммонийного азота (обменного аммония) определялась колориметрически с реактивом Несслера [11]. Содержание

нитратного азота по методу Грандваль-Ляжу [11]. Определение подвижных форм фосфора проводили согласно методу Чирикова [11]. Оценка корреляции морфологических показателей листовой пластинки *P. monspeliense* с почвенными параметрами проведена с использованием коэффициента Пирсона. Предварительно для оценки возможности использования указанного коэффициента корреляции был проведен анализ соответствия распределения исследуемых показателей листовой пластинки и почвенных характеристик закону нормального распределения с использованием критериев Колмогорова-Смирнова, Лиллиефорса, Шапиро-Уилка. Статистическая обработка проведена с использованием пакета прикладных программ STATISTICA 6.0. Интерпретация результатов проведена в соответствии с методическими подходами, изложенными в работе О. Ю. Ребровой [12]. При оценке силы корреляции использована шкала, приведенная в работе [12]: слабая корреляция – значение коэффициента корреляции не превышает 0,25, умеренная корреляция – значение коэффициента корреляции составляет более 0,25 и менее 0,75, сильная корреляция – значение коэффициента корреляции составляет не менее 0,75.

По нашему мнению, в качестве морфологических показателей листовой пластинки, потенциально информативных с позиций диагностики и биотестирования почв, можно рассматривать показатели, для которых, с одной стороны, отмечено последовательное снижение или увеличение среднего значения по градиенту рассматриваемого фактора, и, с другой стороны, выявлено высокое значение коэффициента корреляции с почвенными параметрами.

Результаты и обсуждение

Диапазон изменчивости почвенных параметров исследуемых участков на протяжении вегетационных периодов 2018–2019 гг. отражен в табл. 1.

Таблица 1

Диапазон изменчивости почвенных параметров исследуемых участков на протяжении вегетационных периодов 2018–2019 гг.

Почвенный параметр	I	II	III	IV	V
Содержание подвижных фосфатов (мг P ₂ O ₅ /100 г почвы)	24,06–28,67	0,70–1,78	2,23–3,85	10,81–19,32	10,56–18,45
Содержание гумуса, %	0,41–0,54	0,28–0,35	0,60–0,99	1,52–2,21	2,71–3,38
Содержание обменного аммония (мг N-NH ₄ /100 г почвы)	2,76–2,91	1,57–2,18	1,51–3,76	3,87–4,01	3,79–5,75
Содержание нитратного азота (мг N-NO ₃ /100 г почвы)	0,21–0,45	0,12–0,15	0,88–1,13	2,08–3,12	1,80–3,30
Обменная кислотность (мг-экв./100 г почвы)	0,068–0,070	1,420–1,510	0,061–0,063	0,012–0,015	0,010
Гидролитическая кислотность (мг-экв./100 г почвы)	2,06–2,13	10,87–10,94	1,45–1,57	1,68–1,73	0,84–0,86
Сумма обменных оснований (мг-экв./100 г почвы)	22,40–23,70	7,18–7,36	27,50–28,40	30,14–31,26	42,70–43,80
Актуальная кислотность	6,32–6,40	4,32–4,73	7,92–8,27	6,87–7,06	7,40–7,68
Засоление (г/100 г почвы)	0,24–0,33	0,19–0,34	0,27–0,38	0,29–0,31	0,25–0,28

Примечание. Цифрами I–V отмечены места отбора почвенных образцов: I – выведенный из эксплуатации карьер по добыче строительного камня (балка Калиновая,

Горняцкий район, г. Макеевка); II – склон отвала бывшей шахты № 12–18 «Наклонная» восточной экспозиции (Пролетарский район, г. Донецк); III – территория, прилегающая к реке Богодуховая, загрязненная строительными отходами (Буденновский район, г. Донецк); IV – территория ГУ «Донецкий ботанический сад»; V – территория, прилегающая к южной части отвала шахты № 12–18 «Наклонная» (Пролетарский район, г. Донецк).

Значения размерных показателей листовой пластинки *P. monspeliense*, выращенных на почвенных образцах исследуемых участков, отражены в табл. 2.

Таблица 2

**Размерные показатели листовой пластинки *Polygonum monspeliense*,
выращенных на почвенных образцах исследуемых участков
(указан доверительный интервал для $P = 0,05$)**

Номер выборки	Длина, мм	Ширина листовой пластинки в середине ее длины, мм	Максимальная ширина, мм
I	23,43 ± 2,029	6,39 ± 0,521	6,63 ± 0, 521
II	17,95 ± 1,648	5,71 ± 0,499	5,73 ± 0,544
III	22,04 ± 2,070	8,04 ± 0,689	8,42 ± 0,683
IV	26,65 ± 2,322	9,24 ± 0,302	9,43 ± 0,851
V	31,14 ± 3,005	10,04 ± 1,252	10,09 ± 0,893

Примечание. См. табл. 1.

Значения коэффициента корреляции размерных показателей листовой пластинки *P. monspeliense* с почвенными параметрами отражены в табл. 3.

Таблица 3

**Значения коэффициента корреляции размерных показателей листовой пластинки
Polygonum monspeliense с почвенными параметрами**

Почвенный параметр \ Параметр листовой пластинки	Длина, мм	Ширина листовой пластинки в середине ее длины, мм	Максимальная ширина, мм
Содержание подвижных фосфатов (мг $P_2O_5/100$ г почвы)	0,63	0,28	0,28
Содержание гумуса, %	0,94	0,94	0,92
Содержание обменного аммония (мг $N-NH_4/100$ г почвы)	0,94	0,96	0,95
Содержание нитратного азота (мг $N-NO_3/100$ г почвы)	0,90	0,96	0,95
Обменная кислотность (мг-экв./100 г почвы)	-0,73	-0,69	-0,73
Гидролитическая кислотность (мг-экв./100 г почвы)	-0,76	-0,73	-0,77
Сумма обменных оснований (мг-экв./100 г почвы)	0,95	0,92	0,93
Актуальная кислотность	0,63	0,74	0,79
Засоление (г/100 г почвы)	0,57	0,73	0,77

Содержание подвижных фосфатов.

Сильная корреляция (коэффициент корреляции выше 0,75) не отмечена ни с одним из анализируемых размерных показателей листовой пластинки. Не отмечено также

последовательного увеличения или снижения значений показателей в связи увеличением содержания подвижных фосфатов.

Содержание гумуса.

Отмечена сильная положительная корреляция со следующими показателями листовой пластинки (здесь и далее по тексту перечисление параметров идет по мере снижения коэффициента корреляционной связи): ширина листовой пластинки в середине ее длины, максимальная ширина (см. табл. 3). Выявлено последовательное увеличение средних значений указанных показателей с увеличением содержания гумуса в почве (см. табл. 2).

Содержание аммонийного азота.

Отмечена сильная положительная корреляция со следующими показателями листовой пластинки: ширина листовой пластинки в середине ее длины, максимальная ширина и длина. Как и для содержания гумуса, с увеличением содержания аммонийного азота в почве отмечено последовательное увеличение средних значений максимальной ширины и ширины листовой пластинки в середине ее длины.

Содержание нитратного азота.

Отмечена сильная положительная корреляция со всеми из рассматриваемых размерных показателей листовой пластинки: ширина листовой пластинки в середине ее длины, максимальная ширина, длина. Вместе с тем, с увеличением содержания нитратного азота в почве не отмечено последовательного изменения средних значений указанных показателей.

Обменная кислотность почвы.

Сильной корреляции с рассматриваемыми показателями листовой пластинки не выявлено. Выявлено последовательное снижение средних значений ширины листовой пластинки в середине ее длины, с данным показателем отмечена умеренная отрицательная корреляция.

Гидролитическая кислотность почвы.

Сильная отрицательная корреляция выявлена с максимальной шириной и длиной. Не выявлено последовательного снижения или возрастания анализируемых показателей, связанного с изменением гидролитической кислотности почвы.

Сумма обменных оснований.

Отмечена сильная положительная корреляция с длиной, максимальной шириной и шириной листовой пластинки в середине ее длины. Отмечено последовательное возрастание значений максимальной ширины и ширины листовой пластинки в середине ее длины.

Актуальная кислотность почвы.

С данным почвенным параметром отмечена сильная положительная корреляция максимальной ширины листовой пластинки. Последовательного изменения значений, связанного с изменением актуальной кислотности почвы, не выявлено.

Засоление почвы.

Отмечена сильная положительная корреляция с максимальной шириной. Вместе с тем, последовательного возрастания или снижения какого-либо из анализируемых морфологических показателей листовой пластинки в связи увеличением засоления почвы не выявлено.

Принимая во внимание результаты проведенного корреляционного анализа, при использовании размерных показателей листовой пластинки *P. monspeliense* для индикации степени антропогенного прессинга, в частности, качественного и количественного содержания поллютантов, следует учитывать значительную их зависимость от проанализированных почвенных характеристик.

Выводы

Отмечена высокая степень корреляции анализируемых размерных показателей листовой пластинки *P. monspeliense* (длина, ширина листовой пластинки в середине ее длины, максимальная ширина) с большинством из рассматриваемых почвенных характеристик.

В наибольшей степени на размеры листовой пластинки оказывают влияние содержание гумуса, аммонийного и нитратного азота, сумма обменных оснований. Выявлено также последовательное увеличение максимальной ширины и ширины листовой пластинки в середине ее длины с возрастанием содержания в почве гумуса, аммонийного азота, суммы обменных оснований.

Максимальная ширина и ширина листовой пластинки в середине ее длины являются более зависимыми от рассматриваемых почвенных показателей, чем длина листовой пластинки *P. monspeliense*. Высокая степень корреляции длины выявлена с меньшим количеством почвенных параметров в сравнении с показателями ширины, последовательного изменения длины по градиентам рассматриваемых почвенных факторов не отмечено.

Список литературы

1. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М. : Изд-во МГУ, 1970. 487 с.
2. Бардина Т. В., Чугунова М. В., Бардина В. И. Изучение экотоксичности урбаноземов методами биотестирования // Живые и биокосные системы. 2013. Вып. 5. URL : <http://www.jbks.ru/archive/issue5/article-8.pdf> (дата обращения : 13.02.2018).
3. Галактионова Л. В., Губайдуллина И. З. Использование морфометрических и биохимических показателей тест-культур для оценки токсичности наночастиц меди // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 3 (65). С. 196–198.
4. Галактионова Л. В., Суздалева А. В. Экологическая оценка почвенного покрова урбанизированных территорий методами биодиагностики // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 4. URL : <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=26560> (дата обращения : 07.12.2020).
5. Еськова Е. Н., Коротченко И. С. Влияние гумата натрия на морфометрические показатели тест-культуры в условиях загрязнения почв тяжелыми металлами // Вестник КрасГАУ. 2014. № 3. С. 99–104.
6. Лисовицкая О. В., Терехова В. А. Фитотестирование: основные подходы, проблемы лабораторного метода и современные решения // Доклады по экологическому почвоведению. 2010. № 1 (13). С. 1–18.
7. Мелехова О. П., Саранульцева Е. И., Евсеева Т. И. Биологический контроль окружающей среды : биоиндикация и биотестирование : учеб. пособие. М. : Издательский центр «Академия», 2008. 228 с.
8. Митракова Н. В. Оценка биологической активности и токсичности почв и техногенных поверхностных образований в Пермском Прикамье : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.02.08. Пермь, 2019. 18 с.
9. Николаева О. В., Терехова В. А. Совершенствование лабораторного фитотестирования для экотоксикологической оценки почв // Почвоведение. 2017. № 9. С. 1141–1152.
10. Определитель высших растений Украины / Д. Н. Доброчаева, М. И. Котов, Ю. Н. Прокудин и др. К. : Наук. думка, 1987. 548 с.
11. Практикум по агрохимии / Под ред. В. Г. Минеева. М. : Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
12. Реброва О. Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA. М. : Медиа Сфера, 2002. 312 с.
13. Савинов А. Б. Фенотипическая индикация ценопопуляций растений в условиях техногенеза // Экологический мониторинг. Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2003. Ч. 5. С. 300–323.
14. Селивановская С. Ю., Галицкая П. Ю. Оценка токсичности почв с использованием контактного метода биотестирования // Токсикологический вестник. 2006. № 4. С. 12–15.
15. Терехова В. А. Биотестирование почв : подходы и проблемы // Почвоведение. 2011. № 2. С. 190–198.

16. Фомин Г. С., Фомин А. Г. Почва. Контроль качества и экологической безопасности по международным стандартам : справочник. М. : «Протектор», 2001. 304 с.
17. Zhongqiang L., Dan Y. Factors affecting leaf morphology : A case study of *Ranunculus natans* C. A. Mey. (Ranunculaceae) in the arid zone of northwest China // Ecol. Res. 2009. Vol. 24. P. 1323–1333.
18. Scheepens J. F., Frei E. S., Stöcklin J. Genotypic and environmental variation in specific leaf area in a widespread Alpine plant after transplantation to different altitudes // Oecologia. 2010. Vol. 164. P. 141–150.

Shirts Yu. A., Syshchykov D. V., Agurova I. V. Variability of leaf blade sizes *Polygonum monspeliense* Thiébaud ex Pers. depending on soil parameters. – Under laboratory cultivation conditions, the influence of a number of soil parameters on the variability of the dimensional parameters of the leaf blade of *Polygonum monspeliense* Thiébaud ex Pers: length, width of the leaf blade in the middle of its length, maximum width was evaluated. A high degree of correlation of the analyzed dimensional parameters with most of the considered soil characteristics was noted. To the greatest extent, the size of the leaf blade is influenced by the content of humus, ammonium and nitrate nitrogen, the amount of exchange bases.

Key words: *Polygonum monspeliense*, soil, leaf blade, length, width, correlation, biotesting, bioindication.

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 2003 как документ Word (*.doc) 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 2003. Их следует 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 Суг. 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, 283050

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

Тел.: (062) 302-09-95

(071) 419-59-19

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, 283050

Managing editor: PhD in biology, Arthur Shtirts

Tel.: +38 (062) 302-09-95

+38 (071) 419-59-19

ISSN 2077-3366 Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2021. № 3–4

Научно-практический журнал

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И ОХРАНЫ ПРИРОДЫ ТЕХНОГЕННОГО
РЕГИОНА

2021

№ 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, ДНР, г. Донецк, ул. Щорса, 46, к. 310
Донецкий национальный университет,
биологический факультет

Тел.: (062) 302-09-95
(071) 419-59-19
e-mail: eco-1999@mail.ru

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