

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

№ 1–2

Основан в 1999 г.

PROBLEMS OF ECOLOGY AND NATURE PROTECTION OF TECHNOGENIC REGION

Scientific and practical journal

№ 1–2

Founded in 1999

2022

Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2022. № 1–2

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 № 7 от 7.10.2022 г.

© ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», 2022

Problems of ecology and nature protection of technogenic region. 2022. № 1–2

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 Crimean Federal University (Russia)
Trush V. V.	Donetsk National University
Shtirts A. D. (Managing editor)	Donetsk National University

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

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

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

Address of editorial board:

Faculty of Biology, Donetsk National University,
Schorsa str., 46/310, Donetsk, DPR, 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 № 7 dated 7.10.2022*

© Donetsk National University, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ФЛОРА, ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА

Мирненко Э. И. <i>Scenedesmus quadricauda</i> в водохранилищах бассейна р. Кальмиус ...	6
Павлова М. А. Итоги интродукции <i>Carex viridula</i> Michaux в Донецком ботаническом саду	11
Сафонов А. И. Весовые коэффициенты фитоквантификации в антропогенно трансформированной среде Донбасса	17

ФАУНА, ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ЖИВОТНОГО МИРА

Амолин А. В. К изучению пчел-опылителей (Hymenoptera: Apiformes) крыжовника и малины в г. Донецке	23
Савченко Е. Ю. Фауна и экология герпетобионтных жесткокрылых г. Донецка	29
Штирц А. Д. Панцирные клещи терриконов шахт им. Калинина № 5–6 и «Центрально-Заводская» № 3 г. Донецка	36

ФИЗИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ, МИКОЛОГИЯ

Демченко С. И., Воронина М. А. Ростовая активность мицелия природных штаммов <i>Flammulina velutipes</i> (Curt.: Fr.) Karst. на питательных средах разного состава	42
Загнитко Ю. П., Палагута А. П., Ткаченко Н. П. Динамика пектолитической активности культуральной жидкости базидиальных ксилотрофов на среде с яблочным жомом	48
Сыщиков Д. В., Агурова И. В. Содержание минерального азота в почвах посттехногенных экосистем: оценка успешности проведения фиторекультивационных работ	54
Чемерис О. В. Целлюлазная активность гриба <i>Irpex lacteus</i> (Fr.) Fr. при твердофазном культивировании на древесных опилках	68

C O N T E N T S

FLORA, ECOLOGY AND PROTECTION OF THE PLANT KINGDOM

Mirnenko E. I. <i>Scenedesmus quadricauda</i> in reservoirs of the Kalmius river basin	6
Pavlova M. A. Outcomes of <i>Carex viridula</i> Michaux introduction in the Donetsk Botanical Gardens	11
Safonov A. I. Weight coefficients of phytoquantification in the anthropogeneously transformed environment of Donbass	17

FAUNA, ECOLOGY AND PROTECTION OF THE ANIMAL KINGDOM

Amolin A. V. To the study of gooseberry and raspberry pollinator bees (Hymenoptera: Apiformes) in the city of Donetsk	23
Savchenko E. Yu. Fauna and ecology of herpetobiontic coleopterans of Donetsk	29
Shirts A. D. Oribatid mites of recultivation dumps of coal mines «Kalinina» № 5–6 and «Central-Zavodskaya» № 3 in Donetsk	36

PHYSIOLOGY AND ECOLOGY OF THE PLANT, MYCOLOGY

Demchenko S. I., Voronina M. A. The growth activity of mycelium of <i>Flammulina velutipes</i> (Curt.: Fr.) Karst. natural strains on nutrient media of different composition	42
Zagnitko Yu. P., Palaguta A. P., Tkachenko N. P. Dynamics of pectolytic activity of the culture fluid of basidial xylotrophs on a medium with apple pulp	48
Syshchykov D. V., Agurova I. V. The content of mineral nitrogen in the soils of posttechnogenous ecosystems: assessment of the success of phytoremediation work	54
Chemieris O. V. Cellulase activity of the fungus <i>Irpex lacteus</i> (Fr.) Fr. during solid-state fermentation on wood saws	68

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

УДК 58.01/.07 : 574.24

© Э. И. Мирненко

SCENEDESMUS QUADRICAUDA В ВОДОХРАНИЛИЩАХ БАСЕЙНА Р. КАЛЬМИУС

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

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

Мирненко Э. И. *Scenedesmus quadricauda* в водохранилищах бассейна р. Кальмиус. – В работе представлены данные о динамике развития *Scenedesmus quadricauda*. Показана зависимость от различных факторов среды. Так, установлено изменение размерной структуры популяции в зависимости от температуры и трофического режима. Показана фенотипическая пластичность *S. quadricauda*. Так, во время «цветения» синезеленых клетки *S. quadricauda* имели более плотную клеточную стенку и увеличенную ослизненность. Также в заводях, наполненных зоопланктоном, было замечено появление оборонительных морф, а именно, увеличение количества восьмиклеточных видов и появление дополнительных шипов. Полученные данные о развитии вида можно использовать для индикации термических и трофических условий в пресных континентальных водоемах.

Ключевые слова: *Scenedesmus quadricauda*, фитопланктон, пресные водоемы, г. Донецк.

Введение

Отдел зеленые водоросли (Chlorophyta) является наиболее обширным и включает порядка 7000 видов. Представители отдела преимущественно космополиты, полиголобы, часто формирующие устойчивые популяции, что приводит к их массовому развитию. Зеленые водоросли имеют преимущественно автотрофный тип питания и нередко являются основными продуцентами органического вещества, формирующие трофическую базу для питания гетеротрофов. Это свойство и определяет практическое значение и роль зеленых водорослей в природе [1, 12].

Род *Scenedesmus* Mayen (1829) по количеству видов и внутривидовых таксонов доминирует среди зеленых водорослей. Мировая флора насчитывает свыше 200 видов и около 1000 вариативов и форм [12, 13].

Вид *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Brebisson (1835) самый характерный космополит среди зеленых водорослей. Форма тела представлена плоскими ценобиями, прямыми или слегка изогнутыми, формирующими от 2-х до 32-х клеток (обычно 4 или 8). Клетки ценобиев удлинённые, цилиндрические, овальные, эллипсоидные с округленными или зауженными (притупленными) концами. При этом характерной особенностью является длинные шипы или рога у полюсов клеток, занимающие от 1/2 до 5/6 от размера ценобия. Оболочка часто гладкая, иногда бородавчатая, шиповатая, с зубчиками, ребрами или в их разнообразных комбинациях, хлоропласт пристенный окружает пиреноид.

Разнообразие форм не позволяет в световой микроскоп различить большое количество сходных видов или вариаций вида, только данные об ультраструктуре клеточной оболочки дают некоторые различия [12]. Морфологически идентичные *S. quadricauda* и *S. spinosus* Chodat имеют сходную ультраструктуру клеточной стенки, и только в совокупности с другими морфологическими признаками имеется возможность отграничить данные виды.

Искусственные водохранилища, расположенные на р. Кальмиус, являются объектами с повышенной антропогенной нагрузкой, принимающие сточные воды промышленных предприятий [2–11]. За счет зарегулирования стока происходит замедление скорости течения реки, ее депонирование и накопление макроэлементов и органических веществ. Перечисленные условия являются оптимальными для массового развития популяции *S. quadricauda*.

Цель работы – дополнить существующие базы значимыми для мониторинга данными о разнообразии фитопланктона в водоемах Донбасса.

Материал и методика исследования

Материалом для работы послужили пробы, отобранные в 2017–2021 гг. в Старобешевском и Нижнекальмиусском водохранилищах, расположенных на р. Кальмиус. Определение видового состава проводили под микроскопом Zeiss Primo Star. Численность клеток фитопланктона определяли счетным методом при помощи камеры Горяева, биомассу устанавливали стереометрическим методом [8]. Для определения видовой принадлежности использовали общепринятые определители [12, 13]. Статистическую обработку проводили в программе Statistica 10.

Результаты и обсуждение

В результате проведенных исследований в водохранилищах по р. Кальмиус идентифицирован 291 вид и 162 внутривидовых таксона водорослей фитопланктона. Зеленые водоросли представлены в количестве 82 видов и 38 внутривидовых таксонов. По частоте встречаемости семейство Scenedesmaceae формирует 12,3 % от всего видового состава, а вид *S. quadricauda* встречается в 8 из 10 проб.

Динамика развития популяции *S. quadricauda* варьирует в зависимости от ряда биотических и абиотических факторов, существенную роль играет и антропогенный фактор. После зимней сукцессии наиболее высокая динамика развития численности клеток была определена в Старобешевском водохранилище вследствие его подпитки теплыми водами со Старобешевской ТЭС. Весенний период характеризуется экспоненциальным ростом популяции *S. quadricauda*. Удельная скорость роста в апреле–мае составляет 250 % за одну декаду, а коэффициент роста $r = 0,36$. Предел роста популяции наблюдается в мае (рис. 1). Нижнекальмиусское водохранилище имеет более низкие показатели роста численности видов *S. quadricauda*.

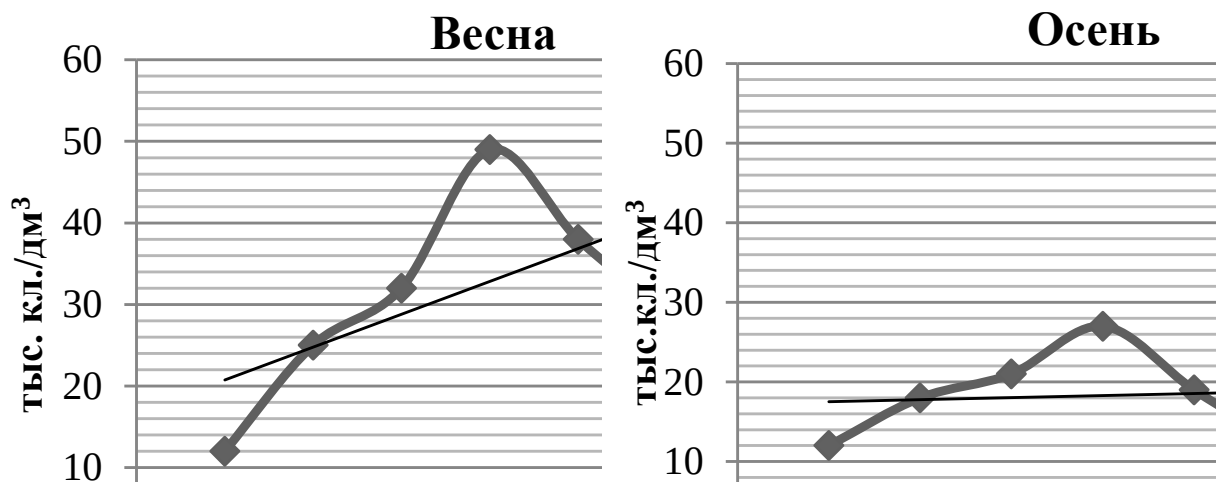


Рис. 1. Рост популяции *S. quadricauda* в Старобешевском водохранилище

В летний период за счет увеличения общей температуры наблюдается термоклин и, как следствие, – стагнация воды, что приводит к уменьшению численности клеток *S. quadricauda*. Так, в Старобешевском водохранилище температура воды в фотическом слое доходит до 40 °С, а в Нижнекальмиусском водохранилище летний период характеризуется массовым развитием представителей отдела сине-зеленые, что приводит к угнетению популяции *S. quadricauda*. Указанные условия в конечном итоге ингибируют развитие зеленых водорослей, что можно охарактеризовать как период «незначительной сукцессии».

Осенний период характеризовался подъемом численности популяции *S. quadricauda* вследствие изменения погодных условий. Также значительную роль вносит осенний аллохтонный сток биогенов, т.к. после летнего «выедания» сине-зелеными концентрация азота и фосфора находятся на минимальном уровне. Удельная скорость роста популяции по

наблюдаемым водохранилищам составляла 80–160 %, а коэффициент роста не превышал $r = 0,25$. В II–III декаде ноября популяция *S. quadricauda* начинает проявлять тенденции к флуктуациям, после чего ее плотность завершает рост и переходит в состояние зимней сукцессии.

Показатели биомассы были достаточно сходны с показателем численности, однако, за счет изменения размерной структуры фитопланктона, данные по водохранилищам не однородны (табл. 1).

Таблица 1

Размерная структура *S. quadricauda*

Водохранилища	Весна	Лето	Осень
Нижекальмиусское	17-(22) x (2,5)-3 мкм	8-(14) x (2,0)-2,5 мкм	8 (15) x (2,0)-3 мкм
Старобешевское	15-(18) x (2)-2,5 мкм	8-(15) x (2,0)-2,1 мкм	8-(20) x (2,3)-2,5 мкм

Примечание. Данные по нормальному размеру клеток были взяты из определителя хлорококковых водорослей [13].

Нормальный размер вида *S. quadricauda* соответствует 8 – 25 – (36) x (2,1) – 3,5 – 6 мкм. Размерная структура популяции, по-видимому, имела зависимость от двух факторов. Первый фактор – это температурный режим, наименьший размер клеток обычно был вблизи канала спуска горячей воды в Старобешевском водохранилище, а наиболее крупные клетки формировались в весенний период за счет более холодных вод. Второй фактор – это концентрация основных биогенных элементов азота и фосфора (N : P) и их соотношение. Известно [15, 16], что азот играет основную роль в увеличении размеров клеток фитопланктона, а фосфор влияет на скорость размножения. Нормальным считается соотношение N : P = 16 : 1, что дает возможность отслеживать по развитию популяции соотношения и концентрацию биогенных элементов. Следовательно, увеличенные размеры клеток при отсутствии массового развития могут свидетельствовать о нарушении соотношения N : P в сторону уменьшения фосфора.

S. quadricauda, по-видимому, имеет фенотипическую пластичность в зависимости от внешних факторов. Так, в период массового «цветения» сине-зеленых клетки *S. quadricauda* имели более плотную клеточную стенку и увеличенную ослизненность. Также в заводях, наполненных зоопланктоном, было замечено появление оборонительных морф, а именно, увеличение количества восьмиклеточных видов, появление шипиков или зубчиков на вершинах клеток ценобии. Установленный факт укладывается в гипотезу о переходе к многоклеточному строению, вследствие адаптации от поедания хищниками [15]. Пластичность формирует большее количество вариантов (рис. 2).

Наиболее частая встречаемость отмечена для варианта *S. quadricauda* var. *quadricauda* (рис. 2, вар. 1, 2, 6) ценобии 2–4–8 клеток, удлинено цилиндрические, с закругленными полюсами, одним зубчиком или шипиком, имеющие 4–6 линейно вытянутых симметричных ровных рогоподобных выроста (определитель Царенко). Реже встречался *S. quadricauda* var. *bicauda*, у которого было два рогоподобных выроста (рис. 2, вар. 3, 5). В весенний период массово представлен *S. quadricauda* var. *magnus*, имеющий на полярных клетках заостренные вершины и рогоподобные выросты, более удлинённые до 1/2 по отношению к ценобию, а также несколько увеличенный размер по отношению к остальным морфологическим вариантам.

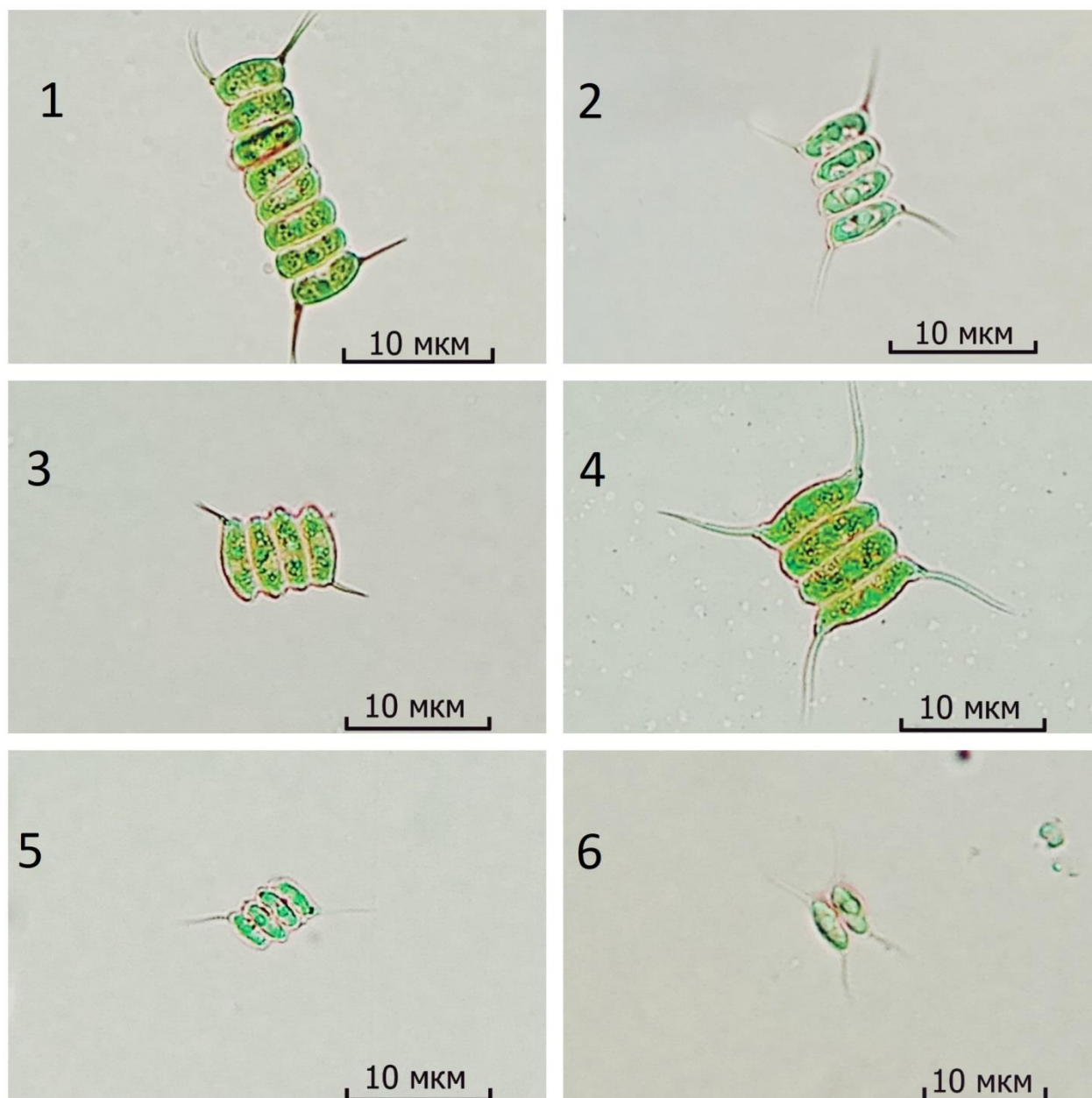


Рис. 2. Морфологические варианты *Scenedesmus quadricauda* в р. Кальмиус

Заключение

Динамика развития популяции *S. quadricauda* в водоемах бассейна р. Кальмиус имеет многопиковый характер и зависит от ряда факторов. Наиболее значимые из них – температурный режим и трофический уровень. Также формируется фенотипическая изменчивость. Полученные данные о развитии вида можно рекомендовать к использованию для индикации термических и трофических условий в пресных континентальных водоемах.

Список литературы

1. Горбунова Н. П. Альгология : уч. пос. для вузов по спец. «Ботаника». М. : Высш. шк., 1991. 256 с.
2. Мирненко Э. И. Оценка трофности водоемов по средней концентрации хлорофилла *a* в фитопланктоне прудов г. Донецка // 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.

3. Мирненко Э. И. Гидрохимический режим прудов Старобешевского района // Вестн. Донецкого нац. ун-та. Сер. А : Естеств. науки. 2019. № 1. С. 115–121.
4. Мирненко Э. И. Оценка состояния водохранилищ Донбасса по показателям степени сапробности // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2020 а. № 1–2. С. 12–17.
5. Мирненко Э. И. Особенности выбора биоиндикаторов состояния водной среды // Экология родного края : проблемы и пути их решения : Матер. XV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров, 2020 б. С. 166–169.
6. Мирненко Э. И. Минерализация водных экосистем как фактор трансформации комплексов фитопланктона прудов г. Донецка // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2021. № 3–4. С. 30–35.
7. 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 : ГОУ ВПО «ДонНУ», 2020. С. 225–227.
8. Садчиков А. П. Методы изучения пресноводного фитопланктона. М. : МГУ, 2003. С. 90–97.
9. Сафонов А. И. Актуальные позиции индикационных разработок на кафедре ботаники и экологии ДонНУ // Донецкие чтения 2020 : образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : Матер. V Междунар. науч. конф. Донецк : ГОУ ВПО «ДонНУ», 2020. С. 252–254.
10. Сафонов А. И. Актуальный фитомониторинг в Донбассе // Охрана окружающей среды – основа безопасности страны : Матер. Междунар. науч. экол. конф. (Краснодар, 29–31 марта 2022 г.). Краснодар : Изд-во ФГБОУ ВО «КубГАУ им. И. Т. Трубилина», 2022 а. С. 411–414.
11. Сафонов А. И. Фитомониторинг в решении экологических проблем степной зоны восточной Европы // Экология родного края : проблемы и пути их решения : Матер. XVII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Киров, 24–25 апреля 2022 г.). Киров : Изд-во ВятГУ, 2022 б. Т. 1. С. 62–65.
12. Топачевский А. В., Масюк Н. П. Пресноводные водоросли Украинской ССР. К. : Высш. шк., 1984. 336 с.
13. Царенко П. М. Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР. К. : Наук. думка, 1990. 208 с.
14. Mirnenko E. I. Taxonomic diversity of phytoplankton of the Kalmius river and its reservoirs // Ecosystem Transformation. 2022. Vol. 5, N 2 (16). P. 3–13.
15. Reynolds C. S. The ecology of phytoplankton. Cambridge : Cambridge University Press, 2006. 535 p.
16. Suresh S., Aravinda H. B. Phytoplankton for biomonitoring or organic pollution in two tanks of davangere district, Karnataka, India // South Western Journal of Horticulture, Biology and Environment. 2011. Vol. 2, N 2. P. 107–111.

Mirnenko E. I. *Scenedesmus quadricauda* in reservoirs of the Kalmius river basin. – The paper presents data on the dynamics of the development of *Scenedesmus quadricauda*. The dependence on various environmental factors is shown. Thus, it was found change in the size structure of the population depending on temperature and trophic regime. The phenotypic plasticity of *S. quadricauda* is shown. Thus, during the «flowering» of blue-green *S. quadricauda* cells had a denser cell wall and increased salinity. Also, in backwaters filled with zooplankton, the appearance of defensive morphs was noticed, namely, an increase in the number of eight-celled species and the appearance of additional spikes. The obtained data on the development of the species can be used to indicate thermal and trophic conditions in fresh continental reservoirs.

Key words: *Scenedesmus quadricauda*, phytoplankton, freshwater reservoirs, Donetsk.

© М. А. Павлова

**ИТОГИ ИНТРОДУКЦИИ *CAREX VIRIDULA* MICHAUX
В ДОНЕЦКОМ БОТАНИЧЕСКОМ САДУ***Донецкий республиканский краеведческий музей*

283048, г. Донецк, ул. Челюскинцев, 189-а; e-mail:mario777@list.ru

Павлова М. А. Итоги интродукции *Carex viridula* Michaux в Донецком ботаническом саду. – Представлены результаты интродукционного эксперимента по культивированию *Carex viridula* Michaux в Донецком ботаническом саду. Изучены морфология вегетативных и генеративных органов, сезонный ритм развития, способность к вегетативному и семенному размножению, онтогенез. Определена оценка успешности интродукции и пути использования данного вида в зеленом строительстве региона.

Ключевые слова: *Carex viridula* Michaux, интродукция, морфология, сезонный ритм развития, онтогенез, успешность интродукции.

Введение

Ботанические сады во всем мире играют важнейшую роль в выполнении задач изучения и сохранения *ex situ* растительного компонента биоразнообразия. Одним из общепризнанных методов при формировании ботанических коллекций является метод родовых комплексов [10], при котором в интродукцию вовлекаются новые виды и сорта уже представленных в коллекционном фонде родов с целью их дальнейшего пополнения. Использование данного метода имеет огромное значение для определения адаптивных и полезных свойств представителей целой филогенетической ветви растений. Успех интродукции видов из различных регионов в этом случае определяется массовостью и обширной географией привлечения интродукционного материала, обеспечивающих сравнительное изучение интродуцентов и отбор наиболее устойчивых из них. В Донецком ботаническом саду (ДБС) метод родовых комплексов широко используется при интродукции декоративных травянистых многолетников. Привлечение интродукционного материала проводится преимущественно семенами, получаемыми по делектусному обмену. После прохождения комплексных интродукционных испытаний устойчивые в новых условиях виды впоследствии могут широко использоваться для обогащения культурной флоры региона.

С 2002 г. интродукционные испытания в ДБС прошли более 30 декоративных представителей родового комплекса *Carex* L. (осока), одного из крупнейших в мировой флоре [14–17]. Среди них заслуживает внимания *C. viridula* Michaux – миниатюрное декоративное растение.

Цель нашей работы – оценка адаптационных возможностей *C. viridula* в условиях культивирования в степной зоне, определение оптимальных способов ее размножения и путей использования в озеленении.

Материал и методы исследования

C. viridula – осока зелененькая (синоним зеленоватая). В природе растет на болотистых прибрежных опушках редких лиственных лесов в Европе, Северной Америке, Северной Африке, Передней и Средней Азии, Китае, заносно в Новой Зеландии [13]. В ДБС интродуцирована в 2011 г. семенами, полученными из Германии.

Изучение морфологических особенностей и сезонного ритма развития интродуцентов проводили по общепринятой методике с учетом основных этапов вегетации [9], определение феноритмотипа – в соответствии с классификацией И. В. Борисовой [4], жизненную форму определяли по классификации А. Б. Безделева, Т. А. Безделева [3]. Для изучения онтогенеза использовали методику И. И. Игнатьевой [6]. Растения выращивали из семян репродукции ДБС, посеянных в отапливаемой теплице в начале марта, в мае сеянцы были высажены в открытый грунт на постоянное место. Время выкапывания сеянцев для

изучения было приурочено к каждому возрастному состоянию онтогенеза, которое определяли в соответствии с классификацией Т. А. Работнова [9], дополненной А. А. Урановым [11]. Семенную продуктивность зрелых генеративных особей в возрасте 4–5 лет определяли по методике И. В. Вайнагий [5]. Для определения успешности интродукции применяли 7-балльную шкалу В. В. Бакановой, разработанную для декоративных многолетников [2].

Результаты и обсуждение

Проведенные нами комплексные интродукционные исследования включают изучение морфологии вегетативных и генеративных органов, сезонного ритма развития, динамики роста вегетативной сферы, особенностей вегетативного и семенного размножения, онтогенеза, оценку успешности интродукции.

В условиях интродукционного пункта исследуемый вид – многолетний летнезеленый травянистый короткокорневищно-кистекарновой плотнодерновинный симподиально нарастающий поликарпик с розеточным прямостоячим побегом. Растения в возрасте 4-х лет характеризуются следующими морфометрическими показателями. Высота 10–14 см, диаметр – 15–17 см, длина листьев 8–10 см, ширина – 0,10–0,15 см, корни проникают на глубину до 8 см. Высота генеративных побегов 5–9 см; соцветие состоит из верхушечного мужского колоска длиной 0,9–1,2 см, шириной 2 мм и 3–4 женских 0,5–1,1 см высотой и 0,4–0,6 см шириной.

По характеру фенологического развития в годичном цикле изученный вид относится к весенне-летне-осеннезеленым видам поздневесеннего цветения. Сроки наступления основных фенологических фаз в разные годы отражены в табл. 1.

Таблица 1

Лимиты сроков наступления основных фенологических фаз *Carex viridula* Michx в Донецком ботаническом саду

Фенофаза	Начало вегетации	Начало цветения	Плодоношение	Конец вегетации
Лимиты, дата	16.03–14.04	5.05–12.05	1.07–10.07	20.10–16.11
Амплитуда, кол-во дней	29	7	9	27

При сопоставлении сроков основных фенологических фаз с погодными условиями в течение вегетационного периода в разные годы нами установлено, что сроки начала и окончания вегетации *C. viridula* определяются главным образом температурным режимом: начало весеннего отрастания отмечалось после устойчивого перехода среднесуточных температур воздуха через +5 °С, а окончание вегетации – после наступления устойчивых отрицательных температур, поэтому соответствующие даты значительно варьируют по годам: их амплитуда составляет 27–29 дней. Активизация нарастания вегетативной сферы начинается после устойчивого перехода среднесуточных температур воздуха через +10 °С, возрастает перед началом цветения и прекращается в период созревания плодов. Цветение начинается в первой половине мая и продолжается около 3-х недель. Плоды созревают в начале июля. Плод (орешек) размещается в мешочке, форма и размеры которого – один из диагностических критериев вида у осок. Мешочки *C. viridula* мелкие, тонкостенные, горчичного цвета, округлые, с коротким носиком (рис. 1), плоды темно-коричневые, длиной 1 мм, толщиной 0,3 мм. Данные о семенной продуктивности вида в условиях ДБС и размерах мешочка представлены в табл. 2.

Рис. 1. Мешочки с плодами *Carex viridula* Michaux

Таблица 2

**Семенная продуктивность *Carex viridula* Michaux и размеры мешочка с плодом
в условиях Донецкого ботанического сада**

Количество семян				Размеры мешочка с плодом, см			
в колоске		на побеге		длина		ширина	
M±m	CV%	M±m	CV%	M±m	CV%	M±m	CV%
27,14±2,04	11,12	106,00±24,93	23,52	0,21±0,01	4,02	0,09±0,01	11,13

Примечание. M±m – среднее значение показателя и ошибка среднего, CV% – коэффициент вариации.

Семенная продуктивность отдельного генеративного побега в условиях интродукционного пункта достаточно высокая, с низким и средним уровнем варьирования [7]. Семенная продуктивность всей особи определяется количеством генеративных побегов, и потому сильно различается у разновозрастных растений.

С целью выявления оптимального способа размножения *C. viridula* в условиях культуры был изучен жизненный цикл данного вида. Всходы появились через 45 дней после посева. Прорастание гипогейное. Проросток состоит из главного корня длиной 1,0–1,5 см, мешочка с плодом, бесцветного coleoptilia и нитевидного зеленого ассимилирующего листа длиной до 2 см. Затем развиваются второй и третий лист, формируются 2–4 боковых корешка около 1 мм длиной – и растение переходит в ювенильное возрастное состояние. Через 10–12 дней отмечен переход в имматурное возрастное состояние: развивается побег с 4–5 ассимилирующими листьями, но нижние два вскоре засыхают. Главный корень замедляет рост, образуются 5–7 придаточных корней длиной от 2,0 до 3,3 см, по мере роста они начинают ветвиться до второго порядка. Начало кушения, то есть переход в виргинильное возрастное состояние, начинается через 1–2 недели. В базальной части стебля закладываются 1–2 почки возобновления, из которых развиваются вегетативные побеги. Они начинают рост плагиотропно, но вскоре точка роста становится ортотропной, вследствие чего побеги приобретают вертикальное положение, и формирующаяся виргинильная особь становится плотнокустовой.

С наступлением устойчивых отрицательных температур надземная часть растений желтеет, а затем засыхает и полегает, защищая почки возобновления от зимних холодов. Таким образом, в первый год развития сеянцы проходят все стадии прегенеративного периода онтогенеза, достигнув осенью виргинильного возрастного состояния (рис. 2).

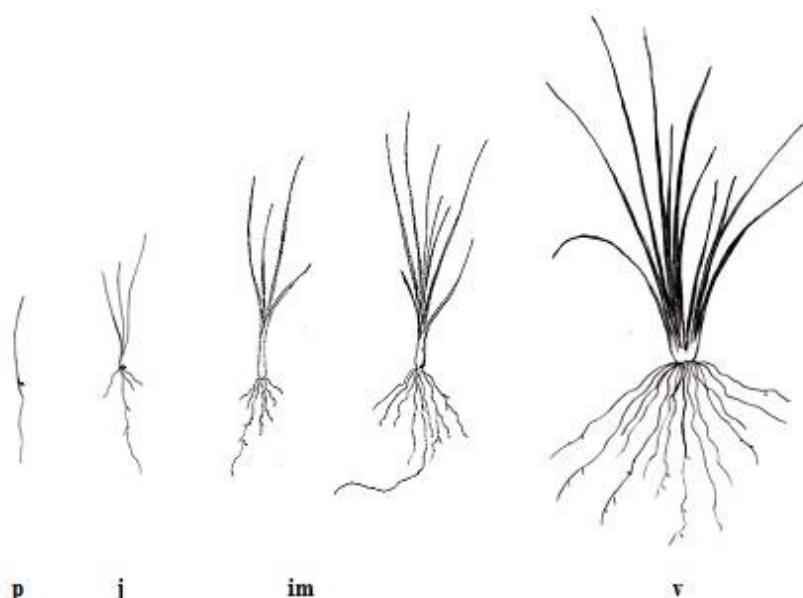


Рис. 2. Возрастные состояния *Carex viridula* Michaux в первый год развития:
 p – проросток, j – ювенильное, im – имматурное, v – виргинильное

Весной следующего года большая часть семян по-прежнему остается в виргинильном возрастном состоянии, формируя новые вегетативные побеги первичного куста. В то же время около 30% особей переходят в молодое генеративное возрастное состояние: в первой половине мая они формируют 1–3 генеративных побега высотой 4 см. Соцветие состоит из верхушечного мужского колоска длиной 0,9–1,1 см, шириной 2 мм и 3–4 женских 0,5–1,0 см высотой и 0,4–0,5 см шириной (рис. 3). Количество вегетативных розеточных побегов 2–3, каждый состоит из 3–4 листьев 6,0–6,5 см длиной, 0,20–0,23 см шириной. В течение вегетационного периода побеги незначительно удлиняются, количество листьев увеличивается до 5, они становятся уже и длиннее (1,5–1,8 мм и 8–9 см соответственно). Плодоношение единичное: большая часть семян не завязались.

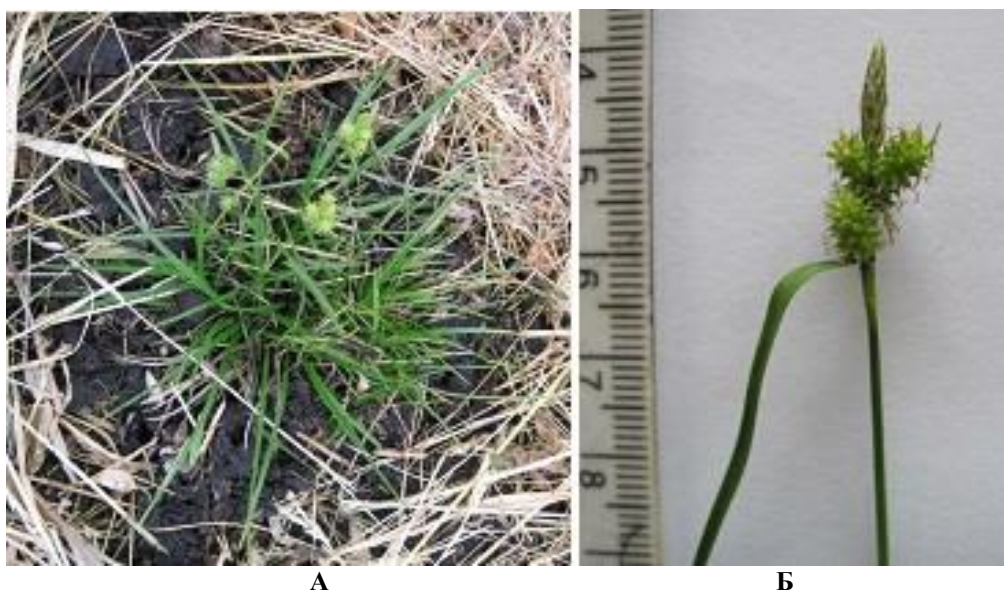


Рис. 3. Молодая генеративная особь *Carex viridula* Michaux: А – общий вид растения, Б – соцветие

Таким образом, около трети семян *C. viridula* на второй год развития достигли молодого генеративного возрастного состояния, завершив малый жизненный цикл. В следующем году они переходят в зрелое генеративное возрастное состояние,

характеризующееся максимальным развитием вегетативной и генеративной сферы (рис. 4). Растения мощные, побегообразование интенсивное, цветение обильное, плодоношение максимальное и регулярное, т.е. по всем основным морфометрическим характеристикам сеянцы соответствуют материнским особям. На третий год развития оставшаяся часть виргинильных особей также переходит в молодое генеративное возрастное состояние, а на четвертый – в зрелое генеративное.



Рис. 4. Зрелая генеративная особь *Carex viridula* Michaux

Во многих литературных источниках утверждается, что переход в генеративное состояние у осок наступает не раньше 3–4-го года жизни, даже в условиях культуры [1, 12]. Однако, согласно нашим исследованиям, в условиях культуры ДБС для *C. viridula* продолжительность прегенеративного периода онтогенеза составляет 1,5–2 года. Можно предположить, что более благоприятные условия культуры интродукционного пункта становятся для сеянцев сигнальным фактором, вызывающим выбор ускоренного варианта развития.

Продолжительность зрелого генеративного возрастного состояния у *C. viridula* в условиях ДБС, в отличие от подавляющего большинства интродуцентов этого родового комплекса, не превышает 2–3 лет. Очевидно, в условиях интродукционного пункта этот вид является малолетником, и в возрасте 5 лет, после перезимовки, растения полностью засыхают и отмирают. Отдельные почки возобновления единичных особей вначале дают очень слабые побеги, однако в течение 1–2-х недель они прекращают развитие и засыхают. Вероятно, в условиях степной зоны осоки-палюданты не в состоянии поддерживать водный баланс, и процесс испарения влаги у крупных растений начинает преобладать над ее поступлением. Это заметно уже у зрелых генеративных особей: нижние листья их побегов по мере развития новых, верхних, начинают засыхать в разгар вегетации (см. рис. 4). Чтобы избежать гибели растений, мы рекомендуем 4-хлетние сеянцы весной размножать делением куста, проводя так называемое омоложение, и в дальнейшем повторять процедуру каждые 3 года.

Выводы

По итогам интродукционных испытаний исследованный вид нами оценен в 5 баллов по 7-балльной шкале, что достаточно для успешного его культивирования в новых условиях. *C. viridula* – очень декоративное растение, миниатюрное и изящное. Его можно высаживать в рокариях, гравийных садах, возле водоемов. Искусственное размножение можно осуществлять как семенным, так и вегетативным путем.

Список литературы

1. Алексеев Ю. Е. Осоки (морфология, биология, онтогенез, эволюция). М : Аргус, 1996. 252 с.
2. Баканова В. В. Цветочно-декоративные многолетники открытого грунта. К. : Наук. думка, 1984. 155 с.
3. Безделев А. Б., Безделева Т. А. Жизненные формы семенных растений российского Дальнего Востока. Владивосток : Дальнаука, 2006. 296 с.
4. Борисова И. В. Сезонная динамика растительного сообщества // Полевая геоботаника. Л. : Наука, 1972. Т. 4. С. 5–136.
5. Вайнагий И. В. О методике изучения семенной продуктивности растений // Ботан. журнал. 1974. Т. 59, № 6. С. 826–831.
6. Игнатьева И. П. Онтогенетический морфогенез вегетативных органов травянистых растений. М., 1983. 55 с.
7. Мамаев С. А. Основные принципы методики исследования внутривидовой изменчивости древесных растений // Индивидуальная и эколого-географическая изменчивость растений. Свердловск : Изд-во УНЦ АН СССР, 1975. С. 3–14.
8. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР. М. 1975. 42 с.
9. Работнов Т. А. Жизненный цикл многолетних травянистых растений в луговых ценозах // Тр. БИН АН СССР. 1965. Сер. 3. № 6. С. 7–204.
10. Русанов Ф. Н. Метод родовых комплексов интродукции растений и его дальнейшее развитие // Бюлл. Гл. ботан. сада АН СССР. 1971. Вып. 81. С. 15–20.
11. Уранов А. А. Жизненные состояния вида в растительном сообществе // Бюл. МОИП. Сер. биол. 1960. Т. 67, вып. 3. С. 77–92.
12. Филатова И. О. Биоморфология и онтогенез дерновинных видов рода *Carex* L. : Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2004. 20 с.
13. Энциклопедия растений Сибири. [Электронный ресурс]. URL : skazka.nsk.ru/atlas/
14. Bernard J. M. Life history and vegetative reproduction in *Carex* // Can. J. Bot. 1990. Vol. 68, N 7. P. 1441–1448.
15. Egorova T. V. The sedges (*Carex* L.) of Russian and adjacent states (within the limits of the former URSS). St. Petersburg Chemical-Pharmaceutical Academy, St. Petersburg and Missouri Botanical Garden Press, St. Louis. MO. 1999. 772 p.
16. Reznicek A. A. Evolution in sedges (*Carex*, Cyperaceae) // Can. J. Bot. 1990. Vol. 68, N 7. P. 1409–1432.
17. Schultz W. Ecology of seed dormancy and germination in sedges (*Carex*) // Persp. in Plant Ecology, Evolution and Systematics. 2000. Vol. 3, N 1. P. 67–89.

Pavlova M. A. Outcomes of *Carex viridula* Michaux introduction in the Donetsk Botanical Gardens. –

Results of introduction experiment on cultivation of *Carex viridula* Michaux in the Donetsk Botanical Gardens are given. Morphology of vegetative and generative organs, seasonal rhythm of development, ability to vegetative and seed propagation, and ontogeny are researched. Assessment of introduction success and ways of this species using in the region landscaping are defined.

Key words: *Carex viridula* Michaux, introduction, morphology, phenological rhythm, ontogeny, introduction success.

**ВЕСОВЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ФИТОКВАНТИФИКАЦИИ В АНТРОПОГЕННО
ТРАНСФОРМИРОВАННОЙ СРЕДЕ ДОНБАССА***ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»**283050, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: andrey_safonov@mail.ru*

Сафонов А. И. Весовые коэффициенты фитоquantификации в антропогенно трансформированной среде Донбасса. – Фитоquantификационный метод рассмотрен в аспекте дифференцированного расчета весовых коэффициентов при определении значимости разных критериев для индикационного мониторинга в Центральном Донбассе. Эмпирически установленные индексы использованы для индикационной формулы описания экотопа по доминантному значению параметров, определяющих специфику техногенной нагрузки в конкретном геолокалитете. В основе апробированного метода заложена информация об индикационной значимости отдельных видов природной флоры Северного Приазовья для проводимого экологического мониторинга в регионе.

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

Введение

Квантификация является востребованным научно-технологическим приемом в разных областях знаний: теоретической и прикладной математике [2], статистических методах и способах интерпретации данных [16], анализе аварийных ситуаций и безопасности жизнедеятельности [8, 23], системе планирования и контроля процессов экологической деятельности в рамках обработки информационных баз данных [18], целевого определения уровня антропогенной нагрузки в промышленно развитых регионах [15, 20]. На современном этапе мониторинговых исследований в Донбассе вопросы численной оценки и цифрового анализа подвергаются детальному изучению [7, 11, 14, 21].

Цель работы – установить весовые коэффициенты фитоquantификационной значимости для заданных геолокальных параметров в экотопах с известной спецификой ингредиентного состава почв, обусловленного антропогенной деятельностью на территории Центрального Донбасса.

Материал и методы исследования

Для изучения были выбраны 22 пробные площадки монодоминантного загрязнения или техногенной нагрузки, связанной по приоритетным группам загрязнителей. Координаты идентифицированы в предыдущих публикациях по частоте регистрации атипичного строения растений-индикаторов [12, 13]. Особенности элементного состава почв и растений были установлены методами атомно-абсорбционно [1] и нейтронно-активационного [6] анализов. Опорными флористическими и геоботаническими данными послужили исследования ведущих ученых-ботаников и экологов Донецкого региона [5, 9]. В работе учтены способы функционального зонирования неблагоприятных процессов воздействия на природные экосистемы [3], методики организации мониторингового, фитоиндикационного и диагностического экспериментов [4, 17], ландшафтно-географические требования в описании и оценке факторов антропогенеза [22, 24, 25] и варианты интеллектуальной обработки данных о состоянии биоиндикаторов [19, 26]. В целом, представленные результаты являются интеграционной производной от полученных первичных полевых исследований с 1997 по 2022 гг. [10, 14, 21].

Результаты и обсуждение

Фактическим продуктом взвешенной фитоquantификации является составление формулы для экотопа с указанием доминантных видов-индикаторов (аббревиатуры по первым буквам видового названия на латинском языке) с соответствующими коэффициентами значимости в привязке к перечню установленных для них приоритетных загрязнителей. Весь диапазон значимости соответствует 100-балльной сумме, в которой

остаток выпадает на все остальные показатели. В итоговую формулу для экотопа включены только весовые коэффициенты, превышающие значение 2, выражение ранжировано в порядке убывания значимости.

Для учетных площадок составлены формулы по результатам вегетационных сезонов 2020 и 2021 гг.:

1) 48°01'10,2"N; 37°47'26,3"E – фитоквантификационная формула по высшим цветковым растениям для геолокалитета: 9Sv-9Pm-9Ci-9Rl-8Ti-7Ar-7Tm-5Dg-5Ev-4Ap-4Tv-4Cb-3Dm-3Pa-2Ca – базовые виды *Senecio vulgaris* L., *Plantago major* L., *Cichorium intybus* L., *Reseda lutea* L., *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip., *Amaranthus retroflexus* L., *Tragopogon major* Jacq., *Dactylis glomerata* L., *Echium vulgare* L., *Atriplex patula* L., *Tanacetum vulgare* L., *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., *Diplotaxis muralis* (L.) DC., *Polygonum aviculare* L., *Chenopodium album* L. (62Cu-22Sb-5La – формула ингредиентного импакта, указана здесь и далее в характеристике каждой точки по доминирующим элементам в сравнении с фоновыми концентрациями для региона [1, 14]; информация дана также с весовыми коэффициентами), пробная площадка перспективна для проведения дендроиндикационных исследований, сбора данных по палиноиндикации, тератологическим проявлениям в растениях;

2) 48°01'22,1"N; 37°48'03,1"E – 10Sv-9Ci-9Bi-9Rl-7Pm-8Ti-6Ar-6Tm-6Dg-5Ev-3Ap-3Tv-3Cb-3Dm-2Pa-2Ca; фитоиндикационный ассектатор *Berteroa incana* (L.) DC. (41Zn-37Rb), для пробной площадки характерно значительное биоразнообразие в перспективу на формирование стационарного поста активного экологического мониторинга с последующей трансплантацией образцов мохообразных; унификация ландшафтных характеристик позволяет выделить эталонные участки для произрастания видов со значительным искажением фитоиндикационных данных (по установленной анатомо-морфологической пластичности) в градиенте гидрологических режимов (для представителей раннецветущих, например, из семейства капустных);

3) 48°01'22,9"N; 37°48'50,3"E – 8Pm-8Pp-8Ci-8Sv-7St-6Rl-6Ah-6Pl-6CEa-4Ti-4Ev-4Ap-4Tv-4Cb-3Ar-3Tm-3Dg-2Pa, ассектаторы *Atriplex hortensis* L., *Plantago lanceolata* L., *Centaurea adpressa* Ledeb., *Poa palustris* L., *Salvia tesquicola* Klovov & Pobed. в ряду добавления к базовым видам квантификационной формулы (59Cd-10Tb-10U), учетная площадка с возможной дальнейшей организацией сборов в карпо- и эмбриологическом эксперименте; перспективен сбор растительного сырья по видам с характерной вторичной осенней ревитализацией, палинологические и тератологические сборы растительного материала;

4) 48°00'34,2"N; 37°47'22,4"E – 10Pm-9Sv-9Sp-8Am-7Er-6Tm-5Dg-5Dm-4Pa-4Ci-4Ti-4Ar-4Ev-4Ap-3Tv-2Cb-2Rl, ассектаторы *Sisymbrium polymorphum* (Murray) Roth, *Artemisia marschalliana* Spreng., *Elytrigia repens* (L.) Nevski (61Cu-12Nd-9Zr), рекомендовано для сбора мохообразных и индикаторных видов цветковых по признакам трансформации женской генеративной сферы, получены важные данные по опушению листовых пластинок и категорий ветвления верхней побеговой формации;

5) 48°00'35,7"N; 37°48'00,1"E – 7Tm-7Dg-7Pc-7Cs-5Ap-5Sv-5Dm-5Pa-3Ca-3Pm-3Ci-3Ev-3Rl-3Ti-2Ar-2Tv-2Cb, ассектаторы *Poa compressa* L., *Centaurea scabiosa* L. (89Pb), точка перспективна для получения контрастных данных в аспекте выживания и формирования измененных вегетативных стратегий по способам реализации подземной репродукции и захвата ресурсозначимой территории в конкуренции за факторы увлажнения (преимущественно) и освещения;

6) 48°00'35,5"N; 37°48'56,2"E – 10Ci-8Rl-8CIa-6Sv-6Pm-6Tm-6Dg-5Ev-5Ap-5Ti-4Ar-4Tv-4Cb-4Dm-3Pa-3Ca, ассектатор *Cirsium arvense* (L.) Scop. (62Zn-19U), пробная площадка перспективна для тератологических идентификаций и палинологических исследований, отбора образцов почв в лабораторном фитотестировании на проростках и по ризологической реакции на загрязнитель;

7) 48°00'10,3"N; 37°47'34,0"E – 9Av-9Sv-9Bi-7Pm-7Ci-7Rl-6Ti-5Ar-5Tm-5Dg-5Ev-4Ap-4Tv-3Dm-3Pa-3Ca-2Cb, ассектаторы *Artemisia vulgaris* L., *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub (55Ni-23Ta), пробная площадка перспективна для проведения дендро- и бриоиндикационных исследований, сбора данных для карпологической и палиноиндикации;

8) 47°59'49,2"N; 37°47'52,4"E – 10Sv-10Ci-10Cx-5Pm-5Rl-5Ti-5Ar-4Tm-4Dg-4Ev-3Ap-3Tv-3Cb-2Dm-2Pa-2Ca, фитоиндикационный ассектатор *Cyclachaena xanthiifolia* (Nutt.) Fresen. (34Co-22Sb-20La), учетная площадка с возможной дальнейшей организацией сборов в карпо- и эмбриологическом эксперименте [12], перспективен сбор растительного сырья по видам с характерной вторичной осенней ревитализацией, палинологические и тератологические [13] данные растительного материала;

9) 47°59'47,1"N; 37°48'32,0"E – 11Cd-9Sv-9As-8St-8Pm-5Tm-5Dg-5Ev-4Ap-4Ci-4Rl-4Ti-4Ar-3Pa-3Ca-3Tv-3Cb-2Dm, ассектаторы *Centaurea diffusa* Lam., *Salvia stepposa* Des.-Shost., *Agrostis stolonifera* L. (44Hg-23Eu-22Zr), точка перспективна для получения контрастных данных в аспекте выживания на аутфитоиндикационном уровне и формирования измененных вегетативных стратегий по способам подземной репродукции и захвата ресурсозначимой территории в конкуренции за основные факторы увлажнения и освещения;

10) 47°59'32,8"N; 37°47'46,6"E – 9Ci-9Rl-9Ma-9Ab-4Sv-4Pm-4Ti-4Ar-4Ap-4Tv-4Tm-4Dg-4Ev-3Pa-2Ca-2Cb-2Dm, ассектаторы в числе фитоиндикаторов *Artemisia absinthium* L., *Melilotus albus* Medik. (41Al-21Yb-10Th-9Ce), учетная площадка с возможной дальнейшей организацией сборов в карпо- и эмбриологическом эксперименте, перспективен сбор растительного сырья по видам с характерными ранневесенним цветением и вторичной осенней ревитализацией, палинологические и тератологические сборы растительного материала;

11) 48°01'55,3"N; 37°53'45,7"E – 8Sv-8Pb-8Tm-7Pm-7Tv-6Cb-6Dm-5Ci-5Rl-4Ti-4Ar-4Dg-4Ev-4Ap-3Pa-3Ca, ассектатор *Poa bulbosa* L. (65Ni-19Sm), пробная площадка перспективна для тератологических идентификаций (преимущественно эмбриотоксического [12] эффекта) и палинологических исследований, отбора образцов почвогрунтов для лабораторного фитотестирования на проростках;

12) 47°59'56,1"N; 37°58'25,5"E – 10An-9Sv-9Ph-6Pm-6Ci-6Rl-6Ti-6Ar-6Tm-3Dg-3Ev-3Ap-3Tv-2Cb-2Pa-2Ca-2Dm, ассектаторы *Achillea nobilis* L., *Papaver rhoeas* L. (49Zn-12Cs-10Ce-10Zr), пробная площадка перспективна для проведения дендро- и бриоиндикационных исследований, сбора данных по палиноиндикации, отбора образцов почвы для сравнительного фитотестирования в лабораторных условиях;

13) 48°04'27,9"N; 37°58'27,6"E – 9Ci-9Pp-8Sv-8Fs-8Co-8Pm-5Rl-5Ti-5Ar-5Tm-5Dg-5Ev-5Cb-4Dm-4Pa-4Ca-2Ap-2Tv, ассектаторы фитоиндикационной значимости *Poa pratensis* L., *Fumaria schleicheri* Soy.-Willem., *Centaurea orientalis* L. (66Co-27Ti-6Sb), для пробной площадки характерно значительное бриоразнообразие и перспективно дальнейшее формирование стационарного поста активного экологического мониторинга с трансплантацией образцов мохообразных, рекомендован отбор проб почвогрунтов для фитотестирования, сравнительной диагностики в лабораторном эксперименте;

14) 48°02'28,5"N; 38°06'53,0"E – 10Rl-9Dc-8Ti-7Ar-7Tm-5Dg-5Sv-5Dm-5Pa-5Ca-5Pm-4Ci-4Ev-3Ap-3Tv-2Cb, ассектатор *Dianthus campestris* M. Bieb. (71Fe-11Cs), учетная площадка с возможной дальнейшей организацией сборов в карпо- и эмбриологическом эксперименте, перспективен сбор растительного сырья по видам с характерной вторичной осенней ревитализацией и цветением (пыльцевые атаки), палинологические и тератологические сборы растительного материала, сбор семенного материала для натурального эксперимента;

15) 48°03'00,7"N; 38°09'56,1"E – 11Sv-10Mo-10Pm-9Ci-7Rl-7Ti-4Ar-4Tm-4Dg-4Ev-4Ap-4Tv-4Cb-4Dm-2Pa-2Ca, ассектатор *Melilotus officinalis* (L.) Pall. (63Co-18Eu), рекомендовано для сбора мохообразных и индикаторных признаков цветковых по признакам трансформации женской генеративной сферы, установлены эмбриотропные эффекты, получены важные данные по опушению листовых пластинок и вариантов нетипичного ветвления верхней побеговой формации;

16) 48°01'24,0"N; 38°10'15,8"E – 12Rl-10Aa-8Ti-8Pa-7Lt-7Ca-5Sv-4SAv-4Pm-3Ci-3Ar-3Tm-3Dg-3Ev-2Ap-2Tv-2Cb-2Dm, ассектаторы *Ambrosia artemisiifolia* L., *Lactuca tatarica* (L.) C. A. Mey., *Salvia verticillata* L. (47Cu-21Sr-9W), пробная площадка перспективна для тератологических идентификаций и палинологических исследований, отбора образцов почв для лабораторного фитотестирования;

17) 48°04'05,9"N; 38°15'09,1"E – 9Sv-9Dc-8Pm-8Rc-7Ci-6Rl-5Ti-5Ar-4Tm-4Dg-3Ev-3Ap-3Tv-3Cb-2Pa-2Ca, ассектаторы *Daucus carota* L., *Rumex crispus* L. (83Hg-7Sb), пробная площадка перспективна для проведения дендро- и бриоиндикационных исследований, сбора данных по палиноиндикации, важен отбор образцов почвогрунтов для сравнительного фитотестирования;

18) 48°01'36,2"N; 38°15'39,7"E – 11Ci-10Gp-9Sv-9Pm-9Am-8Dg-5Ev-4Ap-4Rl-4Ti-4Ar-4Tm-2Ca-2Dm-2Pa, ассектаторы *Gypsophila paniculata* L., *Atriplex mircantha* C. A. Mey., (58Cd-14Dy-9Yb), пробная площадка перспективна для тератологических идентификаций и палинологических исследований, базового отбора образцов почв для лабораторного фитотестирования по ризологическому критерию;

19) 48°00'49,5"N; 38°16'15,8"E – 10Sv-9Sn-9Pm-8Ci-8Ar-7Tm-6Dg-6Ev-5Ap-5Tv-5Cb-4Dm-4Ti-4Pa-4Rl-4Ca, ассектатор *Salvia nutans* L. (69Ni), пробная площадка перспективна для проведения дендро- и бриоиндикационных исследований, сбора данных по палиноиндикации;

20) 48°02'56,6"N; 38°28'28,8"E – 8Na-8Tm-8POa-7Dg-7Ev-7Sv-7Pm-6Ci-5Rl-5Dm-5Pa-2Ca-2Ti-2Ar-2Ap-2Tv-2Cb, ассектаторы *Nigella arvensis* L., *Poa annua* L. (62Fe-24Hf), пробная площадка перспективна для тератологических идентификаций и палинологических исследований, отбора образцов почв для лабораторного фитотестирования на основании семядольной разницы (син- и схизокотилия);

21) 48°01'17,0"N; 38°38'29,2"E – 9Sv-9POan-9Pm-9Ci-9Rl-8Ti-8Ar-7Tm-5Dg-5Ev-4Ap-3Tv-3Cb-2Dm-2Pa-2Ca, ассектатор *Poa angustifolia* L. (55Cu-13Yb), для пробной площадки характерно значительно бриоразнообразие в перспективу на формирование стационарного поста активного экологического мониторинга с трансплантацией образцов мохообразных;

22) 48°02'18,9"N; 38°46'02,3"E – 10Pm-9Ss-9Ci-8Sv-8Rl-7Ti-7Ar-6Tm-6Dg-5Ev-5Ap-5Tv-4Dm-4Pa-3Ca-2Cb, ассектатор *Stellaria subulata* Boeber ex Schlecht. (60Hg-17Sc-9Zr), учетная площадка с возможной дальнейшей организацией сборов в карпо- и эмбриологическом эксперименте, перспективен сбор растительного сырья по видам с характерной вторичной осенней ревитализацией, палинологические и тератологические сборы растительного материала.

Выводы

Предложенная и внедренная система формализованного описания фитоиндикационной значимости экотопа в привязке к монодоминантному загрязнителю (на практике это 3–4 % от всего количества учетных площадок в общей мониторинговой сети Центрального Донбасса) и указанию видов-ассектаторов в диагностическом отношении является удобным документальным инструментом для рабочего процесса идентификации основных факторов из числа ингредиентных загрязнителей природных сред.

Определенные 22 учетные площадки с характерными признаками на сегодня являются модельными стационарами для ежегодного наблюдения с целью установления динамики процессов антропогенного воздействия.

Проведена количественная оценка по фитоиндикационному критерию и качественная перспективизация для всех описанных мониторинговых точек в отношении дальнейших параллельных ботанико-экологических экспертиз и локальных тестовых экспериментов на региональном уровне.

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

Список литературы

1. Алемасова А. С., Сафонов А. И. Тяжелые металлы в фитосубстратах – индикаторы антропогенного загрязнения воздуха в промышленном регионе // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2022. Т. 26, № 6. С. 5–13. <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2022-6-5-13>
2. Болгов А. В., Дронов С. В. Иерархическая квантификация кластерной переменной // Труды семинара по геометрии и математическому моделированию. 2021. № 7. С. 28–33.
3. Гермонова Е. А. Зонирование территории Центрального Донбасса по критериям экологического фитомониторинга // Вестник Донецкого национального университета. Серия А : Естественные науки. 2021. № 4. С. 77–82.
4. Горшкова Т. А., Макаренко Е. С., Казакова Е. А., Амосова Н. В., Павлова Н. Н., Мартыросян Ю. М. Анализ методов фитоиндикации и фитотестирования антропогенного нарушения среды на примере модельных растительных сообществ // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия : Естественные науки. 2013. № 3 (146). С. 8–13.
5. Жуков С. П. Флористическое разнообразие антропогенных экосистем центральной части Донбасса // Самарская Лука : проблемы региональной и глобальной экологии. 2018. Т. 27, № 4 (1). С. 118–122. <https://doi.org/10.24411/2073-1035-2018-10099>
6. Зиньковская И. И., Вергель К. Н., Кравцова А. В., Сафонов А. И. Биомониторинговая программа по оценке воздуха в Донбассе с помощью нейтронно-активационного анализа // Донецкие чтения 2022 : образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : Матер. VII Междунар. науч. конф. Донецк : Изд-во ДонНУ, 2022. Т. 3. С. 69–71.
7. Калинина А. В. Состояние ценопопуляций видов рода *Oenothera* L. в трансформированных экотопах Донбасса // Лесохозяйственная информация. 2022. № 3. С. 135–144. <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2022.3.12>
8. Липский В. К. Эталонный метод квантификации факторов влияния на последствия аварии на магистральных нефтепроводах // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В : Прикладные науки. Промышленность. 2007. № 8. С. 116–124.
9. Приходько С. А., Глухов А. З., Остапко В. М., Николаева А. В., Козуб-Птица В. В. Развитие фундаментальных и прикладных исследований биокompонента единых экосистем Донецкой и Луганской Народных Республик и Российской Федерации для проведения согласованной политики в области охраны окружающей среды // Россия и Донбасс : перспективы сотрудничества и интеграции : Матер. Междунар. конф. М. : Издательский дом УМЦ, 2022. С. 363–367.
10. Сафонов А. И. Ботанико-экологические маркеры квантификации природных сред в Донбассе // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2020. № 3–4. С. 40–47.
11. Сафонов А. И. Эмпирика фитоквантификации антропогенно трансформированной среды // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2021. № 3–4. С. 42–47.
12. Сафонов А. И. Аномалии эмбриональных структур растений-индикаторов Донбасса // Разнообразие растительного мира. 2022 а. № 3 (14). С. 5–18. <https://doi.org/10.22281/2686-9713-2022-3-5-18>
13. Сафонов А. И. Морфологические тераты растений вследствие техногенного загрязнения // Биоморфология растений : традиции и современность : Матер. Междунар. науч. конф. Киров : Вятский государственный университет, 2022 б. С. 498–503.
14. 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>
15. Федоркина И. А. Фитоиндикационные корреляты уровня антропогенной нагрузки в Донбассе // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2020. № 1–2. С. 37–42.

16. Хлобыстова А. О., Абрамов М. В., Тулупьева Т. В. Применение метода вероятностей альтернатив при построении оценок интенсивности взаимосвязей // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. 2020. Т. 1. С. 35–38.
17. 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>
18. Ashofteh P. S., Bozorg-Haddad O., Loaiciga 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>
19. 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>
20. 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.
21. 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.
22. 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>
23. 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>
24. Yepintsev 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.
25. 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>
26. Zaghloul A., Saber M., Gadow S., Awad F. Biological indicators for pollution detection in terrestrial and aquatic ecosystems // Bulletin of the National Research Centre. 2020. Vol. 44, N 127. <https://doi.org/10.1186/s42269-020-00385-x>

Safonov A. I. Weight coefficients of phytoquantification in the anthropogeneously transformed environment of Donbass. – The phytoquantification method is used in the aspect of differentiated calculation of weight coefficients in assessing the significance of different criteria for indicator monitoring in the Central Donbass. Empirically established indices are used for the indicator formula for describing the ecotope by the dominant value of the parameters that determine the specifics of the technogenic load in a particular geolocality. The proven method is based on information about the indicator significance of certain types of natural flora of the Northern Azov region for ongoing environmental monitoring in the region.

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

УДК 595.799 (477.6) : 638.19

© А. В. Амолин

**К ИЗУЧЕНИЮ ПЧЕЛ-ОПЫЛИТЕЛЕЙ (HYMENOPTERA: APIFORMES)
КРЫЖОВНИКА И МАЛИНЫ В Г. ДОНЕЦКЕ**

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

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

Амолин А. В. К изучению пчел-опылителей (Hymenoptera: Apiformes) крыжовника и малины в г. Донецке. – В статье на основе многолетних наблюдений автора приведен список пчел – основных посетителей цветков крыжовника (*Ribes reclinatum* L.) и малины (*Rubus idaeus* L.), выявленных на приусадебных участках г. Донецка. Для крыжовника отмечено 14 видов пчел из 9 родов и 4 семейств, для малины – 15 видов пчел из 8 родов и 5 семейств. При этом к числу основных опылителей крыжовника отнесено три вида пчел (*Andrena varians*, *A. haemorrhoea* и *Apis mellifera*). К числу основных опылителей малины отнесены шмели (*Bombus hypnorum*, *B. terrestris*, *B. lapidarius*), пчела медоносная (*Apis mellifera*), пчелы *Andrena nitida* и *Lasioglossum sexnotatum*. Для привлечения пчел-опылителей необходимо устанавливать искусственные гнездовые конструкции различных типов.

Ключевые слова: крыжовник, малина, пчелы-опылители, г. Донецк.

Введение

Изучение пчел-опылителей культурных растений актуально для выявления наиболее перспективных видов-опылителей с целью их дальнейшего искусственного разведения для опыления конкретных энтомофильных культур. Среди культивируемых в Донбассе ягодных культур крыжовник отклоненный (*Ribes reclinatum* L.) и малина обыкновенная (*Rubus idaeus* L.) играют второстепенную роль и разводятся в основном только на приусадебных и дачных участках. Несмотря на то, что это исходно лесные культуры, они достаточно хорошо плодоносят в Донбассе и могут иметь успех при промышленном выращивании (при подборе соответствующих сортов и необходимой агротехнике). Кроме того, это хорошие медоносы, по данным Л. И. Боднарчука с соавт. [4], медопродуктивность крыжовника составляет 40–65 кг/га, а малины – 40–150 кг/га.

В ходе эколого-фаунистических исследований жалоносных перепончатокрылых Донбасса автором был изучен видовой состав посетителей цветков крыжовника отклоненного и малины обыкновенной на территории приусадебных участков г. Донецка. При этом основной целью исследования было установить видовой состав пчел-опылителей указанных культур на приусадебных участках и их роль в опылении этих культур. Частично результаты данного исследования автором были опубликованы ранее [1].

Материал и методы исследования

Материалом для данной статьи послужили многолетние наблюдения автора, проведенные на стационарном участке в г. Донецке (пос. Калинкино). Изучение опылителей крыжовника проводили в период с 1997 по 2002 гг., в 2005 и 2006 годах, а также с 2009 по 2018 годы. Изучение опылителей малины (классические сорта) проводили с 1997 по 2000 гг., а также с 2010 по 2022 годы. Основным методом наблюдений был визуальный учет пчел, посещающих цветки исследуемых видов растений в течение всего периода их цветения, с занесением полученных данных в полевой дневник. Использовали также фотографирование пчел на цветках изучаемых видов растений. При этом применяли цифровую фотокамеру Redmi Note 8.

Для учетов посетителей цветков в случайном порядке выбирали учетные экземпляры растений или небольшие куртины (малина), на которых в течение 10–20-минутных наблюдений регистрировали всех встреченных пчел, берущих нектар или пыльцу. При этом

учеты проводили три раза в течение суток: утром (в интервале от 7 до 9 часов), в полдень (11–13 часов) и вечером (17–19 часов). Для точной идентификации пчел при помощи энтомологического сачка проводили сбор пчел на цветках изучаемых растений. При регистрации пчел (для некоторых видов) определяли частоту посещения цветков (число посещений учетного растения данным видом пчелы в течение времени одного учета), время посещения одного цветка, поведение пчелы на цветке при взятии нектара и пыльцы. Всего за период исследований было проведено 127 учетов. Общее время наблюдений составило около 48 часов для двух изучаемых видов растений. Следует отметить, что кроме пчел, регистрировали также и некоторых других насекомых, активно посещавших цветки крыжовника и малины. Названия видов пчел приведены в соответствии с Аннотированным каталогом перепончатокрылых насекомых России [11].

Результаты исследования

В результате исследования в качестве посетителей цветков крыжовника было установлено 14 видов пчел из 9 родов и 4 семейств, на цветках малины было отмечено 15 видов пчел из 8 родов и 5 семейств (табл. 1–2).

Цветение крыжовника в г. Донецке длится от 10 до 13 дней. Обычно цветение проходит со второй декады до середины или конца третьей декады апреля. Как исключение в 2011 г. цветение началось в конце апреля (27.04) и завершилось в конце первой декады мая (09.05). Цветки крыжовника обоополье, актиноморфные, пятичленные, венчик образован зеленоватой сростнолепестной колокольчатой чашечкой (гипантий) и небольшими беловатыми лепестками. Несросшиеся в верхней части чашелистики отогнуты наружу и имеют красноватую окраску. В основании двуллопастного гинецея имеются нектарные железки, обильно выделяющие нектар, который скапливается в основании гинецея. Один цветок выделяет от 5–6 до 8 мг нектара [4]. Плод – нижняя паракарпная ягода. Венчик цветка крыжовника благодаря своему строению имеет форму небольшого бокальчика и очень удобен для посещения небольших короткохоботных пчел, которые обычно погружают в него свою голову с вытянутым хоботком. При этом расположенные по краям колокольчатой чашечки тычинки упираются в тело пчелы, оставляя на среднегрудке пыльцу. Цветки, несмотря на свои небольшие размеры, обычно хорошо заметны благодаря выставленным из цветка тычинкам с крупными желтоватыми пыльниками и беловатым вертикально стоящим лепесткам.

Таблица 1. Видовой состав пчел посетителей и опылителей крыжовника в г. Донецке

Виды и семейства пчел	Примечания
Andrenidae	
<i>Andrena haemorrhoa</i> (Fabricius, 1781)	Один из основных посетителей и опылителей цветков крыжовника и других плодово-ягодных культур в г. Донецке [1]. Самки регулярно собирают пыльцу и нектар. Нерегулярно отмечали самок, посещающих цветки для взятия нектара.
<i>Andrena limata</i> Smith, 1853	
<i>Andrena varians</i> (Kirby, 1802)	
Halictidae	
<i>Halictus subauratus</i> (Rossi, 1792)	Самцы единично отмечены при питании нектаром. Нерегулярно отмечали самок, питающихся нектаром на цветках.
<i>Lasioglossum calceatum</i> (Scopoli, 1763)	
Megachilidae	
<i>Osmia bicornis</i> (Linnaeus, 1758)	Самцы регулярно посещают цветки при питании нектаром. Единично отмечен самец, питающийся нектаром.
<i>Osmia coerulescens</i> (Linnaeus,	

Виды и семейства пчел	Примечания
1758) <i>Osmia cornuta</i> (Latreille, 1805)	Самцы нерегулярно посещают цветки для питания нектаром.
Apidae	
<i>Apis mellifera</i> Linnaeus, 1758	Пчела медоносная регулярно и обильно посещает цветки крыжовника с целью взятия нектара и пыльцы.
<i>Anthophora plumipes</i> (Pallas, 1772)	Самцы изредка посещают цветки для взятия нектара.
<i>Bombus hypnorum</i> (Linnaeus, 1758)	Перезимовавшие самки-основательницы регулярно посещают цветки для питания нектаром.
<i>Bombus lapidarius</i> (Linnaeus, 1758)	Отмечено несколько случаев посещения цветков перезимовавшими самками-основательницами.
<i>Melecta albifrons</i> (Förster, 1771)	Единично отмечен при взятии нектара. Клептопаразит в гнездах <i>Anthophora plumipes</i> [12].
<i>Nomada ruficornis</i> (Linnaeus, 1758)	Регулярно питается нектаром на цветках крыжовника. Клептопаразит в гнездах <i>Andrena varians</i> [10] и <i>Andrena haemorrhoa</i> [12].

К числу основных посетителей и опылителей цветков крыжовника, по нашим наблюдениям, относятся виды рода *Andrena* (в частности, *A. varians* и *A. haemorrhoa*), а также пчела медоносная (*A. mellifera*), которая в численном отношении доминировала в течение всего периода наблюдений.

Нами было установлено, что одна особь *A. mellifera* в теплую (+19 °C), солнечную погоду в среднем посещает около 6 цветков в минуту. Следует также отметить высокую частоту посещения цветков крыжовника некоторыми складчатокрылыми осами-веспидами (*Vespidae*). В частности, в течение всего периода наблюдений регулярно отмечали посещение цветков данной культуры перезимовавшими самками *Polistes dominula* (Christ, 1791), которые питались нектаром (максимум до 5–6 экз. на учетный куст). Реже были отмечены также перезимовавшие самки *Vespula germanica* (Fabricius, 1793).

Цветение классических сортов малины в г. Донецке проходит обычно с конца мая до конца второй декады июня и длится от 17 до 30 дней (обычно около 25 дней). Максимум цветения чаще приходится на первую половину июня. Цветки у классических сортов формируются на двугодичных плодоносных побегах. У ремонтантных сортов цветки и плоды образуются как на двугодичных (летом), так и на одногодичных (осенью) побегах. Цветки обоеполюе, пятичленные, собраны в кистевидные соцветия. Тычинки плотной стеной окружают плодолистики и расположены по краям цветоложа. Нектароносное кольцо расположено между тычинками и основаниями плодолистиков. Один цветок в течение своего цветения (2 дня) выделяет 44 мг нектара [4], причем зацветание цветков происходит не одновременно (сначала зацветают верхушечные цветки, затем расположенные на боковых плодоносных веточках в средней и нижней части стебля). Плод – сочная многокостянка, состоящая из 20–70 сросшихся между собой костяночек. Большинство цветков малины опущены вниз, и при взятии нектара или пыльцы пчелы садятся на цветки снизу, против направления силы тяжести (рис. 1), при этом погружают голову с вытянутым хоботком в венчик цветка. Часто пчелы берут нектар, просовывая сбоку хоботок между тычинками в область нектароносного кольца.

К числу основных опылителей малины в г. Донецке относятся шмели (*Bombus hypnorum*, *B. terrestris*, *B. lapidarius*), пчела медоносная (*A. mellifera*), пчелы *Andrena nitida* и *Lasioglossum sexnotatum*. При этом почти все из указанных видов (кроме *L. sexnotatum*) берут с цветков нектар и пыльцу (см. рис. 1).

Таблица 2. Видовой состав пчел посетителей и опылителей малины в г. Донецке

Виды и семейства пчел	Примечания
Colletidae <i>Hylaeus gredleri</i> Förster, 1871	Отмечено взятие нектара и гнездование самок в сухих стеблях малины [2].
Andrenidae <i>Andrena florea</i> Fabricius, 1793 <i>Andrena haemorrhoa</i> (Fabricius, 1781) <i>Andrena limata</i> Smith, 1853 <i>Andrena nitida</i> (Müller, 1776) <i>Andrena pilipes</i> Fabricius, 1781	Отмечена одна самка при взятии нектара. Отмечена (03.06.2000) одна самка при взятии пыльцы. Единично отмечали посещение цветков малины самками для взятия нектара. Самки регулярно посещают цветки малины для взятия нектара. Единично отмечали самок, берущих пыльцу и нектар в 1999 и 2000 гг. Ранее этот вид был приведен автором как <i>Andrena carbonaria</i> (Linnaeus, 1767) [1].
Halictidae <i>Halictus</i> sp. <i>Lasioglossum sexnotatum</i> (Kirby, 1802)	Самки регулярно посещают цветки малины для взятия нектара [1].
Megachilidae <i>Megachile centuncularis</i> (Linnaeus, 1758) <i>Osmia coerulescens</i> (Linnaeus, 1758)	Самцы и самки нерегулярно посещают цветки для взятия нектара. При этом самцы демонстрировали территориальное поведение. Единично отмечали сбор пыльцы самками.
Apidae <i>Apis mellifera</i> Linnaeus, 1758 <i>Bombus hypnorum</i> (Linnaeus, 1758) <i>Bombus lapidarius</i> (Linnaeus, 1758) <i>Bombus sylvarum</i> (Linnaeus, 1761) <i>Bombus terrestris</i> (Linnaeus, 1758)	Рабочие самки регулярно берут нектар и пыльцу. Численно доминирует среди всех посетителей цветков малины. Рабочие самки первого выводка регулярно посещают цветки малины для сбора пыльцы и нектара. Среди шмелей, посещающих цветки малины, шмель дупловой доминирует по частоте посещения и относительному обилию. Рабочие самки первого выводка регулярно посещают цветки малины для взятия нектара и пыльцы [1]. Эпизодически отмечали фуражирующих рабочих самок при сборе нектара и пыльцы. Рабочие самки первого выводка регулярно посещают цветки малины для взятия нектара и пыльцы [1].

Нужно отметить, что реальное число пчел посетителей и опылителей цветков малины на изучаемой территории гораздо больше и требует специальных исследований. В то же время шмели, по-видимому, относятся к основным опылителям этого растения, так как регулярно и более эффективно, чем другие пчелы посещают цветки малины. Эффективность опыления шмелями выражена в том, что шмели собирают пыльцу и нектар в течение всего периода цветения малины, в отличие, например, от медоносной пчелы, которая с уменьшением числа цветущих цветков переключается на посещение других видов цветущих растений. Кроме того, время появления первого выводка у указанных видов шмелей, совпадает со временем зацветания малины.



Рис. 1. Некоторые виды основных опылителей малины в г. Донецке:
А – *Apis mellifera*, Б – *Lasioglossum sexnotatum*, В – *Bombus terrestris*, Г – *Andrena nitida* (фото автора)

Кроме указанных в табл. 2 пчел, цветки малины для питания нектаром посещают также некоторые виды складчатокрылых ос-веспид (не менее 9 видов из 6 родов) [3]. Однако как опылители этого вида растений, осы играют второстепенную роль в сравнении с указанными видами пчел.

Выводы

На цветках крыжовника было отмечено 14 видов пчел из 9 родов и 4 семейств, на цветках малины – 15 видов пчел из 8 родов и 5 семейств. При этом к числу основных опылителей цветков крыжовника отнесено три вида пчел (*Andrena varians*, *A. haemorrhoea* и *Apis mellifera*). Кроме того, важную роль в опылении этой культуры имеют осы-полисты, в частности, *Polistes dominula*. К основным опылителям малины обыкновенной нами отнесено 4 вида шмелей, пчелу медоносную и пчел *Andrena nitida* и *Lasioglossum sexnotatum*.

Для привлечения шмелей в малинники желательно устанавливать искусственные гнездовья для шмелей, например, используя методики В. С. Гребенникова [5–9].

Список литературы

1. Амолин А. В. К изучению пчел-опылителей плодово-ягодных культур на приусадебных участках г. Донецка // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2016. № 3–4. С. 66–77.
2. Амолин А. В. К изучению ландшафтно-биотопического распределения пчел семейства Colletidae (Hymenoptera: Apoidea) в Донбассе // Эверсманния. 2018. 54. С. 43–48.
3. Амолин А. В., Оголь И. Н. Пищевые связи складчатокрылых ос (Hymenoptera: Vespidae) с цветковыми растениями (Magnoliophyta) в Донбассе // Евразийский энтомологический журнал. 2019. 18 (5). С. 365–376.
4. Боднарчук Л. И., Соломаха Т. Д., Ильяш А. М., Соломаха В. А., Горюхов В. Г. Атлас медоносных растений Украины. К. : Урожай, 1993. С. 1–270.
5. Гребенников В. С. Мои шмели. Из опыта разведения шмелей в домашних условиях // Наука и жизнь. 1972 г. № 4. С. 97–101.
6. Гребенников В. С. Мои шмели // Пчеловодство. 1972 г. № 7. С. 22–23.
7. Гребенников В. С. Подземные приманочные ульи для шмелей // Пчеловодство. 1972 г. № 7. С. 40–41.
8. Гребенников В. С. Многосемейный гнездовой шмелевник // Пчеловодство. 1972 г. № 9. С. 41–42.
9. Гребенников В. С. Шмели – их жизнь и разведение // Биология в школе. 1973. № 2. С. 80–85.
10. Осичнюк Г. З. Бджоли-андрениди. Фауна України. Бджолині. К. : Наук. думка, 1977. 12 (5). С. 1–328.
11. Annotated Catalogue of the Hymenoptera of Russia. Vol. I. Symphita and Apocrita: Aculeata. Proceedings of the Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences. Ed. by S. A. Belokobylskij, A. S. Lelej. Saint Petersburg, 2017. Suppl. № 6. P. 1–475.
12. Levchenko T. V., Byvaltsev A. M., Proshachalykin M. Yu. Family Apidae / Annotated Catalogue of the Hymenoptera of Russia. Vol. I. Symphita and Apocrita: Aculeata. Proceedings of the Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences. Ed. by S. A. Belokobylskij, A. S. Lelej. Saint Petersburg, 2017. Suppl. № 6. P. 309–332.

Amolin A. V. To the study of gooseberry and raspberry pollinator bees (Hymenoptera: Apiformes) in the city of Donetsk. – The article, based on many years of observations of the author, provides a list of bee species of the main pollinators of gooseberry (*Ribes reclinatum* L.) and raspberry (*Rubus idaeus* L.) flowers identified in the household garden plots of the city of Donetsk. For gooseberries, 14 species of bees from 9 genera and 4 families were recorded, for raspberries, 15 species of bees from 8 genera and 5 families. Three species of bees (*Andrena varians*, *A. haemorrhoea* and *Apis mellifera*) are considered to be the main pollinators of gooseberries. The main pollinators of raspberries include bumblebees (*Bombus hypnorum*, *B. terrestris*, *B. lapidarius*), honeybees (*Apis mellifera*), bees *Andrena nitida* and *Lasioglossum sexnotatum*. To attract pollinating bees, artificial nest structures should be installed.

Key words: gooseberry, raspberry, pollinating bees, Donetsk city.

УДК 595.76

© Е. Ю. Савченко

ФАУНА И ЭКОЛОГИЯ ГЕРПЕТОБИОНТНЫХ ЖЕСТКОКРЫЛЫХ Г. ДОНЕЦКА

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

Савченко Е. Ю. Фауна и экология герпетобионтных жесткокрылых г. Донецка. – В работе рассмотрена эколого-фаунистическая структура комплекса герпетобионтных жесткокрылых г. Донецка, проведено сравнение видового состава, доминантных группировок, проанализированы экологические и трофические группы наземных жесткокрылых.

Ключевые слова: наземные жесткокрылые, доминанты, экологические группы, трофические группы.

Введение

Одной из важных проблем в настоящее время является прогнозирование и оценка состояния городской среды. Урбанизация вызывает изменение среды на значительной территории и создает условия для внедрения в состав формирующихся здесь экосистем организмов, ранее не свойственных природным экосистемам данного региона. Представители наземных жесткокрылых являются важным компонентом фауны урбанизированных систем, поскольку их применение для диагностики антропогенных воздействий связано, прежде всего, с быстротой реакции данной группы организмов на любые отклонения от нормы в окружающей среде изменением численности или сменой видового состава. Герпетобионтные жесткокрылые встречаются на территориях различной степени нарушенности, в том числе урбанизированных, и быстро реагируют на изменение экологической ситуации, что делает их удобным объектом для оценки качества среды городских биоценозов [2, 3].

Анализу структуры герпетобионтной мезофауны урбоценозов Донбасса в целом и наземных жесткокрылых в частности был посвящен ряд работ [1, 4–8], тем не менее, городская фауна наземных жесткокрылых, несмотря на их существенную роль в урбанизированных экосистемах и хозяйственное значение, остается одной из наименее изученных групп.

В связи с этим, целью нашей работы был сравнительный эколого-фаунистический анализ герпетобионтных жесткокрылых г. Донецка.

Материал и методы исследования

Сборы материала проводились в 2013, 2016 и 2018 гг. на территории г. Донецка при помощи почвенных ловушек Барбера, которые устанавливались в окрестностях «Путиловского леса» (2013 г.), на территории ГУ «Донецкий ботанический сад» (ДБС) (2016 г.) и в пос. Щегловка (2018 г.) три раза в год (весной, летом и осенью), в количестве 20 шт. с экспозицией в 7 суток. В качестве стационаров были выбраны степные участки (участок с умеренной степенью антропогенной трансформации в ДБС; участок, служащий местом свалки бытовых отходов в пос. Щегловка; участок в непосредственной близости с «Путиловским лесом»); террикон и берег р. Кальмиус в пос. Щегловка; байрачный лес и луговой участок в «Путиловском лесу»; терновник, березовая аллея и лесополоса в ДБС.

Для сравнения степени видового сходства комплексов Carabidae использовался кластерный анализ в программе Past. При определении структуры доминантных группировок Coleoptera исследуемых стационаров применялся показатель индекса доминирования по шкале классов Н.-Д. Engelmann [9], где: E – эудоминант ($\geq 32\%$), D – доминант (10,0–31,9 %), SD – субдоминант (3,2–10,0 %), R – рецедент (1,0–3,1 %), SR – субрецидент ($< 1,0\%$).

Результаты и обсуждение

Всего за период исследований отработано в сумме 4200 ловушко-суток и отловлено 8978 экз. насекомых из 6 отрядов. Для всех исследованных стационаров характерно значительное преобладание отряда Coleoptera, который является одной из наиболее показательных групп, как в численном, так и в видовом отношении. Его удельная доля составляла от 5,51 % в терновнике ДБС до 90,40 % на степном участке пос. Щегловка (табл. 1).

Таблица 1

Удельная доля (%) насекомых исследованных стационаров за весь период исследований

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Orthoptera	0,1	–	0,84	49,4	1,6	9,2	12	–	–	–
Hemiptera	0,7	0,1	9,75	0,15	6,5	8,2	3,3	2,0	1,0	0,8
Dermaptera	–	–	–	–	0,4	–	0,5	2,4	0,4	0,1
Coleoptera	25,2	13,6	37,05	5,51	90,4	80,2	83,6	51,1	35,4	88,2
Carabidae	2,3	4,3	29,3	5,41	32,7	45,4	62,2	70,1	38,6	42,5
Histeridae	–	–	2,26	2,7	–	–	–	0,2	0,6	1,6
Silphidae	0,3	–	0,75	10,81	–	–	3,5	15,2	20,4	5,2
Staphylinidae	4,3	18,3	6,77	13,51	–	–	1,6	6,4	10,3	5,2
Scarabaeidae	–	–	5,26	8,11	0,5	1,7	1,9	0,8	1,1	0,6
Geotrupidae	–	–	–	–	1,6	–	0,7	–	–	–
Dermestidae	5,2	–	5,26	–	5	3,8	1,6	–	–	–
Tenebrionidae	3,5	–	39,1	21,62	43,5	26,6	8,7	–	20,9	40,7
Curculionidae	8,3	74,2	3,76	5,41	6,9	2,1	3,3	1,2	2,0	0,9
Cerambycidae	–	–	4,51	13,51	0,1	–	–	–	0,8	0,1
Chrysomelidae	–	1,1	1,5	–	–	–	–	0,5	0,6	0,3
Meloidae	–	–	–	–	–	0,7	–	–	–	–
Erotylidae	–	–	1,5	2,7	–	–	–	–	–	–
Elateridae	0,3	2,2	–	16,22	–	–	–	1,0	0,8	0,3
Catopidae	0,2	–	–	–	–	–	–	0,5	1,1	1,2
Cryptophagidae	–	–	–	–	–	–	–	3,5	1,9	0,4
Coccinellidae	–	–	–	–	–	–	–	–	0,6	0,3
Anthicidae	–	–	–	–	–	–	–	0,6	0,3	0,7
Cucujidae	0,2	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Bostrychidae	0,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Lagriidae	0,2	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Hymenoptera	72,1	85,1	50,42	44,2	0,9	2,1	0,7	43,5	63,1	10,5
Diptera	0,8	1,2	1,95	0,74	0,2	0,3	–	1,0	0,1	0,4
Всего, экз.	2263	1260	359	672	926	293	426	1226	819	734

Примечание. ГУ «Донецкий ботанический сад»: 1 – березовая аллея, 2 – лесополоса, 3 – степной участок, 4 – терновник; пос. Щегловка: 5 – степной участок, 6 – террикон, 7 – берег р. Кальмиус; «Путиловский лес»: 8 – байрачный лес, 9 – луговой участок, 10 – степной участок.

Из 20 зарегистрированных в районе исследований семейств жесткокрылых только 6 (Carabidae, Silphidae, Staphylinidae, Tenebrionidae, Cerambycidae, Curculionidae) относятся к собственно герпетобию, доля их от численности всего отряда Coleoptera составила не менее 5 % хотя бы на одном из участков.

Всего в результате исследований было зарегистрировано 84 вида наземных жесткокрылых из 54 родов. На рис. 1 показана диаграмма представленности доминантных семейств наземных жесткокрылых. Наибольшим количеством видов представлено семейство Carabidae – 42. Семейство Staphylinidae насчитывает 16 видов, Tenebrionidae и Curculionidae представлено семью видами каждое, Cerambycidae – двумя видами.

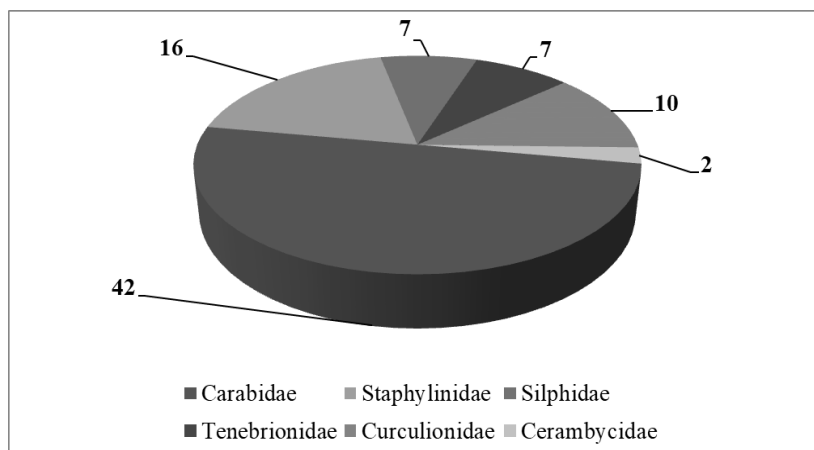


Рис. 1. Представленность семейств герпетобионтных жесткокрылых г. Донецка

Для каждого из выбранных стационаров характерен свой комплекс доминантных группировок (табл. 2).

Таблица 2

Структура доминирования комплексов жесткокрылых исследованных стационаров г. Донецка

Биотоп	Структура доминирования
«Путиловский лес» – байрачный лес	<i>Pterostichus oblongopunctatus</i> (Fabricius, 1787)
«Путиловский лес» – луговой участок	<i>Pterostichus melanarius</i> (Illiger, 1798) <i>Harpalus rufipes</i> (De Geer, 1774)
«Путиловский лес» – степной участок	<i>Opatrum sabulosum</i> (Linnaeus, 1761), <i>Brachinus crepitans</i> (Linnaeus, 1758), <i>Amara aenea</i> (De Geer, 1774), <i>Microlestes</i> sp.
ДБС – березовая аллея, лесополоса	<i>Otiorhynchus</i> sp.
ДБС – степной участок	<i>Opatrum sabulosum</i>
пос. Щегловка – степной участок	<i>Opatrum sabulosum</i> , <i>Gonocephalum pygmaeum</i> (Steven, 1829), <i>Harpalus picipennis</i> Duftschmid, 1812
пос. Щегловка – террикон	<i>Opatrum sabulosum</i> , <i>Calathus distinguendus</i> Chaudoir, 1846, <i>Gonocephalum pygmaeum</i>
пос. Щегловка – берег р. Кальмиус	<i>Carabus errans</i> Fischer von Waldheim, 1823, <i>Brachinus brevicollis</i> Motschulsky, 1844, <i>Opatrum sabulosum</i>

«Путиловский лес». В байрачном лесу в число доминантов входят Carabidae (70,1 %), Silphidae (15,2 %) и Staphylinidae (15,2 %). В состав доминантов на данном участке входил *Pterostichus oblongopunctatus* (Fabricius, 1787) – здесь его удельная доля достигала 58 %. На других стационарах данный вид не был выявлен. Silphidae представлены в байрачном лесу тремя видами: *Silpha carinata* (Herbst, 1784), *Xylodrepa quadripunctata* (Linnaeus, 1761),

Phosphuga atrata (Linnaeus, 1758). Из представителей семейства Staphylinidae на данном участке зарегистрировано 10 видов: *Tachyporus solutus* Erichson, 1839, *Aleochara erythroptera* Gravenhorst, 1806, *Drusilla canaliculata* (Fabricius, 1787), *Pella limbatus* (Paykull, 1789), *Anotylus rugosus* (Fabricius, 1775), *Heterothops dissimilis* (Gravenhorst, 1802), *Gabrieus osseticus* (Kolenati, 1846), *Ocypus brunnipes* (Fabricius, 1781), *Ocypus ophthalmicus ophthalmicus* (Scopoli, 1763), *Staphylinus caesareus* Cederhjelm, 1798. Представители семейства Tenebrionidae на территории байрачного леса не выявлены.

Удельная доля доминантных семейств на луговом участке составила: Carabidae – 38,6 %, Silphidae – 20,4 %, Staphylinidae – 10,3 % и Tenebrionidae – 20,9 %. На территории данного участка было выявлено два доминантных вида: *Pterostichus melanarius* (Illiger, 1798) (46 %) и *Harpalus rufipes* (De Geer, 1774) (19 %). Из представителей семейства мертвоедов, кроме *Silpha carinata*, здесь отмечен также *Thanatophilus rugosus* (Linné, 1758). Семейство Staphylinidae представлено 5 видами: *Sunius melanocephalus* (Fabricius, 1792), *Ocypus brunnipes*, *Ocypus ophthalmicus ophthalmicus*, *Staphylinus caesareus*, *Drusilla canaliculata*. Чернотелки представлены всего двумя видами, из которых наиболее многочисленен *Opatrum sabulosum* (Linnaeus, 1761), удельная доля которого составила 98 %. Обнаружен также один экз. *Gonocephalum pusillum* (Fabricius, 1792).

Степной участок «Путиловского леса» характеризуется высокой удельной долей представителей сем. Tenebrionidae, которые на данном участке достигают своей максимальной численности среди всех исследованных стационаров (их удельная доля составляет 40 %). Интересно отметить тот факт, что такая высокая численность обеспечивается доминированием всего одного вида – *Opatrum sabulosum*. Данный вид обладает весенним типом сезонной динамики – наибольшей своей численности он достигает в мае (209 экз. – 96 %). Кроме того, на степном участке зарегистрированы также *Gnaptor spinimanus* (Pallas, 1781) и *Pedinus femoralis* Linnaeus, 1767. Осенью представители чернотелок не регистрировались. Что касается семейства Staphylinidae, то на степном участке зарегистрировано 9 видов: *Sunius melanocephalus*, *Bisnius nitidulus* (Gravenhorst, 1802), *Philonthus lepidus* (Gravenhorst, 1802), *Philonthus quisquiliarius* (Gyllenhal, 1810), *Platydracus chalconecephalus* (Fabricius, 1801), *Ocypus fulvipennis* Erichson, 1840, *Ocypus ophthalmicus ophthalmicus*, *Aleochara erythroptera*, *Drusilla canaliculata*. Семейство мертвоедов представлено одним видом – *Silpha carinata*. Из представителей жуков для данного участка характерно три доминантных вида: *Brachinus crepitans*, *Amara aenea* и *Microlestes* sp.

Анализируя состав доминантных группировок наземных жесткокрылых на территории ГУ «Донецкий ботанический сад», можно отметить, что в березовой аллее удельная доля представителей семейств наземных жесткокрылых варьировала от 0,3 % (мертвоеды) до 8,3 % (долгоносики). В лесополосе в число доминантов входили жуки (4,3 %), стафилиниды (18,3%) и долгоносики (74,2%). На степном участке доминантную группировку составили чернотелки – здесь их доля превышала 39 % (среди представителей семейства на данном участке зарегистрированы *Crypticus quisquilius* (Linnaeus, 1761), *Cylindronotus gilvipes* (Menetries, 1849), и доминантный вид *Opatrum sabulosum*), и жуки (29,3 %). В терновнике из числа наземных жесткокрылых доминировали стафилиниды (13,5 %), сальфиды (10,8 %) и чернотелки (8,1 %). Очень высокая численность в березовой аллее и в лесополосе отмечена в сем. Curculionidae – за счет массового лёта представителей рода *Otiorhynchus* sp.

Для комплекса доминантных группировок герпетобионтных жесткокрылых пос. Щегловка характерно преобладание Carabidae и Tenebrionidae. На степном участке и в окрестностях террикона удельная доля этих семейств составила 32,7; 45,4 % и 43,5; 26,6 % соответственно. Удельная доля эудоминанта *Opatrum sabulosum* – 33,9 % от общего количества жесткокрылых. В число доминантов также входили *Gonocephalum pygmaeum* (13,5 %) и *Harpalus picipennis* (10,2 %). В число доминантов в районе террикона входило 3 вида: *Opatrum sabulosum* (20,9 %), *Calathus distinguendus* (17,9 %) и *Gonocephalum pygmaeum*

(10,2 %). Доля жужелиц на берегу р. Кальмиус составила 62,2 %, чернотелок – 8,7 %. В числе эудоминантов здесь можно отметить *Carabus errans* Fischer von Waldheim, 1823, удельная доля данного вида составила 34,8 %. На данном участке также было отмечено два вида-доминанта: *Brachinus brevicollis* (19,1 %) и *Opatrum sabulosum* (10,1 %).

Таким образом, на первом месте, как по численности, так и по видовому составу среди зарегистрированных семейств герпетобионтных жесткокрылых стоит семейство Carabidae.

Всего в результате исследования было выявлено 42 вида жужелиц из 21 рода. Максимальное видовое разнообразие на стационарных участках отмечено в байрачном лесу – 23 вида, наименьшее – на участках ДБС (рис. 2).

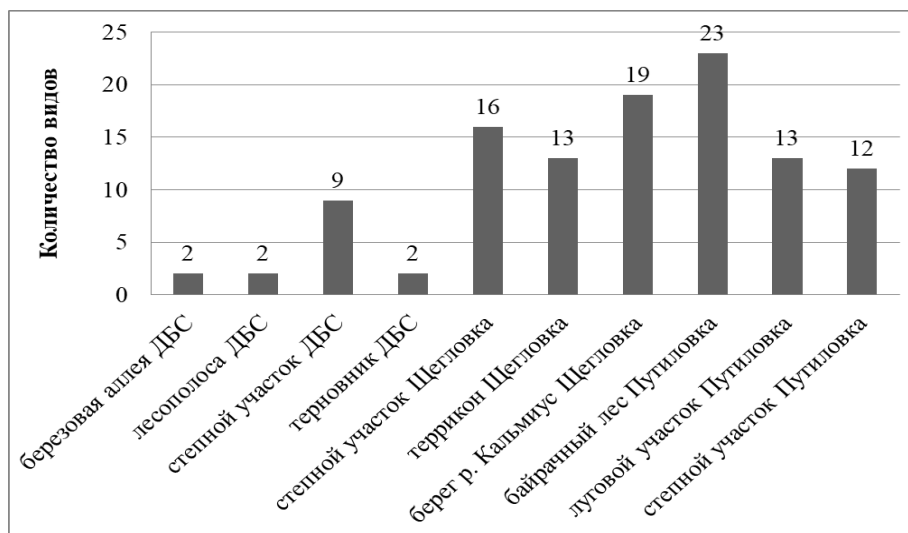


Рис. 2. Видовой состав и стациальное распределение Carabidae на исследованных стационарах г. Донецка

Наибольшее сходство по видовому составу жужелиц показали степной и луговой участки «Путиловского леса» и степной участок ДБС. Наименьшую степень видового сходства с остальными стационарами продемонстрировал байрачный лес в «Путиловском лесу» (рис. 3).

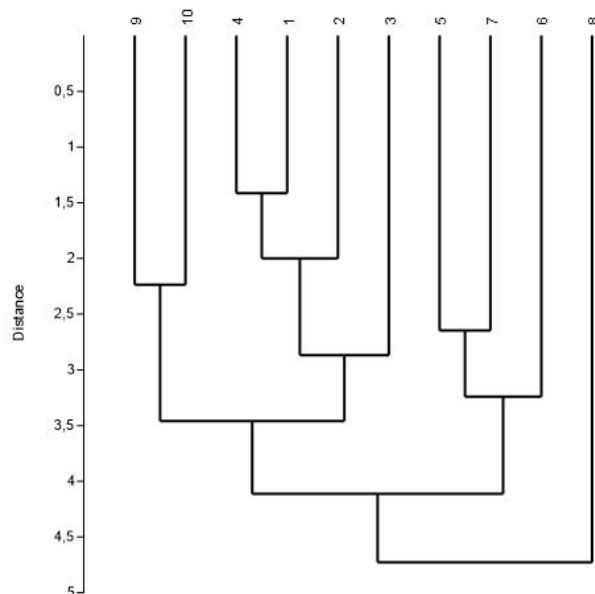


Рис. 3. Кладограмма степени видового сходства Carabidae исследованных стационаров г. Донецка: ГУ «Донецкий ботанический сад»: 1 – березовая аллея, 2 – лесополоса, 3 – степной участок, 4 – терновник; пос. Щегловка: 5 – степной участок, 6 – террикон, 7 – берег р. Кальмиус; «Путиловский лес»: 8 – байрачный лес, 9 – луговой участок, 10 – степной участок

Анализируя распределение герпетобионтных жесткокрылых г. Донецка по экологическим группам в зависимости от степени увлажненности предпочитаемых биотопов, можно отметить, что самую многочисленную группу представляют мезоксерофилы (46 видов или 54,8 %). К группе мезофилов относится 20 видов (23,8 %), ксерофилов – 14 видов (16,6 %) и к группе мезогигрофилов – 4 вида (4,8 %) (рис. 4).

Что касается распределения наземных жесткокрылых урбоценозов г. Донецка по трофическим группам, то самую многочисленную по числу видов группу составили сапрофаги (32 вида или 38,1 %), на втором месте по числу видов – группа зоофагов (27 видов или 32,1 %), на третьем месте – группа фитофагов (25 видов или 29,8 %) (рис. 5). Анализируя распределение трофических групп по исследованным участкам, можно отметить, что оно имеет в целом равномерный характер.



Рис. 4. Распределение жесткокрылых г. Донецка по экологическим группам в зависимости от степени увлажненности предпочитаемых биотопов

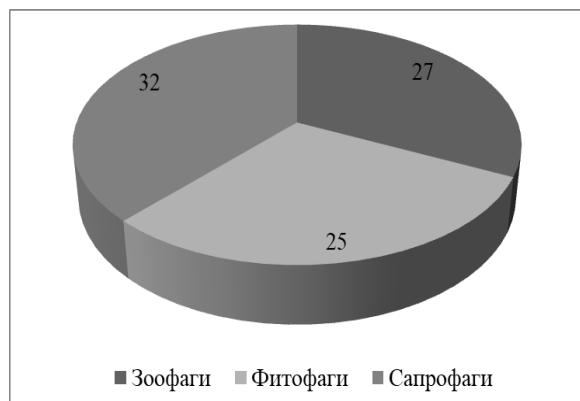


Рис. 5. Распределение жесткокрылых урбоценозов г. Донецка по трофическим группам

Таким образом, в результате различной степени трансформации урбоценозов наблюдается перестройка сообществ герпетобионтных жесткокрылых. Несмотря на некоторое сходство в составе экологических и трофических групп, в целом структура комплексов наземных жесткокрылых имеет свои особенности, как в количественных, так и в качественных показателях, что особенно заметно на уровне доминантных группировок и видового состава. Это, вероятно, связано с различиями экологических условий отдельных местообитаний, а также характером и интенсивностью антропогенного пресса и техногенного загрязнения.

В целом, герпетобионты демонстрируют высокую степень чувствительности и широкий спектр ответной реакции на специфику условий урбоценозов при значительной устойчивости к антропогенному прессу [3].

Выводы

Результаты, полученные в ходе проведенных исследований, формируют представление о герпетобионтных комплексах жесткокрылых урбанизированной территории промышленного центра Донбасса. Данные о структуре и изменениях герпетобия урбанизированных ценозов, видовом составе, закономерностях биотопического распределения могут быть использованы в мониторинговых исследованиях.

Список литературы

1. Аносов А. В., Савченко Е. Ю. Видовой состав и биотопическое распределение наземных жесткокрылых г. Горловка // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов : сб. матер. XIV Междунар. конф. асп. и студ. Донецк : ГОУ ВПО «ДОННТУ», 2020. С. 168–169.

2. *Бабенко А. С.* Почвенные беспозвоночные как индикаторы состояния территории // Геохимия живого вещества : Тез. докл. Междунар. молод. школы-семинара, посв. 150-летию со дня рожд. В. И. Вернадского (1863–2013 гг.). Томск, 2013. С. 40–42.
3. *Еланцева А. А.* Насекомые-герпетобионты в городских насаждениях // Изв. Самарского науч. центра РАН. 2015. Т. 17, № 4. С. 134–140.
4. *Мартынов В. В.* Изменение спектра жизненных форм жуков (Coleoptera, Carabidae) по городскому градиенту // Загальна і прикладна ентомологія в Україні : Тези наук. конф. (Львів, 15–19 серпня 2005 р.). Львів, 2005. С. 138–140.
5. *Савченко Е. Ю., Сухинина Е. В.* Эколого-фаунистический анализ насекомых г. Донецка, собранных в ходе летней учебно-полевой практики // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2021. № 1–2. С. 60–66.
6. *Савченко Е. Ю., Токарь А. И.* Эколого-фаунистический анализ герпетобионтных жесткокрылых антропогенно трансформированных ценозов Донбасса // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2020. № 1–2. С. 56–64.
7. *Семыкина О. А., Савченко Е. Ю.* Жесткокрылые – герпетобионты (Coleoptera: Carabidae, Tenebrionidae) г. Макеевки // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов : сб. докл. XII Междунар. конф. асп. и студ. Донецк : ГОУ ВПО «ДОННТУ», 2018. С. 151–153.
8. *Токарь А. И.* Фауна и экология наземных жесткокрылых антропогенно трансформированных ценозов Донбасса // Вестн. студ. науч. общества ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет». Донецк : ДонНУ, 2020. Вып. 12, т. 1. С. 148–152.
9. *Engelmann H.-D.* Zur Dominanzklassifizierung von Bodenarthropoden // Pedobiologia. 1978. Bd. 18, Hf. 5/6. S. 378–380.

Savchenko E. Yu. Fauna and ecology of herpetobiontic coleopterans of Donetsk. – The ecological and faunistic structure of the complex of herpetobiontic coleopterans of Donetsk is considered, the species composition, dominant groups are compared, the ecological and trophic groups of terrestrial beetles are analyzed.

Key words: herpetobiontic coleopterans, dominants, ecological groups, trophic groups.

© А. Д. Штирц

**ПАНЦИРНЫЕ КЛЕЩИ ТЕРРИКОНОВ ШАХТ ИМ. КАЛИНИНА № 5–6
И «ЦЕНТРАЛЬНО-ЗАВОДСКАЯ» № 3 Г. ДОНЕЦКА***ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
283050, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: eco-1999@mail.ru*

Штирц А. Д. Панцирные клещи терриконов шахт им. Калинина № 5–6 и «Центрально-Заводская» № 3 г. Донецка. – Проанализированы основные экологические характеристики сообществ панцирных клещей на терриконах шахт им. Калинина № 5–6 и «Центрально-Заводская» № 3 г. Донецка. Интегральный показатель экологической структуры сообществ панцирных клещей на терриконе шахты им. Калинина № 5–6 составил 12 баллов, на терриконе шахты «Центрально-Заводская» № 3 – 14 баллов, что соответствует III *среднему уровню отклонений от нормы*.

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

Введение

Данная публикация продолжает цикл работ, посвященных исследованиям видового состава и экологической структуры сообществ панцирных клещей отвалов угольных шахт Донбасса [2, 3, 6–9].

Целью данного исследования являлось установление особенностей экологической структуры сообщества панцирных клещей на терриконах шахт им. Калинина № 5–6 и «Центрально-Заводская» № 3 г. Донецка.

Усеченный конический, озелененный, не действующий террикон шахты им. Калинина № 5–6 расположен в Калининском районе г. Донецка. Его высота – 28 м, площадь основания – 58 тыс. м², объем отходов – 900 тыс. м³, количество отходов – 1620 тыс. т [4].

Конический, озелененный, не действующий террикон шахты «Центрально-Заводская» № 3 находится в Киевском районе г. Донецка. Высота – 66 м, площадь основания – 52 тыс. м², объем отходов – 1256 тыс. м³, количество отходов – 2260 тыс. т. Террикон расположен достаточно далеко от шахты: острый дефицит места на шахтном дворе вынудил пойти на экономически достаточно затратный шаг – транспортировать породу по ж/д в сторону «Ветки» и обустраивать террикон [4].

Материал и методы исследования

Исследовали видовой состав и экологическую структуру населения панцирных клещей на вершине, склоне и у подножия терриконов шахт им. Калинина № 5–6 и «Центрально-Заводская» № 3 г. Донецка. На терриконе шахты им. Калинина № 5–6 по общепринятой методике Е. М. Булановой-Захваткиной [1] собрано и обработано 21 стандартную пробу объемом 250 см³ (по 7 проб с каждой позиции техногенной катены), из которых с помощью термоэлектров Тульгрена извлечено 117 экз. имаго орибатид, относящихся к 17 видам. На терриконе шахты «Центрально-Заводская» № 3 из 21 пробы было извлечено 219 экз. имаго панцирных клещей, относящихся к 13 видам.

Результаты и обсуждение

Результаты проведенного исследования на терриконе шахты им. Калинина № 5–6 представлены в табл. 1.

Анализируя показатель *средней плотности населения* орибатид на терриконе, следует отметить в целом невысокие значения: на вершине террикона плотность была минимальной – 2910 экз./м², на его склоне этот показатель был максимальным – 3600 экз./м², у подножия – 3430 экз./м² (рис. 1). **Видовое богатство** панцирных клещей на терриконе также невелико и варьирует от 9 видов на склоне (минимум) до 11 на вершине и у подножия.

Таблица 1

Видовой состав, численность и индексы доминирования панцирных клещей террикона шахты им. Калинина № 5–6 г. Донецка

№ п\п	Вид	Вершина	Склон	Подножие
1	<i>Acrotritita (Rhysotritia) ardua affinis</i> Sergienko, 1989	-	-	1/1,67% R
2	<i>Microzetorcheses emeryi</i> (Coggi, 1898)	1/1,96% R	1/1,59% R	-
3	<i>Litholestes altitudinis</i> Grandjean, 1951	9/17,65% D	14/22,22% D	11/18,33% D
4	<i>Tectocephus velatus</i> (Michael, 1880)	1/1,96% R	-	-
5	<i>Multioppia glabra</i> (Mihelcic, 1955)	1/1,96% R	-	-
6	<i>Multioppia lanceata</i> Moritz, 1966	8/15,69% D	7/11,11% SD	4/6,67% SD
7	<i>Ramusella mihelcici</i> (Perez-Inigo, 1965)	2/3,92% R	-	-
8	<i>Oppia</i> sp.	-	1/1,59% R	-
9	<i>Suctobelbella perpendiculata</i> (Forsslund, 1958)	-	1/1,59% R	1/1,67% R
10	<i>Suctobelbella subtrigona</i> (Oudemans, 1900)	-	-	1/1,67% R
11	<i>Suctobelbella</i> sp.	1/1,96% R	-	-
12	<i>Zigoribatula concinna</i> Iordansky, 1990	-	-	1/1,67% R
13	<i>Zigoribatula frisiae</i> (Oudemans, 1900)	-	-	2/3,33% R
14	<i>Protoribates glaber</i> Mihelcic, 1955	1/1,96% R	4/6,35% SD	3/5,00% SD
15	<i>Protoribates capucinus</i> Berlese, 1908	24/47,06% E	25/39,68% D	27/45,00% E
16	<i>Tectoribates ornatus</i> (Schuster, 1958)	2/3,92% R	1/1,59% R	2/3,33% R
17	<i>Galumna lanceata</i> (Oudemans, 1900)	1/1,96% R	9/14,29% D	7/11,67% SD
Численность, экз. в 7 пробах		51	63	60
Количество видов		11	9	11
Средняя плотность, экз./м ²		2910	3600	3430

Примечание. Индексы доминирования по шкале Г. Энгельмана [10] для микроартропод: E – эудоминант (> 40 %); D – доминант (12,5–39,9 %); SD – субдоминант (4,0–12,4 %); R – рецедент (1,3–3,9 %); SR – субрецидент (<1,3 %).

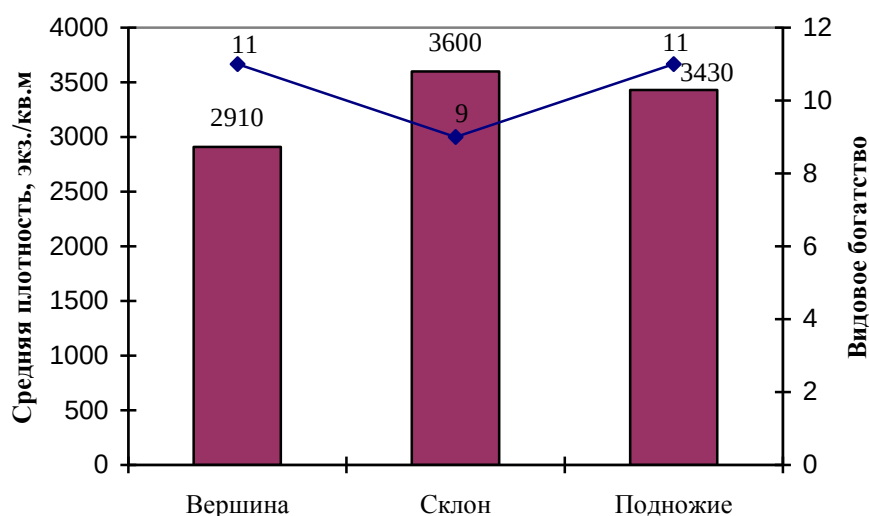


Рис. 1. Средняя плотность населения и видовое богатство панцирных клещей террикона шахты им. Калинина № 5–6 г. Донецка

Индексы *экологического разнообразия* сообществ панцирных клещей невысокие. Наиболее показательный индекс Шеннона незначительно варьирует по профилю техногенной катены: от 1,66 нат на вершине и склоне до 1,75 нат у подножия террикона.

В *структуре доминирования* сообщества панцирных клещей на вершине террикона отмечено наличие одного эудоминанта *P. carpusinus* (47,06 %), двух доминантов – *L. altitudinis* (17,65 %) и *M. laniseta* (15,69 %), 8 рецедентных видов составляют 19,60 %. На склоне террикона отмечено три доминанта – *P. carpusinus* (39,68 %), *L. altitudinis* (22,22 %) и *G. lanceata* (14,29 %); на долю двух субдоминантов приходится 17,46 %, четырёх рецедентных видов – 6,36 %. В структуре доминирования орибатид у подножия террикона на долю эудоминанта *P. carpusinus* приходится 45,00 %, *L. altitudinis* отнесен к доминантам (18,33 %), субдоминанты представлены тремя видами (23,34 %), группа рецедентов включает 6 видов (13,34 %).

Анализ *соотношения жизненных форм* показывает (рис. 2), что на терриконе преобладают представители вторично неспециализированных форм: их доля варьирует от 47,62 % на вершине до 58,33 % у подножия. К доминирующим адаптивным типам орибатид также относятся обитатели поверхности (21,57 % на вершине – 38,10 % на склоне) и обитатели мелких почвенных скважин (10,01 % у подножия – 23,53% на вершине). У подножия появляются обитатели толщи подстилки, а представители глубокопочвенных и первично неспециализированных форм на терриконе не обнаружены.

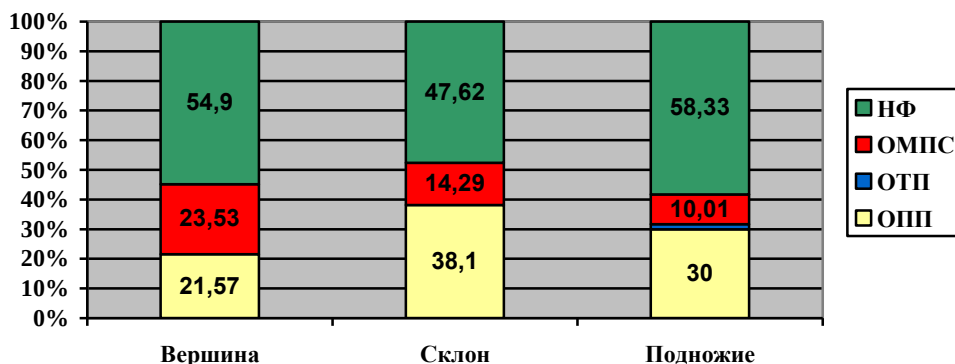


Рис. 2. Соотношение жизненных форм панцирных клещей на терриконе шахты им. Калинина № 5–6 г. Донецка: ОПП – обитатели поверхности, ОТП – обитатели толщи подстилки, ОМПС – обитатели мелких почвенных скважин, НФ – вторично неспециализированные формы

Интегральный показатель экологической структуры сообществ панцирных клещей, рассчитанный по предложенной нами шкале [5], на вершине, склоне и у подножия террикона шахты им. Калинина № 5–6 составил по 12 баллов, что соответствует *среднему уровню отклонений от нормы* (III уровень).

Результаты проведенного исследования на терриконе шахты «Центрально-Заводская» № 3 представлены в табл. 2.

Анализируя *среднюю плотность* населения орибатид следует отметить, что на склоне террикона этот показатель минимальный (3490 экз./м²), а на его вершине и у подножия он был практически одинаковым (рис. 3). *Видовое богатство* панцирных клещей на данном терриконе также является невысоким и варьирует от 7 видов на склоне до 12 на вершине.

Индекс *экологического разнообразия* Шеннона был максимальным на вершине (1,88 нат), у подножия террикона это показатель составил 1,77 нат, минимум отмечен на склоне – 1,66 нат.

Таблица 2

Видовой состав, численность и индексы доминирования панцирных клещей террикона шахты «Центрально-Заводская» № 3 г. Донецка

№ п\п	Вид	Вершина	Склон	Подножие
1	<i>Steganacarus</i> sp.	7/9,09% SD	12/19,67% D	15/18,99% D
2	<i>Notrus biciliatus</i> C. L. Koch, 1841	1/1,30% R	-	1/1,27% SR
3	<i>Allodamaeus rossicus</i> B.-Z., 1967	1/1,30% R	-	-
4	<i>Microzetorchestes emeryi</i> (Coggi, 1898)	32/41,56% E	18/29,51% D	27/34,18% D
5	<i>Tectocephus velatus</i> (Michael, 1880)	12/15,58% D	15/24,59% D	8/10,13% SD
6	<i>Multioppia glabra</i> (Mihelcic, 1955)	3/3,90% R	9/14,75% D	11/13,92% D
7	<i>Suctobelbella perpendiculata</i> (Forsslund, 1958)	-	2/3,28% R	2/2,53% R
8	<i>Suctobelbella</i> sp.	3/3,90% R	1/1,64% R	12/15,19% D
9	<i>Peloribates europaeus</i> Willmann, 1935	2/2,60% R	-	-
10	<i>Protoribates glaber</i> Mihelcic, 1955	6/7,79% SD	4/6,56% SD	-
11	<i>Punctoribates liber</i> Pavlitshenko, 1991	1/1,30% R	-	-
12	<i>Tectoribates ornatus</i> (Schuster, 1958)	8/10,39% SD	-	2/2,53% R
13	<i>Galumna lanceata</i> (Oudemans, 1900)	1/1,30% R	-	1/1,27% SR
Численность, экз. в 7 пробах		77	61	79
Количество видов		12	7	9
Средняя плотность, экз./м ²		4400	3490	4510

Примечание. См. табл. 1.

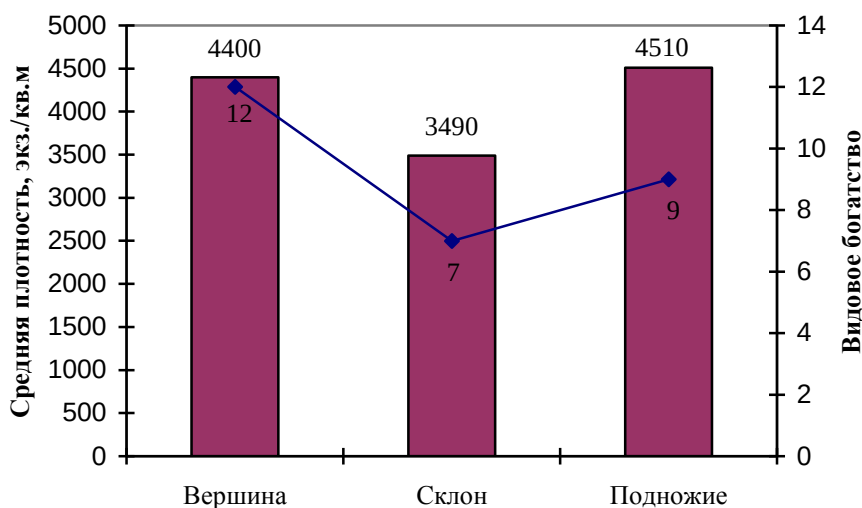


Рис. 3. Средняя плотность населения и видовое богатство панцирных клещей террикона шахты «Центрально-Заводская» № 3 г. Донецка

В **структуре доминирования** панцирных клещей на вершине террикона на долю эудоминанта *M. emeryi* приходится 41,56 %, доминанта *T. velatus* – 15,58 %, субдоминантов – 3 вида (27,27 %), рецедентов – 7 видов (15,60 %). На склоне террикона количество доминантов возрастает до 4-х: *M. emeryi* (29,51 %), *T. velatus* (24,59 %), *Steganacarus* sp. (19,67 %) и *M. glabra* (14,75 %). Субдоминанты представлены одним видом (6,56 %), рецеденты – двумя (4,92 %). У подножия террикона также отмечены 4 доминанта: *M. emeryi* (34,18 %), *Steganacarus* sp. (18,99 %), *Suctobelbella* sp. (15,19 %) и *M. glabra* (13,92 %), на долю двух рецедентов приходится 5,06 % и появляются субрецеденты (2 вида, 2,54 %).

Население панцирных клещей террикона шахты «Центрально-Заводская» № 3 представлено четырьмя *жизненными формами*. Следует отметить относительную равномерность распределения между основными адаптивными типами орибатид, особенно на склоне и у подножия. На вершине преобладают вторично неспециализированные формы и обитатели мелких почвенных скважин. Глубокопочвенные и первично неспециализированные формы на терриконе не обнаружены (рис. 4).

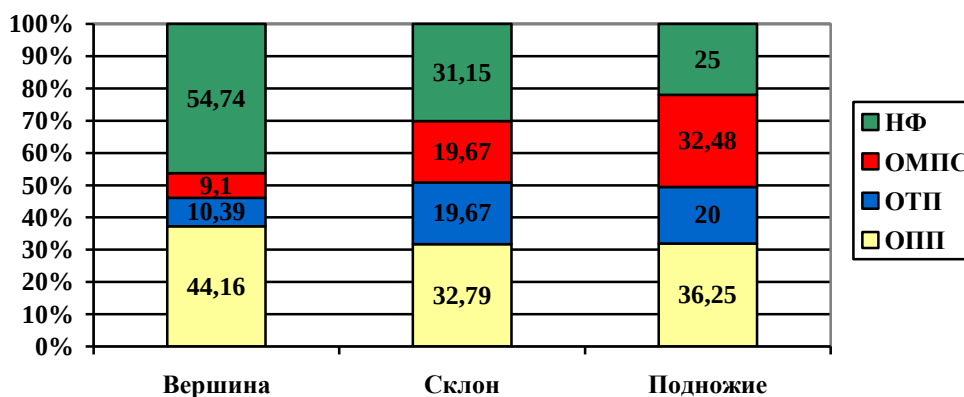


Рис. 4. Соотношение жизненных форм панцирных клещей на терриконе шахты «Центрально-Заводская» № 3 г. Донецка: ОПП – обитатели поверхности, ОТП – обитатели толщи подстилки, ОМПС – обитатели мелких почвенных скважин, НФ – вторично неспециализированные формы

Интегральный показатель экологической структуры сообществ панцирных клещей на вершине, склоне и у подножия террикона шахты «Центрально-Заводская» № 3 составил по 14 баллов, что соответствует *среднему уровню отклонений от нормы* (III уровень).

Выводы

Для исследуемых терриконов характерны невысокие показатели средней плотности населения панцирных клещей – 3310 и 4130 экз./м² соответственно для терриконов шахт им. Калинина № 5–6 и «Центрально-Заводская» № 3. Видовое богатство невелико – 17 и 13 видов соответственно. Экологическое разнообразие сообществ орибатид по индексу Шеннона также невысокое и варьирует от 1,66 до 1,88 нат на разных позициях техногенных катен. Структура доминирования панцирных клещей нарушена. Есть эудоминанты (или несколько доминантов с высоким процентным соотношением), редких видов мало, а субреценденты практически отсутствуют. Сообщества орибатид представлены четырьмя жизненными формами (глубокопочвенные и первично неспециализированные формы не обнаружены).

Интегральный показатель экологической структуры сообществ панцирных клещей на терриконе шахты им. Калинина № 5–6 составил 12 баллов, на терриконе шахты «Центрально-Заводская» № 3 – 14 баллов, что соответствует III *среднему уровню отклонений от нормы*. Несмотря на нарушенность экологической структуры населения панцирных клещей исследуемых терриконов, следует отметить, что сообщества на данном этапе восстановительной сукцессии техногенных ландшафтов находятся в удовлетворительном состоянии.

Список литературы

1. Буланова-Захваткина Е. М. Панцирные клещи – орибатиды. М. : Высш. шк., 1967. 254 с.
2. Винник Ю. А., Штирц А. Д. Экологическая структура населения панцирных клещей рекультивированного террикона шахты им. Шверника № 11–2 г. Донецка // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов : сб. докл. XII

Междунар. науч. конф. аспирантов и студентов (Донецк, 17–18 апреля 2018 г.). Донецк : ГОУ ВПО «ДОННТУ», 2018. С. 130–132.

3. Винник Ю. А., Штирц А. Д. Экологическая структура населения панцирных клещей террикона шахты Калинина № 7–8 г. Донецка // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов : сб. докл. XIII Междунар. науч. конф. аспирантов и студентов (Донецк, 16–17 апреля 2019 г.). Донецк : ГОУ ВПО «ДОННТУ», 2019. С. 158–161.

4. Терриконы Донецка. URL : https://miningwiki.ru/wiki/Терриконы_Донецка (дата обращения: 21.04.2022).

5. 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>

6. Штирц А. Д. Экологическая структура населения панцирных клещей рекультивированного террикона шахты № 3-3-бис г. Димитрова // 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. 300–303.

7. Штирц А. Д. Особенности экологической структуры сообществ панцирных клещей рекультивированного и нереккультивированного отвалов угольных шахт г. Макеевки // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2021. № 3–4. С. 73–86.

8. Штирц А. Д., Винник Ю. А. Экологическая структура населения панцирных клещей террикона шахты «Запореваляная» г. Донецка // Донецкие чтения 2018 : образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : Матер. III Междунар. науч. конф. (Донецк, 25 октября 2018 г.). Т. 2 : Хим.-биол. науки. Донецк : Изд-во ДонНУ, 2018. С. 261–264.

9. 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.

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

Shirts A. D. Oribatid mites of recultivation dumps of coal mines «Kalinina» № 5–6 and «Central-Zavodskaya» № 3 in Donetsk. – Analyzed the main ecological characteristics of the oribatid communities on recultivation dumps of coal mines «Kalinina» № 5–6 and «Central-Zavodskaya» № 3 in Donetsk. Integral indicator of the ecological structure of oribatid mites communities on the dump of coal mines «Kalinina» № 5–6 was 12 points, on the dump of coal mines «Central-Zavodskaya» № 3 – 14 points, which corresponds to the III average level of deviations from the norm.

Key words: oribatids mites, dumps of coal mines, recultivation, ecological structure of the community.

УДК 635.82

© С. И. Демченко, М. А. Воронина

**РОСТОВАЯ АКТИВНОСТЬ МИЦЕЛИЯ ПРИРОДНЫХ ШТАММОВ
FLAMMULINA VELUTIPES (CURT.: FR.) KARST. НА ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕДАХ
РАЗНОГО СОСТАВА**

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
283050, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: sdemch5@mail.ru

*Демченко С. И., Воронина М. А. Ростковая активность мицелия природных штаммов *Flammulina velutipes* (Curt.: Fr.) Karst. на питательных средах разного состава.* – Результаты исследований позволили сравнить скорость роста мицелия природных штаммов *Flammulina velutipes* на агаровых средах и растительных субстратах. Подобран оптимальный состав питательных сред и комплексных растительных субстратов для получения физиологически активной маточной культуры и посевного мицелия исследованных штаммов съедобного гриба. Выявлена штаммовая вариабельность ксилотрофного базидиомицета *F. velutipes* по ростовым показателям на агаровых средах.

Ключевые слова: ксилотрофный базидиомицет, *Flammulina velutipes*, штаммовая вариабельность, агаровые среды, комплексные растительные субстраты, скорость роста мицелия.

Введение

Специфические экологические условия Донбасса почти полностью исключают сбор, заготовку и употребление в пищу дикорастущих грибов. Поэтому в этом регионе большое внимание уделяется развитию промышленного, частного и приусадебного грибоводства [9]. Основными видами грибов, культивируемых в Донбассе, являются шампиньон двуспоровый (*Agaricus bisporus* (J. E. Lange) Imbach.) и вешенка обыкновенная (*Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kumm.). Однако в мире в промышленных условиях выращивают свыше 20 видов съедобных грибов, некоторые из которых обладают уникальными вкусовыми и лечебными свойствами [3]. В последние годы интерес к экзотическим грибам появился и в России, где начали функционировать грибоводческие предприятия, специализирующихся на выращивании малораспространенных видов макромицетов [2].

На кафедре физиологии растений ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет» разрабатываются адаптивные технологии культивирования более 10 видов съедобных базидиальных ксилотрофов, основанных на использовании отечественного сырья. Объектом наших исследований был ксилотрофный базидиомицет *Flammulina velutipes* (Curt.: Fr.) Karst. (опенок зимний). Если в Донбассе этот гриб в основном известен как дикорастущий гриб, то в мире он один из пяти наиболее распространенных съедобных грибов, культивируемых в искусственных условиях [9].

Одним из важных этапов при культивировании базидиомицетов является выращивание посевного мицелия. Процесс выращивания стерильного посадочного мицелия включает три стадии: 1) выращивание маточной культуры; 2) выращивание промежуточной культуры; 3) выращивание посевного мицелия [2, 3, 9]. Для выращивания маточной культуры и посевного мицелия необходимо подобрать такие питательные среды и растительные субстраты, которые могли бы обеспечить оптимальный рост мицелиальных культур гриба.

С этой целью нами был проведен сравнительный анализ скорости роста мицелия природных штаммов опенка зимнего при твердофазном культивировании на агаровых питательных средах разного состава и комплексных растительных субстратах.

Материал и методы исследования

В работе были использованы 5 штаммов *F. velutipes*, полученных из коллекции музея съедобных базидиальных грибов кафедры физиологии растений ГОУ ВПО «ДОННУ».

Музейные культуры гриба хранили при температуре +4 °С на картофельно-глюкозной агаровой среде (КГА) [8] с добавлением опилок из тополя.

Исследование ростовых процессов вегетативного мицелия *F. velutipes* проводили на трех группах агаровых сред:

- натуральных: агаризованное пивное сусло (СА), ячменный агар (ЯА);
- синтетических: среда Чапека с сахарозой и азотнокислым натрием (ЧА);
- комплексных: картофельно-глюкозный агар (КГА).

Все среды готовили и стерилизовали по общепринятым методикам [8].

Как посевной материал использовали 7-суточные культуры *F. velutipes*, выращенных на КГА. Диски мицелия диаметром 7 мм вырезали стерильным стальным сверлом по краю активно растущей колонии гриба, переносили их в центр чашки Петри с вышеуказанными питательными средами и инкубировали в термостате при температуре 26 °С. Диаметр колоний измеряли в двух взаимно перпендикулярных направлениях каждые сутки. Скорость радиального роста (V_R , мм/сут.) вегетативного мицелия *F. velutipes* рассчитывали в логарифмическую фазу роста по стандартной методике [6].

Критерием определения сроков получения физиологически активного посевного материала на агаровой среде служило время, необходимое для достижения радиуса колоний 45 мм на средах соответствующего состава.

Для обобщения полученных данных использовали показатель обобщенной скорости радиального роста мицелиальных культур (UV_R , мм/сут.), которую рассчитывали по средним арифметическим V_R , полученным на 4 средах.

При исследовании скорости роста мицелия штаммов *F. velutipes* на растительных субстратах в качестве субстрата использовали зерно пшеницы, ячменя, овса, проса, опилки тополя и опилки деревьев с добавлением 10 %-х пшеничных отрубей. Зерно злаков варили на протяжении 30 мин., после чего отцеживали лишнюю жидкость и помещали субстрат в стеклянные банки объемом 250 мл, заполняя их на три четверти. Банки закрывали ватно-марлевыми пробками и автоклавировали при 1,5 атм. на протяжении 1 ч. Все другие субстраты перед стерилизацией замачивали в водопроводной воде на 24 ч, затем тщательно отцеживали лишнюю жидкость и раскладывали в банки. Каждая банка содержала $90 \pm 1,5$ г субстрата.

После стерилизации субстрат охлаждали и инокулировали в стерильном помещении семисуточным мицелием штаммов *F. velutipes*, выращенным на КГА. Грибы культивировали при температуре 26 °С на протяжении 15–20 суток. Каждые 2–3-е суток учитывали степень обрастания субстрата мицелием культур. Для этого линейкой измеряли высоту субстрата, обросшего мицелием, с 4-х взаимно перпендикулярных сторон банки. На основании полученных данных вычисляли средние значения и определяли процент обросшего субстрата к общему его объему.

Повторность всех проведенных опытов была трехкратной. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили при 5 %-м уровне значимости с помощью дисперсионного анализа и множественного сравнения средних арифметических по критерию Дункана [4, 7].

Результаты и обсуждение

Агаровые среды определенного состава используются в практике производства посевного мицелия лекарственных и съедобных грибов на этапе получения инокулюма или так называемой маточной культуры [3, 9]. Кроме того, скорость радиального роста мицелия грибов на стадии линейной зависимости от времени культивирования является одним из важных количественных показателей, характеризующих тип жизненной стратегии организма и потенциальные возможности штаммов для освоения тех или иных природных и искусственных субстратов [1].

Поэтому на первом этапе наших исследований изучена скорость радиального роста вегетативного мицелия штаммов *F. velutipes* на агаровых средах разного состава, которые используются в практике отечественных исследований.

Анализ экспериментальных данных, приведенных в табл. 1, показал, что штаммы опенка зимнего проявили средний уровень изменчивости по скорости роста вегетативного мицелия на всех изученных питательных средах. Коэффициент вариации по этому показателю варьировал от 20 до 24 %. По ростовым показателям все исследованные штаммы *F. velutipes* можно отнести к экологической группе, которая характеризует Р-тип жизненной стратегии, так как скорость роста мицелия варьировала от 3,0 до 7,8 мм/сут.

Таблица 1

Скорость радиального роста (мм/сут.) вегетативного мицелия штаммов *F. velutipes* на агаровых средах разного состава при температуре 26 °С

Штаммы	Агаризованные питательные среды				УV _R
	СА	ЯА	КГА	ЧА	
КрПТ	6,4 ± 0,3	6,1 ± 0,1	6,3 ± 0,4	5,1 ± 0,2	6,0
ИБК	6,3 ± 0,2	5,6 ± 0,2	6,1 ± 0,1	5,7 ± 0,2	5,9
ЛАР	5,2 ± 0,3	5,5 ± 0,5	5,1 ± 0,3	5,6 ± 0,2	5,4
Укр-10	3,8 ± 0,4	3,2 ± 0,2	4,6 ± 0,2	3,0 ± 0,4	3,8
Виола-2	7,2 ± 0,4	6,5 ± 0,2	7,8 ± 0,1	5,2 ± 0,4	6,7
Коэффициент вариации, %	23	24	21	22	20

Кроме индивидуальной изменчивости, у штаммов опенка зимнего выявлена субстратная специфичность роста на агаровых средах. Так, для штаммов ИБК и Виола-2 оптимальными средами для роста вегетативного мицелия были СА и КГА. Штамм КрПТ с достоверно одинаковой скоростью произрастал на 3 агаровых средах – СА, ЯА и КГА. Среда Чапека оказалась менее пригодной для этого штамма. Штамм ЛАР имел широкий спектр оптимальных агаризованных питательных сред, т. к. скорость роста вегетативного мицелия этого штамма достоверно не отличалась на всех изученных питательных средах. Для ростовых процессов штамма Укр-10 оптимальной оказалась лишь одна среда – КГА, на которой скорость радиального роста мицелия составила 4,6 мм/сут.

С помощью критерия Дункана нами проведен сравнительный анализ обобщенной средней скорости роста вегетативного мицелия штаммов *F. velutipes* на агаровых средах разного состава. Наибольшая величина этого показателя выявлена у штамма Виола-2 (6,7 мм/сут.). Второе место по ростовым показателям принадлежало штаммам КрПТ и ИБК, у которых обобщенная средняя скорость роста вегетативного мицелия составила 6,0 и 5,9 мм/сут. соответственно. Наименьший показатель УV_R наблюдался у штамма Укр-10 (3,8 мм/сут.).

Таким образом, для большинства исследованных штаммов *F. velutipes* наиболее благоприятными для ростовых процессов являются натуральные (СА, ЯА) и комплексные (КГА) питательные среды. Исходя из этого, на этих средах нами изучена продолжительность получения маточной культуры у исследованных штаммов опенка зимнего (табл. 2).

Анализ данных показал, что наименьший период времени, необходимый для получения маточной культуры, наблюдался у штамма Виола-2 на двух агаровых средах – СА и КГА. Сравнительно быстро можно получить физиологически активный инокулюм на исследованных средах и у штамма КрПТ. Длительные сроки получения маточной культуры на агаровых средах выявлены у штамма Укр-10. Следует отметить, что у всех исследованных штаммов *F. velutipes* сроки получения инокулюма на агаровых средах значительно ниже по сравнению с теми, которые сообщаются в работах зарубежных авторов [5]. Это, по-видимому, связано с тем, что подобранные нами агаровые среды (СА, КГА и ЯА) обеспечивают более высокую скорость роста мицелия по сравнению с коммерческими

импортными. Это предположение подтверждают экспериментальные данные, полученные М. Л. Ломберг [5], которая установила, что на картофельно-декстрозном агаре (PDA) у штамма *F. velutipes* 1668 скорость радиального роста составляет 3,7 мм/сут., а на КГА – 5,3 мм/сут.

Таблица 2

Минимальное время (сут.), необходимое для получения маточной культуры штаммов *F. velutipes* на агаровых средах разного состава

Штаммы	Агаризованные питательные среды		
	СА	ЯА	КГА
КрПТ	7	7	7
ИБК	7	10	8
ЛАР	10	9	10
Укр-10	13	13	11
Виола-2	5	7	5

В современном промышленном грибоводстве при культивировании лекарственных и съедобных грибов с целью получения плодовых тел используют несколько видов посевного мицелия (зерновой, опилочный и жидкий) [9]. Так как основными производителями лекарственного и съедобного гриба *F. velutipes* являются страны Восточной Азии (Китай, Япония и др.) [3], приведенные в литературе рекомендации по компонентному составу субстратов для получения посевного материала первой генерации, вряд ли можно считать достаточно перспективными для условий Донбасса, который имеет другую структуру растениеводства. Поэтому остро стоит вопрос о возможности использования альтернативных субстратов и добавок из местного растительного сырья.

В Донбассе для производства посевного мицелия вешенки обыкновенной в промышленных условиях часто используют зерновые носители из смеси пшеницы и проса, ячменя и проса, а также овса и проса [9]. В связи с этим нами была изучена скорость роста вегетативного мицелия штаммов *F. velutipes* на этих растительных субстратах.

В табл. 3 обобщены результаты исследований динамики обрастания мицелием *F. velutipes* ряда субстратов растительного происхождения. В этих экспериментах инокуляцию стерильного субстрата проводили культурами, выращенными на КГА. Анализ полученных экспериментальных данных позволил определить время, необходимое для получения посевного материала первой генерации, и определить определенную специфику отношения исследуемых штаммов к субстратам разной природы.

Таблица 3

Динамика обрастания субстратов мицелием штаммов *F. velutipes* (% от общего объема субстрата)

Штаммы	Субстраты	Продолжительность инкубации, сут.			
		4	6	8	10
КрПТ	Пшеница+просо	30	50	100	
	Ячмень+просо	20	40	75	100
	Овес+просо	25	50	75	100
ИБК	Пшеница+просо	30	50	100	
	Ячмень+просо	20	40	75	100
	Овес+просо	25	50	75	100
ЛАР	Пшеница+просо	30	50	100	
	Ячмень+просо	20	40	75	100
	Овес+просо	25	50	75	100
Укр-10	Пшеница+просо	25	40	60	75
	Ячмень+просо	10	25	50	70
	Овес+просо	10	20	40	75

Штаммы	Субстраты	Продолжительность инкубации, сут.			
		4	6	8	10
Виола-2	Пшеница+просо	30	50	100	
	Ячмень+просо	20	40	75	100
	Овес+просо	25	50	75	100

Анализ данных показал, что большинство штаммов опенка зимнего достоверно не отличались друг от друга по скорости колонизации растительных субстратов. Исключение составил медленно растущий штамм Укр-10, у которого, в отличие от других штаммов, полное обрастание растительных субстратов мицелием завершилось на 14-е сутки после инокуляции.

Установлено, что субстрат из смеси пшеницы и проса является наиболее универсальным для производства посевного мицелия всех исследованных штаммов *F. velutipes*. Продолжительность времени, необходимого для получения посевного материала первой генерации, у большинства штаммов составила 8 суток культивирования, что в целом не отличается от параметров культур, используемых в промышленном грибоводстве [5].

Для культивирования ксилотрофных видов съедобных и лекарственных грибов используют субстраты на основе опилок [2, 3, 9]. Для их инокуляции рекомендуют использовать и соответствующий адаптированный «опилочный мицелий». Поэтому нами была изучена скорость роста вегетативного мицелия штаммов *F. velutipes* на субстрате из опилок тополя и субстрате из смеси опилок тополя и пшеничных отрубей (табл. 4).

Таблица 4

Динамика обрастания субстрата из опилок тополя мицелием штаммов *F. velutipes* (% от общего объема субстрата)

Штаммы	Субстрат	Продолжительность инкубации, сут.							
		3	5	7	9	11	13	15	16
КрПТ	Опилки	2	4	11,6	25,3	52,3	74	90	100
	Опилки и пшеничные отруби	2	16,3	20	42,6	62,4	90	100	
ИБК	Опилки	2	5	12,4	27,4	55,7	65	90	100
	Опилки и пшеничные отруби	2	17,4	22,1	32,7	64,2	90	100	
ЛАР	Опилки	2	4	10,4	26,8	56,8	72	89	100
	Опилки и пшеничные отруби	2	16,2	20,1	35,6	65,8	88	100	
Укр-10	Опилки	2	6	12,5	22,4	54,2	77	90	100
	Опилки и пшеничные отруби	2	18,7	28,4	36,7	69,8	88	100	
Виола-2	Опилки	2	5	11,7	28,7	55,3	76,4	91	100
	Опилки и пшеничные отруби	2	16,4	18,6	40,4	70,8	90	100	

Анализ экспериментальных данных, приведенных в табл. 4, показал, что период времени, необходимый для получения посевного мицелия исследованных штаммов на субстрате из опилок тополя, более продолжительный в сравнении с зерновым субстратом и зависит от присутствия дополнительных легкодоступных источников питания. Так, полное обрастание опилок мицелием завершилось на 16-е сутки после инокуляции. Добавление 10 %-х пшеничных отрубей незначительно ускорило колонизацию субстрата мицелием штаммов *F. velutipes*. Следует отметить, что у исследованных штаммов опенка зимнего не выявлена изменчивость по скорости роста вегетативного мицелия на субстрате из опилок тополя.

Выводы

Результаты проведенных исследований позволили установить, что скорость роста вегетативного мицелия исследованных штаммов *F. velutipes* зависит от состава агаровых сред и растительных субстратов. Среди исследованных агаровых сред наиболее благоприятными для ростовых процессов мицелиальных культур *F. velutipes* являются натуральные (агаризованное пивное сусло и ячменный агар) и комплексные (картофельно-глюкозный агар) питательные среды. Среди зерновых субстратов оптимальной для роста вегетативного мицелия опенка зимнего является смесь из зерна пшеницы и проса. Период времени, необходимый для получения физиологически активного посевного мицелия опенка зимнего на субстрате из опилок тополя, более продолжительный в сравнении с зерновым субстратом и зависит от присутствия дополнительных легкодоступных источников питания.

На агаровых средах разного состава выявлена штаммовая изменчивость гриба *F. velutipes* по ростовым показателям. В исследованной выборке культур наибольшая скорость роста вегетативного мицелия наблюдалась у штамма Виола-2 ($UV_R = 6,7$ мм/сут.). На растительных субстратах обнаружена очень низкая вариабельность скорости роста мицелия исследованных штаммов *F. velutipes*.

Список литературы

1. Бухало А. С. Высшие съедобные базидиомицеты в чистой культуре. К. : Наук. думка, 1986. 144 с.
2. Гарибова Л. В. Выращивание грибов. М. : Вече, 2005. 95 с.
3. Дудка И. А., Бисько Н. А., Билай В. Т. Культивирование съедобных грибов. К. : Урожай, 1992. 160 с.
4. Лакин Г. Ф. Биометрия. М. : Высш. шк., 1990. 350 с.
5. Ломберг М. Л. Лікарські макроміцети у поверхневій та глибинній культурі : Дис. ... канд. біол. наук : 03.00.21. К., 2005. 231 с.
6. Методы экспериментальной микологии : справ. / Под ред. В. И. Билай. К. : Наук. думка, 1982. 550 с.
7. Приседський Ю. Г. Статистична обробка результатів біологічних експериментів. Донецьк : Кассиопея, 1999. 201 с.
8. Семенов С. М. Лабораторные среды для актиномицетов и грибов : справ. М. : Агропромиздат, 1990. 240 с.
9. Сычев П. А., Ткаченко Н. П. Грибы и грибоводство. М. : ООО «Изд-во АСТ»; Донецк : Изд-во «Сталкер», 2003. 512 с.

Demchenko S. I., Voronina M. A. The growth activity of mycelium of *Flammulina velutipes* (Curt.: Fr.) Karst. natural strains on nutrient media of different composition. – The results of the research allowed us to compare the growth rate of mycelium of *Flammulina velutipes* natural strains on agar media and plant substrates. The optimal composition of nutrient media and complex plant substrates for obtaining physiologically active inoculum and seed mycelium of the studied strains of edible fungus has been selected. Strain variability of the xylotrophic basidiomycete *F. velutipes* by growth parameters on agar media was revealed.

Key words: xylotrophic basidiomycete, *Flammulina velutipes*, strain variability, agar media, complex plant substrates, mycelium growth rate.

© Ю. П. Загнитко, А. П. Палагута, Н. П. Ткаченко

ДИНАМИКА ПЕКТОЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ КУЛЬТУРАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ БАЗИДИАЛЬНЫХ КСИЛОТРОФОВ НА СРЕДЕ С ЯБЛОЧНЫМ ЖОМОМ

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

Загнитко Ю. П., Палагута А. П., Ткаченко Н. П. Динамика пектолитической активности культуральной жидкости базидиальных ксилотрофов на среде с яблочным жомом. – Изучена динамика экзополигалактуроназной активности базидиальных ксилотрофов на питательной среде с добавлением яблочного жома. К активным продуцентам ферментов пектолитического действия были отнесены грибы *Pleurotus eryngii* 515 и *Lentinus edodes* 480, у которых активность экзополигалактуроназы превысила показатели контроля в 1,5–2,5 раза при жидкофазном культивировании на средах с различными концентрациями яблочного жома.

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

Введение

Жизнедеятельность дереворазрушающих грибов тесно связана с ферментными системами, с помощью которых они разлагают в природе огромные количества растительных остатков, содержащих сложные биополимеры – пектиновые вещества, лигнин и гемицеллюлозы [1, 2, 5, 10].

Большинство научных работ в последнее время рассматривает производство пектиназ на агросубстратах, при поверхностном культивировании, как перспективное направление. Для продукции пектиназ используются следующие агросубстраты: пшеничные отруби, ягодные и плодовые выжимки, кофейный шрот, цитрусовые отходы, свекловичный жом и др. Для успешного применения отходов сельскохозяйственной промышленности с целью производства пектиназ необходимо использовать субстраты, содержащие большое количество пектина – главного индуктора синтеза фермента [3, 4, 6, 8]. Высокий уровень пектиновых веществ содержат плодово-ягодные жома, отходы производства соков и спиртных напитков. Для получения пектиназ успешно используется яблочный (*Aspergillus niger*) и виноградный жом (*Aspergillus awamori*) [9, 11].

Целью исследования было изучение динамики пектолитической активности базидиальных ксилотрофов на среде с яблочным жомом.

Материал и методы исследования

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

Для исследования пектолитической активности культуральных фильтратов штаммы выращивали на пектин-пептонной среде следующего состава (г/л): яблочный жом, как заменитель пектина – 10, 20, 30; пептон – 3; K_2HPO_4 – 0,4; KH_2PO_4 – 0,6; $MgSO_4 \times 7H_2O$ – 0,5; $ZnSO_4 \times 7H_2O$ – 0,001; $CaCl_2$ – 0,05. Культивирование проводили в колбах Эрленмейера на 250 мл, содержащих 50 мл питательной среды, при оптимальной температуре для каждого гриба. Кислотность питательной среды доводили до pH 4,2 при помощи 10 % раствора HCl. Активность экзополигалактуроназы определяли в культуральной жидкости на 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 М галактуронозой

кислоты за 1 мин в условиях опыта ($\text{pH} = 4$, $t = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$). 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 [7]. Сравнение средних арифметических осуществляли по методу Дункана [7].

Результаты и обсуждение

Для увеличения выхода ферментов пектолитического действия была оптимизирована питательная среда для жидкофазного культивирования активных продуцентов энзимов – *L. edodes* 480, *P. ostreatus* Д-2.3, *P. eryngii* 515. Для этой цели пектин, как источник пектиновых веществ и активатор синтеза экзопектиназ, был заменен яблочным жомом в концентрации 10, 20 и 30 %.

Результаты изучения динамики пектолитической активности культуральной жидкости исследованных базидиальных ксилотрофов при культивировании на питательных средах с яблочным жомом представлены на рис. 1–3. Установлено, что введение в питательную среду яблочного жома в разных концентрациях стимулирует синтез пектолитических ферментов у всех исследованных культур.

При изучении динамики пектолитической активности культуральной жидкости *P. eryngii* 515 на среде с различными концентрациями яблочного жома показано (рис. 1), что оптимальным содержанием его в питательной среде для максимального выхода экзопектиназ является концентрация 20 % на протяжении всего эксперимента. Наиболее высокие показатели экзополигалактуроназной активности отмечены на 15-е сутки культивирования гриба на среде, содержащей 20 % яблочного жома. Концентрации яблочного жома в питательной среде 10 и 20 % ингибировали синтез пектолитических ферментов культурой *P. eryngii* 515.

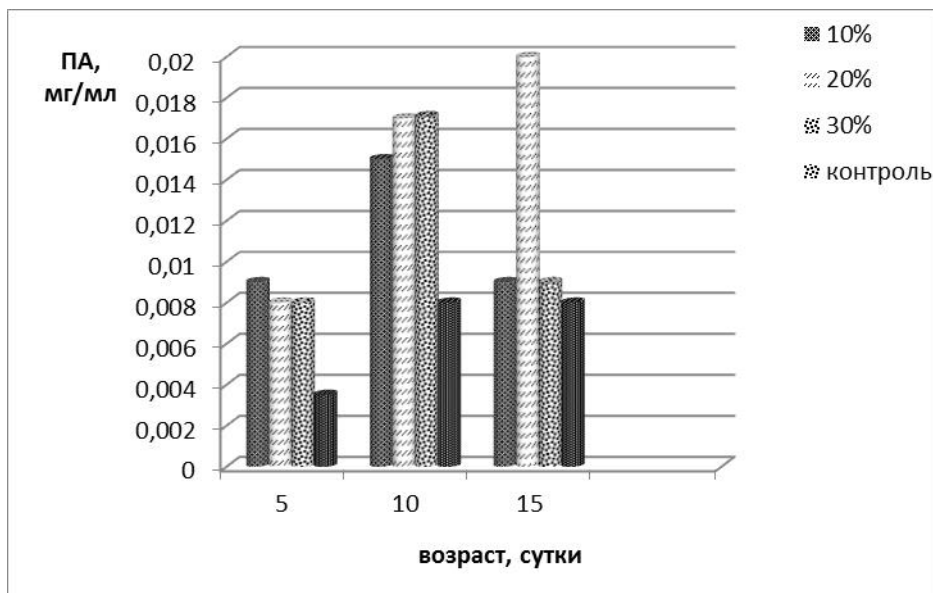


Рис. 1. Динамика пектолитической активности культуральной жидкости *P. eryngii* 515 на среде с различными концентрациями яблочного жома

Исследование динамики пектолитической активности культуральной жидкости гриба *L. edodes* 480 на среде с различными концентрациями яблочного жома показало (рис. 2), что на 10-е сутки опыта исследованная культура наиболее активно синтезировала ферменты пектолитического действия в культуральную жидкость. Максимальные показатели экзополигалактуроназной активности отмечены на среде с 20-и и 30-и %-ным содержанием яблочного жома в питательной среде.

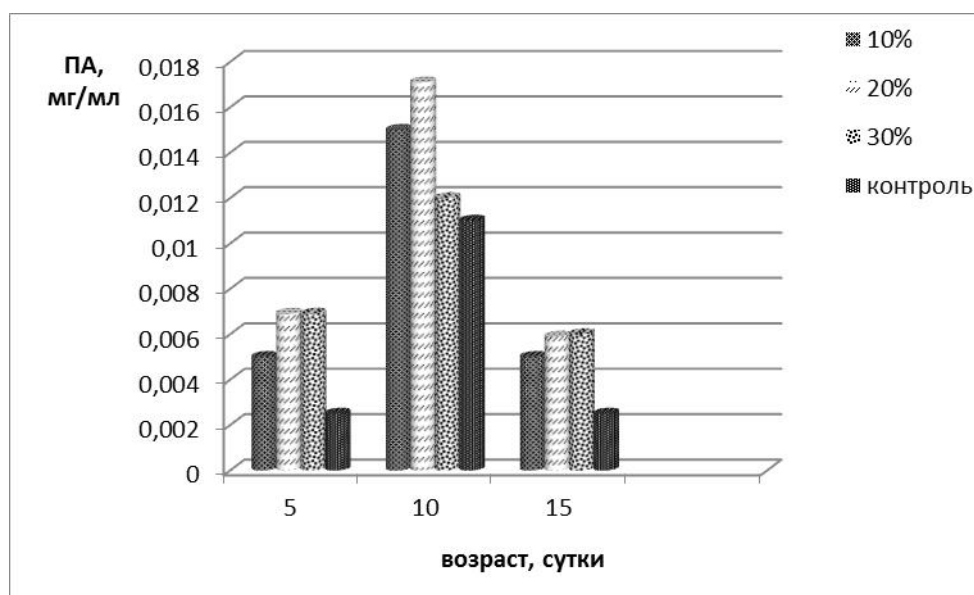


Рис. 2. Динамика пектолитической активности культуральной жидкости *L. edodes* 480 на среде с различными концентрациями яблочного жома

Для культуры *P. ostreatus* Д-2.3 максимальные показатели экзополигалактуроназной активности отмечены на питательной среде с 30 %-ным содержанием яблочного жома на 10 сутки проведения эксперимента (рис. 3).

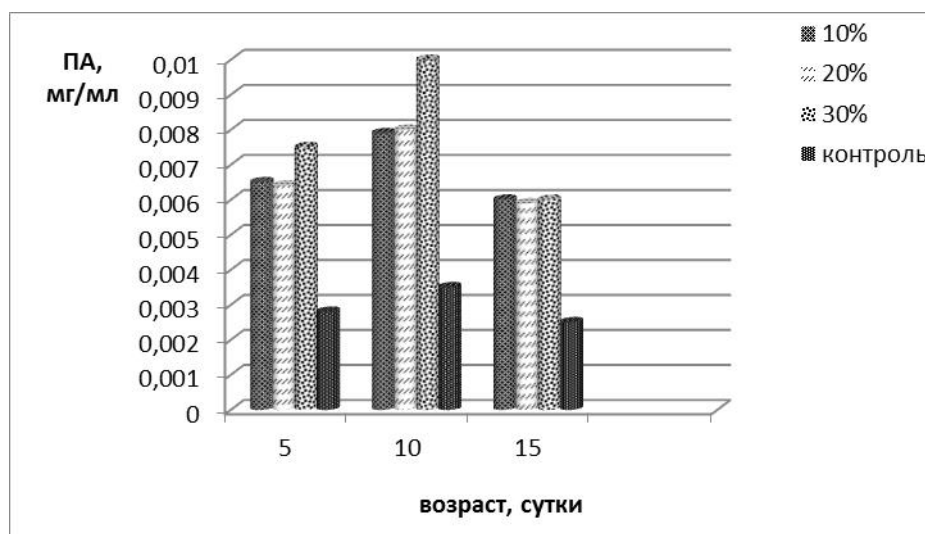


Рис. 3. Динамика пектолитической активности культуральной жидкости *P. ostreatus* Д-2.3 на среде с различными концентрациями яблочного жома

Следует отметить, что с 5-х по 10-е сутки роста синтез пектиназ постепенно достоверно увеличивался на всех исследуемых средах с максимальными значениями на 10-е сутки культивирования. Далее (на 15-е сутки) активность экзополигалактуроназы снижалась.

При исследовании изменения концентрации белка в культуральной жидкости *P. eryngii* 515 на среде с различными концентрациями яблочного жома показано (рис. 4), что в начале культивирования (5-е сутки) содержание белка является максимальным для всех исследованных сред, что, возможно, объясняется тем, что гриб еще не вошел в активную фазу поглощения питательных веществ исходной питательной среды и синтеза собственных биологически активных веществ. На 5-е и 15-е сутки проведения эксперимента максимальные значения экзополигалактуроназной активности отмечены на среде с

содержанием яблочного жома 30 %. На 10-е сутки роста максимальные значения активности ферментов пектолитического действия зафиксированы на среде с 10 %-ным содержанием яблочного жома.

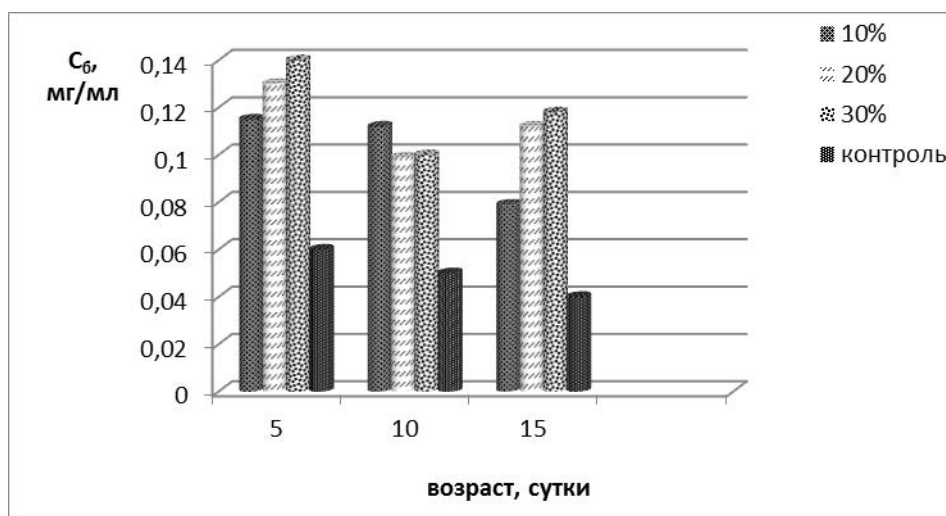


Рис. 4. Изменение концентрации белка в культуральной жидкости *P. eryngii* 515 на среде с различными концентрациями яблочного жома

Изучение изменения концентрации белка в культуральной жидкости *L. edodes* 480 на среде с различными концентрациями яблочного жома показало (рис. 5), что на протяжении всего эксперимента гриб лучше всего синтезировал экзопротеины на среде с 30 %-ным содержанием яблочного жома.

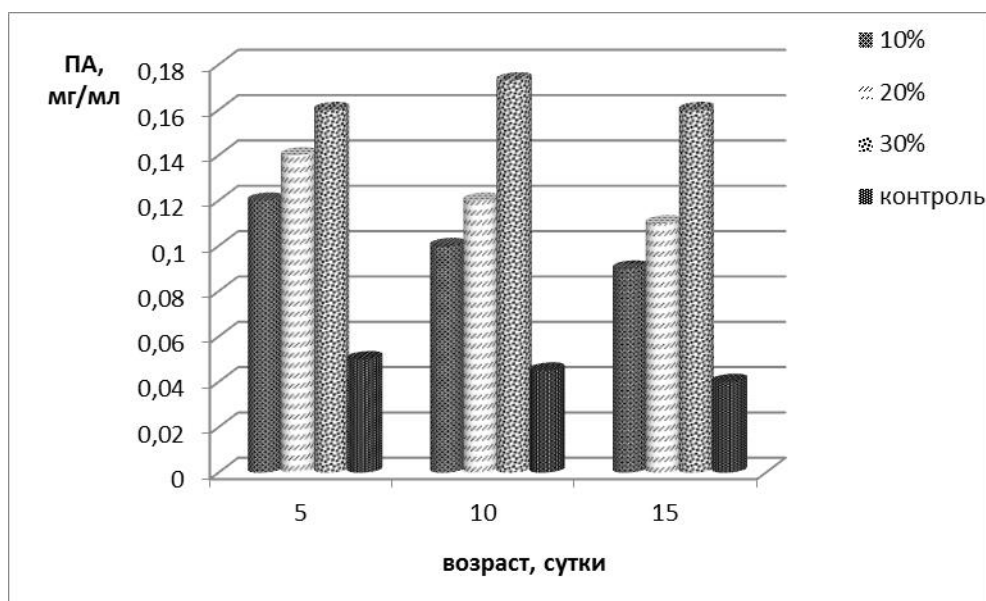


Рис. 5. Изменение концентрации белка в культуральной жидкости *L. edodes* 480 на среде с различными концентрациями яблочного жома

На всех исследованных питательных средах с различными концентрациями яблочного жома изменение концентрации белка в культуральной жидкости *P. ostreatus* Д-2.3 проходило однотипно (рис. 6). Минимальные показатели отмечены для 10 %-ной концентрации, а максимальные значения по содержанию экзопротеинов зафиксированы на среде с содержанием яблочного жома 30 % на протяжении всего культивирования.

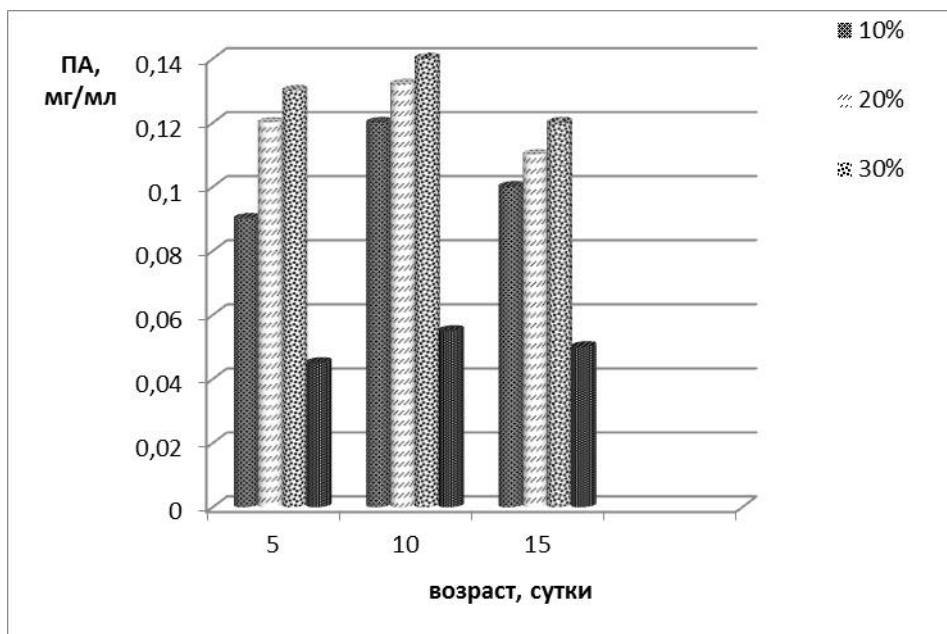


Рис. 6. Изменение концентрации белка в культуральной жидкости *P. ostreatus* Д-2.3 на среде с различными концентрациями яблочного жома

Достоверно максимальные показатели уровня содержания экзобелка в культуральной жидкости были на 10-е сутки проведения эксперимента.

Важно отметить, что при изучении динамики накопления биомассы на среде с различными концентрациями яблочного жома для всех исследованных культур показаны подобные результаты. Достоверно минимальные значения накопления сухой биомассы отмечены на минимальной (10 %) концентрации яблочного жома, а максимальные показатели накопления биомассы зафиксированы на средах с 20-ти и 30 %-ным содержанием яблочного жома, достоверных отличий между показателями данных концентраций не выявлено.

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

Выводы

К активным продуцентам ферментов пектолитического действия были отнесены грибы *P. eryngii* 515 и *L. edodes* 480, у которых активность экзополигалактуроназы составила 0,047 и 0,0171 мг/мл соответственно, что превышало показатели контроля в 1,5–2,5 раза при жидкофазном культивировании на средах с различными концентрациями яблочного жома.

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. Джакашева А. М. Технология получения пектолитического ферментного препарата, применяемого для улучшения органолептических показателей красных столовых вин : Дис. ... докт. философ. Алматы, 2017. 183 с.
5. 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.
6. Комар Е. И., Шавель М. И., Песнякевич А. Г. Идентификация грамотрицательных пектолитических фитопатогенных бактерий, вызывающих заболевания картофеля в Беларуси // Вестник БГУ. 2014. Сер. 2, № 2. С. 54–60.
7. Приседський Ю. Г. Статистична обробка результатів біологічних експериментів : навч. посібник. Донецьк : Кассиопея, 1999. 210 с.
8. Семенова М. В., Синицына 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.
9. Толкачева А. А., Черенков Д. А., Корнеева О. С. Скрининг продуцентов гидролаз в базе данных национального центра биотехнологической информации (NCBI) // Актуальная биотехнология : Матер. Междунар. науч.-практ. конф. Воронеж, 2015. № 3 (14). С. 63–64.
10. Римарева Л. В., Соколова Е. Н., Климачева Л. М., Двадцатова Е. А. Изучение условий биосинтеза внеклеточной пектиназы в глубоинной культуре *A. foetidus* // Хранение и переработка с/х сырья. 2004. № 9. С. 30–31.
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., Palaguta A. P., Tkachenko N. P. Dynamics of pectolytic activity of the culture fluid of basidial xylotrophs on a medium with apple pulp. – The dynamics of exopolygalacturonase activity of basidial xylotrophs on a nutrient medium with the addition of apple pulp was studied. The fungi *Pleurotus eryngii* 515 and *Lentinus edodes* 480 were attributed to the active producers of pectolytic enzymes, in which the activity of exopolygalacturonase exceeded the control indicators by 1,5–2,5 times during liquid-phase cultivation on media with different concentrations of apple pulp.

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

**СОДЕРЖАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО АЗОТА В ПОЧВАХ ПОСТТЕХНОГЕННЫХ
ЭКОСИСТЕМ: ОЦЕНКА УСПЕШНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ
ФИТОРЕКУЛЬТИВАЦИОННЫХ РАБОТ**

ГУ «Донецкий ботанический сад»

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

Сыщиков Д. В., Агурова И. В. Содержание минерального азота в почвах посттехногенных экосистем: оценка успешности проведения фиторекультивационных работ. – Результаты проведенных исследований свидетельствуют о положительном влиянии фиторекультивации на содержание различных форм минерального азота в почвах посттехногенных экосистем. Среди всех изученных вариантов наибольший позитивный эффект фиксировался в случае использования *Onobrychis arenaria* (Kit.) DC., при высеве которого содержание аммонийного азота повышалось на 25–105 %, нитритного азота – на 8–112 %, нитратного азота – на 14–207 % по сравнению с нерекультивированными участками.

Ключевые слова: элементы минерального питания, эдафотоп, посттехногенные экосистемы, аммонийный азот, нитритный азот, нитратный азот, мониторинговый участок.

Введение

В последние десятилетия изучение почв техногенных ландшафтов, а именно механизмов их функционирования и путей эволюции становятся предметом пристального внимания ученых-почвоведов. Техногенный ландшафт, в отличие от естественных ландшафтов, сформированных под действием всех факторов географической среды, характеризуется предельной степенью нарушенности взаимосвязи всех составных элементов. Часто эти взаимосвязи настолько нарушены, что почвы техногенных экотопов лишь весьма поверхностно могут напоминать настоящие почвы, как по формированию почвенных горизонтов, ряду физических и химических свойств, так и по содержанию жизненно необходимых для полноценного функционирования растений элементов минерального питания [3].

Основным этапом посттехногенного восстановления техногенно-нарушенных земель является первичное почвообразование, в результате которого формируются примитивные почвы. При этом успешность самовозобновления почвенного покрова во многом определяет длительность периода, необходимого для натурализации техногенных ландшафтов [2]. Как известно, одними из ведущих факторов почвообразования являются растения, а фиторекультивация может стать тем механизмом, который позволит приблизить условия почв техногенных экотопов к условиям естественных ландшафтов.

Азот почвы, являясь составной частью гумуса, служит показателем направленности и результативности почвообразовательного процесса. По мнению И. В. Тюрина [10], существенной чертой почвообразования является ассимиляция и круговорот азота, а характерным признаком почв – аккумуляция азота в гумусовых веществах. Наличие валового азота в почве еще не указывает на обеспеченность растений этим элементом – важным является его состав, что определяет необходимость изучения содержания минеральных форм азота (аммонийный азот, нитритный азот, нитратный азот), непосредственно доступных для растений.

В связи с этим целью наших исследований было изучение эффекта фиторекультивации на содержание различных форм азота в почвах посттехногенных экосистем.

Материал и методы исследования

Для изучения влияния проведенной фиторекультивации на содержание различных форм минерального азота в почвах посттехногенных экосистем были выбраны отдельные мониторинговые участки. При выборе таких объектов учитывали распространенность типа нарушения в пределах района исследований, степень антропогенной трансформации,

возможность восстановления биологической продуктивности и вовлечения в экономическую деятельность, потенциальный экологический эффект при проведении рекультивационных мероприятий.

Для оценки влияния моновидовых травянистых культурфитоценозов на протекание почвообразовательных процессов в эдафотопках антропогенно трансформированных экосистем был проведен высев семян *Kitaibelia vitifolia* Willd., *Onobrychis arenaria* (Kit.) DC. и растений семейства Poaceae (*Festuca gigantea* (L.) Vill., *Agropyron pectinatum* (Bieb.) Beauv., *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub). на площади 1 м² по отдельности на каждом из мониторинговых участков.

Мониторинговый участок № 6. Территория, прилегающая к южной части отвала шахты № 12 «Наклонная» (Пролетарский район, г. Донецк). Общее проективное покрытие растений составляло 95–100 %.

Разрез № 6. Чернозем обыкновенный средне гумусированный.

A₁ – 0–47 см. Свежий, темно-бурый однородный, легкосуглинистый, среднезернистый, умеренно плотный. Новообразований и включений не отмечено. Много корней. Переход в горизонт A₂ ясный по цвету и структуре.

A₂ – 47–86 см. Свежий, светло-каштановый-коричневый, неоднородный, легкосуглинистый, среднезернистый, умеренно плотный. Новообразований и включений не отмечено. Редкие корни. Переход в горизонт В резкий по цвету и структуре.

В – 86–110 см. Суховатый, светло-каштановый, однородный, суглинистый, пластинчатый, умеренно плотный. Новообразований и включений не отмечено. Единичные корни. Переход в горизонт С языковатый по цвету.

С – глубже 110 см. Суховатый, коричневато-оранжевый, однородный, суглинистый, пластинчатый, плотный. Новообразований и включений не отмечено. Корни отсутствуют. Данный участок рассматривается нами как условный контроль.

Мониторинговый участок № 2. Выведенный из эксплуатации карьер по добыче строительного камня (балка Калиновая, Горняцкий район, г. Макеевка). Общее проективное покрытие растений составляет 70–80 %.

Разрез № 2-к. Примитивные неразвитые почвы на песчанике.

A – 0–5 см. Черный, густо пронизан корнями растений. Структура мелкопорошистая, агрегаты 2 мм диаметром. Переход в горизонт С четкий по цвету, структуре и плотности. Отмечаются ходы зоогенной природы, выцветы солей (розоватые). Каменистость – 5 %.

С – Светло-коричневый, продукты метаморфизации песчаников. Каменистость – 20 %, пронизан корнями растений. Прослежен до глубины 20 см.

Почвообразование по дерновому типу (выражен дерновый гумусоаккумулятивный процесс).

Мониторинговый участок № 3. Зона выполаживания склона южной экспозиции у основания отвала шахты им. Ленина (Горняцкий район, г. Макеевка). Общее проективное покрытие растений составляет 50–60 %.

Разрез № 3-о-п. Примитивные седиментационные неразвитые почвы.

A – 0–10 см. Коричневый, относительно уплотненный, мелкозернистый, суховатый. Каменистость – 5 %. Густо пронизан корнями растений.

С – Темно-серый, метаморфизированный сланец, пластинчатый, сухой, пронизан корнями растений. Каменистость – 30 %. Прослежен до глубины 30 см.

Мониторинговый участок № 4. Склон отвала шахты им. Ленина южной экспозиции (Горняцкий район, г. Макеевка). Общее проективное покрытие растений составляет в среднем 20–30 %.

Разрез № 4-о-с. Субстрат с признаками почвообразования.

Aэ – 0–15 см. Коричневый, рыхлый, мелкозернистый, суховатый. Каменистость – 5 %. Переход в горизонт С – постепенный, по цвету – затеками.

С – палевый, прослежен до глубины 30 см. Каменистость – 15 %. Присутствуют выцветы солей и продукты метаморфизации сланцев.

Мониторинговый участок № 7. Склон отвала шахты № 12 «Наклонная» восточной экспозиции (Пролетарский район, г. Донецк). Моновидовая группировка *Oberna behen* (L.) Ikonn. Общее проективное покрытие растений – 10–15 %.

Разрез № 7-о. Примитивные неразвитые фрагментарные почвы.

А – 0–27 см. Сухой, темно-серый, однородный, бесструктурный, порошистый, рыхлый. Новообразований не отмечено, каменистость 10 %. Переход в горизонт С неясный, по цвету.

С – Сухой, темно-коричневый, однородный, бесструктурный, порошистый, рыхлый. Новообразований не отмечено, каменистость 50 %. Единичные корни. Прослежен до глубины 60 см.

В профиле наблюдается первичное агрегатообразование по корням растений, накопление гумуса не имеет морфологического выражения вследствие слабого развития глинистой составляющей. Имеющийся гумус «замаскирован» серым цветом измельченной породы.

Мониторинговый участок № 8. Склон отвала шахты № 12 «Наклонная» северной экспозиции (Пролетарский район, г. Донецк). Общее проективное покрытие – 25–30 %.

Разрез № 8-о. Примитивные неразвитые почвы.

А – 0–20 см. Свежий, темно-бурый, однородный, бесструктурный, порошистый, рыхлый. Новообразований не отмечено, каменистость 25 %. Густо пронизан корнями растений. Переход в горизонт С ясный по цвету.

С – Суховатый, темно-серый, однородный, бесструктурный, порошистый, рыхлый. Новообразований не отмечено, каменистость 40 %. Единичные корни. Прослежен до глубины 45 см.

Мониторинговый участок № 10. Свалка твердых бытовых отходов (Пролетарский район, г. Донецк). Общее проективное покрытие составляет 80 %.

Разрез № 10. Примитивные неразвитые почвы на песчанике.

А – 0–18 см. Суховатый, темно-серый, однородный, супесчаный, мелкозернистый, слабо уплотненный. Новообразований и включений не отмечено. Много корней. Переход в горизонт Р резкий, волнистый по цвету и структуре.

С – Сухой, белесоватый-темно-каштановый, неоднородный, песчаный, мелкокомковатый, рыхлый. Новообразований и включений не отмечено. Единичные корни. Прослежен до глубины 40 см.

Мониторинговый участок № 11. Территория, загрязненная строительными отходами, прилегающая к реке Богодуховая (Буденновский район, г. Донецк). Общее проективное покрытие растений достигает 70 %.

Разрез № 11. Примитивные неразвитые фрагментарные почвы.

А – 0–34 см. Сухой, светло-серый, однородный, бесструктурный, порошистый, рыхлый. Новообразований не отмечено, каменистость 7 % от мелкообломочной фракции. Пронизан корнями растений. Переход в горизонт С постепенный, по цвету.

С – Сухой, коричневый, однородный, бесструктурный, порошистый, рыхлый. Новообразований не отмечено, каменистость 20 %. Единичные корни. Прослежен до глубины 70 см.

Описание почвенных разрезов проводили согласно общепринятым методикам [5, 9]. Отбор почвенных образцов проводили по почвенным горизонтам [6].

Концентрация аммонийного азота (обменного аммония) определялась колориметрически с реактивом Несслера [7]. Содержание нитритного азота по взаимодействию с альфа-нафтиламином и сульфаниловой кислотой, нитратного – по методу Грандваль-Ляжу [7].

Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась по общепринятым методам параметрической статистики на 95 % уровне значимости по Б. А. Доспехову и Ю. Г. Приседскому [4, 8].

Результаты и обсуждение

Изучение содержания обменного аммония в весенний период исследований показало его преимущественную приуроченность к нижележащим генетическим горизонтам, наиболее ярко проявляющуюся на участках № 2, 3, 8 и 10, где превышение контрольных показателей варьировало в пределах от 1,5 до 4,7 раз (табл. 1, 2).

В гумусо-аккумулятивном горизонте нерекультивируемых мониторинговых участков зафиксирован его низкий уровень, не превышающий 65 % по отношению к зональной почве. Вероятнее всего, полученные данные объясняются как укороченностью почвенного профиля, что позволяет обменному аммонiu в форме мобильного карбоната аммония достаточно активно мигрировать по горизонтам, так и преимущественной локализацией корневых систем растений именно в пределах верхнего горизонта, где и происходит активное поглощение его соединений.

Высев на мониторинговых участках растений семейства *Рoасеае* привел к увеличению содержания азота аммонийных соединений в генетических горизонтах почв. Однако если в почвах урбанизированных экосистем концентрация обменного аммония по сравнению с зональной почвой варьировала в пределах от 56–155 и 102–518 % в гумусо-аккумулятивном горизонте и материнской породе соответственно, то в техноземах отвалов было ниже и составляло 22–38 и 107–274 %. Несмотря на это, при сравнении полученных данных со значениями аналогичных почвенных горизонтов участков с естественным растительным покровом показано возрастание содержания азота аммонийных соединений на 10–46 %.

При использовании в качестве фитомелиоранта эспарцета отмечен максимальный уровень накопления обменного аммония в эдафотопх посттехногенных экосистем, что выражалось не только в увеличении процентного соотношения относительно зональной почвы, но и в превышении аналогичных показателей нерекультивируемых участков на 25–105 %. На мониторинговых участках со сформированными моновидовыми насаждениями китайбелии не выявлен ее позитивный эффект на содержание азота аммонийных соединений.

При увеличении длительности мониторинговых исследований отмечен разнонаправленный характер изменения содержания азота аммонийных соединений. Так, если в почвах экосистем породных отвалов (участки № 3, 4, 7, 8) концентрация обменного аммония статистически достоверно возростала по сравнению со значениями, полученными в предыдущий период исследований, то в эдафотопх урбанизированных экосистем и зональной почве (участки № 2, 6, 10, 11) зафиксировано снижение данной формы минерального азота (табл. 1, 2). Вероятнее всего для первой группы участков повышение обусловлено недостаточной степенью сформированности растительного покрова, что и обусловило низкий уровень поглощения аммонийного азота для формирования вегетативной массы растений. Однако отмеченное уменьшение значений исследуемого показателя не является строго отрицательным фактом, поскольку данная форма азота не является конечным результатом минерализации азотсодержащих органических соединений [1].

Как и на предыдущем этапе исследований, проведение фиторекультивационных мероприятий позитивно сказалось на содержании обменного аммония, концентрация которого возростала в 1,4–2,3 раз в зависимости от типа экотопа и генетического горизонта, при высева на мониторинговых участках эспарцета. Установленный факт, по-видимому, объясняется возрастанием величин органического опада, обуславливающего усиление минерализации органических соединений азота с участием амилолитического и целлюлозолитического компонентов микробного сообщества почв, для которых свежий растительный опад является хорошим энергетическим материалом. Наряду с этим, при применении поликомпонентной смеси злаков и китайбелии не зафиксировано статистически достоверных различий в концентрации азота аммонийных соединений по сравнению с участками с естественным растительным покровом.

Таблица 1

Содержание обменного аммония (мг N-NH₄/100 г почвы) в почвах урбанизированных экосистем

Участок, горизонт	Весна				Лето				Осень			
	Нерекультивируемые		Рекультивируемые		Нерекультивируемые		Рекультивируемые		Нерекультивируемые		Рекультивируемые	
	М ± m	%	М ± m	%	М ± m	%	М ± m	%	М ± m	%	М ± m	%
№ 2 Ап	2,76±0,09*	48,0	3,21±0,14*	55,9	2,84±0,11*	74,9	3,11±0,17*	81,8	2,91±0,11*	55,6	3,17±0,15*	60,6
№ 2 Сп	4,06±0,12*	338,3	3,91±0,25*	325,2	3,72±0,17*	379,6	3,87±0,12*	395,7	3,87±0,15*	328,0	3,83±0,14*	325,3
№ 2 Аэ	2,76±0,09*	48,0	3,55±0,07*	61,7	2,84±0,11*	74,9	6,03±0,14*	159,2	2,91±0,11*	55,6	6,18±0,12*	118,1
№ 2 Сэ	4,06±0,12*	338,3	5,47±0,38*	455,5	3,72±0,17*	379,6	6,72±0,15*	685,1	3,87±0,15*	328,0	6,83±0,13*	578,3
№ 2 Ак	2,76±0,09*	48,0	3,05±0,17*	53,0	2,84±0,11*	74,9	2,96±0,24*	78,2	2,91±0,11*	55,6	2,97±0,24*	56,7
№ 2Ск	4,06±0,12*	338,3	3,84±0,21*	319,6	3,72±0,17*	379,6	3,6±0,11*	367,9	3,87±0,15*	328,0	3,76±0,22*	318,8
№ 10Ап	8,17±0,4*	141,9	8,94±0,11*	155,5	5,41±0,26*	142,8	6,16±0,07*	162,5	5,7±0,24	108,9	6,43±0,25*	122,9
№ 10Сп	5,68±0,54*	473,3	6,21±0,19*	517,5	3,81±0,07*	388,6	4,18±0,09*	426,5	4,63±0,18*	392,2	4,27±0,11*	361,9
№ 10Аэ	8,17±0,4*	141,9	10,24±0,22*	178,1	5,41±0,26*	142,8	7,39±0,24*	195,0	5,7±0,24	108,9	7,92±0,17*	151,4
№ 10 Сэ	5,68±0,54*	473,3	7,12±0,18*	593,3	3,81±0,07*	388,6	5,04±0,14*	514,3	4,63±0,18*	392,2	6,03±0,18*	511,0
№ 10 Ак	8,17±0,4*	141,9	8,75±0,11*	152,2	5,41±0,26*	142,8	6,23±0,12*	164,4	5,7±0,24	108,9	6,35±0,14*	121,4
№ 10Ск	5,68±0,54*	473,3	6,18±0,14*	515,0	3,81±0,07*	388,6	4,09±0,05*	417,3	4,63±0,18*	392,2	4,35±0,19*	368,6
№ 11Ап	3,76±0,22*	65,4	4,31±0,18*	75,0	1,51±0,12*	39,8	2,35±0,18*	62,0	3,63±0,13*	69,5	4,21±0,14*	80,5
№ 11Сп	0,92±0,12*	76,4	1,23±0,11	102,5	0,71±0,03*	73,1	1,09±0,05*	111,2	0,93±0,02*	79,2	1,19±0,08	100,8
№ 11 Аэ	3,76±0,22*	65,4	5,19±0,21	90,3	1,51±0,12*	39,8	3,41±0,19	90,0	3,63±0,13*	69,5	5,22±0,16	99,8
№ 11 Сэ	0,92±0,12*	76,4	1,89±0,14*	157,5	0,71±0,03*	73,1	1,54±0,08*	157,1	0,93±0,02*	79,2	1,76±0,11*	149,2
№ 11 Ак	3,76±0,22*	65,4	4,2±0,17*	73,1	1,51±0,12*	39,8	2,06±0,18*	54,3	3,63±0,13*	69,5	4,46±0,29*	85,2
№ 11 Ск	0,92±0,12*	76,4	1,27±0,07	105,5	0,71±0,03*	73,1	1,14±0,07	116,9	0,93±0,02*	79,2	1,45±0,08*	123,3
№ 6 А	5,75 ± 0,39				3,79±0,07				5,23±0,25			
№ 6 С	1,2 ± 0,13				0,98±0,03				1,18±0,11			

Примечания (здесь и в таблицах 2–6):

1. э – посадки эспарцета песчаного, к – посадки китайбелии виноградолистной, п – поликомпонентная злаковая смесь;
2. М – среднее значение признака, m – ошибка среднего, % – процент превышения значений по отношению к аналогичным почвенным горизонтам участка № 6, * – различия статистически достоверны при $p < 0,05$.

Таблица 2

Содержание обменного аммония (мг N-NH₄/100 г почвы) в почвах экосистем породных отвалов

Участок, горизонт	Весна				Лето				Осень			
	Нерекультивируемые		Рекультивируемые		Нерекультивируемые		Рекультивируемые		Нерекультивируемые		Рекультивируемые	
	М ± m	%	М ± m	%	М ± m	%	М ± m	%	М ± m	%	М ± m	%
№ 3Ап	1,43±0,05*	24,8	2,04±0,6*	35,4	1,48±0,07*	39,1	2,24±0,06*	59,1	1,64±0,05*	31,3	2,49±0,16*	47,6
№ 3Сп	2,61±0,11*	217,2	3,29±0,15*	274,0	2,57±0,09*	262,2	3,41±0,15*	348,0	2,77±0,09*	234,6	3,53±0,13*	299,2
№ 3Аэ	1,43±0,05*	24,8	2,68±0,14*	46,6	1,48±0,07*	39,1	2,9±0,07*	76,5	1,64±0,05*	31,3	3,16±0,15*	60,4
№ 3 Сэ	2,61±0,11*	217,2	3,92±0,17*	326,7	2,57±0,09*	262,2	4,46±0,13*	455,4	2,77±0,09*	234,6	4,58±0,21*	388,1
№ 3 Ак	1,43±0,05*	24,8	2,11±0,07*	36,7	1,48±0,07*	39,1	2,21±0,08*	59,1	1,64±0,05*	31,3	2,51±0,13*	48,0
№ 3Ск	2,61±0,11*	217,2	3,14±0,15*	261,7	2,57±0,09*	262,2	3,36±0,15*	342,9	2,77±0,09*	234,6	3,47±0,12*	294,1
№ 4Ап	0,97±0,04*	16,9	1,31±0,07*	22,8	1,01±0,03*	26,6	1,43±0,18*	37,7	1,14±0,03*	21,8	1,57±0,09*	30,0
№ 4Сп	1,14±0,08	94,6	1,66±0,11*	138,4	1,19±0,04	121,2	1,74±0,13*	177,6	1,32±0,04	111,5	1,88±0,12*	159,3
№ 4Аэ	0,97±0,04*	16,9	1,92±0,08*	33,4	1,01±0,03*	26,6	2,08±0,07*	54,8	1,14±0,03*	21,8	2,13±0,43*	40,7
№ 4 Сэ	1,14±0,08	94,6	2,27±0,15*	189,2	1,19±0,04	121,2	2,28±0,14*	233,0	1,32±0,04	111,5	2,51±0,18*	212,7
№ 4 Ак	0,97±0,04*	16,9	1,28±0,14*	22,3	1,01±0,03*	26,6	1,39±0,12*	36,7	1,14±0,03*	21,8	1,61±0,14*	30,8
№ 4Ск	1,14±0,08	94,6	1,54±0,07*	128,3	1,19±0,04	121,2	1,62±0,08*	165,3	1,32±0,04	111,5	2,22±0,19*	188,1
№ 7Ап	1,57±0,07*	27,3	1,65±0,11*	28,7	1,63±0,09*	43,0	1,79±0,07*	47,2	2,18±0,07*	41,7	2,36±0,15*	45,1
№ 7Сп	1,18±0,14	98,3	1,29±0,07	107,5	1,29±0,07*	131,6	1,36±0,05*	138,8	1,17±0,12	99,2	1,33±0,12	112,7
№ 7Аэ	1,57±0,07*	27,3	2,04±0,06*	35,5	1,63±0,09*	43,0	2,27±0,16*	59,9	2,18±0,07*	41,7	2,84±0,19*	54,3
№ 7Сэ	1,18±0,14	98,3	1,56±0,03*	130,0	1,29±0,07*	131,6	1,68±0,11*	171,4	1,17±0,12	99,2	1,96±0,05*	166,1
№ 7Ак	1,57±0,07*	27,3	1,72±0,09*	29,9	1,63±0,09*	43,0	1,85±0,06*	48,8	2,18±0,07*	41,7	2,43±0,08*	46,5
№ 7Ск	1,18±0,14	98,3	1,37±0,05	113,8	1,29±0,07*	131,6	1,44±0,03*	146,9	1,17±0,12	99,2	1,39±0,07	118,1
№ 8Ап	1,81±0,12*	31,5	2,17±0,06*	37,7	2,23±0,12*	58,9	2,54±0,12*	67,0	3,06±0,19*	58,5	3,37±0,06*	64,4
№ 8Сп	1,84±0,29*	153,3	2,21±0,04*	184,2	2,09±0,14*	213,2	2,37±0,15*	241,8	2,61±0,14*	221,2	2,93±0,11*	248,3
№ 8Аэ	1,81±0,12*	31,5	2,68±0,15*	46,6	2,23±0,12*	58,9	2,83±0,17*	74,7	3,06±0,19*	58,5	3,92±0,16*	75,0
№ 8Сэ	1,84±0,29*	153,3	2,73±0,09*	227,5	2,09±0,14*	213,2	2,69±0,04*	274,5	2,61±0,14*	221,2	3,24±0,12*	274,6
№ 8Ак	1,81±0,12*	31,5	2,09±0,11*	36,3	2,23±0,12*	58,9	2,42±0,16*	63,9	3,06±0,19*	58,5	3,25±0,04*	62,1
№ 8Ск	1,84±0,29*	153,3	2,14±0,05*	178,3	2,09±0,14*	213,2	2,26±0,15*	230,6	2,61±0,14*	221,2	2,82±0,03*	239,0
№ 6 А	5,75 ± 0,39				3,79±0,07				5,23±0,25			
№ 6 С	1,2 ± 0,13				0,98±0,03				1,18±0,11			

В осенний период исследований в генетических горизонтах почв урбанизированных экосистем зафиксировано восстановление значений концентрации аммонийного азота до уровня, зафиксированного при весеннем отборе проб, тогда как в эдафотопх породных отвалов продолжалось отмеченное ранее увеличение содержания обменного аммония на 11–37 % по сравнению с летним отбором проб (см. табл. 1, 2).

Анализ данных табл. 3 и 4 позволил установить, что в эдафотопх практически всех мониторинговых участков азота нитритных соединений аккумулируется преимущественно в гумусо-аккумулятивном генетическом горизонте. Исключение составляет только участок № 11, в почве которого не отмечено статистически достоверных отличий в содержании исследуемой формы минерального азота между генетическими горизонтами. Распределение азота нитритных соединений в эдафотопх урбанизированных экосистем по отношению к показателям зональной почвы достаточно монотонно и варьирует в пределах 80–150 %. Однако, в примитивных неразвитых фрагментарных почвах породных отвалов (участки № 3, 4, 7 и 8) зафиксировано существенное снижение концентрации нитритного азота (на 43–90 %), по-видимому, обусловленное как недостаточностью пула общего азота, так и активным окислением нитритов до нитратов.

Проведение биологической рекультивации положительно сказалось на содержании азота нитритных соединений лишь в случае использования эспарцета, а отмеченное увеличение составляло от 8–28 % в почвах урбанизированных экосистем до 10–112 % в эдафотопх породных отвалов. По нашему мнению, это объясняется спецификой функционирования ризобияльной микробиоты растений семейства Fabaceae, осуществляющей процесс фиксации азота, входящего в состав воздушной фазы почв. В эдафотопх мониторинговых участков с высевом семян растений семейства Poaceae и китайбелии не установлено статистически достоверных различий по сравнению с аналогичными генетическими горизонтами участков с естественной растительностью. Следует отметить, что зафиксированное повышение практически не изменило распределение значений относительно контроля.

При исследовании сезонной динамики содержания нитритов в почве установлено, что в летний период общей тенденцией является уменьшение концентрации данной формы минерального азота по сравнению с предыдущим этапом исследований на 15–60 %. Вероятнее всего, это связано с интенсификацией потребления растениями соединений азота в период вегетации, что усиливает микробиологическую трансформацию нитритов.

Проведение фиторекультивационных мероприятий так же, как и в весенний период привело к возрастанию концентрации нитритной формы азота в различных генетических горизонтах эдафотопх мониторинговых участков только в вариантах с эспарцетом. Следует отметить, что степень выраженности позитивного эффекта рекультивации наиболее ярко проявлялась в эдафотопх породных отвалов, где отмеченное возрастание составляло 21–113 % по сравнению с участками с естественным растительным покровом. При использовании в качестве фитомелиорантов злаков и китайбелии, позитивного эффекта фиторекультивации на содержание данной формы минерального азота зафиксировано не было (см. табл. 3, 4).

Поступление в почву растительного опада интенсифицировало функционирование деструкционного звена почвенной биоты, что, в свою очередь, отразилось на концентрации нитритного азота в осенний период исследований, содержание которого возрастало практически до уровня, зафиксированного при весеннем отборе проб в эдафотопх всех мониторинговых участков, за исключением участков № 3 и 4, в которых снизилось на 55–80 % по сравнению с предыдущим отбором проб. Как и в предыдущие периоды отбора проб позитивный эффект рекультивации эдафотопх посттехногенных экосистем на содержание азота нитритных соединений отмечен только при использовании эспарцета. Так, значения исследуемого показателя статистически достоверно возрастали на 9–25 и 23–109 % в почвах урбанизированных экосистем и породных отвалов соответственно по сравнению с аналогичными генетическими горизонтами участков с естественной растительностью.

Таблица 3

Содержание нитритного азота (мг N-NO₂/100 г почвы) в почвах урбанизированных экосистем

Участок, горизонт	Весна				Лето				Осень			
	Нерекультивируемые		Рекультивируемые		Нерекультивируемые		Рекультивируемые		Нерекультивируемые		Рекультивируемые	
	М ± m	%	М ± m	%	М ± m	%	М ± m	%	М ± m	%	М ± m	%
№ 2 Ап	41,26±0,21*	85,2	46,07±0,53*	95,1	28,43±0,14	90,8	34,78±0,12	110,9	36,92±0,38*	72,3	41,32±0,17*	80,9
№ 2 Сп	23,05±0,17	100,7	19,74±1,15	86,3	16,18±0,16*	89,2	17,53±0,39	96,7	19,47±0,63	96,2	20,19±0,41	99,7
№ 2 Аэ	41,26±0,21*	85,2	44,75±0,58*	92,4	28,43±0,14	90,8	32,89±1,37	105,0	36,92±0,38*	72,3	44,49±1,15*	87,1
№ 2 Сэ	23,05±0,17	100,7	24,99±0,79	109,2	16,18±0,16*	89,2	18,4±0,35	101,5	19,47±0,63	96,2	20,51±1,6	101,3
№ 2 Ак	41,26±0,21*	85,2	41,85±0,95*	86,4	28,43±0,14	90,8	30,78±0,27	98,3	36,92±0,38*	72,3	41,59±0,91*	81,4
№ 2Ск	23,05±0,17	100,7	21,03±0,91	91,9	16,18±0,16*	89,2	17,61±0,53	97,1	19,47±0,63	96,2	19,98±1,15	98,7
№ 10Ап	41,81±0,37*	86,3	43,12±0,52*	89,0	29,04±0,25	92,7	30,13±0,24	96,2	39,44±0,26*	77,2	41,63±0,58*	81,5
№ 10Сп	29,44±0,26*	128,7	31,06±0,27*	135,8	17,86±0,17	98,5	18,24±0,19	100,6	28,78±0,23*	142,2	29,87±0,33*	147,6
№ 10Аэ	41,81±0,37*	86,3	45,22±0,18*	93,4	29,04±0,25	92,7	32,07±0,17	102,4	39,44±0,26*	77,2	43,92±0,26*	86,0
№ 10 Сэ	29,44±0,26*	128,7	33,71±0,24*	147,3	17,86±0,17	98,5	19,78±0,11	109,0	28,78±0,23*	142,2	31,44±0,18*	155,3
№ 10 Ак	41,81±0,37*	86,3	42,71±0,33*	88,2	29,04±0,25	92,7	29,68±0,36	94,8	39,44±0,26*	77,2	40,85±0,62*	80,0
№ 10Ск	29,44±0,26*	128,7	30,85±0,37*	134,8	17,86±0,17	98,5	18,52±0,53	102,1	28,78±0,23*	142,2	29,15±0,37*	144,0
№ 11Ап	38,95±0,53*	80,4	41,79±0,24*	86,3	35,79±0,82*	114,3	36,49±0,27*	116,5	38,69±0,7*	75,8	40,07±0,36*	78,5
№ 11Сп	35,79±0,7*	156,4	36,27±0,31*	158,8	30,52±0,91*	168,3	32,04±0,28*	176,6	35,26±1,65*	147,2	36,92±0,47*	182,4
№ 11 Аэ	38,95±0,53*	80,4	46,33±0,91	95,6	35,79±0,82*	114,3	42,38±0,46*	135,3	38,69±0,7*	75,8	48,44±0,53	94,8
№ 11 Сэ	35,79±0,7*	156,4	45,8±0,53*	200,2	30,52±0,91*	168,3	37,37±1,39*	206,1	35,26±1,65*	147,2	42,17±0,47*	208,3
№ 11 Ак	38,95±0,53*	80,4	42,14±0,36*	87,0	35,79±0,82*	114,3	36,18±0,37*	115,6	38,69±0,7*	75,8	39,97±0,51*	78,3
№ 11 Ск	35,79±0,7*	156,4	35,88±0,43*	156,8	30,52±0,91*	168,3	31,98±0,41*	176,3	35,26±1,65*	147,2	36,03±0,37*	178,0
№ 6 А	48,44±0,95				31,31±1,42				51,07±1,65			
№ 6 С	22,88±0,84				18,14±0,84				20,24±0,79			

Таблица 4

Содержание нитритного азота (мг N-NO₂/100 г почвы) в почвах экосистем породных отвалов

Участок, горизонт	Весна				Лето				Осень			
	Нерекультивируемые		Рекультивируемые		Нерекультивируемые		Рекультивируемые		Нерекультивируемые		Рекультивируемые	
	М ± m	%	М ± m	%	М ± m	%	М ± m	%	М ± m	%	М ± m	%
№ 3Ап	27,84±0,14*	57,5	26,95±0,32*	55,6	16,03±0,08*	51,2	16,22±0,19*	51,8	7,22±0,06*	14,1	7,86±0,63*	15,4
№ 3Сп	18,43±0,16*	80,5	19,02±0,28*	83,1	11,27±0,05*	62,1	11,67±0,29*	64,3	3,18±0,02*	15,7	3,31±0,19*	16,4
№ 3Аэ	27,84±0,14*	57,5	30,16±0,79*	62,3	16,03±0,08*	51,2	19,44±0,07*	62,1	7,22±0,06*	14,1	8,91±0,05*	17,5
№ 3 Сэ	18,43±0,16*	80,5	21,03±0,46	91,9	11,27±0,05*	62,1	14,87±0,21*	82,0	3,18±0,02*	15,7	5,34±0,13	26,4
№ 3 Ак	27,84±0,14*	57,5	27,12±0,41*	56,0	16,03±0,08*	51,2	16,47±0,27*	52,6	7,22±0,06*	14,1	7,59±0,27*	14,9
№ 3Ск	18,43±0,16*	80,5	18,81±0,33*	82,2	11,27±0,05*	62,1	11,38±0,25*	62,7	3,18±0,02*	15,7	3,05±0,24*	15,1
№ 4Ап	29,25±0,18*	60,4	30,27±0,44*	62,5	18,31±0,06*	58,5	17,93±0,31*	57,3	4,22±0,04*	8,3	4,36±0,19*	8,5
№ 4Сп	21,16±0,12	92,5	21,81±0,39	95,3	8,42±0,04*	46,4	8,69±0,24*	47,9	1,63±0,03*	8,0	1,82±0,21*	9,0
№ 4Аэ	29,25±0,18*	60,4	35,79±1,39*	73,9	18,31±0,06*	58,5	22,88±0,16*	73,1	4,22±0,04*	8,3	5,49±0,18*	10,7
№ 4 Сэ	21,16±0,12	92,5	26,3±0,53*	115,0	8,42±0,04*	46,4	10,49±0,06*	57,9	1,63±0,03*	8,0	2,89±0,15*	14,3
№ 4 Ак	29,25±0,18*	60,4	30,42±0,51*	62,8	18,31±0,06*	58,5	18,06±0,18*	57,7	4,22±0,04*	8,3	4,28±0,18*	8,4
№ 4Ск	21,16±0,12	92,5	20,97±0,64	91,7	8,42±0,04*	46,4	8,31±0,19*	45,8	1,63±0,03*	8,0	1,73±0,14*	8,5
№ 7Ап	5,17±0,16*	10,7	5,47±0,29*	11,3	3,61±0,13*	11,5	3,84±0,17*	12,3	4,27±0,15*	8,4	4,48±0,23*	8,8
№ 7Сп	3,63±0,11*	15,9	3,81±0,14*	16,7	2,35±0,13*	13,0	2,49±0,08*	13,7	2,88±0,09*	14,2	2,91±0,16*	14,4
№ 7Аэ	5,17±0,16*	10,7	10,76±0,53*	22,2	3,61±0,13*	11,5	5,7±0,16*	18,2	4,27±0,15*	8,4	8,65±0,26*	16,9
№ 7Сэ	3,63±0,11*	15,9	7,7±0,53*	33,7	2,35±0,13*	13,0	4,09±0,05*	22,6	2,88±0,09*	14,2	6,01±0,79*	29,7
№ 7Ак	5,17±0,16*	10,7	5,11±0,25*	10,5	3,61±0,13*	11,5	3,78±0,14*	12,1	4,27±0,15*	8,4	4,32±0,15*	8,5
№ 7Ск	3,63±0,11*	15,9	3,92±0,31*	17,1	2,35±0,13*	13,0	2,31±0,19*	12,7	2,88±0,09*	14,2	3,02±0,27*	14,9
№ 8Ап	8,55±0,46*	17,7	9,02±0,47*	18,6	6,54±0,26*	20,9	7,03±0,38*	22,5	7,87±0,7*	15,4	8,06±0,24*	15,8
№ 8Сп	3,28±0,26*	14,3	3,46±0,23*	15,1	2,74±0,13*	15,1	2,81±0,15*	15,5	3,38±0,16*	16,7	3,48±0,19*	17,2
№ 8Аэ	8,55±0,46*	17,7	13,86±0,29*	28,6	6,54±0,26*	20,9	10,43±0,21*	33,3	7,87±0,7*	15,4	11,87±0,36*	23,2
№ 8Сэ	3,28±0,26*	14,3	5,91±0,24*	25,8	2,74±0,13*	15,1	5,83±0,14*	32,1	3,38±0,16*	16,7	5,51±0,22*	27,2
№ 8Ак	8,55±0,46*	17,7	8,69±0,35*	17,9	6,54±0,26*	20,9	7,15±0,62*	22,8	7,87±0,7*	15,4	7,92±0,18*	15,5
№ 8Ск	3,28±0,26*	14,3	3,37±0,19*	14,7	2,74±0,13*	15,1	2,64±0,29*	14,6	3,38±0,16*	16,7	3,27±0,24*	16,2
№ 6 А	48,44±0,95				31,31±1,42				51,07±1,65			
№ 6 С	22,88±0,84				18,14±0,84				20,24±0,79			

Наряду с обменным аммонием высокоподвижные нитратные соединения азота являются основными его источниками, обеспечивающими азотное питание растений, а поглощение азота корневыми системами происходит преимущественно в форме окисных (нитратных) соединений [11]. Увеличение нитрификационной микробиологической активности, обусловленной достаточным запасом влаги, накопленным за осенне-зимний период, и постепенным повышением температуры, способствующей активной минерализации органического вещества почвы привело к тому, что наибольшее количество минерального азота нитратных соединений в почве мониторинговых участков отмечено в весенний период исследований (табл. 5, 6).

Прослеживается тенденция накопления данной формы азота в верхних почвенных горизонтах, обусловленная высокой биологической активностью верхнего слоя почвы и лучшими гидротермическими условиями (см. табл. 5, 6). Исключение составляют только примитивные неразвитые фрагментарные почвы породного отвала (участки № 7 и 8), в которых не зафиксировано статистически достоверных различий между генетическими горизонтами, что объясняется как укороченностью почвенного профиля данных мониторинговых участков, так и высокой мобильностью нитратного азота. Следует отметить, что в эдафотопках экосистем породных отвалов процесс аккумуляции азота нитратных соединений лимитируется не только ограниченностью запасов органического материала, но и неблагоприятными эдафическими условиями, что обуславливает низкий уровень концентрации нитратного азота, значения которой находятся в пределах от 4 до 16 % по отношению к зональной почве.

Выявленный позитивный эффект фиторекультивации наиболее значительно проявлялся в примитивных неразвитых почвах на песчанике (участок № 2), что привело к возрастанию содержания азота нитратных соединений на 31–207 % в сравнении с аналогичными генетическими горизонтами участка с естественным растительным покровом. Следует отметить, что в данном случае усиление аккумуляции нитратной формы азота имело видоспецифический характер, обусловленный спецификой ризобияльного комплекса азотфиксирующих микроорганизмов бобовых растений. Так, если при посеве эспарцета концентрация нитратного азота возросла более чем в 3 раза, то использование китайбелии и смеси злаков привело только к двукратному повышению значений. На остальных мониторинговых участках увеличение было выражено не так существенно и составляло 14–68 % только при использовании в качестве фитомелиоранта эспарцета.

При исследовании сезонной динамики содержания нитратов в почве установлено, что в летний период при активном развитии растительности наблюдается резко выраженный минимум количества нитратов за счет интенсификации их потребления растениями в период усиленной вегетации, а также вследствие снижения процессов аммонификации и нитрификации, обусловленных ухудшением гидротермических условий. По отношению к зональной почве характер распределения азота нитратных соединений остался практически неизменным как по мониторинговым участкам, так и по их генетическим горизонтам.

Видоспецифический характер положительного эффекта рекультивации на содержание нитратного азота отмечен только в примитивных неразвитых почвах на песчанике, однако степень его выраженности была несколько выше, чем в предыдущий период исследований. Так, при использовании в качестве фиторекультиванта эспарцета концентрация азота нитратных соединений увеличивалась в среднем на 365 %, а поликомпонентной злаковой смеси и китайбелии – на 159 и 326 % соответственно по сравнению с аналогичными генетическими горизонтами участков без проведения рекультивационных мероприятий. Как и при весеннем отборе проб в эдафотопках остальных мониторинговых участков возрастание содержания нитратного азота на 18–80 % было отмечено только при посеве эспарцета. Тогда как в остальных вариантах статистически достоверных различий относительно нерекультивируемых участков установлено не было.

Таблица 5

Содержание нитратного азота (мг N-NO₃/100 г почвы) в почвах урбанизированных экосистем

Участок, горизонт	Весна				Лето				Осень			
	Нерекультивируемые		Рекультивируемые		Нерекультивируемые		Рекультивируемые		Нерекультивируемые		Рекультивируемые	
	М ± m	%	М ± m	%	М ± m	%	М ± m	%	М ± m	%	М ± m	%
№ 2 Ап	0,45±0,03*	13,6	0,75±0,02*	22,7	0,21±0,04*	11,7	0,34±0,01*	18,7	0,42±0,08*	16,2	0,69±0,03*	26,4
№ 2 Сп	0,16±0,01*	18,4	0,21±0,01*	24,1	0,07±0,01*	17,1	0,11±0,01*	28,3	0,13±0,02*	17,8	0,2±0,01*	26,9
№ 2 Аэ	0,45±0,03*	13,6	1,38±0,07*	43,2	0,21±0,04*	11,7	1,03±0,05*	57,3	0,42±0,08*	16,2	1,25±0,1*	48,0
№ 2 Сэ	0,16±0,01*	18,4	0,47±0,02*	53,6	0,07±0,01*	17,1	0,31±0,02*	76,9	0,13±0,02*	17,8	0,5±0,04*	68,3
№ 2 Ак	0,45±0,03*	13,6	0,89±0,07*	28,0	0,21±0,04*	11,7	0,68±0,06*	37,9	0,42±0,08*	16,2	0,8±0,02*	30,8
№ 2Ск	0,16±0,01*	18,4	0,31±0,02*	35,6	0,07±0,01*	17,1	0,23±0,02*	56,1	0,13±0,02*	17,8	0,27±0,01*	36,4
№ 10Ап	0,89±0,12*	27,0	0,98±0,14*	29,7	0,65±0,07*	36,1	0,74±0,03*	41,1	0,81±0,04*	31,2	0,91±0,04*	35,0
№ 10Сп	0,41±0,08*	47,1	0,52±0,03*	59,8	0,32±0,03*	78,0	0,37±0,01	90,2	0,36±0,03*	49,3	0,47±0,03*	64,4
№ 10Аэ	0,89±0,12*	27,0	1,24±0,16*	37,6	0,65±0,07*	36,1	0,88±0,03*	48,9	0,81±0,04*	31,2	1,16±0,11*	44,6
№ 10 Сэ	0,41±0,08*	47,1	0,67±0,08*	77,0	0,32±0,03*	78,0	0,46±0,02	112,2	0,36±0,03*	49,3	0,63±0,05	86,3
№ 10 Ак	0,89±0,12*	27,0	1,03±0,12*	31,2	0,65±0,07*	36,1	0,72±0,04*	40,0	0,81±0,04*	31,2	0,89±0,05*	34,2
№ 10Ск	0,41±0,08*	47,1	0,54±0,06*	62,1	0,32±0,03*	78,0	0,35±0,04	85,4	0,36±0,03*	49,3	0,44±0,06*	60,3
№ 11Ап	1,11±0,07*	34,9	1,15±0,03*	34,8	0,88±0,07*	48,7	0,91±0,02*	50,6	1,13±0,04*	43,4	1,15±0,03*	44,2
№ 11Сп	0,53±0,04*	60,2	0,57±0,03*	65,5	0,38±0,01	94,6	0,39±0,01	95,1	0,49±0,06*	67,3	0,51±0,01*	69,9
№ 11 Аэ	1,11±0,07*	34,9	1,26±0,07*	39,7	0,88±0,07*	48,7	1,04±0,06*	57,8	1,13±0,04*	43,4	1,27±0,05*	48,8
№ 11 Сэ	0,53±0,04*	60,2	0,68±0,04*	76,9	0,38±0,01	94,6	0,46±0,04	113,7	0,49±0,06*	67,3	0,62±0,02*	84,3
№ 11 Ак	1,11±0,07*	34,9	1,09±0,02*	33,0	0,88±0,07*	48,7	0,93±0,03*	51,7	1,13±0,04*	43,4	1,08±0,06*	41,5
№ 11 Ск	0,53±0,04*	60,2	0,56±0,03*	64,4	0,38±0,01	94,6	0,37±0,01	90,2	0,49±0,06*	67,3	0,5±0,02*	68,5
№ 6 А	3,3±0,14				1,8±0,03				2,6±0,3			
№ 6 С	0,87±0,07				0,41±0,05				0,73±0,07			

Таблица 6

Содержание нитратного азота (мг N-NO₃/100 г почвы) в почвах экосистем породных отвалов

Участок, горизонт	Весна				Лето				Осень			
	Нерекультивируемые		Рекультивируемые		Нерекультивируемые		Рекультивируемые		Нерекультивируемые		Рекультивируемые	
	М ± m	%	М ± m	%	М ± m	%	М ± m	%	М ± m	%	М ± m	%
№ 3 Ап	0,41±0,02*	12,4	0,43±0,03*	13,0	0,19±0,02*	10,3	0,21±0,01*	11,7	0,39±0,09*	15,0	0,41±0,03*	15,8
№ 3 Сп	0,12±0,02*	13,8	0,11±0,01*	12,6	0,05±0,01*	11,2	0,06±0,01	14,6	0,13±0,04*	17,4	0,14±0,01*	19,2
№ 3 Аэ	0,41±0,02*	12,4	0,69±0,04*	20,9	0,19±0,02*	10,3	0,31±0,02*	17,4	0,39±0,09*	15,0	0,62±0,02*	23,7
№ 3 Сэ	0,12±0,02*	13,8	0,17±0,03*	19,5	0,05±0,01*	11,2	0,09±0,02*	22,6	0,13±0,04*	17,4	0,18±0,01*	24,7
№ 3 Ак	0,41±0,02*	12,4	0,45±0,02*	13,6	0,19±0,02*	10,3	0,2±0,03*	11,1	0,39±0,09*	15,0	0,43±0,02*	16,5
№ 3 СК	0,12±0,02*	13,8	0,13±0,01*	14,9	0,05±0,01*	11,2	0,05±0,01*	11,2	0,13±0,04*	17,4	0,13±0,01*	17,8
№ 4 Ап	0,43±0,04*	13,0	0,41±0,03*	12,4	0,18±0,02*	9,9	0,2±0,02*	11,1	0,42±0,11*	16,1	0,44±0,03*	16,9
№ 4 Сп	0,13±0,02*	14,9	0,12±0,01*	13,8	0,04±0,01*	9,5	0,04±0,01*	9,8	0,11±0,05*	15,2	0,12±0,01*	16,4
№ 4 Аэ	0,43±0,04*	13,0	0,68±0,06*	19,4	0,18±0,02*	9,9	0,3±0,04*	16,7	0,42±0,11*	16,1	0,58±0,04*	22,4
№ 4 Сэ	0,13±0,02*	14,9	0,18±0,03*	20,7	0,04±0,01*	9,5	0,07±0,01*	16,9	0,11±0,05*	15,2	0,19±0,03*	25,3
№ 4 Ак	0,43±0,04*	13,0	0,45±0,02*	13,6	0,18±0,02*	9,9	0,19±0,01*	10,6	0,42±0,11*	16,1	0,45±0,02*	17,3
№ 4 СК	0,13±0,02*	14,9	0,11±0,01*	12,6	0,04±0,01*	9,5	0,05±0,01*	11,2	0,11±0,05*	15,2	0,11±0,01*	15,2
№ 7 Ап	0,13±0,03*	3,9	0,12±0,01*	3,6	0,15±0,01*	8,3	0,16±0,02*	8,9	0,12±0,01*	4,6	0,13±0,01*	5,0
№ 7 Сп	0,11±0,01*	12,6	0,09±0,01*	10,3	0,12±0,02*	29,3	0,13±0,01*	31,7	0,13±0,02*	17,8	0,14±0,01*	19,2
№ 7 Аэ	0,13±0,03*	3,9	0,2±0,01*	6,4	0,15±0,01*	8,3	0,24±0,02*	13,4	0,12±0,01*	4,6	0,23±0,01*	9,0
№ 7 Сэ	0,11±0,01*	12,6	0,16±0,04*	18,6	0,12±0,02*	29,3	0,14±0,02*	35,7	0,13±0,02*	17,8	0,18±0,01*	25,1
№ 7 Ак	0,13±0,03*	3,9	0,14±0,01*	4,2	0,15±0,01*	8,3	0,16±0,02*	8,9	0,12±0,01*	4,6	0,11±0,01*	4,2
№ 7 СК	0,11±0,01*	12,6	0,1±0,01*	11,5	0,12±0,02*	29,3	0,11±0,01*	26,8	0,13±0,02*	17,8	0,15±0,01*	20,5
№ 8 Ап	0,18±0,04*	5,5	0,19±0,03*	5,8	0,17±0,02*	9,4	0,18±0,01*	10,0	0,19±0,02*	7,3	0,18±0,02*	6,9
№ 8 Сп	0,14±0,02*	16,1	0,15±0,01*	17,2	0,12±0,01*	29,3	0,14±0,01*	34,1	0,16±0,01*	21,9	0,15±0,01	20,5
№ 8 Аэ	0,18±0,04*	5,5	0,25±0,03*	7,6	0,17±0,02*	9,4	0,27±0,03*	15,0	0,19±0,02*	7,3	0,29±0,02*	11,2
№ 8 Сэ	0,14±0,02*	16,1	0,2±0,02*	23,0	0,12±0,01*	29,3	0,19±0,01*	46,3	0,16±0,01*	21,9	0,21±0,01*	28,8
№ 8 Ак	0,18±0,04*	5,5	0,17±0,02*	5,2	0,17±0,02*	9,4	0,16±0,01*	8,9	0,19±0,02*	7,3	0,2±0,01*	7,7
№ 8 СК	0,14±0,02*	16,1	0,16±0,01*	18,4	0,12±0,01*	29,3	0,13±0,01*	31,7	0,16±0,01*	21,9	0,17±0,01*	23,3
№ 6 А	3,3±0,14				1,8±0,03				2,6±0,3			
№ 6 С	0,87±0,07				0,41±0,05				0,73±0,07			

При увеличении длительности исследований зафиксировано повышение концентрации азота нитратных соединений в эдафотопях всех исследуемых мониторинговых участков, приближающееся к значениям, полученным при весеннем отборе проб. Установленное накопление соединений азота в прикорневой зоне растений происходит в результате прекращения активной вегетации, а, следовательно, и активного поглощения элементов минерального питания, при продолжающихся микробиологических процессах аммонификации и нитрификации. Практически неизменными в сравнении с другими периодами исследований остались характер и степень выраженности позитивного эффекта рекультивации на содержание нитратного азота.

Выводы

Максимальный положительный фиторекультивационный эффект на содержание аммонийного азота оказал высев эспарцета, что выражалось не только в увеличении процентного соотношения относительно зональной почвы, но и в превышении аналогичных показателей нерекультивируемых участков. Высев на мониторинговых участках растений семейства Роасеае привел к увеличению содержания азота аммонийных соединений в генетических горизонтах почв на 10–46 %. С другой стороны, на мониторинговых участках со сформированными моновидовыми насаждениями китайбелии не выявлен ее позитивный эффект на содержание азота аммонийных соединений.

Проведение биологической рекультивации положительно сказалось на содержании азота нитритных соединений лишь в случае использования эспарцета, а отмеченное увеличение составляло от 8–28 % в почвах урбанизированных экосистем до 10–112 % в эдафотопях породных отвалов. По нашему мнению, это объясняется спецификой функционирования ризобияльной микробиоты растений семейства Fabaceae, осуществляющей процесс фиксации азота, входящего в состав воздушной фазы почв. В эдафотопях мониторинговых участков с высевом семян растений семейства Роасеае и китайбелии не установлено статистически достоверных различий по сравнению с аналогичными генетическими горизонтами участков с естественной растительностью.

Позитивный эффект фиторекультивации на содержание нитратного азота наиболее показателен в примитивных неразвитых почвах на песчанике (участок № 2), что привело к возрастанию содержания азота нитратных соединений на 31–207 % в сравнении с аналогичными генетическими горизонтами участка с естественным растительным покровом. Следует отметить, что в данном случае усиление аккумуляции нитратной формы азота имело видоспецифический характер, обусловленный спецификой ризобияльного комплекса азотфиксирующих микроорганизмов бобовых растений. Так, при посеве эспарцета концентрация нитратного азота возросла более чем в 3 раза, а использование китайбелии и смеси злаков привело только к двукратному повышению значений. На остальных мониторинговых участках увеличение было выражено не так существенно и составляло 14–68 % только при использовании в качестве фитомелиоранта эспарцета.

Список литературы

1. *Александрова Л. Н.* Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. М. : Наука, 1980. 287 с.
2. *Андроханов В. А., Кулипина В. М., Курачев В. М.* Почвы техногенных ландшафтов: генезис и эволюция. Новосибирск : СО РАН, 2004. 151 с.
3. *Гаджиев И. М., Курачев В. М., Рагим-заде Ф. К.* Экология и рекультивация техногенных ландшафтов. Новосибирск : Наука, 1992. 303 с.
4. *Доспехов Б. А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М. : Агропромиздат, 1985. 351 с.
5. Методические рекомендации по морфологическому описанию почв / сост. А. Г. Дюкарев, Н. Н. Пологова, Л. И. Герасько. Томск : Изд-во СО РАН, 1999. 39 с.

6. Методы почвенной микробиологии и биохимии / под. ред. Д. Г. Звягинцева. М. : Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
7. Практикум по агрохимии / Под ред. В. Г. Минеева. М. : Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
8. *Приседський Ю. Г.* Статистична обробка результатів біологічних експериментів : навчальний посібник. Донецьк : Касіопія, 1999. 210 с.
9. *Розанов Б. Г.* Морфология почв. М. : Изд-во МГУ, 1983. 320 с.
10. *Тюрин И. В.* Органическое вещество почвы и его роль в плодородии. М. : Наука, 1965. 320 с.
11. *Цыбулька Н. Н., Семененко Н. Н.* Азотный режим дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы и продуктивность озимой ржи // Известия Академии аграрных наук Республики Беларусь. 1998. № 3. С. 46–52.

Syshchykov D. V., Agurova I. V. The content of mineral nitrogen in the soils of posttechnogenous ecosystems: assessment of the success of phytoremediation work. – The results of the studies carried out testify to the positive effect of phytorecultivation on the content of various forms of mineral nitrogen in the soils of posttechnogenous ecosystems. Among all the studied options, the greatest positive effect was recorded in the case of using *Onobrychis arenaria* (Kit.) DC., when sowing which the content of ammonium nitrogen increased by 25–105 %, nitrite nitrogen – by 8–112 %, nitrate nitrogen – by 14–207 % compared to uncultivated areas.

Key words: elements of mineral nutrition, edaphotope, posttechnogenous ecosystems, ammonium nitrogen, nitrite nitrogen, nitrate nitrogen, monitoring site.

© О. В. Чемерис

ЦЕЛЛЮЛАЗНАЯ АКТИВНОСТЬ ГРИБА *IRPEX LACTEUS* (FR.) FR. ПРИ ТВЕРДОФАЗНОМ КУЛЬТИВИРОВАНИИ НА ДРЕВЕСНЫХ ОПИЛКАХ

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

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

Чемерис О. В. Целлюлазная активность гриба *Irpex lacteus* (Fr.) Fr. при твердофазном культивировании на древесных опилках. – В условиях твердофазной ферментации гриба *Irpex lacteus* установлено влияние индукторов растительного происхождения – древесных опилок на биосинтез ферментов целлюлазного комплекса. Оптимальным индуктором для биосинтеза ферментов целлюлазного комплекса штаммами *I. lacteus* являются опилки яблони.

Ключевые слова: базидиальный ксилотроф *Irpex lacteus*, целлюлазы, эндоглюканазы, твердофазное культивирование, древесные опилки.

Введение

Ферменты целлюлозолитического комплекса действуют синергическим образом, способствуя гидролизу целлюлозы в глюкозу [8]. Ферментные препараты целлюлаз нашли широкое промышленное применение [14]. Целлюлазы являются индуцируемыми ферментами, синтезируемыми многими микроорганизмами, включая нитчатые грибы и бактерии [7, 15]. Среди микроорганизмов продуцентами являются представители родов *Clostridium*, *Cellulomonas*, *Thermomonos*, *Bacillus*, *Trichoderma* и *Aspergillus* [7, 10]. Базидиомицеты способны к деградации древесины и могут быть использованы в качестве альтернативного и безопасного источника внеклеточных целлюлолитических ферментов. Известно, что на выработку целлюлаз базидиомицетами влияет несколько факторов, таких как вид продуцента [10], состав питательной среды [1, 16, 18], способ культивирования (твердо- или жидкофазное культивирование) [6, 12], условия культивирования (рН, температура, аэрация, влажность) [20] и природа субстрата [11, 19] и т. д.

Целью данного исследования было изучение влияния различных источников индукторов растительного происхождения в условиях твердофазной ферментации на биосинтез ферментов целлюлозолитического действия грибом *Irpex lacteus* (Fr.) Fr.

Материал и методы исследования

Объектом исследования были пять штаммов гриба *I. lacteus* 1080, 1082, 1631, 1632 и 2434 из коллекции культур кафедры физиологии растений ГОУ ВПО «ДОННУ» и Коллекции культур шляпочных грибов Института ботаники им. Н. Г. Холодного НАН Украины (ИБК).

Штаммы *I. lacteus* культивировали в колбах Эрленмейера объемом 100 мл на увлажненных лигноцеллюлозных субстратах, которые использовали в качестве индукторов целлюлозолитических ферментов, – опилках хвойных пород (размер частиц 2–3 мм) и яблони (размер частиц 5–7 мм) в течение 30 суток при температуре 32 °С. Экстракцию внеклеточных ферментов целлюлозолитического действия проводили 20 мл холодной дистиллированной воды в течение 1 ч. Полученную культуральную жидкость центрифугировали при 3 000 об./мин в течение 5 мин для удаления частиц субстрата и мицелия. Активность ферментов целлюлазного комплекса определяли через каждые 5 суток, начиная с 5-го дня после инокуляции продуцентом.

Активность целлюлозолитических ферментов штаммов *I. lacteus* определяли относительно следующих субстратов: фильтровальная бумага (Filtrak, плотность 90 г/м²) – общая целлюлозолитическая активность, На-карбоксиметилцеллюлоза (C5678, Sigma, США) – эндоглюканазная активность. Состав реакционных смесей для определения целлюлозолитической активности и условия проведения реакций соответствовали общепринятым методикам [3, 4, 13]. За единицу целлюлозолитической активности (Ед) принимали такое количество фермента, которое образовывало 1 μmol редуцирующих

сахаров в течение 1 мин в условиях опыта ($t = +37\text{ }^{\circ}\text{C}$). 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, 17].

Содержание белка в культуральной жидкости определяли по методу Бредфорда [9].

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

При твердофазном культивировании на лигноцеллюлозных субстратах – древесных опилках штаммы *I. lacteus* проявили значительные отличия по целлюлозолитической активности (рис. 1).

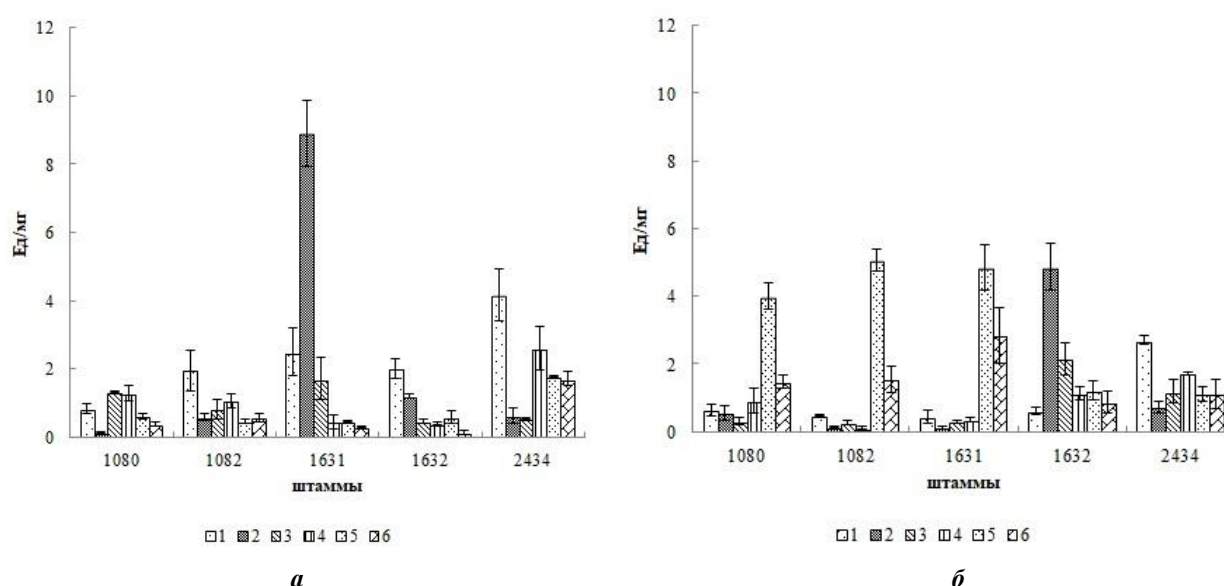


Рис. 1. Удельная общая целлюлозолитическая активность штаммов *I. lacteus* при твердофазном культивировании на хвойных опилках (а) и опилках яблони (б):
1 – 5-е сутки, 2 – 10-е сутки, 3 – 15-е сутки, 4 – 20-е сутки, 5 – 25-е сутки, 6 – 30-е сутки

Установлено, что на 5-е сутки культивирования на опилках хвойных пород всех исследованных штаммов *I. lacteus* наблюдалась достаточно высокая общая целлюлозолитическая активность (рис. 1, а). Наиболее высокие значения ферментативной активности относительно фильтровальной бумаги отмечены для штамма *I. lacteus* 2434 – 4,16 Ед/мг. Для штаммов *I. lacteus* 1082, 1631 и 1632 удельная активность целлюлаз составила 2,0–2,49 Ед/мг. Для штамма *I. lacteus* 1080 установлены наименьшие значения общей целлюлозолитической активности на уровне 0,82 Ед/мг. Однако на 10-е сутки культивирования данных штаммов активность ферментов целлюлазного комплекса значительно снижалась. Исключение составил штамм *I. lacteus* 1631, активность целлюлозолитических ферментов которого возрастала в четыре раза и составила 8,91 Ед/мг.

При дальнейшем культивировании штаммов *I. lacteus* 1080 и 2434 на хвойных опилках отмечен второй пик высокой целлюлозолитической активности относительно фильтровальной бумаги, а для штаммов *I. lacteus* 1082, 1631 и 1632 – снижение ферментативной активности более чем в три раза.

При использовании опилок яблони в качестве индуктора биосинтеза ферментов целлюлазного комплекса отмечены значительные различия удельной целлюлозолитической активности штаммов *I. lacteus* на 5-е сутки твердофазного культивирования (рис. 1, б). Так, для штаммов–продуцентов 1080, 1082, 1631 и 1632 она была невысокой и составляла

0,44–0,64 Ед/мг. Общая целлюлозолитическая активность штамма *I. lacteus* 2434 в этот период была значительно выше и достигала значений 2,69 Ед/мг.

Были зарегистрированы значительные отличия в целлюлозолитической активности исследованных штаммов *I. lacteus* при дальнейшем культивировании на опилках яблони. Так, для штаммов *I. lacteus* 1080, 1082 и 1631 отмечена высокая активность целлюлаз свыше 4 Ед/мг на 25-е сутки культивирования. Для штамма *I. lacteus* 1632 максимальные значения активности целлюлаз отмечены на 10-е сутки культивирования и дальнейшее постепенное снижение к 30-м суткам.

Для штамма *I. lacteus* 2434 максимальные значения удельной целлюлозолитической активности отмечены на 5-е сутки твердофазного культивирования на опилках яблони. С 10-х по 30-е сутки культивирования штамма *I. lacteus* 2434 наблюдалось снижение удельной целлюлазной активности относительно фильтровальной бумаги более чем в два раза.

В результате проведенных исследований отмечен разный характер проявления эндоглюканазной активности штаммов *I. lacteus* при твердофазном культивировании на древесных опилках (рис. 2).

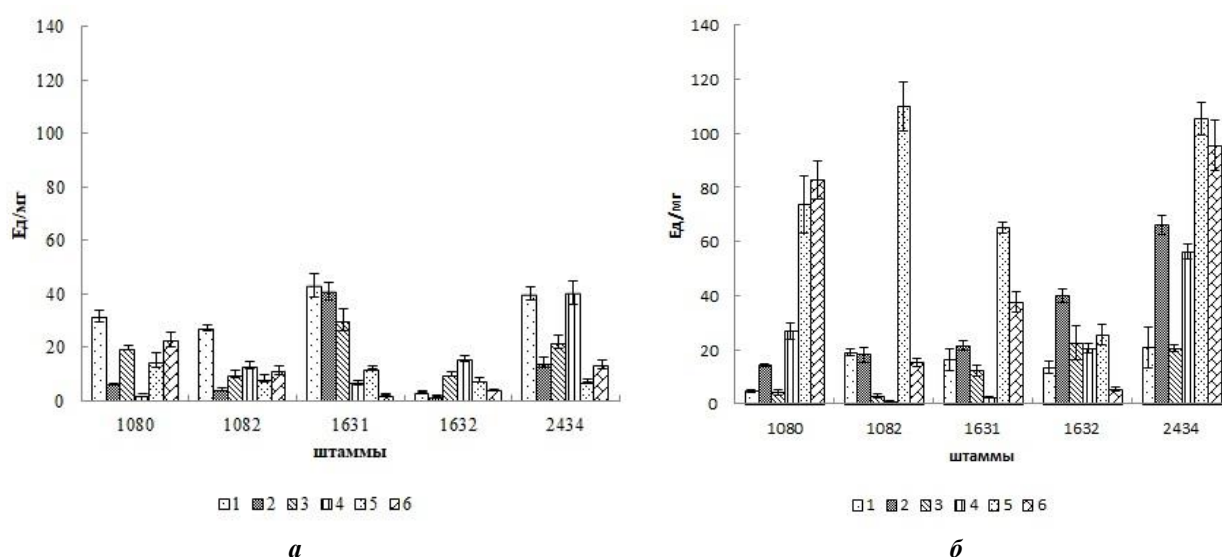


Рис. 2. Удельная эндоглюканазная активность штаммов *I. lacteus* при твердофазном культивировании на хвойных опилках (а) и опилках яблони (б):

1 – 5-е сутки, 2 – 10-е сутки, 3 – 15-е сутки, 4 – 20-е сутки, 5 – 25-е сутки, 6 – 30-е сутки

Так, эндоглюканазная активность штаммов *I. lacteus* при культивировании на хвойных опилках была ниже, чем при использовании опилок яблони в качестве индуктора синтеза целлюлаз. На 5-е сутки твердофазного культивирования на хвойных опилках штаммов *I. lacteus* 1080, 1082, 1631 и 2434 значения активности эндоглюканаз составили от 27,38 до 43,09 Ед/мг (рис. 2, а). Для штамма *I. lacteus* 1632 отмечены наименьшие значения эндоглюканазной активности по сравнению с другими штаммами.

На 10-е сутки культивирования штаммов *I. lacteus* 1080, 1082 и 2434 эндоглюканазная активность снижалась в 4–8 раз. При дальнейшем культивировании этих штаммов *I. lacteus* активность эндоглюканаз повышалась на 15-е сутки культивирования, однако характер проявления эндоглюканазной активности индивидуален для каждого продуцента. Для штамма *I. lacteus* 1080 отмечено еще одно повышение ферментативной активности на 30-е сутки, для штамма 1082 – активность эндоглюканаз оставалась примерно на одном уровне с 15-х по 30-е сутки, а для штамма 2434 – второй пик максимальной эндоглюканазной активности отмечен на 20-е сутки культивирования на хвойных опилках.

Для штамма *I. lacteus* 1631 снижение активности эндоглюканаз отмечено лишь на 15-е сутки твердофазного культивирования на хвойных опилках. Тенденция к снижению ферментативной активности штамма *I. lacteus* 1631 наблюдалась вплоть до 30-х суток культивирования.

При использовании опилок яблони в качестве индуктора биосинтеза ферментов целлюлазного комплекса при твердофазном культивировании штаммов *I. lacteus* наблюдался иной характер проявления эндоглюканазной активности (рис. 2, б). Так, было установлено, что эндоглюканазная активность продуцентов наблюдалась уже на 5-е сутки культивирования. При этом максимальные значения отмечены для штаммов *I. lacteus* 1082 и 2434 и составили 19,0 и 20,89 Ед/мг соответственно, наименьшие – для штамма *I. lacteus* 1080 – 4,72 Ед/мг. Дальнейшее культивирование приводило к повышению активности эндоглюканаз более чем в 2 раза для штаммов *I. lacteus* 1080, 1632 и 2434, а для штаммов *I. lacteus* – 1082 и 1631 активность фермента оставалась на уровне 5-х суток культивирования. Максимальные значения эндоглюканазной активности штаммов *I. lacteus* 1080, 1082, 1631 и 2434 отмечены на 25-е сутки твердофазного культивирования на опилках яблони и составили от 65,22 до 110,03 Ед/мг. При этом высокая ферментативная активность сохранялась на 30-е сутки культивирования только у штаммов *I. lacteus* 1080 и 2434.

Для штамма *I. lacteus* 1632 максимум активности эндоглюканаз отмечен на 10-е сутки культивирования на опилках яблони. Постепенное снижение эндоглюканазной активности наблюдалось к 30-м суткам культивирования.

Анализируя полученные данные нужно отметить, что при твердофазном культивировании на древесных опилках (хвойных и яблони) данные штаммы проявили более высокую целлюлозолитическую активность относительно Na-карбоксиметилцеллюлозы, чем при жидкофазном [5]. Вид лигноцеллюлозного субстрата оказывал значительное влияние на синтез ферментов целлюлазного комплекса данными продуцентами. Так, при использовании хвойных опилок высокая целлюлозолитическая активность штаммов *I. lacteus* наблюдалась на начальных этапах культивирования, а при использовании опилок яблони – на более поздних сроках. Кроме того, более высокая активность ферментов целлюлазного комплекса штаммов *I. lacteus* установлена при культивировании на опилках яблони.

Выводы

При твердофазном культивировании штаммов *I. lacteus* в качестве индукторов ферментов целлюлазного комплекса могут быть использованы древесные опилки хвойных пород и яблони. Оптимальным индуктором для биосинтеза ферментов целлюлазного комплекса штаммами *I. lacteus* являются опилки яблони, однако время культивирования увеличивается по сравнению с использованием хвойных опилок.

Список литературы

1. Левина Е. А., Атыкян Н. А., Ревин В. В. Влияние источников углеродного и азотного питания на биосинтез целлюлаз грибами *Lentinus tigrinus* ВКМ F-3616 D и *Trichoderma viride* ВКМ F-1131 // Вестник ВГУ. Сер. : Химия. Биология. Фармация. 2016. № 1. С. 85–93.
2. Приседський Ю. Г. Статистична обробка результатів біологічних експериментів : навч. посібник. Донецьк : Кассиопея, 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. Целлюлозолитическая активность штаммов *Irpex lacteus* (Fr.) Fr. при жидкофазном культивировании на древесных опилках // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2021. № 3–4. С. 120–125.
6. Bentil J. A., Thygesen A., Mensah M., Lange L., Meyer A. S. Cellulase production by white-rot basidiomycetous fungi: solid-state versus submerged cultivation // Appl. Microbiol. Biotechnol. 2018. Vol. 102, N 14. P. 5827–5839. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9072-8>.
7. Bharathiraja B., Jayamuthunagai J., Praveenkumar R., VinothArulraj J., Vinoshmuthukumar P., Saravanaraj A. Bioethanol production from lignocellulosic materials – an

Overview // The Scitech journal. 2014. Vol. 01, N 07. P. 28–36.

8. Bhat M. Cellulases and related enzymes in biotechnology // Biotechnol. Adv. 2000. Vol. 18. P. 355–383.

9. 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.

10. Das A., Paul T., Halder S. K., Maity C., Mohapatra P. K. D., Pati B. R., Mondal K. C. 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.

11. Datsomor O., Yan Q., Opoku-Mensah L., Zhao G., Miao L. Effect of different inducer sources on cellulase enzyme production by white-rot basidiomycetes *Pleurotus ostreatus* and *Phanerochaete chrysosporium* under Submerged Fermentation // Fermentation. 2022. Vol. 8, N 561. <https://doi.org/10.3390/fermentation8100561>.

12. Elisashvili V., Penninckx M., Kachlishvili E., Tsiklauri N., Metreveli E., Kharziani T., Kvesitadze G. *Lentinus edodes* and *Pleurotus species* lignocellulolytic enzymes activity in submerged and solid-state fermentation of lignocellulosic wastes of different composition // Bioresour. Technol. 2008. Vol. 99. P. 457–462.

13. Ghose T. K. Measurement of cellulase activity // Pure Appl. Chem. 1987. Vol. 59, N 2. P. 257–268.

14. Kirk O., Borchert T. V., Fuglsang C. C. Industrial enzyme applications // Curr. Opin. Biotechnol. 2002. Vol. 13. P. 345–351. [https://doi.org/10.1016/S0958-1669\(02\)00328-2](https://doi.org/10.1016/S0958-1669(02)00328-2).

15. Lee S.-M., Koo Y.-M. Pilot-scale production of cellulase using *Trichoderma reesei* rut C-30 fed-batch mode // J. Microbiol. Biotechnol. 2001. Vol. 11. P. 229–233.

16. Metreveli E., Kharziani T., Elisashvili V. The carbon source controls the secretion and yield of polysaccharide-hydrolyzing enzymes of Basidiomycetes // Biomolecules. 2021. Vol. 11. P. 1341. <https://doi.org/10.3390/biom11091341>.

17. 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.

18. Okal E. J., Aslam M. M., Karanja J. K., Nyimbo W. J. Mini review: Advances in understanding regulation of cellulase enzyme in white-rot basidiomycetes // Microb. Pathog. 2020. Vol. 147. P. 104410. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2020.104410>.

19. Persson I., Tjerneld F., Hahn-Hägerdal B. Fungal cellulolytic enzyme production: A review // Process Biochem. 1991. Vol. 26. P. 65–74.

20. Téllez-Téllez M., Diaz-Godinez G. Omic tools to study enzyme production from fungi in the *Pleurotus* genus // BioResources. 2019. Vol. 14. P. 2420–2457. <https://doi.org/10.15376/biores.14.1.2420-2457>.

Chemeris O. V. Cellulase activity of the fungus *Irpex lacteus* (Fr.) Fr. during solid-state fermentation on wood saws. – The effect of plant-derived inducers – wood saws on the biosynthesis of enzymes of the cellulase complex of the fungus *Irpex lacteus* under the conditions of solid-state fermentation was established. Sawdust apple tree is the optimal inducer for the biosynthesis of cellulase complex enzymes by *I. lacteus* strains.

Key words: basidial xylotrophe *Irpex lacteus*, cellulases, endoglucanases, solid-state cultivation, sawdust.

ISSN 2077-3366 Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2022. № 1–2

Научно-практический журнал

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И ОХРАНЫ ПРИРОДЫ ТЕХНОГЕННОГО
РЕГИОНА

2022

№ 1–2

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>