

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

2021

Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2021. № 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» НИИ травматологии и ортопедии
Калинкин О. Г. , проф., д-р мед. наук	ГОО ВПО «Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького»
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» Гуманитарно-педагогическая академия
Соболев В. И. , проф., д-р биол. наук	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»
Ярошенко Н. Н. , проф., д-р биол. наук	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, 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 № 4 от 28.05.2021 г.*

© ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», 2021

Problems of ecology and nature protection of technogenic region. 2021. № 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
Kalinkin O. G.	Research Institute of Traumatology and Orthopedy Donetsk National Medical 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
Yaroshenko N. N.	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, 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 № 4 dated 28.05.2021*

СОДЕРЖАНИЕ

ФЛОРА, ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА

Гридько О. А. Декоративные кустарники паркового комплекса им. Ю. Филатова г. Донецка	6
Демьяненко Т. В. Оценка степени варьирования основных морфометрических признаков у <i>Pseudolysimachion longifolium</i> (L.) Oriz в различных рекреационных зонах г. Донецка	12
Мирненко Э. И., Макуха А. О. Экологическое состояние прудов г. Донецка по содержанию органического вещества	17
Павлова М. А. Итоги интродукции <i>Iris pumila</i> L. в Донецком ботаническом саду	23
Сафонов А. И. Эколого-палинологическая ситуация в Донбассе (2014–2020 гг.)	32
Сафонов А. И., Морозова Е. И. Видовое разнообразие бриобионтов мониторинговой сети Центрального Донбасса	39

ФАУНА, ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ЖИВОТНОГО МИРА

Амолин А. В. Находки редких видов пчел (Hymenoptera, Apoidea) в Центральном Донбассе	44
Савченко Е. Ю., Сухинина Е. В. Эколого-фаунистический анализ насекомых г. Донецка, собранных в ходе летней учебно-полевой практики	60
Штирц А. Д. Панцирные клещи (Acari: Oribatida) техногенно трансформированных экосистем Донбасса	67
Ярошенко Н. Н. Мониторинг панцирных клещей и сопутствующих педобионтов РЛП «Зуевский»	72

ФИЗИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ, МИКОЛОГИЯ

Демченко С. И., Загнитко Ю. П., Дутик Д. А., Устинова Д. А. Деструктивная активность базидиальных ксилотрофов при твердофазном культивировании на растительных отходах	88
Сыщиков Д. В., Агурова И. В. Особенности формирования потенциальной кислотности почв в условиях антропогенного прессинга	95
Трискиба С. Д., Полохина И. И. Макромицеты байрачного леса балки Грушевая в окрестностях г. Снежное	103
Фрунзе О. В., Фифилова Н. К., Миненко Е. Ф. Влияние загрязнения почвы ионами кобальта и марганца на фотосинтетический аппарат декоративных травянистых растений	111

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОФИЗИКИ И ФИЗИОЛОГИИ

Губарев А. А., Чуфицкий С. В., Романчук С. М. Моделирование изменения концентрации хлорофилла фитопланктона в проточном водоеме под действием токсиканта	119
Балакирева Г. А. Возрастные особенности эффектов двухнедельной алкоголизации на поведенческую активность самцов белых крыс в открытом поле	133

C O N T E N T S

FLORA, ECOLOGY AND PROTECTION OF THE PLANT KINGDOM

Hrydko O. A. Ornamental shrubs of the park complex Yu. Filatov, Donetsk	6
Demyanenko T. V. Assessment of the degree of variation of the main morphometric features in <i>Pseudolysimachion longifolium</i> (L.) Opiz in various recreational zones of Donetsk	12
Mirnenko E. I., Makukha A. O. Ecological state of Donetsk ponds in organic substance content	17
Pavlova M. A. The results of <i>Iris pumila</i> L. introduction in the Donetsk Botanical Gardens ..	23
Safonov A. I. Ecological and palynological situation in Donbass (2014–2020)	32
Safonov A. I., Morozova E. I. Species diversity of bryobionts in the monitoring network of the Central Donbass	39

FAUNA, ECOLOGY AND PROTECTION OF THE ANIMAL KINGDOM

Amolin A. V. Finds of rare species of bees (Hymenoptera, Apoidea) in the Central Donbass	44
Savchenko E. Yu., Sukhinina E. V. Ecological and faunistic analysis of Donetsk insects collected during the summer training field practice	60
Shirts A. D. Oribatid mites (Acari: Oribatida) of technogenically transformed ecosystems of Donbass	67
Yaroshenko N. N. Monitoring of oribatid mites (Acariformes: Oribatei) and accompanying pedobionts of the RLP «Zuevsky»	72

PHYSIOLOGY AND ECOLOGY OF THE PLANT, MYCOLOGY

Demchenko S. I., Zagnitko Yu. P., Dutik D. A., Ustinova D. A. The destructive activity of xylotrophic basidiomycetes at solid-state cultivation on vegetable wastes	88
Syshchykov D. V., Agurova I. V. Features of the potential soil acidity formation under anthropogenic pressure	95
Triskiba S. D., Polokhina I. I. Macromycetes of ravine forests of Grushevaya gully in the vicinity of Snezhnoe	103
Frunze O. V., Minenko E. F. Influence of soil pollution with cobalt and manganese ions on the photosynthetic apparatus of ornamental herbaceous plants	111

FUNDAMENTAL AND APPLIED PROBLEMS OF BIOPHYSICS AND PHYSIOLOGY

Gubarev A. A., Chufitskyi S. V., Romanchuk N. V. Modeling changes in phytoplankton chlorophyll concentration in a flowing water body under the influence of a toxicant	119
Balakireva G. A. Age-related features of the effects of two-week alcoholization on the behavioral activity of male white rats in open field	133

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

УДК 712.25 : 581.9(477.62)

© О. А. Гридько

**ДЕКОРАТИВНЫЕ КУСТАРНИКИ ПАРКОВОГО КОМПЛЕКСА ИМ. Ю. ФИЛАТОВА
Г. ДОНЕЦКА**

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

Гридько О. А. Декоративные кустарники паркового комплекса им. Ю. Филатова г. Донецка. – Приведены результаты инвентаризации лиственных кустарниковых насаждений паркового комплекса им. Ю. Филатова г. Донецка. Проанализирован видовой состав, биоморфологические свойства и эстетические качества кустарников, дана оценка их состояния в условиях воздействия антропогенных факторов среды.

Ключевые слова: декоративные кустарники, видовой состав, биоморфология, оценка.

Введение

Среди наиболее важных социально-экологических проблем современности, связанных с ростом урбанизации и процессами трансформации природных экосистем, ведущее место занимают вопросы оптимизации среды жизнедеятельности человека [7]. Главная роль в решении этой проблемы принадлежит городским культурфитоценозам.

Современное озеленение немыслимо без декоративных кустарников, которые являются важнейшими компонентами урбанофлоры. На сегодняшний день ассортимент кустарниковых пород в ландшафтном оформлении г. Донецка разнообразен [4], особенно в результате появления за последние десятилетия большого количества новых форм и сортов, отличающихся от основных видов архитектурной кроны, окраской или орнаментом листьев, махровостью цветков. Поскольку система озеленения города нуждается в устойчивом ассортименте растений кустарниковых пород, именно поэтому повышенного внимания требует анализ существующего видowego и сортового состава городских насаждений г. Донецка в научных, практических, санитарно-гигиенических целях, включающих мониторинг, оптимизацию окружающей среды и сохранение биоразнообразия урбанофлоры.

Одним из лучших объектов озеленения в г. Донецке, оказывающим благоприятное влияние на городской ландшафт и пользующимся популярностью среди гостей и жителей города, является парковый комплекс им. Юрия Филатова, расположенный в Ленинском районе. Изучение состава и особенностей дендрофлоры данного участка представляет значимый научный и практический интерес, связанный с формированием городского ландшафта и улучшением его эколого-эстетической ценности.

Цель работы – анализ ассортимента декоративных кустарников паркового комплекса им. Ю. Филатова г. Донецка.

Предполагалось решение следующих задач: установить видовую и сортовую принадлежность лиственных кустарников объекта озеленения; провести анализ их биологических свойств в условиях городской среды; оценить жизненное состояние кустарниковой растительности в структуре дендрофлоры паркового комплекса им. Ю. Филатова г. Донецка.

Материал и методы исследования

Парковый комплекс им. Ю. Филатова принадлежит Центру славянской культуры и письменности и расположен по адресу ул. Куйбышева, 67. Современный объект озеленения имеет многолетнюю историю. В 30-е годы XX века на прилегающей территории дворца культуры им. Ленина при участии местных жителей г. Сталино был разбит большой парк с

аллеями, газонами и игровыми площадками. В период фашистской оккупации города в этом парке находился пересыльный лагерь для военнопленных. Спустя 10 лет после окончания Великой Отечественной войны, территория парка была восстановлена и получила название парк ДК Metallургов.

В июне 2012 г. после четырехлетней реконструкции и ремонтных работ по восстановлению Дворца культуры и прилегающей территории, руководством Донецкого металлургического завода принято решение о присвоении парковому комплексу имени заслуженного работника промышленности, лауреата Государственной премии в области науки и техники, основателя Центра славянской культуры и письменности – Юрия Васильевича Филатова (1955–2015).

На территории паркового комплекса расположен монумент «Жертвам фашизма» в честь погибших в Великой Отечественной войне, мемориальная доска писателю Я. Д. Качуре, памятник герою-спасателю, колокол, памятник святым равноапостольным Кириллу и Мефодию. Главным украшением парка является храм Петра и Февронии. В парке есть игровой комплекс и площадка для детей, летняя площадка для проведения различных мероприятий и собраний, а также 80-метровый фонтан с подсветкой.

Обследование зеленых насаждений паркового комплекса проводили в течение 2018–2020 гг. маршрутно-визуальным методом [2, 7]. Виды определяли по характерным морфологическим видовым признакам [3], номенклатура таксонов приведена согласно электронным базам данных [10]. Распределение растений по происхождению проводили согласно флористическому районированию А. Л. Тахтаджяна [9], срокам начала и завершения вегетации – в соответствии с классификацией П. И. Лапина [5]. Состояние кустарниковых насаждений оценено по шкале В. С. Теодоронского [8], степень обмерзания побегов определена в соответствии с рекомендациями П. И. Лапина и С. В. Сидневой [2], декоративность растений определена по шкале Н. В. Котеловой и Н. С. Гречко [2].

Результаты и обсуждение

Кустарниковая растительность в структуре дендрофлоры паркового комплекса им. Ю. Филатова представлена 27 видами и 20 сортами, относящимися к 22 родам и 11 семействам отдела Magnoliophyta. Систематическая структура парка отражена в табл. 1.

Таблица 1

Систематическая структура кустарниковой растительности территории парка им. Ю. Филатова г. Донецка

№	Семейство	Род	Вид	Сорт
1	Adoxaceae E. Mey.	2	2	3
2	Berberidaceae Juss.	2	2	5
3	Betulaceae Gray	1	1	-
4	Caprifoliaceae Juss.	2	2	-
5	Cornaceae Bercht. & J. Presl	1	3	3
6	Hydrangeaceae Dumort.	2	2	2
7	Lamiaceae Martinov	1	1	-
8	Oleaceae Hoffmanns. et Link	3	5	3
9	Rosaceae Juss.	6	7	4
10	Salicaceae Mirb.	1	1	-
11	Tamaricaceae Link	1	1	-
Всего		22	27	20

Многочисленным по видовому разнообразию является семейство Rosaceae Juss., представленное 7 видами из родов *Physocarpus* Maxim., *Spiraea* L., *Rosa* L., *Cotoneaster* Medik., *Sorbaria* (Ser. ex DC.) A. Br., *Amelanchier* Medik., что составляет 25,9% от общего

количества видов. Вторым по составу является семейство Oleaceae Hoffmanns. et Link, представленное 5 видами из родов *Forsythia* Vahl, *Syringa* L., *Ligustrum* L. (18,5%), третьим – Cornaceae Bercht. & J. Presl, представленное 3 видами из рода *Cornus* L. (11,1%).

Семейство Adoxaceae E. Mey. представлено 2 видами из родов *Sambucus* L., *Viburnum* L. (7,4%), Hydrangeaceae Dumort. – 2 видами из родов *Philadelphus* L. и *Hydrangea* L. (7,4%), Berberidaceae Juss. – 2 видами из родов *Mahonia* Nutt., *Berberis* L. (7,4%); Caprifoliaceae Juss. – 2 видами из родов *Symphoricarpos* Duhamel, *Weigela* Thunb. (7,4%).

Одним видом отмечены роды *Corylus* L. (семейство Betulaceae Gray), *Caryopteris* Bunge (Lamiaceae Martinov), *Salix* L. (Salicaceae Mirb.), *Tamarix* L. (Tamaricaceae Link).

По результатам флористического анализа можно судить об устойчивости культивируемых растений в условиях г. Донецка. Так, среди кустарников паркового комплекса отмечены представители Северного полушария: Япония, Китай, Дальний Восток, Восточная Сибирь, Европа, Кавказ, Северная Америка. Доминируют виды восточноазиатского (67,9%), североамериканского (14,3%) и европейского (10,7%) происхождения. На территории парка отмечены виды, принадлежащие к аборигенной флоре Донбасса (*Ligustrum vulgare* L.).

Доминантами кустарниковых пород в насаждениях являются: *Spiraea* × *alpina* Pall., *Cotoneaster lucidus* Schtdl., *C. horizontalis* Decne., *Forsythia* × *intermedia* Zab. 'Maluch', *Ligustrum vulgare*. Единичными экземплярами представлен *Caryopteris* × *clandonensis* Simmonds. Богатое сортовое разнообразие кустарников отмечено у рода *Berberis*, что составляет 25% от общего количества – сорта 'Helmond Pillar', 'Atropurpurea', 'Erecta', 'Green carpet', 'Golden Ring' и рода *Cornus* ('Elegantissima', 'Spaethii', 'Flaviramea'), которые составляют 15% от общего ассортимента.

Виды и сорта кустарниковых пород распределили на группы в соответствии с размерами, темпом роста, окраской листовых пластинок, цветков и соцветий, а также вегетационным периодом и длительностью цветения [1].

Изученный ассортимент кустарников в структуре дендрофлоры паркового комплекса представлен преимущественно среднерослыми породами и составляет 60,7% кустарниковых растений. Группа высокорослых кустарников, включающая 7 видов и 3 сорта, составляет 21,4% от общего ассортимента. Малочисленной оказалась группа низкорослых пород, представленная такими видами и сортами, как *Berberis thunbergii* DC. 'Green carpet', *Spiraea* × *alpina*, *Symphoricarpos racemosus* Michx., что составляет 17,9% от общего количества кустарниковых пород парка.

Кустарниковые насаждения представлены в большей степени быстрорастущими (виды рода *Spiraea*, *Syringa*, сорта *Forsythia* × *intermedia*, *Philadelphus coronarius* L., *Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim. и др.) и среднерастущими (*Hydrangea paniculata* Siebold. и др.) породами, однако отмечены и медленнорастущие (*Tamarix tetrandra* Pall.).

По окраске листовых пластинок изученный ассортимент декоративно-лиственных кустарников распределен на 5 групп. Листья большинства видов и сортов имеют зеленый цвет всех оттенков. Многочисленны группы с пурпурной (*Berberis thunbergii* 'Red Pillar', *B. thunbergii* 'Atropurpurea', *Physocarpus opulifolius* 'Diablo') и золотисто-желтой (*Ligustrum ovalifolium* Hassk. 'Aureum', *Sambucus racemosa* L. 'Plumosa Aurea', *Physocarpus opulifolius* 'Luteus', *Spiraea japonica* L. f. 'Goldflame') окраской листьев. Привлекает внимание пестролистная группа растений, палитра которых включает белый (*Cornus alba* 'Elegantissima') и желтый (*Cornus alba* L. 'Spaethii') цвет, а также сизая окраска листьев (*Caryopteris* × *clandonensis* и *Salix rosmarinifolia* L.).

По окраске цветков и соцветий изученный ассортимент декоративно-цветущих кустарников распределен на группы с желтой (*Mahonia aquifolium* (Pursh) Nutt., сорта *Forsythia* × *intermedia* и *Berberis thunbergii*), белой (*Philadelphus coronarius* 'Snowstorm', *Physocarpus opulifolius* 'Luteus', *P. opulifolius* 'Diablo', *Viburnum opulus* L. f. *sterilis* DC., *Ligustrum vulgare*, *Hydrangea paniculata*, *Sorbaria sorbifolia* (L.) A. Braun, *Amelanchier ovalis* Medik., *Cornus alba* 'Elegantissima', *C. sericea* L. 'Flaviramea', сорта рода *Syringa*), розовой

(*Tamarix tetrandra*, *Spiraea japonica*, *Symphoricarpos racemosus*, *Weigela floribunda* (Siebold & Zucc.) С. А. Mey., *Rosa*) и фиолетовой (*Caryopteris ×clandonensis*, виды и сорта рода *Syringa*) окраской венчиков.

В ассортименте представлены также виды и сорта с декоративными плодами (*Mahonia aquifolium*, *Symphoricarpos racemosus*, *Berberis thunbergii*, *Cotoneaster horizontalis*), украшающие насаждения в зимний период.

Проявление адаптационных возможностей растений в новых условиях произрастания выражается в соответствии сезонного ритма развития растений к природно-климатическим особенностям района культивирования [6]. Результаты фенологических наблюдений позволили разделить ассортимент кустарников объекта озеленения на 4 группы [5]:

1) группа рано начинающих и рано оканчивающих вегетацию (РР) представлена видами и сортами из родов *Berberis*, *Spiraea*, *Syringa*, *Cornus*, *Forsythia*, *Viburnum*, *Sambucus* и др.;

2) группа рано начинающих и поздно оканчивающих вегетацию (РП) представлена видами рода *Mahonia*, *Symphoricarpos*, а также *Ligustrum vulgare* и др.;

3) группа растений поздно начинающих и рано оканчивающих вегетацию (ПП) представлена видами и сортами рода *Physocarpus* и др.;

4) группа растений поздно начинающих и поздно оканчивающих вегетацию (ППП) представлена *Hydrangea paniculata*, *Caryopteris ×clandonensis*.

Можно считать, что растения, отнесенные к группам РР, РП и ПП в условиях г. Донецка все зимостойки. Растения РР группы занимают промежуточное положение, а представители группы ПП, в частности *Hydrangea paniculata*, – низкой зимостойкостью.

Исследования, проведенные ранее [6], показали, что зимостойкость растений существенно различается в зависимости от их географического происхождения. Наиболее высокой зимостойкостью характеризуются растения с широким ареалом распространения, а также представители дендрофлоры Западной Сибири и Дальнего Востока. Неблагоприятные климатические условия г. Донецка – резкий перепад температур весной и осенью – губительно влияют на некоторые интродуцированные виды. Под влиянием низких температур у некоторых кустарников (например, *Caryopteris ×clandonensis*, *Weigela floribunda*, *Philadelphus coronarius* 'Snowstorm') повреждаются неодревесневшие побеги. Однако следует отметить, что указанные породы восстанавливают форму кроны, а поврежденные побеги подлежат обрезке.

Наиболее устойчивыми оказались виды рода *Syringa*, а также *Cornus alba* 'Elegantissima', *Cotoneaster lucidus*, *Spiraea ×vanhouttei* (Briot) Zabel, *Symphoricarpos racemosus*. Полученные данные по зимостойкости растений являются предварительными и требуют дальнейшего наблюдения.

Сезонные изменения и эстетические свойства насаждений зависят от сроков наступления и длительности декоративного периода растений. В зависимости от сроков цветения выделены группы весенне-, летне- и осеннецветущих растений. Весеннецветущие представлены 13 видами и 12 сортами (например, *Spiraea ×vanhouttei*, *Spiraea ×cinerea* Zabel, *Mahonia aquifolium*, сорта *Berberis thunbergii*, *Amelanchier ovalis*, *Tamarix tetrandra*, *Cornus mas*, *C. alba* 'Elegantissima', *C. sericea* 'Flaviramea', *Forsythia ×intermedia* 'Maluch', *F. ×intermedia* 'Lynwood', *Syringa vulgaris*, *S. ×persica*, *Viburnum opulus* 'Compactum', *V. opulus*, *Sambucus racemosa* 'Plumosa Aurea'); летнецветущие – 12 видов и 4 сорта (например, *Hydrangea paniculata*, *Philadelphus coronarius* 'Snowstorm', *Physocarpus opulifolius* 'Luteus', *P. opulifolius* 'Diablo', *Cotoneaster lucidus*, *C. horizontalis*, *Spiraea ×alpina*, *Sorbaria sorbifolia*, *Rosa* sp., *Ligustrum vulgare*, *Symphoricarpos racemosus*, *Weigela floribunda*); осеннецветущие – *Caryopteris ×clandonensis*. По длительности цветения доминирующую группу составляют непродолжительно цветущие (до 2 недель) виды и сорта. Особое внимание заслуживают ремонтантные кустарники, период цветения которых растянут с июня по сентябрь (например, *Spiraea ×alpina*, *Sorbaria sorbifolia*, *Weigela floribunda*). Путем подбора и сочетания растений по срокам и продолжительности цветения на территории

паркового комплекса созданы композиции непрерывного цветения в течение всего вегетационного периода.

Сочетание ценных биологических свойств и эстетических качеств лиственных кустарников обеспечило создание оригинальных приемов композиционных решений, выполняющих не только декоративную, но и утилитарную функции. На обследованном участке использованы следующие приемы озеленения:

- низкорослые кустарники использованы в группах (*Symphoricarpos racemosus*, *Spiraea japonica* f. 'Goldflame') и бордюрах (*Spiraea* × *alpina*, *Cotoneaster horizontalis*, *Berberis thunbergii* 'Green carpet'), окаймляющие дорожки;

- среднерослые кустарники использованы в качестве свободнорастущих солистов (*Caryopteris* × *clandonensis*, *Spiraea* × *vanhouttei*, *Hydrangea paniculata*, *Ligustrum ovalifolium* 'Aureum'), групповых посадках (*Physocarpus opulifolius* 'Luteus', *P. opulifolius* 'Diablo', *Cornus mas*, *C. alba* 'Elegantissima', *C. sericea* 'Flaviramea'), а также формованной (*Cotoneaster lucidus*, *Forsythia* × *intermedia* 'Maluch', *Ligustrum vulgare*) и свободнорастущей (*Weigela floribunda*) живой изгороди;

- высокорослые кустарники представлены групповыми (*Sambucus racemosa* 'Plumosa Aurea', *Amelanchier ovalis*, *Syringa vulgaris*, *S.* × *persica*) и рядовыми посадками, а также в качестве солитеров (*Viburnum opulus* 'Compactum').

Декоративность видов и сортов лиственных кустарников в течение вегетационного периода определяется сезонной окраской ствола и ветвей, листьев, цветков, плодов и их формой. Длительность проявления декоративности кустарников зависит от видовой принадлежности [3]. Так, оценка декоративных качеств позволила распределить изученный ассортимент на 3 группы: I – растения декоративны на протяжении года (3 вида и 3 сорта); II – растения декоративны в период цветения и (или) плодоношения (14 видов и 3 сорта); III – растения декоративны на протяжении периода вегетации (10 видов и 13 сортов).

В ходе обследования была проведена оценка жизненного состояния кустарниковых пород в условиях паркового комплекса им. Ю. Филатова. Среди представленных кустарниковых насаждений преобладают породы, относящиеся к I категории, что соответствует высокой степени состояния растений и характеризуются отсутствием признаков ослабления. Растения данной категории отличаются выразительным силуэтом, колоритом и живописностью, пропорционально развитыми кроной и побегами, окраской и размерами листьев; их мозаичность соответствует биологическому виду и соответствующему сорту; отсутствуют какие-либо повреждения, болезни, вредители. Растения нормально цветут и плодоносят, имеют обильное цветение, отличаются яркой окраской плодов и соответствуют функциональному назначению паркового комплекса [8].

Среди кустарников отмечены породы, степень состояния которых находится на достаточно высоком уровне. Ко II категории состояния отнесены породы с незначительным нарушением внешнего вида, с частичным отклонением пропорций и формы кроны (*Cotoneaster horizontalis*, *Cornus alba* 'Spaethii'), появлением на побегах мелких листьев и изменением окраски пестролистных сортов (*Cornus alba* 'Elegantissima').

Степень качественного состояния видов и сортов родов *Syringa*, *Berberis* снижена, что соответствует III категории и характеризуется как ослабленное. Данное состояние растений связано с деформацией формы кроны, нарушением мозаичности, измельчением листьев, а также появлением сухих побегов (до 30%), что указывает на необходимость проведения мероприятий по устранению негативных явлений.

Отмеченная степень жизненного состояния растений паркового комплекса им. Ю. Филатова не снижает высокой степени декоративности кустарниковых насаждений и общей привлекательности парка. Сохранение жизнестойкости и долговечности кустарников обеспечивает комплекс агротехнических приемов, регулярно проводимый на территории данного объекта озеленения.

Выводы

В структуре дендрофлоры паркового комплекса им. Ю. Филатова г. Донецка отмечено 27 видов и 20 сортов кустарников, относящихся к 22 родам и 11 семействам отдела Magnoliophyta.

В условиях паркового комплекса виды восточноазиатского, североамериканского и европейского происхождения обладают хорошими ксеротермическими признаками и высокими адаптационными способностями. Рациональное сочетание ценных биологических свойств лиственных кустарников позволило сформировать экологически устойчивые, декоративные насаждения паркового комплекса. Преобладающее количество пород (78,5%) соответствует высокой степени состояния растений без признаков ослабления.

Представленный ассортимент декоративных кустарников является адаптированным к условиям г. Донецка и рекомендован для широкого внедрения в практику городского озеленения общего пользования. Полученные данные по видовому (сортовому) разнообразию кустарников и их состоянию могут быть использованы для проведения систематического мониторинга и паспортизации растений.

Список литературы

1. Глухов А. З., Гридько О. А., Хархота Л. В. Декоративная дендрология : уч. пос. Донецк : Изд-во ДонНУ, 2016. 88 с.
2. Глухов А. З., Гридько О. А., Хархота Л. В. Экологические и ботанические методики исследования растений : справ. пос. Донецк : Изд-во ДонНУ, 2019. 189 с.
3. Глухов А. З., Довбыш Н. Ф., Хархота Л. В. Перспективные древесные растения для фитодекора в степной зоне. Донецк : ЛАНДОН-XXI, 2015. 154 с.
4. Гридько О. А., Глухов А. З., Хархота Л. В. Разнообразие и состояние древесных насаждений ландшафтно-рекреационной зоны Ленинского района г. Донецка // Промышленная ботаника. 2020. Вып. 20, № 3. С. 20–25.
5. Лапин П. И. Сезонный ритм развития древесных растений и его значение для интродукции // Бюл. Гл. ботан. сада. 1967. Вып. 65. С. 13–18.
6. Поляков А. К. Интродукция древесных растений в условиях техногенной среды. Донецк : Ноулидж, 2009. 268 с.
7. Рысин С. Л., Трусов Н. А., Яценко И. О. Особенности организации мониторинга ценных древесных растений на урбанизированных территориях // Лесной вестник. 2015. № 5. С. 140–144.
8. Строительство и эксплуатация объектов ландшафтной архитектуры : уч. для студ. / В. С. Теодоронский, Е. Д. Сабо, В. А. Фролова. М. : ИЦ «Академия», 2008. 352 с.
9. Тахтаджян А. Л. Флористические области Земли. Л. : Наука, 1978. 248 с.
10. Catalogue of Life: 2020-02-24. [Электронный ресурс]. URL : <http://www.catalogueoflife.org> (дата обращения 22.04.2021).

Hrydko O. A. Ornamental shrubs of the park complex Yu. Filatov, Donetsk. – This paper presents results of the inventory of deciduous shrub plantations of the park complex Yu. Filatov of Donetsk. The species composition, biomorphological properties and aesthetic qualities of shrubs are analyzed, and their condition is assessed under the influence of anthropogenic environmental factors.

Key words: ornamental shrubs, species composition, biomorphology, assessment.

© Т. В. Демьяненко

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ВАРИИРОВАНИЯ ОСНОВНЫХ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ У *PSEUDOLYSIMACHION LONGIFOLIUM* (L.) OPİZ В РАЗЛИЧНЫХ РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОНАХ Г. ДОНЕЦКА

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

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

Демьяненко Т. В. Оценка степени варьирования основных морфометрических признаков у *Pseudolysimachion longifolium* (L.) Opiz в различных рекреационных зонах г. Донецка. – В работе приведены результаты по оценке степени варьирования морфометрических показателей псевдолизимахиона длиннолистного в условиях антропогенной нагрузки. Выделены взаимосвязи между исследованными признаками. Определены биоиндикаторные признаки антропогенной нагрузки.

Ключевые слова: морфометрические признаки, лабильность, консервативность, антропогенная нагрузка.

Введение

Среди мероприятий по улучшению условий труда и отдыха большое значение имеет зеленое благоустройство населенных мест. Озеленение, как часть декоративного садоводства, является ведущим элементом благоустройства и архитектурно-художественного оформления населенных пунктов. Расширение ассортимента цветочно-декоративных растений для внедрения в практику зеленого строительства требует новых видов. Иногда для озеленения используют растения природной флоры, так как они неприхотливы, устойчивы к болезням и вредителям, оригинальны. Недостаток видового разнообразия в озеленении городов, по-видимому, связан с малоизученностью декоративных видов природной флоры [3].

Так, использование дикорастущих декоративных растений в озеленении позволяет значительно расширить ассортимент используемых растений. Значительный интерес в этом отношении представляют виды из рода *Pseudolysimachion* Opiz, которые наиболее часто используются в озеленении, как декоративно-лиственные и красивоцветущие растения для различных типов ландшафтных композиций. Названный род относится к числу крупных и широко распространенных родов и включает около 240 видов преимущественно голубой и синей окраски цветков, у большинства собранных в кистевидные соцветия [1]. Такая окраска цветков довольно редко встречается в оформлении зеленых устройств, поэтому ее считают ценным декоративным качеством. Синий и голубой цвета относятся к группе холодных, восприятие которых действует успокаивающе, умиротворяюще на человека. Растения с такой окраской психологи рекомендуют использовать в местах отдыха и на предприятиях. В городских условиях на бульварах и в скверах можно создавать контрастные сочетания, используя растения с синей окраской в сочетании с теплыми тонами [3].

Наибольшей востребованностью в ландшафтном озеленении пользуется *Pseudolysimachion longifolium* (L.) Opiz – Псевдолизимахион длиннолистный. Это крупное растение с темно-синими цветками, собранными в эффектные колосовидные соцветия, имеет продолжительный период цветения, может расти в больших группах, хорошо переносит избыточное увлажнение, гармонично сочетается с большинством видов декоративных растений. Так, наиболее часто встречается в сочетании с тысячелистниками, ирисами, лилейниками, вербейниками, шалфеями, розами [3]. В г. Донецке названный вид используется в зеленом строительстве редко. Иногда растения визуально отличаются, поэтому изучение варьирования признаков, дающее возможность прогнозировать поведение растения в озеленении, является актуальным.

Материал и методика исследования

Название рода и исследуемого вида приводим в соответствии с современной таксономией, основанной на системе цветковых растений А. Л. Тахтаджяна [4, 6].

Согласно ботаническому описанию *Pseudolysimachion longifolium* (L.) Opiz имеет длинное ползучее корневище. Стебли высотой 40–120 (150) см, прямые крепкие, гладкие или бороздчатые, простые или вверху ветвистые, большей частью голые или коротко опушенные (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид *Pseudolysimachion longifolium* (L.) Opiz (источник in.pinterest.com)

Листья супротивные или по 3–4 в мутовке, продолговатые или продолговато-ланцетные до линейно-ланцетных, длиной 3–15 см, шириной 1–4 см, на черешках, по краю до верхушки обычно неравнопильчатые, у основания почти сердцевидные, усеченные или клиновидные, на верхушке заостренные, голые или иногда снизу по жилкам скудно опушенные, на коротких черешках. Прицветники значительно длиннее цветоножек или равны им, шиловидные или линейные. Соцветие – конечная густая кисть, удлинняющаяся до 25 см, чаще одиночная, иногда с несколькими боковыми более короткими кистями. На одном растении развивается до 450 цветков. Цветы на цветоножках, почти равных чашечкам или короче. Чашечка длиной около 2–3 мм, надрезана на четыре ланцетные или треугольно-продолговатые, острые почти равные доли; две доли несколько длиннее других. Венчик синий или сине-фиолетовый, длиной около 6 мм, с белой трубкой, волосистой внутри; доли отгиба тупые или туповатые, широкие, почти равные между собой; одна лопасть округлая, остальные продолговатые. Тычинки обычно длиннее венчика, тычинок две. Нектарники находятся в основании завязи. Пыльцевые зерна трехбороздные, шаровидной формы. Коробочка длиной и шириной 3–4 мм, обратно-сердцевидная, или округло-сердцевидная, вздутая, крепкая, голая, на верхушке с узкой незначительной выемкой. Семена овальные, плоско-выпуклые, несколько изогнутые, шириной 0,5 мм и длиной 0,75 мм, гладкие [1, 5].

Основными декоративными морфометрическими признаками видов р. *Pseudolysimachion* являются длина побега, длина и ширина листовой пластинки, длина соцветия и количество соцветий на побеге. Сбор материала проводили в скверах г. Донецка, обустроенных на пересечениях бул. Шевченко и ул. Серова, пр. Ильича и ул. Марии Ульяновой, бул. Шевченко и ул. Марии Ульяновой. Контролем служили растения, собранные в ГУ «Донецкий ботанический сад». Полученные данные обрабатывали статистическими методами с использованием программы MS Excel. Рассчитывали среднее арифметическое значение и его ошибку; среднее квадратическое отклонение, как показатель степени варьирования признака; коэффициент вариации и коэффициент корреляции. Также проводили дисперсионный анализ полученных данных по определению влияния антропогенной нагрузки на морфометрические показатели [2].

Результаты и обсуждение

Скверы закладываются в центральной части населенного пункта на свободных от застройки участках или рядом с предприятиями или учреждениями. Как правило, площадь сквера не превышает 0,5 га. Дорожки в сквере прямолинейного направления, обсаживаются кустарником или обустраиваются декоративными элементами из неживых материалов, например, декоративная стена высотой до 0,75 м, этажные клумбы. Для озеленения используют наиболее неприхотливые растения, многолетние или однолетние.

Исследованный в работе вид был высажен относительно недавно, около 3-х лет назад, прижился хорошо, визуально дает вегетативный прирост. Результаты линейных измерений растений после обработки данных представлены в табл. 1.

Таблица 1

Морфометрические показатели *Pseudolysimachion longifolium* (L.) Opiz в различных местопроизрастаниях

Место сбора	Параметры				
	Длина побега, см	Длина листовой пластинки, см	Ширина листовой пластинки, см	Длина соцветия, см	Количество соцветий, шт.
	$M \pm m^*$				
1. Рекреационная зона г. Донецка (пересечение бул. Шевченко и ул. Серова)	62,7±2,38	5,9±0,23	1,5±0,05	10,5±0,78	1,0±0,22
σ^{**}	5,07	4,65	0,20	5,41	4,40
CV***	8,10	0,79	0,13	5,14	3,14
	$M \pm m^*$				
2. Рекреационная зона г. Донецка (пересечение пр. Ильича и ул. Марии Ульяновой)	57,6±1,74	6,2±0,21	1,7±0,03	15,1±1,07	2,0±0,22
σ^{**}	2,73	3,99	0,07	10,4	4,50
CV***	4,74	0,64	0,04	6,86	3,00
	$M \pm m^*$				
3. Рекреационная зона г. Донецка (пересечение бул. Шевченко и ул. Марии Ульяновой)	58,1±1,65	6,4±0,24	1,6±0,05	14,9±1,94	2,0±0,25
σ^{**}	24,53	5,17	0,20	33,82	5,60
CV***	4,22	0,81	0,13	22,70	3,11
	$M \pm m^*$				
4. ГУ «Донецкий ботанический сад» (контроль)	60,2±5,20	5,5±0,28	0,97±0,08	22,3±1,02	3,0±0,46
σ^{**}	24,32	7,28	0,52	9,34	18,90
CV***	40,41	1,32	0,54	4,19	6,10

Примечание. * – среднее арифметическое значение $\pm$ ошибка среднего арифметического значения; ** – среднее квадратическое отклонение; *** – коэффициент вариации.

В результате исследования установлено, что в рекреационных зонах увеличивается длина листовой пластинки по сравнению с контролем. Причем значения среднего квадратического отклонения и коэффициента вариации указывают, что это самый консервативный признак для исследуемого вида. Выявлено, что в озеленении уменьшается длина соцветия, по сравнению с контролем, иногда вдвое – пересечение бул. Шевченко и ул. Серова. Также, вдвое или даже втрое уменьшается количество соцветий на побеге в условиях антропогенной нагрузки, по сравнению с контролем.

Для выявления взаимосвязи между исследуемыми признаками и направления этой связи определяли коэффициент корреляции. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Взаимозависимость основных морфометрических показателей
у *Pseudolysimachion longifolium* (L.) Opiz**

Морфометрические показатели	I	II	III	IV	V	Стандартный критерий
I	-	<u>+0,44*</u> <u>-0,08**</u> <u>-0,20***</u> <u>-0,67****</u>	<u>-0,32</u> <u>-0,31</u> <u>-0,03</u> <u>-0,02</u>	<u>+0,36</u> <u>-0,55</u> <u>-0,22</u> <u>-0,69</u>	<u>+0,10</u> <u>-0,37</u> <u>+0,03</u> <u>-0,75</u>	0,05-0,55 0,01-0,73
II	-	-	<u>+0,39</u> <u>+0,73</u> <u>+0,48</u> <u>+0,37</u>	<u>-0,03</u> <u>-0,06</u> <u>-0,54</u> <u>-0,06</u>	<u>-0,18</u> <u>-0,19</u> <u>+0,68</u> <u>+0,76</u>	
III	-	-	-	<u>-0,50</u> <u>-0,12</u> <u>-0,36</u> <u>-0,19</u>	<u>-0,20</u> <u>-0,11</u> <u>+0,60</u> <u>+0,50</u>	
IV	-	-	-	-	<u>+0,84</u> <u>+0,52</u> <u>-0,31</u> <u>+0,29</u>	
V	-	-	-	-	-	

Примечания:

1. I – длина побега, см; II – длина соцветия, см; III – количество соцветий, шт.; IV – длина листовой пластинки, см; V – ширина листовой пластинки, см;

2. * – рекреационная зона г. Донецка (пересечение бул. Шевченко и ул. М. Ульяновой); ** – рекреационная зона г. Донецка (пересечение бул. Шевченко и ул. Серова); *** – рекреационная зона г. Донецка (пересечение пр. Ильича и ул. М. Ульяновой); **** – ГУ «Донецкий ботанический сад» (контроль).

В результате исследования установлено, что в двух рекреационных зонах (пересечение бул. Шевченко и ул. М. Ульяновой, пересечение бул. Шевченко и ул. Серова) наибольшую взаимосвязь, по сравнению с контролем, положительную по направлению, проявляют длина и ширина листовой пластинки, т.е. увеличение длины листовой пластинки влечет и увеличение ее ширины. По данным табл. 1 длина является более вариабельным признаком, чем ширина, причем последняя, по сравнению с другими признаками, – самый консервативный показатель. Следующей, достоверной положительной по направлению, выделена взаимосвязь между длиной соцветия и количеством соцветий на побеге у растений во всех рекреационных зонах. Причем по сравнению с контролем, показатели выше в условиях антропогенной нагрузки, т.е. в городских условиях, где антропогенная нагрузка

высокая, особенно в центральных районах, увеличение у растений длины соцветия способствует увеличению количества соцветий на побеге.

Следует отметить, что в контроле наблюдается достоверная отрицательная взаимосвязь между длиной побега и количеством соцветий, т.е. увеличение длины побега способствует уменьшению количества соцветий, в зонах с антропогенной нагрузкой эта связь либо низкая, либо почти отсутствует.

Для определения степени влияния различных антропогенных факторов на изученные морфометрические показатели провели дисперсионный анализ. Установлено, что наибольшее влияние фактора сказывается на длине соцветия и ширине листовой пластинки, причем достоверным изменяющимся признаком является длина соцветия.

Выводы

На основании результатов проведенного исследования установлен наиболее консервативный морфометрический признак – ширина листовой пластинки. Используя псевдолизимахон длиннолистный в озеленении, со временем можно ожидать уменьшение длины соцветия и количества соцветий на побеге, также будет уменьшаться и длина листовой пластинки. При проведении мониторинга территории с использованием в качестве биоиндикатора исследованный вид, именно длина соцветия и ширина листовой пластинки могут выступать индикаторным признаком.

Список литературы

1. Еленевский А. Г. Систематика и география вероник СССР и прилежащих стран. М. : Наука, 1978. 260 с.
2. Зайцев Г. Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М. : Наука, 1984. 424 с.
3. Кряж Н. А. Интродукция некоторых видов рода *Veronica* L. в Донбасс // Интродукция и акклиматизация растений. 1989. Вып. 12. С. 36–38.
4. Остапко В. М., Бойко А. В., Мосякин С. Л. Сосудистые растения юго-востока Украины. Донецк : Изд-во «Ноулидж», 2010. 247 с.
5. Флора европейской части СССР. Л. : Наука, 1981. Т. 5. С. 244–246.
6. Takhtajan A. Flowering Plants. Second Edition. Springer-Verlag, 2009. P. XLV+872.

Demyanenko T. V. Assessment of the degree of variation of the main morphometric features in *Pseudolysimachion longifolium* (L.) Opiz in various recreational zones of Donetsk. – The paper presents the results of assessing the degree of variation in the morphometric parameters of *Pseudolysimachion longifolium* under anthropogenic load. The relationships between the studied features are highlighted. Bioindicator signs of anthropogenic load are determined.

Key words: morphometric features, lability, conservativeness, anthropogenic load.

© Э. И. Мирненко, А. О. Макуха

**ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПРУДОВ Г. ДОНЕЦКА ПО СОДЕРЖАНИЮ
ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА**

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

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

Мирненко Э. И., Макуха А. О. Экологическое состояние прудов г. Донецка по содержанию органического вещества. – В работе представлены данные о концентрации растворенного кислорода и перманганатной окисляемости в прудах г. Донецка. Показано, что ведущую роль в экологическом состоянии играет концентрация растворенного кислорода, коррелирующая с высоким содержанием органического вещества, что выражается в падении численности клеток фитопланктона.

Ключевые слова: г. Донецк, пруды, растворенный кислород, перманганатная окисляемость, самоочищение, фитопланктон.

Введение

Фитопланктон является важнейшим компонентом водной среды, на его развитие влияют ряд биотических и абиотических факторов. Первичная продуктивность фитопланктона определяется содержанием растворенного кислорода (РК), т.к. кислород является потенциалзадающим компонентом. Концентрация РК в водных объектах определяет их экологическое и санитарное состояние. Снижение концентрации РК угнетает процессы самоочищения водоема, например, в анаэробных условиях разложение белка происходит с выделением сероводорода, также уменьшаются процессы биохимического окисления органического вещества, что приводит к его накоплению в придонных слоях [1]. Величину РК при нормальном давлении называют нормальной концентрацией, которая принимается за 100%. В случае высокой интенсивности фотосинтеза вода может быть значительно пересыщена кислородом, в таком случае РК может переходить в газообразную форму [1, 4, 5] с образованием пузырьков кислорода.

На содержание РК в воде воздействуют две группы противоположных факторов. Процессы, насыщающие воду кислородом, – это абсорбция молекул O_2 из атмосферы, выделение автотрофными организмами в процессе фотосинтеза и поступление со стоками дождевых и талых вод. Процессы, уменьшающие концентрацию РК в воде, – это дыхание гидробионтов и биохимическое окисление органического вещества, Fe^{2+} , NO_2^- , NH_4^+ , H_2S и т.д. Также на скорость потребления РК влияет тепловой режим, т.к. увеличение скорости движения водных организмов увеличивает процессы потребления кислорода [1, 4, 8].

Другим важнейшим параметром в оценке качества воды является способность к окисляемости минеральных и органических веществ (при самоочищении водоема), которое выражается в миллиграммах кислорода на 1 $дм^3$. Окисляемость воды – это условная величина, характеризующая наличие поллютантов органического и неорганического происхождения [1].

Цель работы – дать оценку современному состоянию водоемов г. Донецка по показателям количества органического вещества.

Материал и методы исследования

Материалом для исследования послужили пробы, которые были отобраны в вегетационный период развития фитопланктона в 2019–2020 гг. в прудах Донецкого ботанического сада (ДБС) № 4–6 и пруду «Ветковский» г. Донецка.

Пруды Донецкого ботанического сада № 4 и 5 находятся на территории дендрария (заповедная зона), не принимают стоков предприятий, имеют приблизительно одинаковые размеры. Пруд ДБС № 6 принимает шахтные воды шахты им. Калинина. Вблизи прудов, а также на их берегах расположены зеленые насаждения (преимущественно древесные), в летнее время пруды имеют рекреационное значение, а также используются для ловли рыбы

местным населением, при этом пруд № 6 имеет большое количество прибрежной растительности (тростник, рогоз). «Ветковский» пруд находится вблизи автомобильных дорог, возле него имеются древесные насаждения и сельскохозяйственные угодья.

Соотношение содержания окисляющихся веществ выражается в химическом потреблении кислорода (ХПК), которое можно установить 2 методами: перманганатной окисляемостью (ПО) и бихроматной окисляемостью (БО). На практике для исследования природных (условно менее загрязненных) вод используют метод ПО. Бихромат является более сильным окислителем, поэтому его используют при исследованиях сточных вод промышленных предприятий.

Отбор проб осуществляли по общепринятой методике согласно ГОСТ 51592-2000. Определение концентрации РК проводили методом Винклера, определение содержания ПО проводили методом Кубера [7].

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

Результаты и обсуждение

На основании проведенных исследований были установлены сравнительные характеристики концентрации РК, количества ПО и структурных показателей фитопланктона в прудах Донецкого ботанического сада № 4–6 и пруда «Ветковский» за весенне-осенний периоды 2019–2020 гг.

По количеству РК (рис. 1) пруды ДБС имеют разнопиковый характер. В пруду ДБС № 4 в 2019 г. установили средние показатели количества РК ($5,05\text{--}7,47\text{ мг/дм}^3$). Его концентрация достигает максимального значения только в июне 2020 г. ($8,36\text{ мг/дм}^3$), а минимальные наблюдались в августе того же года ($4,71\text{ мг/дм}^3$). В пруду ДБС № 5 за весь период наблюдения концентрация РК варьировала от $3,15\text{ мг/дм}^3$ (август 2020 г.) до $8,30\text{ мг/дм}^3$ (июнь 2019 г.).

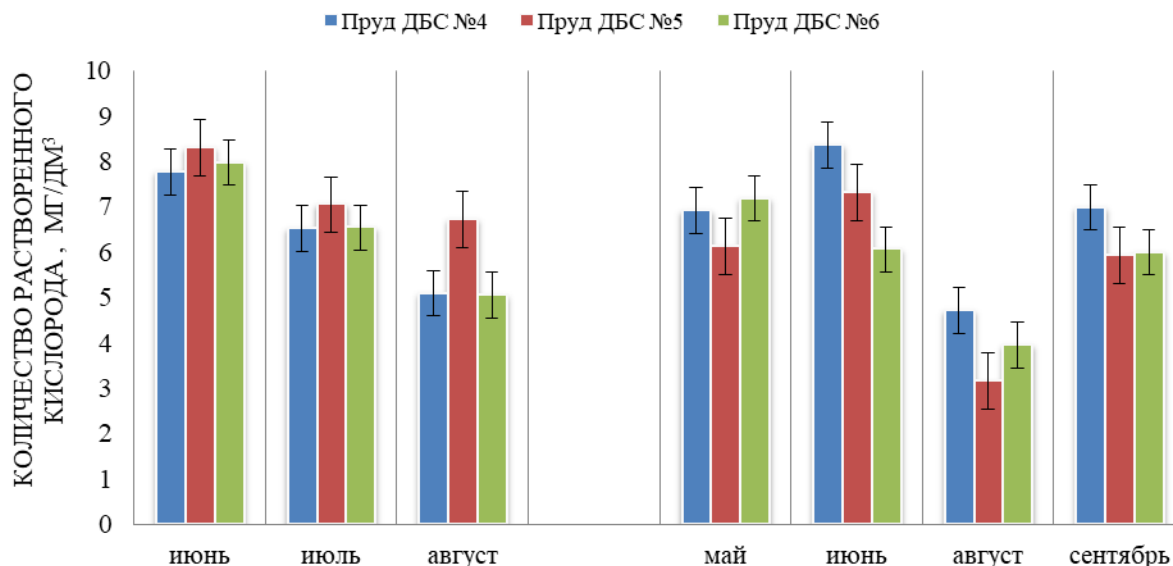


Рис. 1. Количество РК в прудах Донецкого ботанического сада № 4–6 в весенне-осенние периоды 2019–2020 гг.

Пруд ДБС № 6 имел максимальную концентрацию РК – $7,97\text{ мг/дм}^3$ (июнь 2019 г.), а минимальную – $3,95\text{ мг/дм}^3$ (август 2020 г.).

Таким образом, была установлена тенденция снижения концентрации РК во всех прудах ДБС в августе 2020 г. (по сравнению с 2019 г.), что может указывать на ухудшение качества воды вследствие летней стагнации или антропогенного воздействия. По классификации чистоты вод [6], пруды ДБС относятся к IV классу (загрязненные воды), периодами характеризовались как критически загрязненные.

Концентрация РК в пруду Ветковский (рис. 2) варьировала от 2,21 мг/дм³ (август 2019 г.) до 5,99 мг/дм³ (май 2020 г.). По классификации чистоты вод пруд относится к V классу (грязным водоемам), что может быть связано с поступлением стоков из прилегающих сельскохозяйственных угодий.

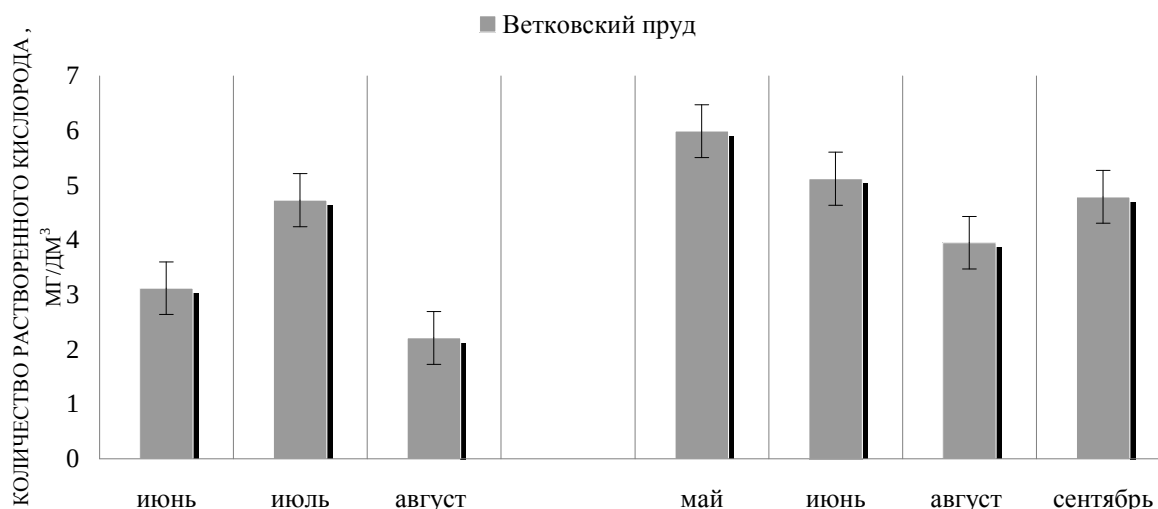


Рис. 2. Количество РК в пруду «Ветковский» в весенне-осенние периоды 2019–2020 гг.

По количеству ПО пруды ДБС имеют общую тенденцию уменьшения органического вещества в 2020 г., по сравнению с 2019 г. (рис. 3). В пруду ДБС № 4 зафиксировали средние показатели ПО, максимальное значение отмечено в июне 2019 г. (6,38 мгО/дм³), а минимальное – в июне 2020 г. (2,57 мгО/дм³). Пруд ДБС № 5 имел максимальное значение ПО в августе 2019 г. (6,74 мгО/дм³), а минимальное – в мае 2020 г. (3,38 мгО/дм³). В пруду ДБС № 6 показатели ПО варьируют в тех же пределах, что и в остальных прудах.

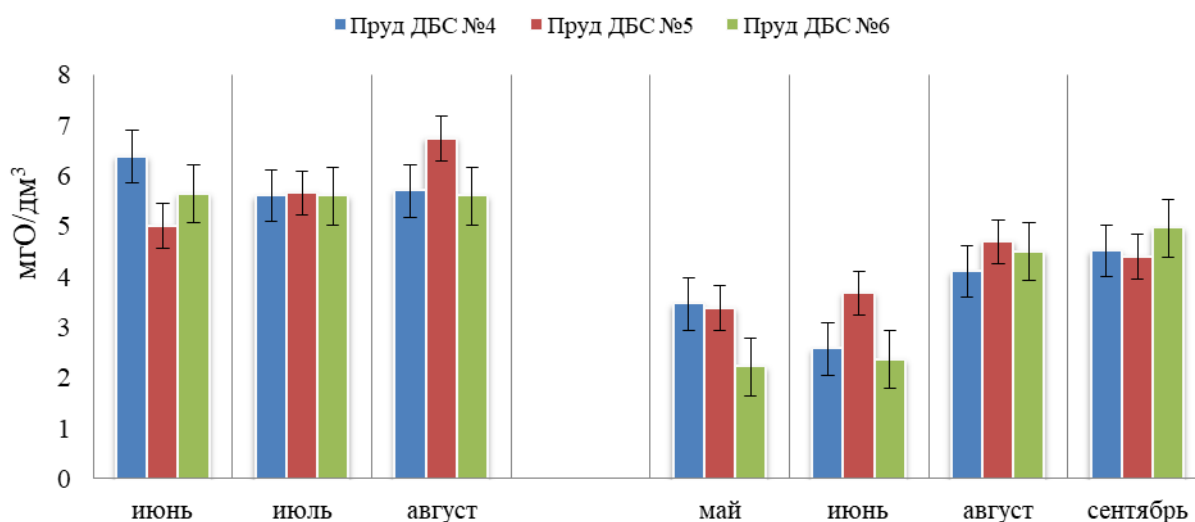


Рис. 3. Показатели ПО в прудах ДБС № 4–6 в 2019–2020 гг.

Следовательно, по классификации загрязненности вод [6] пруды ДБС относятся к IV классу (загрязненные воды), а в августе 2020 г. характеризовались как критически загрязненные воды. Показатели ПО (в среднем) варьируют в 2,5 раза. Полученные данные свидетельствуют о наличии в воде сложно разлагаемых алифатических трудноминерализуемых органических соединений, которые могут накапливаться в водоеме во время летней стагнации.

Пруд «Ветковский» (рис. 4) имел минимальное значение ПО в мае 2020 г. ($3,16 \text{ мгО/дм}^3$), а максимальное значение – в сентябре 2020 г. ($10,4 \text{ мгО/дм}^3$). Пики концентраций ПО приходились на периоды поступления в водоемы большого количества органического вещества со сточными водами, а в летний период 2020 г. наблюдалось увеличение значения ПО вследствие стагнации водоема. По классификации загрязненности вод [6] пруд «Ветковский» относится к V классу (грязные воды).

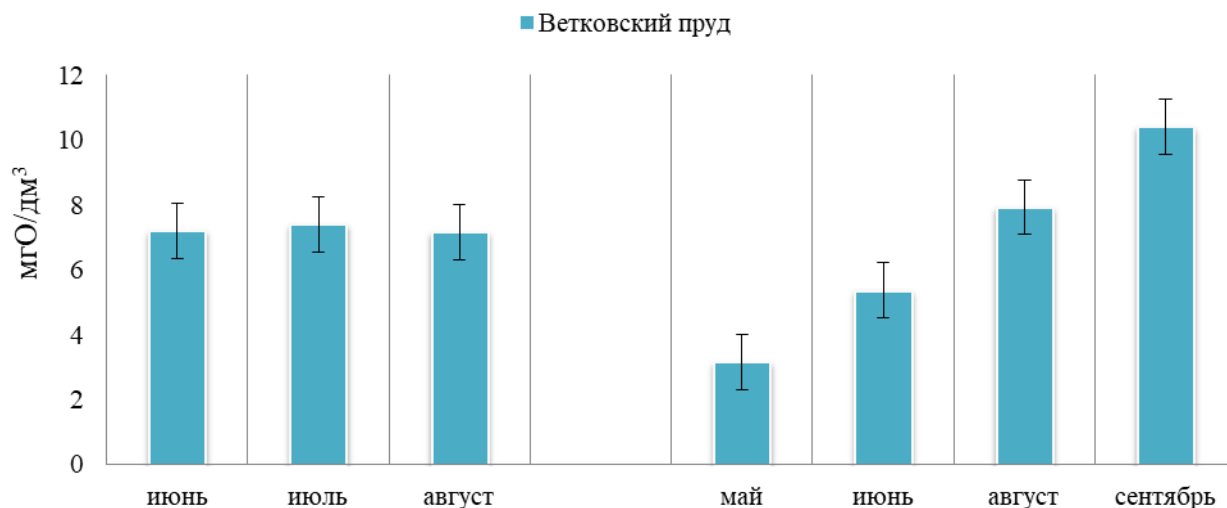


Рис. 4. Показатели ПО в пруду «Ветковский» в 2019–2020 гг.

Проведенные исследования количественных характеристик фитопланктона (рис. 5) показали динамику увеличения численности в 2020 г., по сравнению с 2019 г.

Пруды ДБС характеризовались многоступенчатым характером подъема численности фитопланктона. Максимальные значения численности были отмечены в августе 2020 г. в пруду № 5 (362456 кл./дм^3), а минимальные значения численности фитопланктона приходились на август 2019 г. в пруду ДБС № 4 (101250 кл./дм^3).

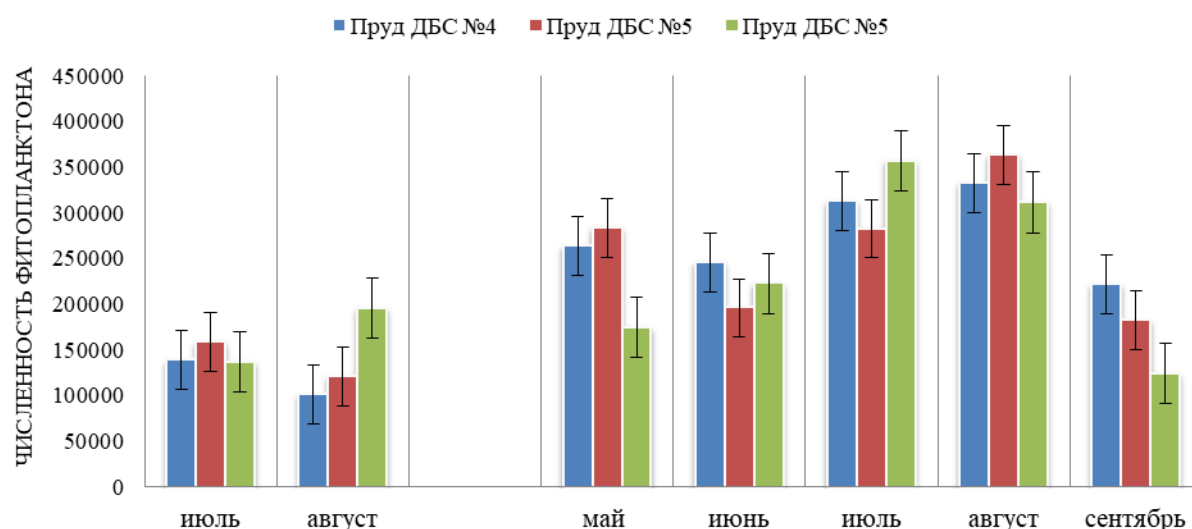


Рис. 5. Численность фитопланктона в прудах ДБС в 2019–2020 гг.

Анализ динамики численности для пруда «Ветковский» (рис. 6) показал наличие двух периодов максимального развития фитопланктона – в июле 2019 г. (238380 кл./дм^3) и в июне 2020 г. (245670 кл./дм^3), до минимального значения численность снизилась в июле 2020 г. (112456 кл./дм^3).

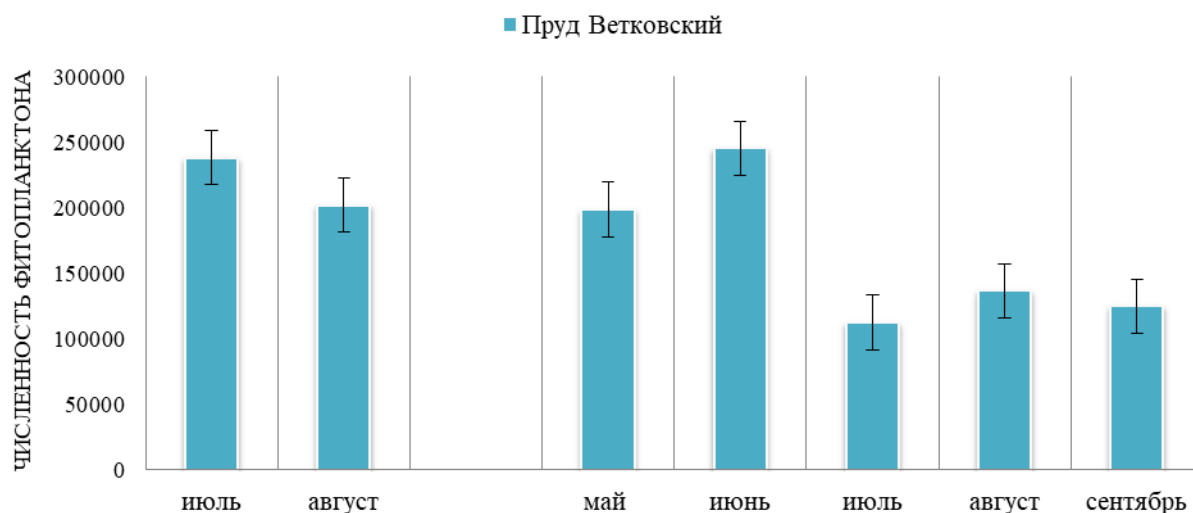


Рис. 6. Численность фитопланктона в пруду «Ветковский» в 2019–2020 гг.

Таким образом, структурные показатели численности фитопланктона исследуемых прудов имеют многоступенчатый характер. Средняя численность фитопланктона в прудах ДБС в 1,3 раза выше, по сравнению с «Ветковским» прудом.

Выводы

Пруды, являясь важным компонентом урбанизированного ландшафта, подвергаются высокому антропогенному воздействию и, как следствие, деградации. Ведущую роль в экологическом состоянии прудов играет концентрация растворенного кислорода, коррелирующая с высоким содержанием органического вещества, что выражается в снижении численности клеток фитопланктона. Такой эффект приводит к затрудненному самоочищению и ухудшению санитарного состояния, что выражается в сокращении разнообразия гидробионтов и, как следствие, заболачивании водоемов.

Все исследуемые пруды г. Донецка относят к IV классу (загрязненным водоемам), а пруд «Ветковский» по показателям перманганатной окисляемости относится к V классу (грязным водам).

Список литературы

1. Константинов А. С. Общая гидробиология. М. : Высш. шк., 1986. 472 с.
2. Мирненко Э. И. Оценка загрязнения органическими соединениями прудов г. Донецка // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2017. № 3–4. С. 17–23.
3. 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, 17–18 ноября 2020 г.). Т. 2 : Хим.-биол. науки / под общ. ред. С. В. Беспаловой. Донецк : Изд-во ДонНУ, 2020. С. 225–227.
4. Мирненко Э. И., Макуха А. О. Фитопланктон как показатель экологического состояния прудов г. Донецка // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2018. № 3–4. С. 44–50.
5. Садчиков А. П. Методы изучения пресноводного фитопланктона. М. : МГУ, 2003. С. 90–97.
6. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения : СанПиН 4630-88 от 04.07.1988 г.
7. Фомин Г. С. Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам : энцикл. справ. М. : Протектор, 2000. 838 с.

8. Черных А. А., Мирненко Э. И. Роль поверхностного стока на формирование водорослей «цветения» // Донецкие чтения 2017 : Русский мир как цивилизационная основа научно-образовательного и культурного развития Донбасса : матер. Междунар. науч. конф. студ. и молодых ученых (Донецк, 17–20 октября 2017 г.). Т. 2: Хим.-биол. науки / под общ. ред. С. В. Беспаловой. Донецк : ГОУ ВПО «ДонНУ». 2017. С. 123–124.

Mirnenko E. I., Makukha A. O. Ecological state of Donetsk ponds in organic substance content. – The work presents data on the concentration of dissolved oxygen and permanganate oxidizability in the ponds of Donetsk. It is shown that the leading role in the ecological state is played by the concentration of dissolved oxygen, which correlates with a high content of organic matter, which is expressed in a decrease in the number of phytoplankton cells.

Key words: ponds, dissolved oxygen, permanganate oxidizability, self-purification, phytoplankton.

ИТОГИ ИНТРОДУКЦИИ *IRIS PUMILA* L. 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 *Iris pumila* L. в Донецком ботаническом саду. – В статье представлены результаты многолетнего интродукционного эксперимента по культивированию *Iris pumila* L. в Донецком ботаническом саду. Изучены морфология вегетативных и генеративных органов, сезонный ритм развития, способность к вегетативному и семенному размножению, онтогенез. Определены оценка успешности интродукции и пути использования данного вида в зеленом строительстве региона.

Ключевые слова: интродукция, *Iris pumila* L., морфология, сезонный ритм развития, онтогенез, успешность интродукции.

Введение

Виды семейства Iridaceae Juss. на протяжении многих лет привлекали внимание интродукторов и фитодизайнеров оригинальностью, разнообразием, ранними сроками цветения многих представителей [1, 15, 22]. В коллекции дикорастущих ирисов Донецкого ботанического сада (ДБС) особый интерес представляет раннецветущий вид этого семейства *Iris pumila* L. – ирис карликовый. В природных популяциях он отличается ярко выраженным полиморфизмом, проявляющимся, прежде всего, в широком спектре окрасок цветков, преимущественно желтой и сиреневой гаммы, в меньшей степени их размерами и формами. Существует мнение, что этот полиморфизм обусловлен гибридным происхождением *I. pumila* (он является природным гибридом *I. attica* (Boiss. & Heldr.) K. Richt. и *I. pseudopumila* Tineo), благодаря чему вид отличается повышенными гибридизационными свойствами [16, 23], что позволяет использовать его не только в озеленении, но и при проведении селекционных работ. Именно поэтому интродукция *I. pumila* представляет значительный интерес, а вопросы его семенной репродукции и онтогенеза в условиях культуры всегда актуальны.

Численность популяций этого вида во многих местах естественного произрастания под влиянием природных и антропогенного факторов постепенно сокращается [7, 9, 11, 21]. На территории ДНР этот вид не является редким или исчезающим, однако наряду с другими степными видами испытывает антропогенный прессинг, отрицательно влияющий на его численность. Широкое использование этого вида в озеленении региона поможет делу сохранения биоразнообразия в природе.

Целью работы является оценка адаптационных возможностей *I. pumila* на основе комплексных интродукционных исследований *ex situ* в условиях степной зоны, включающих изучение морфологии вегетативных и генеративных органов, сезонного ритма развития, способности к вегетативной и семенной репродукции, онтогенеза и оценку успешности интродукции, а также определение путей использования вида в культуре.

Материал и методы исследования

В природе *I. pumila* растет в сухих дерновинно-злаковых и ковыльно-полынных степях, на каменистых и известковых откосах, песках и солонцах Средней Европы, Средиземноморья, Балкан и Малой Азии [20]. В ДБС был интродуцирован в 2001 г. семенами, полученными по делектусному обмену из Казахстана.

Изучение морфологических особенностей и сезонного ритма развития растений проводили по общепринятой методике с учетом основных этапов вегетации [10], феноритмотип определяли по И. В. Борисовой [4]. Периоды и возрастные состояния онтогенеза выделяли в соответствии с классификацией Т. А. Работнова [12, 13], дополненной А. А. Урановым [19], для их изучения использовали методику

И. И. Игнатьевой [8]. Семенную продуктивность определяли по И. В. Вайнагий [6], для определения жизненной формы использовали классификацию А. Б. Безделева, Т. А. Безделева [3] с дополнениями согласно В. В. Тарасову [17]. Для определения успешности интродукции вида применяли 7-балльную шкалу, разработанную для декоративных многолетников [2].

Результаты и обсуждение

В условиях ДБС *I. pumila* – многолетний летнезеленый травянистый корневищный симподиально нарастающий вегетативно подвижный поликарпик с розеточным прямостоячим побегом. Высота растения 7–9 см, листья широколинейные, с сизоватым налетом, 10–12 см длиной, 0,8–1,6 см шириной. Цветонос укороченный, одноцветковый, 4–7 см высотой. Цветки сидячие, 4,5–5,0 см в диаметре и 3,5–4,0 см высотой, окраска околоцветника варьирует: желтая, лиловая, густо-фиолетовая.



Рис. 1. Особи *Iris pumila* L. с различной окраской цветков в коллекции ДБС

По характеру фенологического развития *I. pumila* относится к весенне-летне-осеннезеленым видам ранневесеннего цветения. В табл. 1 представлены сроки наступления основных фенофаз вида в культуре и их амплитуды на протяжении 7 лет.

Таблица 1

Сроки наступления основных фенологических фаз *Iris pumila* L. в Донецком ботаническом саду

Лимиты фенофазы, дата					
начало вегетации	бутони- зация	начало цветения	конец цветения	созревание семян	конец вегетации
12.03–15.04	12.04–21.04	14.04–23.04	24.04–30.04	14.06–21.06	6.10–8.11
амплитуда фенофазы, количество дней					
34	9	9	6	7	33

I. pumila – растение природной флоры нашего региона, поэтому смена фенофаз вида в годичном цикле соответствует погодно-климатическому ритму интродукционного пункта. Вегетацию растения начинают после устойчивого перехода среднесуточных температур воздуха через отметку +5°C, заканчивают в конце октября – начале ноября, после осенних заморозков. Поскольку сроки прихода весны и снижения температуры воздуха осенью в разные годы могут варьировать в пределах одного – полутора месяцев, соответственно варьируют и дата начала весеннего отрастания *I. pumila* (34 дня), и дата окончания его вегетационного периода (33 дня).

Цветет *I. pumila* в середине апреля. Продолжительность цветения составляет 10–14 дней и в значительной степени определяется возрастом растений: 5–6-летние особи с массой цветоносов цветут на 3–5 дней дольше, чем молодые с 2–3 цветоносами. На

продолжительность цветения влияют и метеорологические условия: солнечная ветреная погода на несколько дней сокращает этот период. Плоды созревают в июне.

Коробочка *I. pumila* тонкостенная, вздутая, суженная на верхушке, 3,6–4,5 см длиной, 1,6–1,7 см в диаметре. Свежесобранные семена твердые, яйцевидные или удлинненно-шаровидные, гладкие, блестящие, светло-бежевого цвета. В результате хранения их окраска, форма и размеры меняются: они темнеют, становятся коричневыми, резко суженными к концам, с твердой морщинистой кожурой, длиной 0,8–0,9, шириной 0,65–0,80 см.



Рис. 2. а) Плоды *Iris pumila* L.; б) семена свежесобранные; в) сухие семена

Данные о реальной семенной продуктивности элементарной единицы (плода) зрелых генеративных особей приведены в табл. 2. Этот показатель в отношении всей особи зависит от ее биологического возраста, метеорологических особенностей в период цветения, наличия насекомых-опылителей и пр., и поэтому сильно варьирует.

Таблица 2

Реальная семенная продуктивность плода (РСП), размеры плода и семени *Iris pumila* L. в условиях Донецкого ботанического сада

РСП плода		Размеры, см							
		плода				семени			
		длина		диаметр		длина		ширина	
M±m	CV%	M±m	CV%	M±m	CV%	M±m	CV%	M±m	CV%
19,5±1,89	16,18	4,05±0,44	10,98	1,65±0,06	18,02	0,55±0,03	8,16	0,40±0,01	9,55

Примечание: М – среднее значение показателя, m – ошибка среднего, CV% – коэффициент вариации.

Самосев *I. pumila* на коллекционном участке не отмечен, скорее всего, из-за регулярных прополок и рыхления, в результате которых повреждаются и уничтожаются проростки в период их подземного развития. Однако через 2 года после переноса большей части коллекции на новый участок на старом поле выявлен единичный самосев этого вида, что свидетельствует о способности *I. pumila* к самовозобновлению семенным путем в условиях культуры.

Период активного нарастания надземной вегетативной сферы изученного вида короткий, в разные годы его продолжительность варьирует от 60 до 84 дней. Начало этого периода не совпадает со сроками начала вегетации и определяется устойчивым переходом среднесуточных температур воздуха через +10 °С; заметное усиление активизации ростовых процессов надземных побегов происходит перед началом цветения и продолжается после его завершения, а прекращение роста надземной вегетативной сферы совпадает с началом созревания семян.

Осенью, после наступления устойчивых отрицательных температур воздуха, листья желтеют и полегают, создавая дополнительную защиту для почек возобновления в зимний период. Поскольку листья короткие и относительно немногочисленные, а положение корневища в почве поверхностное, функцию защиты зачатков молодых побегов от воздействия отрицательных зимних температур наряду с листьями берет на себя корневище: в отличие от других видов рода, у *I. pumila* почки возобновления закладываются на нижней стороне его звеньев.

Введение *I. pumila* в культуру в условиях ДБС осуществляется в пределах его ареала и, теоретически, не должно представлять затруднений. Однако, по результатам некоторых исследователей [5, 18], этот вид, устойчивый в природе, в условиях культуры недолговечен и постоянно выпадает, поэтому изучению большого жизненного цикла исследуемого вида в культуре открытого грунта ДБС уделялось особое внимание.

Для *I. pumila* характерен пролонгированный период органического покоя семян: при весеннем посеве всходы появляются только через год. В первый год развития сеянцев отмечены 3 возрастных состояния: проросток, ювенильное и имматурное (рис. 3).

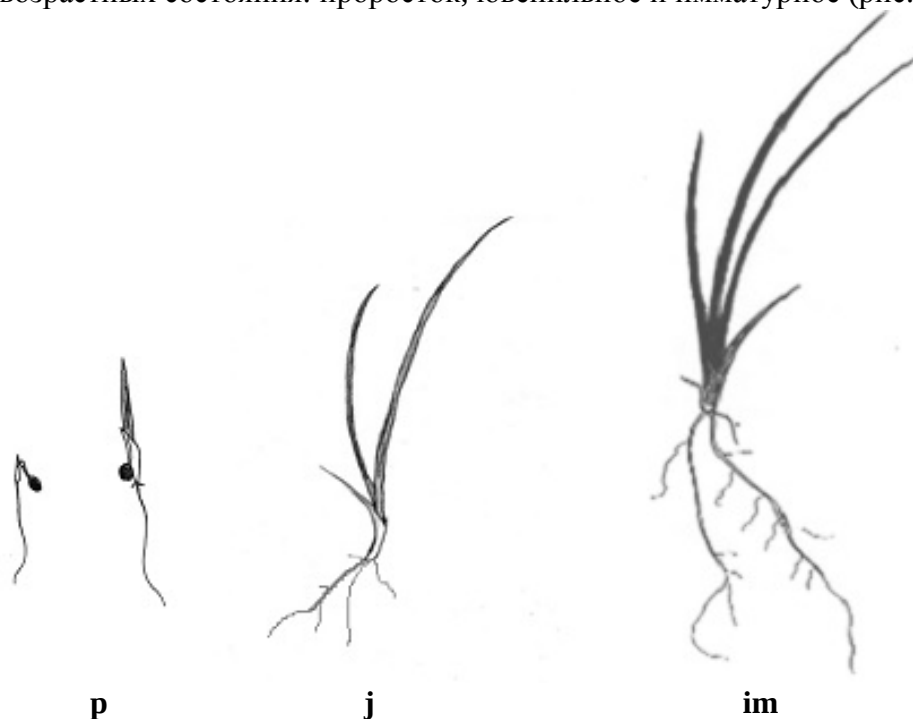


Рис. 3. Возрастные состояния *Iris pumila* L. в первый год развития: p – проросток, j – ювенильное, im – имматурное

Прорастание гипогейное. Первым появляется зародышевый корешок, который в процессе роста превращается в первичный корень, затем coleoptиль (влагалищный лист), следом – первый настоящий лист. С его появлением рост главного корня несколько замедляется, одновременно появляются 1–3 придаточных корешка (рис. 3, p). Затем развиваются второй и третий настоящий лист, связник семядоли засыхает, связь с семенем прерывается – растение переходит к самостоятельному питанию, что характерно для ювенильного возрастного состояния (рис. 3, j). По мере появления новых листьев в ходе последующего развития первые два засыхают. К концу вегетационного периода формируется первичный вегетативный побег, представляющий собой веер из 4–6 ассимилирующих листьев длиной 4–11 см, шириной 0,2–0,3 см. В это время корневая система состоит из главного корня и 2 придаточных длиной 6–15 см, по мере роста они ветвятся до второго порядка, при этом длина боковых корней не превышает 2,5 см. К концу июня нарастание надземной части прекращается, концы листьев начинают подсыхать. Одновременно происходит усложнение корневой системы: продолжается ветвление придаточных корней, их количество возрастает до 4–5. Таким образом, в первой половине

июля первого года развития растения достигают имматурного возрастного состояния (рис. 3, im), а с наступлением летней засухи их рост и развитие прекращаются. В конце октября вся надземная часть растения засыхает и наступает период зимнего покоя.

Во второй год среди сеянцев отмечена поливариантность развития различных особей. Большая их часть характеризуется моноподиальным нарастанием единственного побега, идет формирование веера из 4–5 листьев длиной 4–12 см, шириной 0,2–0,3 см; подземная часть представлена 7–8 корнями, ветвящимися до 2-го порядка. Возрастное состояние этих особей имматурное: они отличаются промежуточными признаками между ювенильными и виргинильными растениями (рис. 4, im). Вместе с тем 1–2% особей переходят к симподиальному нарастанию и потому могут считаться виргинильными (рис. 4, v): у них формируется 2 равноценных побега, основания которых к концу вегетационного периода становятся звеньями корневища.

С первой половины августа кроме ветвящихся корней появляются и начинают расти новые, шнуровидные, достигающие впоследствии 6–10 см и выполняющие осенью втягивающую функцию. С наступлением осенних заморозков вегетация прекращается, листья желтеют и засыхают.

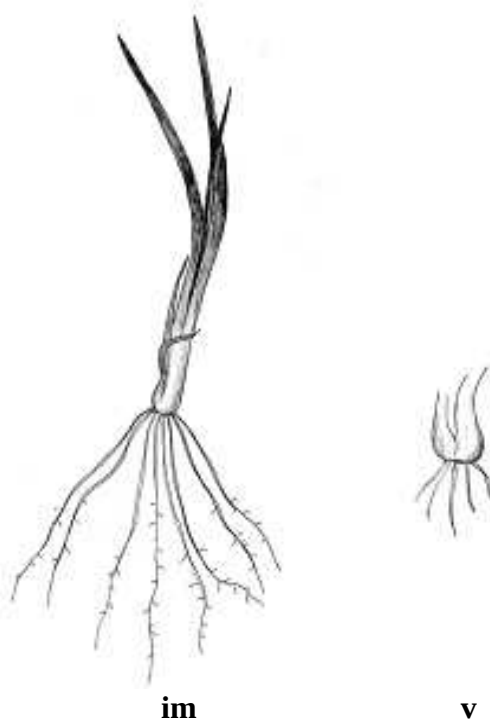


Рис. 4. *Iris pumila* L. во второй год развития: im – имматурное, v – виргинильное возрастное состояние

На третий год развития все особи переходят в виргинильное возрастное состояние: в результате перехода к симподиальному ветвлению корневища происходит становление жизненной формы с образованием первичного куста, идет ветвление придаточных корней, увеличение их количества и длины, а также размеров листьев. Виргинильные особи *I. pumila* состоят из двух, реже трех побегов-вееров (рис. 5, v₁). Кроме того, у единичных особей в течение зимы, вероятно, произошло отмирание одной почки возобновления из заложившихся двух, в результате чего остался один побег-веер. Тем не менее, поскольку их корневище состоит из 2-х звеньев, а надземный побег морфологически сходен с вегетативным побегом взрослых растений, такие особи мы тоже считаем виргинильными (рис. 5, v₂).

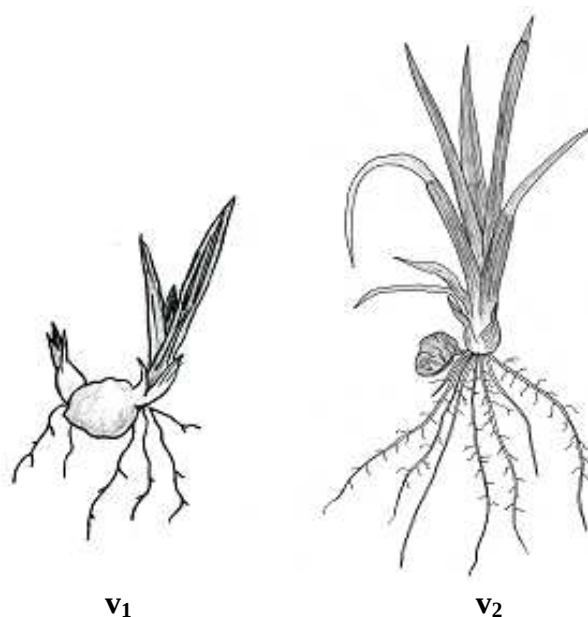


Рис. 5. Виргинильные особи *Iris pumila* L. на третьем году развития

Начиная с 4-го года развития, у сеянцев образуются новые звенья корневища, которое разрастается от центра к периферии, в 3–4-х направлениях. Возрастное состояние растений характеризуется как молодое генеративное в течение 2-х первых лет и как зрелое генеративное в последующие 2–3 года (рис. 5), в это время растения регулярно обильно цветут и плодоносят.



Рис. 6. Молодые генеративные (g₁) и зрелые генеративные (g₂) особи *Iris pumila* L.

Через 7–9 лет развития у сеянцев начинаются процессы отмирания центральной части корневища и обособление периферических его частей. В результате через 9–12 лет сеянцы *I. pumila* перестают существовать как целостный организм. При этом заметного снижения генеративной функции отделившихся частикул не наблюдается: растения остаются к зрелому генеративному возрастному состоянию, т. е., по Т. А. Работнову, происходит нормальная партикуляция [14] (рис. 7).

Сенильного возрастного состояния на протяжении 12 лет исследований у *I. pumila* не выявлено.

Таким образом, в процессе индивидуального развития сеянцы *I. pumila*, интродуцированного в условия культуры в пределах степной зоны, на протяжении 12 лет последовательно проходят следующие возрастные состояния: проросток, ювенильное, имматурное, виргинильное, раннее и зрелое генеративное; продолжительность малого жизненного цикла при этом составляет 4 года. Результаты проведенных исследований доказали возможность размножения изученного вида в условиях интродукционного пункта как семенным, так и вегетативным путем.

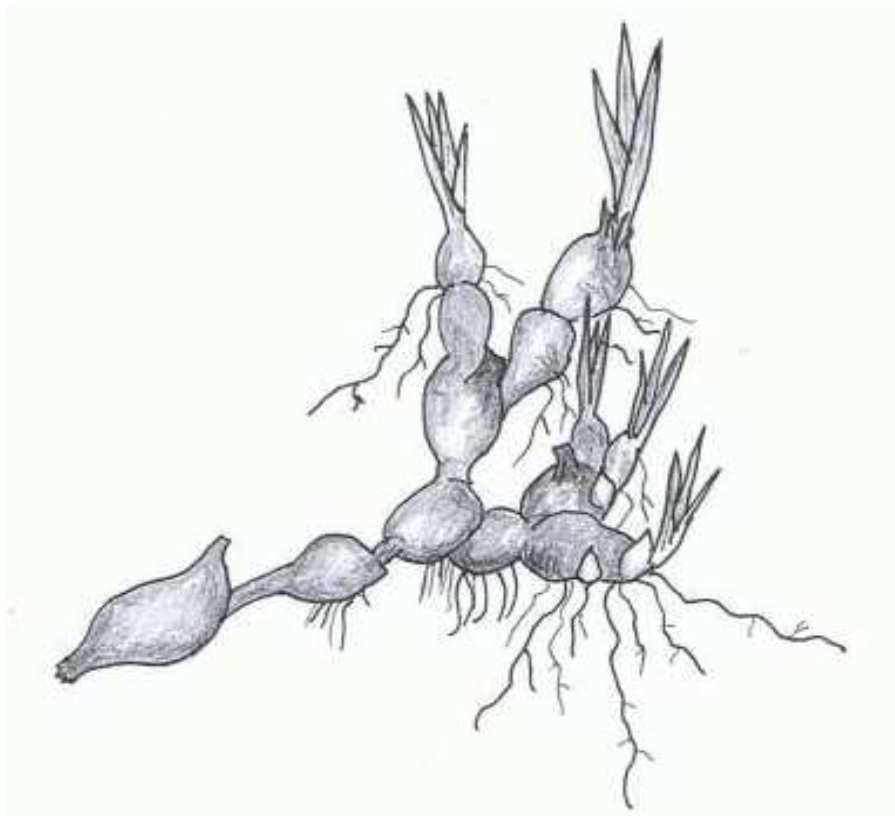


Рис. 7. Зрелая генеративная особь *Iris pumila* L., образовавшаяся в результате нормальной партитуляции

В Центральном ботаническом саду НАН Беларуси при проведении аналогичных исследований установлено, что сеянцы зацветают на второй год, а на 3–4-м году жизни фактически выпадают [5]. При этом попытка вегетативного размножения не всегда дает положительный эффект, а растения, выращенные из семян, растут и развиваются лучше, чем посаженные корневищами.

Как показали наши исследования, в условиях культуры в степной зоне сеянцы зацветают на четвертый год, а выпадения растений в результате их перехода в сенильное возрастное состояние нами не отмечено, во всяком случае, на протяжении 12 лет изучения. Искусственное вегетативное размножение делением корневища в условиях ДБС не вызывает затруднений, вегетативное потомство зацветает уже на следующий год. Сеянцы же зацветают позже и дают расщепление – поэтому семенной способ размножения, по нашему мнению, лучше использовать в селекционной работе, а вегетативный – для получения однородного посадочного материала для озеленения.

Различия в результатах интродукционных исследований одного и того же вида, вероятно, можно объяснить различием климатических условий интродукционных пунктов в период вегетации *I. pumila*: сухое жаркое лето Донбасса и дождливое нежаркое лето Беларуси. Рост и развитие сеянцев на ранних стадиях происходят быстрее в более благоприятных условиях увлажнения, поскольку вегетационный период этого вида в условиях ежегодной летней засухи, очевидно, значительно короче. Засуха в условиях ДБС может начаться в середине мая, летние дожди здесь, как правило, редки и кратковременны. Даже при регулярном обильном поливе верхний слой почвы высыхает и сильно прогревается уже через несколько часов, поэтому прегенеративный период изученного вида в ДБС длится 3 года, в отличие от одного года в Минском ботаническом саду. В то же время летняя засуха и высокие температуры воздуха и почвы летом, вероятно, препятствуют развитию бактериальной гнили на корневищах ирисов, тем более, что корневища *I. pumila* расположены в верхнем слое почвы, а частично и на ее поверхности. В условиях же влажного лета гнилостные бактерии поселяются и размножаются на отмерших частях корневищ зрелых генеративных особей, заражая впоследствии все растение. Очевидно, этим

объясняется выпадение 4–5-летних растений в Минском ботаническом саду. При вегетативном размножении делением корневищ инфекция проникает из почвы через срезы и поражает высаженные деленки, поэтому вегетативное размножение данного вида здесь также затруднительно.

Успешность интродукции *I. pumila* в ДБС нами оценена максимальной оценкой в 7 баллов по 7-балльной шкале: растения зимостойки и засухоустойчивы, ежегодно цветут и плодоносят, способны к самовозобновлению и саморасселению.

В культуре *I. pumila* можно использовать как декоративное и неприхотливое растение в ландшафтных композициях: рокариях, гравийных садах, миксбордерах. При создании таких экспозиций необходимо учитывать непродолжительное цветение этого вида и значительное снижение декоративности к концу лета.

Выводы

Результаты комплексных интродукционных исследований *I. pumila* в Донецком ботаническом саду позволяют рекомендовать данный вид как устойчивое и неприхотливое растение для использования в зеленом строительстве региона и селекционной работе.

Список литературы

1. Алексеева Н. Б. Род *Iris* L. (Iridaceae) в России // *Turczanionowia*. 2008. N 11 (2). С. 5–68.
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. Бородич Г. С. Опыт интродукции ириса карликового (*Iris pumila*) и его сортов в Беларуси // *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biol. series*. 2018. Vol. 63, N 3. P. 358–364.
6. Вайнагий И. В. О методике изучения семенной продуктивности растений // *Ботан. журнал*. 1974. Т. 59, № 6. С. 826–831.
7. Ефимов С. В., Кирпичева Л. Ф., Дацюк Е. И. Морфологические особенности *Iris pumila* L. на примере крымских популяций // *Iris-2011 : Матер. II Междунар. симп. по роду Ирис* (Москва, 14–17 июня 2011 г.). М., 2011. С. 64–73.
8. Игнатьева И. П. Онтогенетический морфогенез вегетативных органов травянистых растений. М., 1983. 55 с.
9. Крюкова А. В., Абрамова Л. М. Редкие виды рода *Iris* L. в Республике Башкортостан // *Iris-2016 : Матер. III Междунар. симп. по роду Ирис* (Москва, 15–18 июня 2016 г.). М., 2016. С. 102–107.
10. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР. М., 1975. 42 с.
11. Парникоза И. Ю., Троицкая Т. Б., Троицкий М. А., Кунах В. А. *Iris pumila* L. на Украине // *Iris-2011 : Матер. II Междунар. симп. по роду Ирис* (Москва, 14–17 июня 2011 г.). М., 2011. С. 105–110.
12. Работнов Т. А. Определение возрастного состава популяций видов в сообществе // *Полевая геоботаника*. М. – Л. : Наука, 1964. Т. 3. С. 132–208.
13. Работнов Т. А. Жизненный цикл многолетних травянистых растений в луговых ценозах // *Тр. БИН АН СССР*. 1965. Сер. 3. № 6. С. 7–204.
14. Работнов Т. А. Некоторые вопросы изучения ценологических популяций // *Бюлл. МОИП. Отд. биол.* 1969. Т. 74, № 1. С. 141–149.
15. Решетникова Л. Ф. Оценка интродукции видов рода *Iris* L. в условиях предгорной зоны Крыма // *Уч. зап. Таврического нац. ун-та им. В. И. Вернадского. Сер. Биол., хим.* 2014. Т. 27 (66), № 5 (спецвыпуск). С. 133–139.

16. Родионенко Г. И. Постигая тайны природы (Судьба моя – ирисы). СПб., 2013. 257 с.
17. Тарасов В. В. Флора Дніпропетровської та Запорізької областей. Донецьк : Ліра, 2012. 296 с.
18. Уранов А. А. Жизненные состояния вида в растительном сообществе // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1960. Т. 67, вып. 3. С. 77–92.
19. Федченко Б. А. Род 307. Касатик – *Iris* // Флора СССР: в 30 т. М. – Л. : Изд-во АН СССР, 1935. Т. IV. С. 518.
20. Федяева В. В., Шмараева А. Н., Шишлова Ж. Н. Охрана популяций *Iris pumila* L. в Ростовской области // Iris-2011 : Матер. II Междунар. симп. по роду Ирис (Москва, 14–17 июня 2011 г.). М., 2011. С. 128–132.
21. Armitage A. M. *Iris iridescence* // Amer. Nurseryman. 1990. Vol. 171, N 4. P. 111–118.
22. Randolph L. F., Mitra J. Karyotypes of *Iris pumila* and related species // Amer. J. of Botany. 1959. Vol. 46, N 2. P. 93–102.

Pavlova M. A. The results of *Iris pumila* L. introduction in the Donetsk Botanical Gardens. – Results of long-term introduction experiment on cultivation of *Iris pumila* L. 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: introduction, *Iris pumila* L., morphology, phenological rhythm, ontogeny, introduction successfulness.

ЭКОЛОГО-ПАЛИНОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В ДОНБАССЕ (2014–2020 гг.)*ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»**283050, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: andrey_safonov@mail.ru*

Сафонов А. И. Эколого-палинологическая ситуация в Донбассе (2014–2020 гг.). – Установлены палинологические тренды количественного и функционального критериев наличия и статуса пыльцевого материала в приземном слое атмосферы для учетных площадок – узлов локализации мониторинговых точек экологической сети на территории Центрального Донбасса. Критерии палинологической экспертизы указывают на тенденцию к повышению концентрации пыльцевых зерен в воздухе в наиболее опасные периоды аллергенных обострений у населения. Функциональный статус пыльцы свидетельствует о снижении техногенной нагрузки на биотопы Донбасса с 2014 по 2020 гг.

Ключевые слова: пыльца, палинология, фитоиндикация, Донбасс, экологический мониторинг, загрязнение воздуха.

Введение

В эколого-ботанических исследованиях регионов с повышенной антропогенной нагрузкой [1, 2, 5, 7, 15, 20, 24, 28, 30] выделяют особую категорию разработок индикационной значимости [4, 9, 13, 19, 22, 25] с целью реализации мониторинговых программ локального назначения [10, 17, 18, 27], используя при этом дискретные критерии фитоквантификационной экспертизы [3, 6, 11, 16, 26, 29] или экологического мониторинга преимущественно в рамках государственного заказа [8, 12, 14, 21, 23]. За годы реализации палинологических экспериментов в Донбассе [3, 5, 9–11, 19–21] отработана методическая база и накоплен материал для сравнительного анализа данных за разные периоды на сопряженных территориях, чтобы оперировать ими для выяснения тенденций [15] и ситуативных вопросов биогенного загрязнения аэропалинологического характера [5, 14] в Северном Приазовье.

Цель работы – провести анализ эколого-палинологических параметров в Донбассе с 2014 по 2020 гг. по критериям общего количества пыльцевого материала (палино-агентов) в приземном слое атмосферы и по фитоиндикационному показателю качества элементов мужского гаметофита у видов растений, имеющих высокую достоверность при проведении мониторинговых наблюдений. Запланированный анализ формирует возможность оценки санитарно-гигиенического критерия, поскольку все изучаемые таксономические группы рассматриваются в качестве продуцентов аллергенных материалов в воздушную среду. Предполагается, что функциональный статус пыльцы растений-индикаторов является показателем уровня токсической нагрузки на природные или антропогенно трансформированные экотопы в границах изучаемой мониторинговой сети.

Материал и методы исследования

Эксперимент реализован на территории Центрального Донбасса на пробных площадках – узлах локализации сети эколого-мониторингового назначения по фитокомпонентной составляющей, структурно представленной в предыдущих публикациях [18, 21]. Палинологический материал был собран в соответствии со стандартными методиками [2, 6, 12, 13, 25] и проанализирован по критериям, технология подсчета которых апробирована на видах природной флоры в регионе [5, 10, 19–21].

По критерию количественного учета общей концентрации пыльцевого материала в воздухе использовали аддитивную 9-вариационную шкалу динамического изменения, где первые четыре интервальных значения соответствовали ситуации отрицательно прироста показателя: 1) от -42 до -32 единиц на 1 м³; 2) -31 – -20; 3) -19 – -10; 4) от -9 до 0, а последующие пять интервальных значений указывали на положительный прирост показателя за измеряемый период времени с 2014 по 2020 гг. Индивидуально меняющиеся показатели

описывали в частном порядке, что не отразилось на общих тенденциях, отмеченных в картографическом изображении (рис. 1, 2).

Шкала учета степени дефектности пыльцевого материала (функциональный критерий) для видов растений природной флоры представлена пятью интервальными значениями, первые три из которых указывают на отрицательный прирост показателя по указанному параметру: 1) от -12 до -10, 2) -9 – -5, 3) -4–0, что в целом является положительным экологотоксикологическим критерием. Интервалы второй шкалы от 0 до 5 и 6–10 указывают на нежелательные тенденции для природных сред в регионе.

Предложенная работа с интервальными значениями обусловлена эмпирическим подбором диапазонов для адекватной к изображению плоскостной картографической визуализации значений.

Результаты и обсуждение

На основании данных, частично опубликованных за разные годы по количественным показателям концентрации пыльцевого материала в приземном слое атмосферы [21], в результирующую часть представленной работы размещены динамические тренды по изменению этих показателей (не абсолютные значения концентрации). В 113-мониторинговой зоне за 7 лет сравнительного анализа отмечается определенный плавный континуум динамических показателей. За весь период исследований 46% территории характеризуется уменьшением показателя концентрации пыльцевого материала на 10% от абсолютных максимумов первых данных с 2014 г.; не более 27% всей исследуемой территории имеют тенденцию к увеличению количественного палинологического критерия, что характерно для зон Горловско-Енакиевского промышленного узла, сопряженных территорий городов Ясиноватая и Харцызск, северных и восточных районов г. Донецка, восточных районов г. Макеевки (см. рис. 1).

Единичные всплески количественных показателей (пгт Розовка, пгт Землянки, пгт Золотаревка в 2015 г., пгт Сердитое, г. Иловайск, пгт Пантелеймоновка, пгт Зарудня в 2016 г., пгт Яковлевка, пгт Петровское, пгт Ждановка и южные районы г. Донецка в 2017 г., пгт Красный Октябрь, пгт Дружное, пгт Пятихатки, пгт Ольховатка в 2018 г., пгт Троицко-Харцызск, пгт Петровское, учетные площадки близ населенных пунктов Верхней и Нижней Крынки и г. Иловайска, пгт Алексеевка в отдельные месяцы 2019 г., пгт Стожковское, пгт Грозное, мкрн. Широкий г. Донецка, г. Зуевка в 2020 г.) не были подтверждены в последующие годы (или отмечены в предыдущие для 2020 г.), поэтому зафиксированы как точечные случаи, что напрямую может быть объяснено локальными особенностями климата при формировании сухой и ветреной погоды в дни забора проб. Такие данные не были включены в общие тенденции территориальных характеристик, поскольку имеют узколокальные значения для отдельно расположенных мониторинговых точек.

Общая тенденция распределения количественного индекса по концентрации пыльцевого материала тяготеет к максимальным показателям в экотопах меньшей антропогенной трансформации, что связано, в первую очередь, с большим фиторазнообразием и минимальным вмешательством в системы по санитарным нормам кошения доминирующих в первой половине лета представителей семейств *Roaseae* и *Brassicaceae*, что было нами отмечено и в предыдущих публикациях за отдельные годы исследований [19, 21]. В спектре палинологических сборов 2-й декады июня преобладали роды (в порядке убывания): *Bromopsis* (Leyss.) Holub, *Elytrigia* L., *Diplotaxis* (L.) DC., *Dactylis* L. (преимущественно для квазиприродных экотопов с минимальными признаками механических неотрансформаций почвенно-растительного горизонта за последние 10 лет), *Capsella* (L.) Medik., *Diplotaxis* (L.) DC., *Brassica* L., *Berteroia* (L.) DC., *Bromus* L., *Sinapis* L., *Reseda* L. (более характерны для территорий жилой застройки и промышленных зон), *Convolvulus* L., *Chelidonium* L., *Digitaria* (L.) Scop., *Calamagrostis* (L.) Roth, *Euphorbia* Neck., *Sisymbrium* (Murray) Roth (экотопы буферных территорий зон сельскохозяйственного назначения), *Senecio* L., *Thlaspi* L.

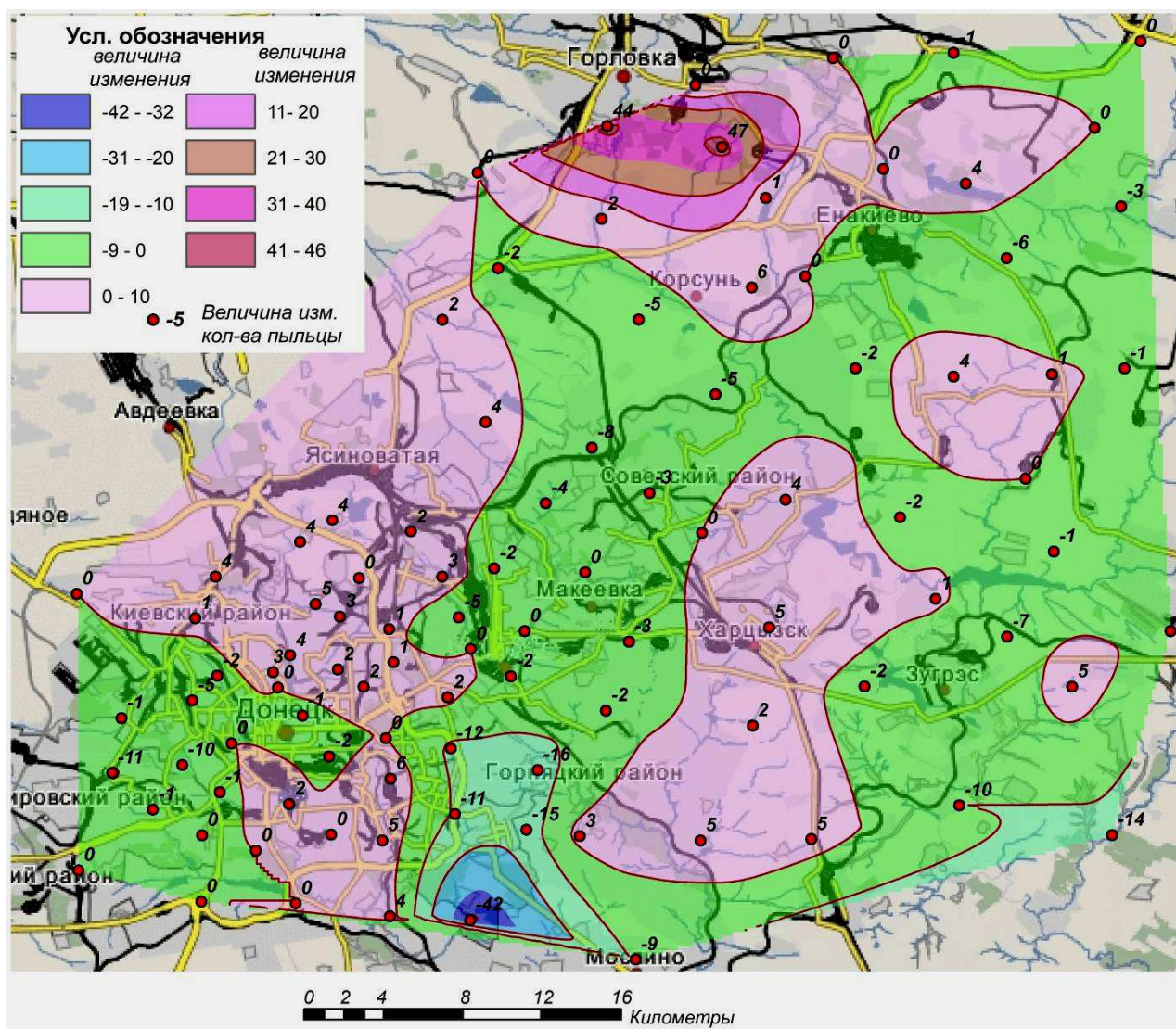


Рис. 1. Динамика численного палинологического критерия по количеству пыльцевых агентов в единице воздушной среды приземного слоя в учетных точках мониторинговой сети Центрального Донбасса, период визуализированного скрининга 2014–2020 гг. (по 3-й декаде августа)

Считаем, что наибольшую аллергенную опасность (по аэропалинологическим характеристикам) представляют в этот период (первая половина лета) роды *Elytrigia*, *Bromopsis* (для сорно-рудеральных экотопов), *Dactylis* (для экотопов транспортных коммуникаций, путей сообщения), *Berteroa* и *Diplotaxis* (в селитебных экотопах, местах полигонов локальных бытовых свалок).

Период максимально опасного санитарно-гигиенического состояния воздуха в Донецком экономическом регионе соответствует 3-й декаде августа, учитывая пик (или его остаточные накопительные эффекты) цветения родов семейства *Asteracea* в этот период и, как правило, минимальные показатели относительной влажности в приземном слое атмосферы. Спектр доминирующих таксономических примеров по концентрации пыли характерен для родов (в порядке убывания): *Ambrosia* L., *Artemisia* L., *Atriplex* L. (для всех без исключения экотопов), *Cirsium* (L.) Scop., *Tripleurospermum* (L.) Sch. Bip., *Lactuca* (L.) C. A. Mey., *Centaurea* Lam., *Cyclachaena* (Nutt.) Fresen. (экотопы существенной механической трансформации почвенно-растительного покрова), *Grindelia* (Purch) Dunal (селитебные зоны), *Echium* L., *Cichorium* L., *Stenactis* Nees., *Melilotus* (L.) Pall., *Galinsoga* Cav., *Chenopodium* L., *Plantago* L., *Hyoscyamus* L., *Polygonum* L. (экотопы автодорожных путей сообщений), *Sonchus* L. По опасности аллергии населения наибольшую угрозу

представляют роды семейства Asteracea: *Ambrosia*, *Cyclachaena* и *Centaurea*, что также было отмечено в исследованиях подобного назначения [5, 15, 19, 21].

Особенности территориального распределения функционального палинологического критерия в динамике за 2014–2020 гг. представлены на рис. 2, что отражает устойчивую тенденцию стабилизации и уменьшения сопряженного показателя уровня техногенной нагрузки – по биоиндикационным характеристикам проявления степени дефектности растительного материала при проведении экологического мониторинга.

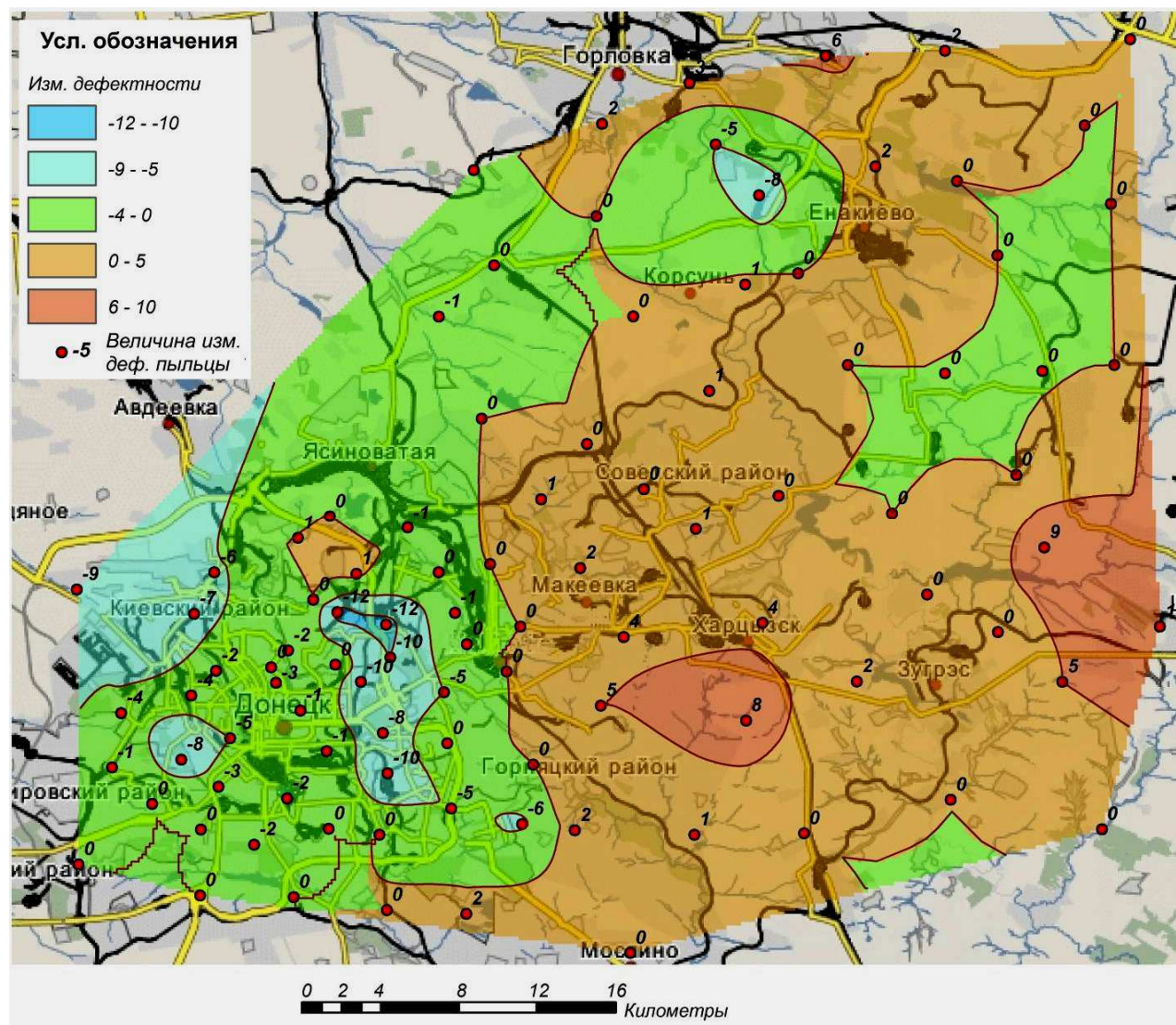


Рис. 2. Динамика функционального палинологического критерия по количеству дефектных пылевых зерен в единице воздушной среды в учетных точках мониторинговой сети Центрального Донбасса, период визуализированного скрининга 2014–2020 гг. (по 3-й декаде августа)

Установлено, что более 59% всей территории на протяжении 7 лет либо сохраняют неизменным, либо уменьшают на 5–10% показатель степени дефектности пылевого материала. В палиноспектрах фоновых видов растений определены уровни степени дефектности пылевого материала, соответствующие физиологической норме (не более 4% от общего количества окрашенной пыли). За весь период наблюдений установлены две площадки увеличения функционального критерия: южные районы г. Харцызска, восточные районы г. Шахтерска и прилегающие зоны. Это указывает на повышение токсической нагрузки, что в общем балансе соответствует 5,5% всей мониторинговой сети. В центральных и восточных районах г. Донецка показатель количества дефектных пылевых

зерен был уменьшен на 10–15 весовых индексов, что указывает на существенное улучшение среды по эколого-токсической характеристике.

Наибольшую информативность общего баланса учета дефектных пылевых зерен имеют виды *Cyclachaena xanthiifolia* (Nutt.) Fresen. (до 7% всей выборки), *Cichorium intybus* L., *Ambrosia artemisiifolia* L., *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip., *Artemisia vulgaris* L. (до 6% всей выборки), *Lactuca tatarica* (L.) C. A. Mey., *Centaurea diffusa* Lam., *Stenactis annua* Nees., *Echium vulgare* L. (до 5% всей выборки), *Atriplex patula* L., *A. micrantha* C. A. Mey., *Melilotus officinalis* (L.) Pall., *Cirsium arvense* (L.) Scop. (до 4% всей выборки), *Polygonum aviculare* L., *Galinsoga parviflora* Cav., *Plantago lanceolata* L., *P. major* L., *Grindelia squarrosa* (Purch) Dunal (до 3% всей выборки), *Chenopodium album* L., *Polygonum patulum* M. Bieb., *Sonchus arvensis* L. (до 2% всей выборки).

Полученные данные подтверждают необходимость разработки специальной программы контроля и учета дикорастущих растений на всей территории промышленного Донбасса как минимум в летний и начально-осенний период.

Выводы

Для Донбасса проблема биогенного загрязнения воздушной среды в эколого-палинологическом аспекте является актуальной, что обострено также спецификой загрязнения воздуха и характером сухого континентального макроклимата, особенно в летний период с пиком обострения в августе.

Использованные критерии палинологического анализа показали континуальность в плоскостном распределении на местности, поэтому, с учетом применяемой технологии индикационного шкалообразования и формирования значимых интервалов варьирования значения по отдельному параметру, построение наглядных картографических материалов представилось возможным.

В целом, эколого-палинологическая ситуация в Донбассе за период исследования с 2014 по 2020 гг. характеризуется как стабилизированная по количественным и функциональным показателям учета пылевого материала в приземном слое атмосферы населенных пунктов с тенденциями к 3–5%-ному повышению количественного критерия и 4–7%-ному уменьшению функционального показателя, достоверно связанного с уровнем промышленного загрязнения воздушной среды.

Благодарности

Благодарим доцента кафедры геоинформатики и геодезии ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» Екатерину Александровну Гермонову за помощь в создании картографического материала по полученным данным полевого эксперимента.

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

Список литературы

1. Антонова Е. В., Позолотина В. Н., Каримуллина Э. М. Изменчивость костреца безостого в условиях хронического облучения в зоне Восточно-Уральского радиоактивного следа // Экология. 2014. № 6. С. 459–468.
2. Барыкина Р. П. Справочник по ботанической микротехнике. Основы и методы. М. : Изд-во МГУ, 2004. 312 с.
3. Бойко Н. В. Палинографические результаты для некоторых фитоиндикаторов Донбасса // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет». Донецк : ДонНУ, 2020. Вып. 12, Т. 1. : Естественные науки. С. 27–31.
4. Гермонова Е. А., Сафонов А. И. Визуализация микроклиматических изменений индикаторных признаков в локальных популяциях растений г. Донецка // Глобальные климатические изменения : региональные эффекты, модели, прогнозы : матер. Междунар.

- науч.-практ. конф. (Воронеж, 3–5 октября 2019 г.). Воронеж : Изд-во «Цифровая полиграфия», 2019. Т. 2. С. 39–40.
5. Глухов А. З., Остапко И. Н., Сафонов А. И. Состояние пыльцы *Tripleurospermum perforatum* (Merat) M. Laipz и *Cichorium intybus* L. при загрязнении почв тяжелыми металлами // Промышленная ботаника. 2001. Т. 1. С. 84–87.
6. Дзюба О. Ф. Тератоморфные пыльцевые зерна в современных и палиопалинологических спектрах и некоторые проблемы палиоистратиграфии // Нефтегазовая геология. 2014. № 2. С. 5–22.
7. Жуйкова Т. В., Безель В. С., Позолотина В. Н., Северюхина О. А. Репродуктивные возможности растений в градиенте химического загрязнения среды // Экология. 2002. № 6. С. 431–436.
8. Именитова А. С., Пупышева С. А., Жуйкова И. А. Анализ таксономического состава и динамики аэропалинологического спектра Северо-Востока Русской равнины // Науч.-метод. электр. журн. «Концепт». 2016. Т. 15. С. 871–875.
9. Мирненко Н. С. Диагностика состояния экотопов Донецка по палинологическим данным *Betula pendula* Roth // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2018 а. № 1–2. С. 20–24.
10. Мирненко Н. С. Качество пыльцы *Diplotaxis muralis* (L.) DC. в условиях пгт. Новый свет Старобешевского района // Вестн. Донецкого нац. ун-та. Сер. А : Естеств. науки. 2018 б. № 3–4. С. 157–162.
11. Мирненко Н. С. Фертильность и жизнеспособность пыльцы *Salix alba* L. в условиях г. Донецка // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2020. № 1–2. С. 6–12.
12. Ненашева Г. И. Аэропалинологический мониторинг аллергенных растений г. Барнаула. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2013. 132 с.
13. Осмонбаева К. Б. Использование пыльцы растений в качестве тест-системы окружающей среды. Каракол : БГУ, 2010. 147 с.
14. Сафонов А. И. Фронтальный спектр фитодиагностики в Донбассе (2018–2019 гг.) // Донецкие чтения 2019 : Образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : матер. IV Междунар. науч. конф. (Донецк, 31 октября 2019 г.). Т. 2 : Хим.-биол. науки. Донецк : Изд-во ДонНУ, 2019. С. 270–271.
15. Сафонов А. И. Динамика фитомониторинговых показателей антропогенеза в Донбассе (2000–2019 гг.) // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2020 а. № 1–2. С. 31–36.
16. Сафонов А. И. Ботанико-экологические маркеры квантификации природных сред в Донбассе // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2020 б. № 3–4. С. 40–47.
17. Сафонов А. И. Тканевая диагностика эмбриональных структур фитоиндикаторов Донбасса // Вестник Донецкого национального университета. Сер. А : Естественные науки. 2020 в. № 3–4. С. 110–115.
18. Сафонов А. И., Гермонова Е. А. Экологические сети фитомониторингового назначения в Донбассе // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2019. № 3–4. С. 37–42.
19. Сафонов А. И., Захаренкова Н. С. Диагностика воздуха в г. Донецке по спектру скульптур поверхности пыльцы сорно-рудеральных видов растений // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2016. № 1–2. С. 66–72.
20. Сафонов А. И., Мирненко Н. С. Спорово-пыльцевой метод в Донбассе на основе научных рекомендаций ученых России // Донецкие чтения 2017 : Русский мир как цивилизационная основа научно-образовательного и культурного развития Донбасса : матер. Междунар. науч. конф. студ. и молодых ученых (Донецк, 17–20 октября 2017 г.). Т. 2 : Хим.-биол. науки / Под общ. ред. С. В. Беспаловой. Донецк : Изд-во ДонНУ, 2017. С. 97–99.

21. Сафонов А. И., Мирненко Н. С. Палинологический скрининг в мониторинговой программе Центрального Донбасса // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2019. № 3–4. С. 6–11.
22. Скугорева С. Г., Кутявина Т. И., Огородникова С. Ю., Кондакова Л. В., Симакова В. С., Блинова А. Л., Зыкова Ю. Н., Домрачева Л. И., Ашихмина Т. Я. Комплексный подход в оценке экологического состояния городских почв // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 3. С. 57–65.
23. Тамахина А. Я., Ахкубекова А. А. Мониторинг состава растительных сообществ на отвалах из отходов обогащения цветных металлов // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 2. С. 61–67.
24. Шималина Н. С., Позолотина В. Н., Орехова Н. А., Антонова Е. В. Оценка биологических эффектов у семенного потомства *Plantago major* L. в зоне действия медеплавильного производства // Экология. 2017. № 6. С. 420–430.
25. Эмбриология цветковых растений. Терминология и концепции / Под ред. Т. Б. Батыгиной. Системы репродукции. СПб. : Мир и семья, 2000. Т. 3. 640 с.
26. Meena M. K. Impact of arsenic-polluted groundwater on soil and produce quality : a food chain study // Environmental Monitoring and Assessment. 2020. Vol. 192, N 12. P. 785.
27. Panidi E., Trofimetz L., Sokolova J. Application of phyto-indication and radiocesium indicative methods for microrelief mapping // IOP Conf. Series : Earth and Environmental Science. 2016. N 34. P. 12–29.
28. Pozolotina V. N., Antonova E. V. Temporal variability of the quality of *Taraxacum officinale* seed progeny from the East-Ural radioactive trace : is there an interaction between low level radiation and weather conditions? // Intern. J. of Radiation Biology. 2017. Vol. 93, N 3. P. 330–339. DOI : 10.1080/09553002.2016.1254835.
29. 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.
30. White P. J., Brown P. H. Plant nutrition for sustainable development and global health // Annals of Botany. 2010. Vol. 105. P. 1073–1080.

Safonov A. I. Ecological and palynological situation in Donbass (2014–2020). – The palynological trends of the quantitative and functional criteria for the presence and status of pollen material in the surface layer of the atmosphere for the counting sites – nodes of localization of monitoring points of the ecological network in the territory of Central Donbass have been established. The criteria for palynological examination indicate a tendency towards an increase in the concentration of pollen grains in the air during the most dangerous periods of allergenic exacerbations in the population. The functional status of pollen indicates a decrease in the technogenic load on the biotopes of Donbass from 2014 to 2020.

Key words: pollen, palynology, phytoindication, Donbass, environmental monitoring, air pollution.

УДК 581 : 582.296.32 : 632.15(477)

© А. И. Сафонов, Е. И. Морозова

**ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ БРИОБИОНТОВ МОНИТОРИНГОВОЙ СЕТИ
ЦЕНТРАЛЬНОГО ДОНБАССА***ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
283050, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: andrey_safonov@mail.ru*

Сафонов А. И., Морозова Е. И. Видовое разнообразие бриобионтов мониторинговой сети Центрального Донбасса. – Представлены результаты инвентаризационной работы по изучению видового состава мохообразных в рамках существующей мониторинговой сети Центрального Донбасса. На пробных площадках составлены списки видов. Массив данных сформирован в виде карты таксономического разнообразия бриобионтов на территории Донецкого экономического региона.

Ключевые слова: мохообразные, Донбасс, виды Bryobionta, бриотека, экологический мониторинг, фитоиндикация.

Введение

Биоразнообразие любой административной территории или природно-климатической зоны является информативным критерием и обоснованием для контроля, оценки, всестороннего мониторинга состояния экосистем. Степень изученности отдельных таксономических групп для разных территорий всегда неоднородна, что связано с многочисленными факторами объективного (физическая труднодоступность) и субъективного (наличие профильных специалистов) характера. Изучение мохообразных в России имеет продолжительную историю и существенные научные достижения мирового уровня [5, 19]. Территория современного Центрального Донбасса является сравнительно малоизученной зоной в отношении бриобионтов, поскольку макроклиматические особенности континентальной степи и высокий уровень трансформации биотопов создали условия доминирования биомассы в ценозах именно высших цветковых растений как абсолютно всех установленных эдификаторов для экосистем ландшафтного уровня дифференциации среды.

Мохообразные представляют собой научно-прикладной интерес как индикаторы состояния среды [4, 8, 17], включая их информативность по наличию [1, 8, 10, 15, 16], накоплению веществ и специфических ингредиентов [10, 18]. В рамках существующих разработок по экологическому мониторингу [2, 7, 13, 14, 20] мохообразные включены в исследования эколого-фитоиндикационного характера в Донецком экономическом регионе [3, 6, 9, 11, 12].

Цель работы – обобщить актуальные данные по видовому разнообразию бриобионтов на учетных площадках (узлах) существующей мониторинговой сети в Центральном Донбассе. В качестве прикладной задачи по анализу фиторазнообразия специфической таксономической группы было запланировано представление массива данных количественного учета видов для каждой пробной площади, что в совокупности при картографической визуализации позволяет рассмотреть полученный материал в стратегической дифференциации на всей исследованной территории.

Материал и методы исследования

Базовые справочные пособия [5, 19] и региональные аналитические сводки систематических обобщений [6, 8, 15–17] представляют для актуальной работы методическую основу видовой дифференциации и идентификации образцов в бриотеке кафедры ботаники и экологии Донецкого национального университета.

Численные данные были сформированы в картографической визуализации с разделением всего диапазона варьирования показателя количества видов на семь дифференцированных интервалов с равными ступенями повышения значений (на три позиции), что установлено эмпирически для адекватного представления на картосхеме

(рис. 1), начиная с минимального количества зафиксированных видов мохообразных (3), завершая шкалу максимальным значением для одной учетной площадки – 23 вида.

Мониторинговая сеть и механизм ее конструкции (113-компонентная модель двухуровневой плотности для антропогенно трансформированных участков) представлены в предыдущей публикации [13].

Обобщены результаты инвентаризационной работы за 2015–2020 гг.

Результаты и обсуждение

Особенности территориального распределения показателя видового разнообразия представлены на рис. 1. Выбранные диапазоны варьирования основного показателя позволяют наглядно дифференцировать (по цветовой гамме и размерам окружностей с центром в каждой мониторинговой точке) распределение показателя видового богатства бриобионтов на исследуемой территории.

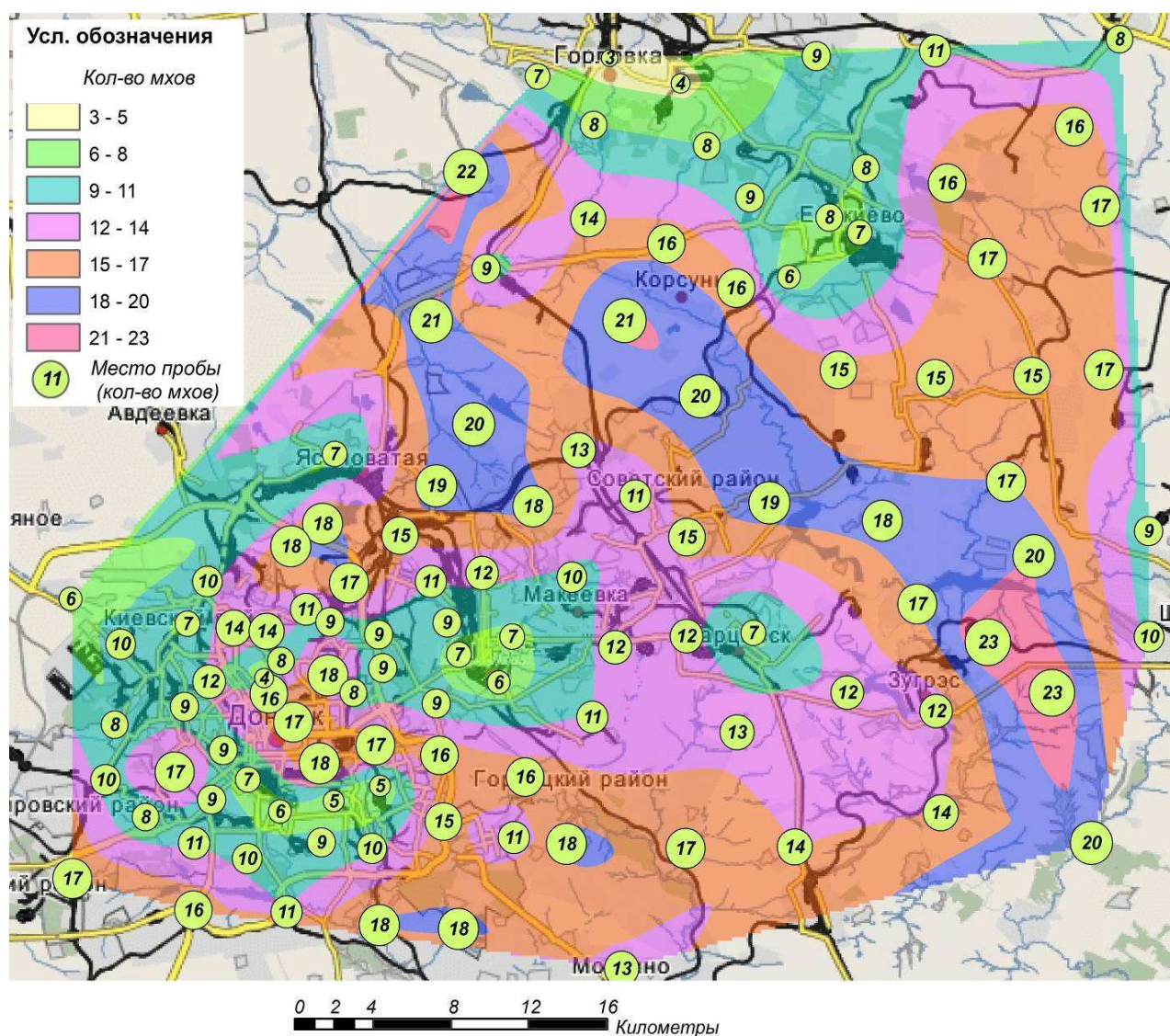


Рис. 1. Видовое разнообразие бриобионтов мониторинговой сети Центрального Донбасса

Диапазоны с минимальными количественными значениями преимущественно соответствуют зонам максимальной антропогенной нагрузки по степени трансформации биотопов и уровню токсического загрязнения. Массово представлены (по степени уменьшения количественного значения) виды: *Bryum argenteum* Hedw., *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid, *Bryum caespiticium* Hedw., *Brachythecium campestre* (Müll. Hal.) Bruch et al.,

Bryum capillare Hedw. (подавляющее большинство экотопов), *Leskea polycarpa* Hedw., *Tortula muralis* Hedw., *Orthotrichum speciosum* Nees (центральногородские районы, места высокой урбанизации), *Plagiomnium cuspidatum* (Hedw.) T. Kop., *Aulacomnium palustre* (Hedw.) Schwägr., *Platygyrium repens* (Brid.) Schimp. (массово встречаются в экотопах бытовых свалок, рудеральных полигонов), *Grimmia pulvinata* (Hedw.) Sm., *Brachythecium salebrosum* (F. Weber & D. Mohr) Bruch et al., *Syntrichia ruralis* (Hedw.) F. Weber & Mohr, *Tortula mucronifolia* Schwaegr., *Orthotrichum pallens* Bruch ex Brid., *Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt (чаще отмечены в экотопах жилых застроек, преимущественно частного сектора), *Brachythecium mildeanum* (Schimp.) Schimp., *Amblystegium subtile* (Hedw.) Schimp., *Amblystegium serpens* (Hedw.) Schimp. (массово характерны для экотопов путей сообщений), *Weissia controversa* Hedw., *Orthotrichum pumilum* Sw., *Polytrichum juniperinum* Hedw. (экотопы индустриальных территорий, зон высокого промышленного импакта или воздействия загрязняющих веществ от источников выбросов коммунальной сферы деятельности в регионе) – это виды с широкой экологической амплитудой, регистрируемые во всех интервальных значениях представленной шкалы варьирования признака по видовому богатству мохообразных.

Территориально-стратегический анализ позволяет обособить отдельные промышленные узлы в регионе: Донецко-Макеевскую агломерацию и конгломерат Горловско-Енакиевского промышленного узла, а также выделить центр г. Харцызска с предположительно высоким уровнем загрязнения воздушной среды. В процентном соотношении учетные площадки минимального численного значения (3–5 видов) занимают не более 3% всей изучаемой территории. Интервал значений в 6–8 видов соответствует 7,5%, 9–11 видов – 12% территории.

Буферными территориями являются прилегающие участки меньшего промышленного импакта, где зарегистрированы виды бриобионтов с экологической амплитудой среднего диапазона выносливости: *Pylaisia polyantha* (Hedw.) Schimp., *Hypnum cupressiforme* Hedw., *Barbula unguiculata* Hedw. (экотопы агротехнического назначения), *Bryum turbinatum* (Hedw.) Turn., *Dicranum fulvum* Hook., *Orthotrichum obtusifolium* Brid., *Leptodictyum riparium* (Hedw.) Warnst., *Polytrichum commune* Hedw. (территории рекреационного назначения в городских условиях), *Anacamptodon splachnoides* (Froel. ex Brid.) Brid., *Didymodon rigidulus* Hedw., *Dicranum polysetum* Sw. (экотопы садово-парковых назначений и рекультивационных работ), *Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch et al., *Bryum torquescens* Bruch & Schimp., *Phascum cuspidatum* Schreb. ex Hedw. (удаленные места от промышленных экотопов и селитебной застройки), *Weissia brachycarpa* (Nees & Hornschuch) Juratzka, *Calliergonella cuspidata* (Hedw.) Loeske, *Dicranum scoparium* Hedw. (квазинатурализированные экотопы). Среднеинтервальные значения индексов флористического богатства бриобионтов на общей картосхематической визуализации занимают более 57% всей территории Центрального Донбасса.

Экологический коридор наибольшего видового богатства мохообразных расположен единой вытянутой линией, соединяя северо-западные и юго-восточные районы, – это учетные площадки населенных пунктов Михайловка, Пятихатки, Шевченко, Петровское, Рясное, Монахово, Новоселовка, Верхняя Крынка, Красная Зоря, Нижняя Крынка, Лесное, Липовое, Ольховка, Зуевка, Золотаревка, Николаевка, Шахтное, Заречье, Широкое, Покровка – места регистрации наибольшего видового количества мохообразных (до 18–23 на одной учетной площадке). Такой сравнительно высокий коэффициент флористического разнообразия по представленной таксономической группе обусловлен наличием в изучаемых экотопах редких для региона видов, характеризующихся узкой экологической амплитудой: *Homomallium incurvatum* (Schrader ex Brid.) Loeske, *Campyliadelphus chrysophyllus* (Brid.) R. S. Chopra, *Dicranella cerviculata* (Hedw.) Schimp., *Niphotrichum canescens* (Hedw.) Bednarek-Ochyra & Ochyra, *Brachythecium albicans* (Hedw.) Bruch et al., *Ditrichum pussillum* (Hedw.) Hampe., *Didymodon fallax* (Hedwig) R. H. Zander, *Bryum funckii* Schwaegr., *Homalothecium lutescens* (Hedw.) H. Robins., *Marchantia polymorpha* L., *Orthotrichum*

diaphanum Brid., *Brachythecium velutinum* (Hedw.) Schimp., *Pleuridium acuminatum* Lindb., *Funaria hygrometrica* Hedw. В стратегическом планировании территории сформированный экологический коридор рассматривается нами как обоснование для функционального зонирования с включением объектов природно-заповедного фонда.

Выводы

Обобщенные флористические данные позволили представить единый количественно-дифференцированный на плоскости картографический продукт, имеющий территориально-численное разграничение пространства по критерию видового богатства бриобионтов в Центральном Донбассе.

Биотопы с высоким уровнем видового разнообразия мохообразных занимают площадь не менее 20% всей изучаемой территории и, как правило, представляют собой места максимально возможного отдаления от непосредственной хозяйственной деятельности человека, что также подтверждает систему знаний об индикаторной значимости этой таксономической группы растений при проведении экологического мониторинга в регионах высокой индустриализации или трансформации природных сред.

Полученные данные визуализируют критерий видового броразнообразия и являются ориентиром по регистрации видов разных экологических амплитуд и стратегий выживания в промышленно трансформированном регионе.

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

Список литературы

1. Алемасова А. С., Сафонов А. И., Сергеева А. С. Накопление тяжелых металлов мохообразными в различных экотопах Донбасса // Трансформация экосистем под воздействием природных и антропогенных факторов : матер. Междунар. науч. конф. (Киров, 16–18 апреля 2019 г.). Киров : ВятГУ, 2019. С. 60–65.
2. Бондарь Е. Н. Создание бриотеки на кафедре ботаники и экологии Донецкого национального университета // Донецкие чтения 2020 : образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : матер. V Междунар. науч. конф. (Донецк, 17–18 ноября 2020 г.). Т. 2 : Хим.-биол. науки. Донецк : Изд-во ДонНУ, 2020. С. 172–175.
3. Глухов А. З., Сафонов А. И. Экосистемное нормирование по данным фитоиндикационного мониторинга // Донецкие чтения 2016 : Образование, наука и вызовы современности : матер. I Междунар. науч. конф. (Донецк, 16–18 мая 2016 г.). Ростов-на-Дону : Изд-во ЮФУ, 2016. Т. 1. С. 311–312.
4. Глухов О. З., Маисталер О. В. Бріоіндикація техногенного забруднення навколишнього середовища південного сходу України. Донецьк : Вебер, 2007. 156 с.
5. Игнатов М. С., Игнатова Е. А. Флора мхов средней части европейской России. М. : КМК, 2003. Т. 1. 608 с.; М. : КМК, 2004. Т. 2. С. 608–994.
6. Морозова Е. И., Бондарь Е. Н. Инвентаризация бриотеки кафедры ботаники и экологии ДонНУ // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2020. № 3–4. С. 26–32.
7. Морозова Е. И., Сафонов А. И. Мониторинг в условиях промышленных экотопов с помощью мохообразных // Донецкие чтения 2016 : Образование, наука и вызовы современности : матер. I Междунар. науч. конф. (Донецк, 16–18 мая 2016 г.). Т. 1. Физ.-мат., техн. науки и экол. Ростов-на-Дону : Изд-во ЮФУ, 2016. С. 317–318.
8. Морозова Е. И., Сафонов А. И. Видовой состав, особенности произрастания и морфометрическая характеристика мхов-индикаторов г. Макеевки // Донецкие чтения 2017 : Русский мир как цивилизационная основа научно-образовательного и культурного развития Донбасса : матер. Междунар. науч. конф. студ. и молодых ученых (Донецк, 17–20 октября 2017 г.). Т. 2. Хим.-биол. науки. Донецк : Изд-во ДонНУ, 2017. С. 100–102.

9. Сафонов А. И. Функциональная ботаника в Донбассе : экологический мониторинг, информационные ресурсные технологии, фитодизайн // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2017. № 1–2. С. 8–14.

10. Сафонов А. И. Экспертиза промышленных предприятий Донбасса по состоянию фитокомпонентов // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2019 а. № 1–2. С. 35–43.

11. Сафонов А. И. Фронтальный спектр фитодиагностики в Донбассе (2018-2019 гг.) // Донецкие чтения 2019 : Образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : матер. IV Междунар. науч. конф. (Донецк, 31 октября 2019 г.). Т. 2: Хим.-биол. науки. Донецк : Изд-во ДонНУ, 2019 б. С. 270–271.

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

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

14. Сафонов А. И., Глухов А. З. Методологические аспекты фитомониторинга в техногенно трансформированной среде // Донецкие чтения 2020 : образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : Матер. V Междунар. науч. конф. (Донецк, 17–18 ноября 2020 г.). Донецк : Изд-во ДонНУ, 2020. Т. 2. С. 254–257.

15. Сафонов А. И., Морозова Е. И. Видовое разнообразие мохообразных Донецко-Макеевской промышленной агломерации // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2017. № 3–4. С. 24–32.

16. Сафонов А. И., Морозова Е. И. Редкие виды мохообразных Донецко-Макеевской промышленной агломерации // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2018 а. № 1–2. С. 33–43.

17. Сафонов А. И., Морозова Е. И. Мохообразные Донецкой агломерации : иллюстрированный атлас и бриоиндикация. Донецк : ДонНУ, 2018 б. 128 с.

18. Сергеева А. С., Алемасова А. С., Сафонов А. И. Накопление тяжелых металлов гаметофитами мохообразных в экотопах промышленного Донбасса // 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. 217–218.

19. Ignatov M. S., Afonina O. M., Ignatova E. A. Check-list of mosses of East Europe and North Asia // *Arctoa*. 2006. Vol. 15. P. 1–130.

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

Safonov A. I., Morozova E. I. Species diversity of bryobionts in the monitoring network of the Central Donbass. – The results of the inventory work on the study of the species composition of bryophytes within the framework of the existing monitoring network of Central Donbass are presented. Species lists have been compiled on the trial sites. The data set is formed in the form of a map of taxonomic diversity of bryobionts in the territory of the Donetsk economic region.

Key words: bryophytes, Donbass, Bryobionta species, brioteca, ecological monitoring, phytoindication.

**ФАУНА, ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ЖИВОТНОГО МИРА
FAUNA, ECOLOGY AND PROTECTION OF THE ANIMAL KINGDOM**

УДК 595.799 (477.6) : 638.19

© А. В. Амолин

**НАХОДКИ РЕДКИХ ВИДОВ ПЧЕЛ (HYMENOPTERA, APOIDEA)
В ЦЕНТРАЛЬНОМ ДОНБАССЕ***ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
283050, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: a.amolin@mail.ru*

Амолин А. В. Находки редких видов пчел (Hymenoptera, Apoidea) в Центральном Донбассе. – В работе приведен аннотированный список 68 редких для фауны Центрального Донбасса видов пчел. Список включает в большинстве своем степные и средиземноморские виды, сокращающие свою численность и весьма уязвимые в антропогенных ландшафтах Донбасса. Указаны необходимые меры по сохранению популяций редких степных видов пчел и перспективные для охраны территории в Донбассе.

Ключевые слова: пчелы, Центральный Донбасс, редкие виды.

Введение

Фауна пчел Донбасса (Донецкая, Луганская области и прилегающие районы Харьковской, Днепропетровской и Ростовской областей) изучается уже более 100 лет. Среди первых работ по фауне сопредельных территорий следует отметить список пчел К. Л. Брамсона окрестностей г. Екатеринослава [36], а также списки перепончатокрылых насекомых П. В. Иванова и В. А. Ярошевского из окрестностей г. Купянска [10] и Харьковской губернии [33]. Наиболее интенсивно фаунистические исследования пчел на исследуемой территории проводились во второй половине XX века. Главным образом благодаря работам А. З. Осычнюк, изучавшей пчел-коллетид и пчел-андренид в объеме фауны Украины, в том числе и на заповедных территориях Донецкой и Луганской областей [14–15] и многолетним исследованиям В. Г. Радченко, отраженным в его кандидатской диссертации [27]. Кроме того, важное значение имеют две специальные работы Л. П. Ромасенко [31–32], посвященные пчелам-мегахилидам заповедников «Хомутовская степь» и «Каменные могилы», обобщающая работа М. Ю. Прощалякина и Ю. В. Астафуровой по фауне и особенностям зонального распространения семейства Halictidae Украины, где для Донецкой и Луганской областей приводится 63 вида из 12 родов и 4 подсемейств [26], а также серия эколого-фаунистических статей и кандидатская диссертация Ю. А. Песенко [16–23], посвященные пчелам Ростовской области России.

По данным В. Г. Радченко фауна пчел Центрального Донбасса насчитывает 434 вида из 55 родов и 7 семейств [28]. С территории Донбасса было описано 4 новых для науки вида пчел (*Halictus luganicus* Blüthgen, 1936, *Andrena stepposa* Osytsnjuk, 1977, *A. asperula* Osytsnjuk, 1977, *Sphecodes nomioides* Pesenko, 1979).

Цель данной работы – привести аннотированный список редких видов пчел для фауны Центрального Донбасса, обнаруженных в ходе многолетних (с 1997 по 2019 гг.) собственных исследований фауны и экологии отдельных групп жалоносных перепончатокрылых насекомых. В список включены также виды пчел, обнаруженные на неохраемых территориях, требующих охраны. Частично результаты этой работы в краткой форме автором уже были опубликованы ранее [1–7].

Материал и методы исследования

Материалом для данной работы послужили сборы пчел автора в 52 пунктах Донецкой и Луганской областей, в период с 1997 по 2019 гг. Следует отметить, что сборы пчел после 1999 г. проводились попутно при эколого-фаунистическом изучении ос подсемейства Eumeninae (Vespidae). Кроме того, была изучена коллекция пчел, хранящаяся на кафедре

зоологии и экологии Донецкого национального университета. Сбор материала проводили методом кошения и индивидуального лова энтомологическим сачком на цветущих растениях и вблизи гнезд. Хорошо узнаваемые виды, занесенные в Красную книгу Украины, регистрировали без отлова.

При определении собранного материала были использованы работы [9, 14, 15, 25, 29, 35, 37, 40]. Материал по пчелам рода *Halictus* был определен Ю. А. Песенко, *Nomiapis bispinosa* (Brullé, 1832) определила Ю. В. Астафурова, *Megachile hungarica* (Mocsáry, 1877) – Л. П. Ромасенко, виды рода *Andrena* и все виды семейства Apidae (кроме шмелей) определены М. А. Филатовым. Часть материала была передана в коллекцию Института Зоологии НАН Украины (г. Киев), а также в коллекции В. Г. Радченко (г. Киев) и Харьковского энтомологического общества (г. Харьков). Коллекционный материал автора по *Colletes graeffei* Alfken, 1900, *C. punctatus* Mocsáry, 1877 и *C. albomaculatus* (Lucas, 1849) опубликован в обзорной работе по роду *Colletes* Украины [43] и в данном сообщении не приводится.

При определении относительного обилия видов использовали пятибалльную логарифмическую шкалу Ю. А. Песенко [24].

Аннотации в списке видов включают литературные сведения о находках вида на исследуемой территории, тип ареала и особенности распространения в пределах юга Русской равнины (для некоторых видов), перечень ландшафтов и заповедных территорий, в которых вид обнаружен на исследуемой территории, включая перспективные для заповедания, неопубликованный ранее материал. Нумерация видов в списке сплошная. Виды, внесенные в Красную книгу Украины, отмечены звездочкой. Материал, собранный автором, указан без фамилии сборщика. Классификация пчел и номенклатура таксонов приведены в соответствии с «Аннотированным каталогом перепончатокрылых насекомых России» [34].

Перечень сокращений и обозначений, принятых в списке:

- ДБС – Донецкий ботанический сад;
- г. – город;
- пос. – поселок;
- пгт – поселок городского типа;
- Лен. Ком. – парк Ленинского Комсомола;
- з-к – заповедник;
- РЛП – региональный ландшафтный парк;
- С – север; Ю – юг; З – запад; В – восток;
- ур. – урочище;
- ст. – станция;
- ООПТРЗ – Особо охраняемая природная территория Республиканского значения;
- ЛПЗ – Луганский природный заповедник;
- Колл. ЗМ ДонНУ – коллекция Зоологического музея кафедры зоологии и экологии Донецкого национального университета (г. Донецк);
- Колл. ИЗШК – коллекция Института зоологии НАН Украины (г. Киев);
- Колл. ХЭО – коллекция Харьковского энтомологического общества (г. Харьков).

Результаты исследований

Ниже приведен аннотированный список редких и сокращающих свою численность видов пчел, выявленных на территории Донецкой и Луганской областей, с указанием в аннотациях сведений о географическом распространении, относительной численности, биотопическом распределении, трофических связях и стациях гнездования (для некоторых видов), а также собранный материал.

1. Семейство **Colletidae**1. Подсемейство **Colletinae**1. ***Colletes graeffei* Alfken, 1900**

[14]: 70 (Донецька обл., з-к «Хомутовський степ»); [43]: 28 (Donetsk Prov., Donetsk; Luhansk Prov., Provalskaya step); [6]: 45 (юго-западна частина Донецького кряжа, правий берег річки Грузська).

Редкий, балкано-северопонтийський степний вид, відомий на юге Руської рівнини по небагатьма знахідкам в Донецькій (окр. г. Донецька, з-к «Хомутовська степ») і Луганській (з-к «Провальська степ») областях, а також із Криму (г. Симферополь) [6, 14, 43]. Ними одинично відмічені в степних біотопах (склоны степних балок) в околицях г. Донецька і в відділенні «Провальська степ» Луганського природного заповідника. Вид заслуговує включення в список охороняваних таксонів.

2. ***Colletes punctatus* Mocsáry, 1877**

[43]: 29 (Donetsk Prov., Donetsk; Starobeshevo); [6]: 45 (юго-западна частина Донецького кряжа, долина Кальмиуса і його притока Грузська).

Восходносередземноморський вид. По юго-западу Восходно-Європейської рівнини (в межах степної і юга лесостепної зон) проходить північна межа ареалу цього виду, однак наскільки далеко він розповсюджений на північ, в межах цієї рівнини, невідомо (для фауни юга європейської частини Росії він поки не приводився). В той же час, враховуючи знахідки цього виду в Донецькій області, можна передбачити його знаходження в сусідній Ростовській області Росії. Регулярно, в невеличкій кількості, відмічали на юго-западі Донецького кряжа, в степних, ксерофитних біотопах (участки петрофитної різноманітнотравно-типчаково-ковильної степи) в долинах рек Грузська, Кальмиус, Суха Волноваха [6]. В околицях г. Донецька фуражуючих самок знаходили на квітках *Nigella arvensis* L. і *Xeranthemum annuum* L. Вид заслуговує включення в список охороняваних таксонів. В частині необхідно взяти під охорону степні ділянки на правому березі річки Кальмиус в околицях пос. Придорожнє Старобешевського району Донецької області.

3. ***Colletes albomaculatus* (Lucas, 1849)**

[43]: 29 (Donetsk Prov., Donetsk; Starobeshevo); [6]: 45 (долина Кальмиуса – окр. пос. Старобешеве).

Циркумедіземноморський вид, розповсюджений на північ до Таджикистану (Proshchalykin, Kuhlmann, 2012). Відмічений локально на степних схилах правого берега річки Кальмиус в Старобешевському районі Донецької області [6]. В межах Донецької області це рідкий і малочисельний вид, заслуговує охорони на республіканському рівні. Необхідно взяти під охорону ділянку правого берега річки Кальмиус від пгт Старобешеве до пос. Новокатеринівка, де на степних ділянках відмічено обитання цілого ряду рідких видів пчел включаючи і даний вид.

4. ***Colletes eous* Morice, 1904**

[14]: 98 (Донецька обл., з-к «Хомутовський степ»; Ворошиловградська обл., з-к «Провальський степ»); [43]: 5 (Donetsk Prov., Khomutovskaya step; Luhansk Prov., Provalskaya step); [6]: 45 (долина Кальмиуса – окр. пос. Старобешеве, піщано-ракушечникова тераса Азовського моря – Крива коса).

Древнесередземський, літній моновольтинний вид, відмічений нами в степних біотопах Донецького кряжа і Приазов'я. На охороняваних територіях вид відомий із «Хомутовської» і «Провальської» степи [14, 43]. Ними відмічений в «Провальській степі», «Каменних могилах» і ООПТЗ «Меотида – Хомутовська степ»).

Матеріал. ♀, 3 ♂ (колл. ЗМ ДонНУ). Луганська обл.: ♀, 10 км NE г. Свердловск (з-к «Провальська степ»), 13.07.2004 (Мороз); Донецька обл.: ♂, 3 км NW пгт Старобешеве, 24.07.2005; ♂, 20 км NW пгт Володарське (з-к «Каменні могили»), 07.07.2006 (Панченко); ♂, окр. пос. Седово, 30.07.2016.

5. ***Colletes hylaeiformis* Eversmann, 1852**

[14]: 94 (Донецька обл.); [43]: 9 (Luhansk Prov., Provalskaya step; Streletskaya step; Donetsk Prov., Donetsk; Khomutovskaya step); [6]: 45 (Донецький кряж, запов. «Стрельцовська степ»).

Гесперійсько-східський, степний, пізньолітній моновольтинний вид. На досліджуваній території рідкий вид, відмічений переважно в степних заповідниках [6, 43]. Узкий олиголект на квітках *Eryngium* [14, 30]. Дві самки в різних географічних пунктах нами відмічені на квітках *Eryngium campestre* L.

Материал. *Донецкая обл.*: 1 ♀, 30 км N г. Артемовск, окр. с. Дроновка, 19.07.2012 (колл. ЗМ ДонНУ).

6. *Colletes mlokoszewiczi* Radoszkowski, 1891

[14]: 80 (Донецька, Ворошиловградська обл.); [43]: 21 (Luhansk Prov., Provalskaya step; Donetsk Prov., Khomutovskaya step; Krivaya Luka, 10 km W Sewersk; Yalta; Donetsk; Konstantinovka); [6]: 45 (правый берег Северского Донца – окр. пос. Дроновка, Донецкий край и его западные отроги, надпойменная песчаная терраса Северского Донца – запов. «Трехизбенская степь»).

Древнесредиземский, степной вид, отмеченный на исследуемой территории в степных биотопах [6]. На охраняемых территориях нами отмечен в РЛП «Клебан Бык» и в отделении ЛПЗ «Трехизбенская степь».

Материал. 1 ♀, 3 ♂ (колл. ЗМ ДонНУ). *Донецкая обл.*: ♂, 30 км N г. Артемовск, окр. с. Дроновка, 05.07.2002 (Бахтина); ♂, ♀, 5 км S г. Константиновка (РЛП «Клебан Бык»), 21.06.2006 (Панченко); *Луганская обл.*: ♂, 7 км N пос. Славяносербск (з-к «Трехизбенская степь»), 09.06.2011.

7. *Colletes chengtehensis* Yasumatsu, 1935 [= *pallescent* Noskiewicz, 1936]

[43]: 25 (Luhansk Prov., Stanichno-Luhanskiy Distr. Pridonetskaya poima; Streletskaya step; Provalskaya step); [6]: 45 (надпойменная песчаная терраса Северского Донца).

По-видимому, скифский (евразийский степной) вид, морфологически очень близок к *C. marginatus* Smith. На исследуемой территории редкий вид, отмеченный в Луганском природном заповеднике («Придонцовская пойма», «Стрельцовская» и «Провальская» степи) [43]. Нами также отмечен в «Трехизбенской степи».

Материал. *Луганская обл.*: ♀, 7 км N пос. Славяносербск (з-к «Трехизбенская степь»), 21.08.2008 (колл. ЗМ ДонНУ).

2. Подсемейство **Hylaeinae**

8. *Hylaeus (Prosopis) signatus* (Panzer, 1798)

[14]: 116 [*Prosopis pratensis* Geoffr.] (Ворошиловградська, Донецька обл.); [6]: 46 (Северное Приазовье, Донецкий край).

Средиземноморский вид. На исследуемой территории малочисленный вид, большинство находок которого было отмечено в степных ландшафтах Северного Приазовья и на Донецком кряже [6]. Заселяет искусственные гнездовые конструкции типа тростниковых пучков.

Материал. 2 ♀, 3 ♂ (колл. ЗМ ДонНУ). *Донецкая обл.*: ♂, 20 км NE г. Новоазовск (з-к «Хомутовская степь»), 26.05.2016; ♀, там же, инкубация из тростниковых пучков, 2016 г.; ♀, 20 NW пгт Володарское (з-к «Каменные могилы»), инкубация из тростниковых пучков, 2006 г.; ♂, г. Донецк, пос. Калинкино, 13.06.2010 на цветках *Pastinaca sativa* L.; ♂, там же, 29.05.2011.

9. *Hylaeus (Prosopis) trinotatus* (Pérez, 1895)

[6]: 46 (песчано-ракушечниковая терраса Азовского моря – Кривая коса).

Средиземноморский вид [37]. Нами обнаружен в Северо-Восточном Приазовье (ООПТРЗ «Меотида – Хомутовская степь»), в пределах песчано-ракушечниковой террасы Азовского моря (Кривая коса) [6]. Самки были собраны на участке литорального вала, на цветках синеголовника приморского (*Eryngium maritimum* L.).

Материал. 3 ♀ (колл. ЗМ ДонНУ). *Донецкая обл.*: ♀, окр. пос. Седово, 20.06.2016; 2 ♀, там же, 30.07.2016.

10. *Hylaeus (Dentigera) pallidicornis* Morawitz, 1876 [= *Prosopis breviceps* Morawitz, 1876]

[14]: 118-119 [*Prosopis breviseps* F. Mor.] (Донецька обл., з-к «Хомутовський степ», з-к «Кам'яні могили»); [37]: 241 (E-Ukraine, Donezk); [6]: 46 (южные окраины г. Донецка).

Ареал вида включает горные долины Южного и Западного Тянь-Шаня, Крым, юг Балканского п-ва (Греция), Северное Приазовье и юго-запад Донецкого кряжа [14, 37]. Вероятно, обширные дизъюнкции в распространении обусловлены или слабой изученностью и редкостью данного вида, или его реликтовостью.

Нами единично отмечен на южной окраине г. Донецка, в пределах ксерофитного степного участка при питании на цветках *Eryngium campestre* L.

Материал. Донецкая обл.: ♀, г. Донецк, мкрн. Широкий, 06.08.2016 (колл. ЗМ ДонНУ).

11. *Hylaeus (Hylaeus) moricei* (Friese, 1898)

[14]: 133-132 [*Prosopis moricella* Bisch.] (Донецька обл., з-к «Хомутовський степ»); [6]: 46 (окр. г. Новоазовск).

Древнесредиземский вид, распространенный в широтном направлении от Испании до Ирана и Хакассии, включая Южную, Центральную и Восточную Европу, Малую Азию и Кавказ [37, 42]. На исследуемой территории редкий степной вид, отмеченный в окр. Новоазовска [6].

Материал. Донецкая обл.: ♀, ♂, окр. г. Новоазовск, 20.05.2012 (Сергеев) (колл. ЗМ ДонНУ).

12. *Hylaeus (Lambdopsis) euryscapus* Förster, 1871

[6]: 46 (запов. «Хомутовская степь», окр. Краснодона).

Средиземноморский вид [14]. Вид единично отмечали в степных биотопах Приазовья (степные склоны в «Хомутовской степи») и Донецкого края (петрофитные степные участки в окр. Краснодона) [6].

Материал. ♀, ♂, (колл. ЗМ ДонНУ). Донецкая обл.: ♂, 20 км NE г. Новоазовск (з-к «Хомутовская степь»), 20.05.2005; Луганская обл.: ♀, 10 км SW г. Краснодон, окр. с. Дубовка, 09.06.2005.

13. *Hylaeus (Koptogaster) punctulatissimus* Smith, 1842

[14]: 106-107 [*Prosopis punctulatissima* Sm.] (Донецька, Ворошиловградська обл.); [6]: 46 (Донецкий край).

Европейско-кавказский ксеромезофильный вид. Ареал данного вида сосредоточен в пределах Европейской горно-лесной подобласти области Древнего Средиземья. В пределах Донецкого края малочисленный вид, отмеченный в ксеромезофитных степных биотопах (склоны степных балок, опушки байрачных лесов) [6].

Летний моновольтинный вид (лёт длится в Донецкой области с начала июня до середины июля). Регулярно отмечали на склонах степной балки в долине Грузской (окрестности г. Донецка). Самки часто посещают цветки различных видов лука (*Allium*) (Осичнюк, 1970). Одна самка была собрана нами на цветках *Allium waldsteinii*.

Материал. 5 ♀, 2 ♂ (колл. ЗМ ДонНУ). Донецкая обл.: ♀, 2 км E. г. Донецка, 16.07.1997; ♂, там же, 13.06.2001; ♀, там же, 06.07.2002; ♀, там же, 05.07.2009; Луганская обл.: ♀, 16 км S г. Антрацит, с. Дьяково, 25.06.2003 (Коновалов); 10 км SW г. Краснодон, ♂, окр. с. Дубовка, 09.06.2005; ♀, 4 км N пос. Славяносербск, окр. с. Трёхизбенка, 08.06.2011.

2. Семейство *Andrenidae*

1. Подсемейство *Andreninae*

14. *Andrena (Lepidandrena) curvungula* Thomson, 1870

[15]: 59 (Донецька, Ворошиловградська обл.).

Западноевропейский вид. На изучаемой территории, по нашим многолетним наблюдениям, вид с сокращающейся численностью. Олиголект на цветках *Campanula* [15, 30].

Материал. 2 ♂♂ (колл. ЗМ ДонНУ). Донецкая обл.: ♂, г. Донецк, ДБС, 25.06.1996; ♂, 2 км E. г. Донецка, 06.1997;

15. *Andrena (Poecilandrena) semirubra* Morawitz, 1876

На юге Русской равнины вид известен из Краснодарского края, Ростовской области, а также из прилежащих горных районов Северной Осетии, Дагестана, Крыма [15]. По мнению А. З. Осичнюк вид имеет, предположительно, понтийский тип ареала, предпочитая горные ландшафты [15]. Нами единично отмечен в пределах Донецкого края в отделении «Провальская степь» Луганского природного заповедника.

Материал. Луганская обл.: ♂, 10 км NE г. Свердловск (з-к «Провальская степь»), 05.05.2002 (колл. В. Г. Радченко).

16. *Andrena (Poecilandrena) sphecodimorpha* Hedicke, 1942

[15]: 70 (Ворошиловградська обл., з-к «Провальський степ»; окол. м. Антрацита).

Редкий, понтийский вид, известный в пределах юга Русской равнины из Крыма, Запорожской, Луганской и Волгоградской областей [15]. На южных склонах Донецкого кряжа локально встречается на целинных степных участках.

Материал. Луганская обл.: ♀, 8,5 км S г. Антрацит, (с. Нижний Нагольчик), 24.04.2007 (Коновалов) (колл. В. Г. Радченко).

17. *Andrena (Poecilandrena) potentille* Panzer, 1809

[15]: 71 (Донецька обл., з-к «Хомутовський степ», з-к «Кам'яні могили»; окол. м. Ольховатки, урочище «Плоске», окол. м. Амвросієвки, урочище «Ясенево», Ворошиловградська обл., окол. м. Антрацита, урочище «Крепеньке», урочище «Лби», з-к «Провальський степ»).

Возможно степной вид [15]. В пределах исследуемой территории вид отмечали на Донецком кряже (опушки байрачных лесов, склоны степных балок, степные плакорные участки). Узкий олиголект на цветках *Potentilla* [30].

Материал. 7 ♀, ♂ (колл. ЗМ ДонНУ), (♀, ♂ колл. В. Г. Радченко), 4 ♂ (колл. ХЭО). Донецкая обл.: 3 ♂, 2 км E. г. Донецка, 10–18.05.1997; ♂, там же, 27.04.1997; ♂, окр. г. Дебальцево, 04.06.2011 (Сергеев); ♀, там же, 16.05.2010 (Сергеев); 6 ♀♀, 1,5 км N г. Ясиноватая (Крутая Балка), 26.04.2005.

18. *Andrena (Poecilandrena) labiata* Fabricius, 1871

Западнопалеарктический вид [11]. Широко распространенный, преимущественно в горных и предгорных ландшафтах Европы, малочисленный вид. Автор отмечен на степных склонах в пределах Донецкого кряжа.

Материал. 3 ♀ (колл. ЗМ ДонНУ), ♂ (колл. В. Г. Радченко). Донецкая обл.: ♂, 2 км E. г. Донецка, 10.05.1997; Луганская обл.: ♀, 10 км NE г. Свердловск (з-к «Провальская степь»), 05.05.2002; 2 ♀, 12 км NW г. Антрацит, с. Ивановка, 10.05.2013.

19. *Andrena (Nobandrena) anatolica* Alfken, 1935

[15]: 90 (Донецька обл., з-к «Хомутовський степ», с. Богородичне, Ворошиловградська обл., з-к «Провальський степ»).

Возможно понтийский вид [15]. Нами отмечен как малочисленный вид в степных биотопах (склоны степных балок) на южных и юго-западных склонах Донецкого кряжа. Олиголект на цветках капустных (Brassicaceae) [30].

Материал. 3 ♀ (колл. ЗМ ДонНУ). Донецкая обл.: ♀, окр. г. Донецка (пос. Ларино), 21.05.1997; ♀, 2 км E. г. Донецка, 12.06.1997; ♀, 20 км SE г. Шахтерск (РЛП «Донецкий кряж»), 11.06.2004.

20. *Andrena (Nobandrena) athenensis* Warncke, 1965

[15]: 88 (Донецька обл., з-к «Хомутовський степ»).

Возможно понтийский вид [15]. Нами единично отмечен в РЛП «Донецкий кряж». Олиголект на цветках капустных (Brassicaceae) [15, 30].

Материал. Донецкая обл.: ♂, 20 км SE г. Шахтерск (РЛП «Донецкий кряж»), 11.06.2004 (колл. ЗМ ДонНУ).

21. *Andrena (Charitandrena) hattorfiana* (Fabricius, 1775)

Западнопалеарктический вид [11]. На исследуемой территории нами отмечен как редкий, сокращающий свою численность вид, локально встречающийся в лесных биотопах (опушки сосновых боров на надпойменной песчаной террасе Северского Донца, опушки байрачных лесов юго-западной части Донецкого кряжа). Узкий олиголект на цветках ворсянковых (Dipsacaceae) [15, 30].

Материал. 2 ♀ (колл. ЗМ ДонНУ). Донецкая обл.: ♀, 14 км N г. Славянск (окр. пос. Богородичное), 29.06.1976 (без фамилии сборщика); ♀, 1,5 км N г. Ясиноватая (Крутая Балка), 25.06.2004.

22. *Andrena (Scitandrena) scita* Eversmann, 1852

[15]: 98 (Донецька та Ворошиловградська обл.).

Восточносредиземноморский вид [15] (рис. 1, А). Единично отмечали в степных биотопах (склоны степных балок) в пределах западной и юго-западной частей Донецкого кряжа, в том числе на охраняемых территориях. Олиголект на цветках капустных (Brassicaceae) [15, 30].



Рис. 1. Некоторые редкие степные виды пчел-андрен из коллекции ЗМ ДонНУ (фото А. И. Губина):
А – *Andrena scita* (♀); Б – *Andrena albopunctata* (♀)

Материал. ♀, ♂ (колл. ЗМ ДонНУ). *Донецкая обл.*: ♀, окр. г. Ясиноватая, 28.06.2002; ♂, 5 км S г. Константиновка (РЛП «Клебан Бык»), 02.06.2005 (Панченко).

23. *Andrena (Parandrenella) atrata* Friese, 1887

[15]: 157 (Донецька та Ворошиловградська обл.).

По-видимому, вид имеет исходно степной ареал. Нами отмечен на степных участках в долине рек Грузская и Кальмиус. Олиголект на цветках капустных (Brassicaceae) [15, 30].

Материал. 3 ♀, 2 ♂ (колл. ЗМ ДонНУ). *Донецкая обл.*: ♀, 2 км E. г. Донецка, 06.1996; ♂, там же, 28.06.2003; ♀, 8 км W пгт Тельманово (с. Григоровка), 05.06.2010 (Сергеев); ♀, ♂, окр. г. Ясиноватая (истоки реки Кальмиус), 28.06.2002.

24. *Andrena (Holandrena) decipiens* Schenck, 1861

[15]: 178 (Донецька обл., запов. «Хомутовський степ»).

Предположительно западноредиземноморский вид [15]. Этот редкий вид ранее был указан А. З. Осычнюк для заповедника «Хомутовская степь». Нами единично отмечен в долине речки Грузская, на склонах степной балки.

Материал. *Донецкая обл.*: ♀, 2 км E. г. Донецка, 17.05.1998 (колл. ХЭО).

25. *Andrena (Melandrena) morio* Brullé, 1832

Древнесредиземский вид. На исследуемой территории малочисленный вид, с сокращающейся численностью. Нами отмечен в основном на охраняемых территориях (з-к «Трёхизбенская степь»).

Материал. 2 ♂, ♀ (колл. ЗМ ДонНУ). *Луганская обл.*: ♂, 4 км N пос. Славяносербск, окр. с. Трёхизбенка, 08.06.2011; ♀, 7 км N пос. Славяносербск (з-к «Трёхизбенская степь»), 28.05.2010 (Коновалов); ♂, 10 км NE г. Свердловск (з-к «Провальская степь»), 29.04.1975 (имя сборщика не указано).

26. *Andrena (Melandrena) albopunctata* (Rossi, 1792)

[15]: 204 (Донецька та Ворошиловградська обл.).

Древнесредиземский степной вид (рис. 1, Б). Находок этого редкого степного вида на исследуемой территории за весь период наших исследований не отмечено. Последняя известная нам находка датируется 1979 годом (Донецкий ботанический сад).

Материал. *Донецкая обл.*: ♀, г. Донецк, ДБС, 12.06.1979 (имя сборщика не указано) (колл. ЗМ ДонНУ).

27. *Andrena (Euandrena) colonialis* Morawitz, 1886

[15]: 225 (Донецька обл., запов. «Хомутовський степ»).

Возможно понтийский вид [15]. В пределах исследуемой территории это вид нами отмечен только в заповеднике «Хомутовская степь».

Материал. *Донецкая обл.*: ♀, 20 км NE г. Новоазовск (з-к «Хомутовская степь»), 09.09.1980 (колл. ЗМ ДонНУ).

28. *Andrena (Notandrena) nitidiuscula* Schenck, 1853

[15]: 262 (Донецька обл.).

Транспалеарктический вид, отмеченный автором в заповеднике «Хомутовская степь».

Материал. Донецкая обл.: ♀, 20 км NE г. Новоазовск (з-к «Хомутовская степь») (колл. ЗМ ДонНУ).

2. Подсемейство *Panurginae*

29. *Panurginus sculpturatus* Morawitz, 1872

[15]: 300 (Донецкая обл.).

Западноскифский степной вид. Олиголект на цветках капустных (Brassicaceae) [15, 30].

Материал. Донецкая обл.: ♂, г. Донецк, ДБС, 09.06.1978 (Радченко) (колл. ЗМ ДонНУ).

30. *Camptopoeum frontale* (Fabricius, 1804)

[15]: 307 (Донецкая обл.).

Древнесредиземский степной вид. Олиголект на цветках астровых (Asteraceae) [15, 30].

Материал. 5 ♂, ♀ (колл. ЗМ ДонНУ). Донецкая обл.: ♀, 2 ♂, 5 км S г. Константиновка (РПП «Клебан Бык»), 25.07.2005; 2 ♂, 1,5 км W г. Донецк, окр. пос. Старомихайловка, 19.07.2005; ♂, г. Донецк, ур. Бахмутка, 15.07.2005.

31. *Camptopoeum friesei* Mocsary, 1894

[15]: 308 (Донецкая обл., запов. «Хомутовский степ»); [5]: 54 (Луганская обл., запов. «Провальская степь»; Донецкая обл., окр. с. Безымянное, с. Дроновка).

Средиземноморский вид, отмеченный нами локально на юге Донецкой области (Новоазовский р-н), в заповеднике «Провальская степь», а также на правом берегу Северского Донца [3, 5]. Стация гнездования представляет собой степные участки, практически лишенные травостоя с глинистой почвой [5]. Олиголект на цветках астровых (Asteraceae) [15, 30].

32. *Melitturga clavicornis* (Latreille, 1806)*

Древнесредиземский степной вид, широко распространенный в степных ландшафтах Донбасса, в том числе на охраняемых территориях. Малочисленный вид. Олиголект на цветках бобовых (Fabaceae), в частности является одним из основных опылителей посевной люцерны [15, 30].

Материал. 6 ♂, 2 ♀ (колл. ЗМ ДонНУ). Донецкая обл.: 2 ♂, 5 км S г. Константиновка (РПП «Клебан Бык»), 28.06.2006; ♂, 2 км E. г. Донецка, 14.06.2007; 2 ♀, Першотравневый р-н, 2 км В пос. Мелекино, 26.06.2005; ♂, 20 NW пгт Володарское (з-к «Каменные могилы»), 16.07.2008 (Панченко); Луганская обл.: ♂, 7 км N пос. Славяносербск (з-к «Трёхизбенская степь»), 08.06.2011; ♂, 10 км NE г. Свердловск (з-к «Провальская степь»), 5–6.08.2002 (Пак).

3. Семейство *Halictidae*

1. Подсемейство *Rophitinae*

33. *Rophites algirus trispinosus* Pérez, 1903

[26]: 97 (Донецкая обл.); [9]: 182 (Донецкая обл.: Богородичное, Грабово (ВСВ Шахтерска), Донецк, Торез).

Европейско-причерноморский суббореальный подви́д западнопалеарктического южного вида *Rophites algirus* Pérez, 1895 [9]. На территории Донбасса нами отмечен в конце мая – июле в степных ландшафтах Донецкого края и Северного Приазовья (склоны степных балок в долине рек Грузская (окр. г. Донецка), Тавла (окр. пгт Волноваха), в заповедниках «Каменные могилы» и «Хомутовская степь», на опушках байрачных лесов (окр. г. Ясиноватая). Олиголект на цветках Lamiaceae [9, 30].

Материал. 6 ♂ (колл. ЗМ ДонНУ). Донецкая обл.: ♂, 2 км E. г. Донецка, 13.06.2001 (Амолин); ♂, там же, 14.06.2007; 2 ♂, окр. с. Анадо́ль, 25.05.2002; ♂, 1,5 км S г. Ясиноватая, 25.06.2004; ♂, 20 NW пгт Володарское (з-к «Каменные могилы»), 07.07.2006 (Панченко).

34. *Rophites hartmanni* Friese, 1902

[26]: 97 (Донецкая обл.).

Восточно-Европейский суббореальный вид. На исследуемой территории нами отмечен, преимущественно, в байрачных лесах (опушки, поляны) и лесополосах. Олиголект на цветках Lamiaceae [9, 30]. Самки и самцы отмечали при питании на цветках *Ballota nigra* L.

Материал. 3 ♀, 2 ♂ (колл. ЗМ ДонНУ). *Донецкая обл.*, ♀, 9 км S-E г. Донецка, окр. с. Грузско-Зорянское, 22.08.1997; 2 ♀, ♂, г. Донецк, ДБС, 10.08.2003; ♂, г. Ясиноватая, 22.07.2004.

2. Подсемейство *Nomiinae*

35. *Nomiapis bispinosa* (Brullé, 1832)

[26]: 97 (Донецкая обл.); [9]: 273 (Донецкая обл.: Самсонов).

Древнесредиземский вид. На исследуемой территории редкий вид, приуроченный к ландшафту приморских солончаковых лугов. В частности, вид был отмечен автором на участке галофитных солончаков между г. Новоазовском и с. Самсоново [3], где на участках с плотной, глинистой почвой были отмечены агрегации гнезд (проселочные дороги и тропинки по краям солончаковых озер).

Материал. *Донецкая обл.*, 3 ♀, 2,5 км W г. Новоазовск, 23.07.1997; 08.08.2005 (колл. ЗМ ДонНУ).

3. Подсемейство *Halictinae*

36. *Halictus (Argalictus) cochlearitarsis* (Dours, 1872)

[26]: 98 (Донецкая обл.).

Средиземноморский вид, локально отмеченный автором на охраняемых территориях Приазовской возвышенности (заповедник «Каменные могилы») и в долине реки Кальмиус (окр. пос. Раздольное).

Материал. 2 ♂ (колл. ЗМ ДонНУ). *Донецкая обл.*, ♂, 20 NW пгт Володарское (з-к «Каменные могилы»), 14.08.2006 (Панченко); ♂, 14 км S пгт Старобешево (окр. пос. Раздольное), 26.08.2011.

37. *Halictus (Halictus) brunnescens* (Eversmann, 1852)

[26]: 98 (Донецкая обл.).

Древнесредиземский вид, отмеченный автором в окр. г. Донецка на склонах степной балки. Гнезда в виде разреженных агрегаций находили на пологих степных склонах.

Материал. ♀, ♂ (колл. ЗМ ДонНУ). *Донецкая обл.*, ♀, 2 км E. г. Донецка, 10.07.2011; *Луганская обл.*, ♂, 10 км NE г. Свердловск (з-к «Провальская степь»), 23.09.2002 (Мороз).

38. *Halictus (Monilapis) patellatus taorminicus* Strand, 1921

[26]: 98 (Донецкая обл.).

Средиземноморский подвид древнесредиземского вида *Halictus patellatus* F. Morawitz, 1874, локально отмеченный в степных ландшафтах Северного Приазовья.

Материал. ♀, ♂ (колл. ЗМ ДонНУ). *Донецкая обл.*, ♀, 20 NW пгт Володарское (з-к «Каменные могилы»), 01.05.2006 (Панченко); ♂, 14 км SE Волноваха (с. Анадоль), 25.08.2010.

40. *Halictus (Tyttholictus) asperulus* Pérez, 1895

[25]: 630 (Донецкая обл., Славянск); [26]: 98 (Донецкая обл.).

Широкосредиземноморский вид [25]. На исследуемой территории редкий вид, локально отмеченный в заповеднике «Хомутовская степь».

Материал. *Донецкая обл.*, ♀, 20 км NE г. Новоазовск (з-к «Хомутовская степь»), 20.05.2005 (колл. В. Г. Радченко).

41. *Halictus (Vestitohalictus) tectus* Radoszkowski, 1876

На исследуемой территории редкий вид, отмеченный автором на участке кальцефитной степи.

Материал. *Донецкая обл.*, ♀, ♂, 6,5 км SE г. Краматорск (окр. с. Белокузьминовка), 26.07.2011 (колл. ЗМ ДонНУ).

4. Семейство *Melittidae*

1. Подсемейство *Dasypodainae*

42. *Dasypoda spinigera* Kohl, 1905

[3]: 146 (Луганский природный заповедник, отделение «Трёхизбенская степь»).

Ареал вида включает Малую Азию, Закавказье (Армения), Северный Кавказ, Крым, Южную, Западную и Юго-Восточную Европу [41]. В Донбассе вид отмечен локально на надпойменной песчаной террасе Северского Донца [3]. В частности, в Луганском природном

заповеднике (отделение «Трёхизбенская степь») автором в 2008 г. была обнаружена относительно крупная агрегация гнезд данного вида на участке псаммофитной степи.

Материал. Луганская обл., ♀, Славяносербский р-н, окр. с. Трёхизбенка, 22.08.2008 (колл. ЗМ ДонНУ).

2. Подсемейство *Melittinae*

43. *Macropis (Macropis) europaee Warncke, 1973*

Европейский лесной вид, распространенный на восток до Алтая [39]. На исследуемой территории малочисленный вид, отмеченный автором локально в лесо-степных биотопах (лесные поймы небольших рек, опушки байрачных лесов и тальвеги степных балок с развитой древесно-кустарниковой растительностью). Узкий олиголект на цветках вербейника *Lysimachia* (Myrsinaceae) [30].

Материал. ♀, ♂ (колл. ЗМ ДонНУ). Донецкая обл., ♀, 2 км Е. г. Донецка, 31.07.2004; Луганская обл., ♂, 16 км S г. Антрацит, с. Дьяково, 20.07.2006 (Коновалов).

44. *Melitta budensis (Mocsáry, 1878)*

[3]: 146 (юго-восток Украины).

По-видимому, евразийский степной (скифский) вид, распространенный также в Малой Азии и Закавказье (Армения) [41]. В Донбассе отмечен единично.

Материал. Донецкая обл., ♂, окр. г. Краматорск, 03.08.2011 (Сергеев) (колл. В. Г. Радченко); ♂, 5 км S пгт Красный Лиман (окр. с. Кривая Лука), 22.08.2006 (Сергеев) (колл. ЗМ ДонНУ).

5. Семейство *Megachilidae*

Подсемейство *Megachilinae*

1. Триба *Anthidiini*

45. *Icteranthidium laterale (Latreille, 1809)*

[28]: 108 (юго-восток Украины); [8]: (окр. г. Донецка и г. Макеевки); [1]: 35 (запов. «Хомутовская степь»); [2]: (г. Макеевка, запов. «Хомутовская степь», окр. с. Каменка, Ясиноватский р-н); [3]: 145 (юго-восток Украины).

Анализируя ареал данного вида, включающий всю Средиземноморскую область, большую часть степной зоны Евразии, Малую Азию, Кавказ и Закавказье, Среднюю Азию, на восток распространен до Республики Тыва (Россия) и Северо-Западного Китая [35, 44, 45], можно отнести его к группе древнесредиземских (тетийских) видов. На исследуемой территории малочисленный вид, обнаруженный в пределах Донецко-Макеевской городской агломерации, а также в заповеднике «Хомутовская степь» [2].

Материал. 2 ♀, ♂ (колл. ЗМ ДонНУ). Донецкая обл., ♀, г. Макеевка, пос. Ганзовка, 05.07.1996; ♀, 20 км NE г. Новоазовск (з-к «Хомутовская степь»), 20.09.2003; ♀, 6 км N г. Ясиноватая (окр. с. Каменка), 19.08.1997.

46. *Stelis (Protostelis) signata (Latreille, 1809)*

Исходный ареал этого вида, по-видимому, средиземноморский. Клептопаразит *Anthidiellum strigatum* (Panzer, 1805) [35]. В Донбассе редкий, единично встречаемый вид.

Материал. ♀, ♂ (колл. ЗМ ДонНУ). Донецкая обл., ♀, 4 км W пос. Раздольное, 31.08.2002; ♂, 30 км N г. Артемовск, Ямпольское лесничество, 28.07.2013.

47. *Stelis (Stelis) simillima Morawitz, 1876*

Средиземноморский вид, распространенный в Средиземноморье, Малой и Передней (Израиль, Сирия) Азии, Закавказье, в восточном направлении доходит до Ирана и Туркменистана [44]. Один из самых крупных видов данного рода, паразитирующий в гнездах *Lithurgus cornutus* (Fabricius, 1787) [35, 5]. В Донбассе, по-видимому, широко распространен, но малочислен. Численность этого вида может синхронно возрастать с ростом численности в многолетних агрегациях гнезд его хозяина *Lithurgus cornutus* [5].

Материал. 5 ♀, 4 ♂ (колл. ЗМ ДонНУ). Донецкая обл., ♀, г. Донецк, пос. Калинкино, 20.07.2007; ♂, там же, 08.07.2011; ♂, там же, 19.06.2012; 2 ♀, там же, 13.07.2013; ♂, там же, 20.06.2014; ♀, там же, 12.07.2014; ♀, там же, 04.07.2015; ♂, ДБС, 28.07.2011 (Сергеев).

48. *Trachusa (Paraanthidium) interrupta (Fabricius, 1781)*

[32]: 105 (запов. «Каменные могилы»); [3]: 145 (юго-восток Украины).

Средиземноморский вид, единично отмеченный на исследуемой территории в пределах степных ландшафтов Северного Приазовья.

Материал. Донецкая обл., ♀, окр. пгт Старобешеве, 14.08.2011 (Сергеев) (колл. В. Г. Радченко).

2. Триба Dioxini

49. *Dioxys cinctus* (Jurine, 1807)

[3]: 146 (запов. «Хомутовская степь»).

Средиземноморский вид, единично отмеченный в заповеднике «Хомутовская степь».

Материал. Донецкая обл., ♂, 20 км NE г. Новоазовск (з-к «Хомутовская степь»), инкубация из гнезда *Hoplitis adunca*, 2005 г. (колл. ЗМ ДонНУ).

3. Триба Megachilini

50. *Megachile (Chalicodoma) hungarica* (Mocsàry, 1877)

[3]: 145 (указан как *Megachile hungarica* Lepeletier, 1841).

Средиземноморский вид, единично отмеченный в заповеднике «Хомутовская степь». Находка этого вида является новой для фауны Донбасса и Восточной Европы.

Материал. Донецкая обл., ♀, 20 км NE г. Новоазовск (з-к «Хомутовская степь»), 15.07.2001 (колл. ИЗШК).

51. *Osmia (Neosmia) bicolor* (Schrank, 1781)

[3]: 146 (окр. г. Красный Лиман).

Западнопалеарктический вид [11]. На территории Донбасса редкий вид, приуроченный к лесным ландшафтам поймы реки Северский Донец.

Материал. 3 ♀ (колл. ХЭО). Донецкая обл., ♀, 30 км N г. Артемовск, окр. с. Дроновка, 25.04.2001; 2 ♀, там же, 02.05.2004, на цветках *Taraxacum officinale* Webb. ex Wigg.

6. Семейство Apidae

1. Подсемейство Xylocopinae

52. *Xylocopa (Coproxya) iris* (Christ, 1791)*

[3]: 146 (отделение «Придонцовская пойма» Луганского природного заповедника, РЛП «Зуевский»); [7]: 19 (Донецкий ботанический сад).

Древнесредиземский вид, малочисленный и редкий на территории Донбасса. Питание имаго на исследуемой территории отмечали на цветках 7 видов из 7 родов и 4 семейств цветковых растений.

Материал. Луганская обл.: ♂, окр. пос. Станично-Луганское, 24.09.2002 (колл. ХЭО); Донецкая обл., ♀, 4 км E г. Харцызск (окр. пос. Зуевка), 26.04.2014 (колл. ЗМ ДонНУ).

2. Подсемейство Nomadinae

53. *Nomada nobilis* Herrich-Schaeffer, 1839

Средиземноморский вид, паразитирующий в гнездах *Andrena nasuta* Giraud, 1863 [38].

Материал. ♀, ♂ (колл. ХЭО). Донецкая обл., ♀, 20 км NE г. Новоазовск (з-к «Хомутовская степь»), 15.07.2001; ♂, 8 км S-E г. Донецка, окр. пос. Грузско-Ломовка, 28.05.2001.

54. *Epeolus fasciatus* Friese, 1895

Восточносредиземноморский вид, отмеченный единично в степной балке, в пределах местообитания пчелы *Colletes punctatus* Mocsàry, в гнездах которой он паразитирует.

Материал. Донецкая обл., ♂, 2 км E г. Донецка, 06.07.2002 (колл. ХЭО).

3. Подсемейство Apinae

55. *Eucera (Heterocera) caspica* Morawitz, 1874

[12]: 188 (запов. «Хомутовская степь»).

По-видимому, восточносредиземноморский вид, единично отмеченный в степных биотопах на территории Донбасса.

Материал. Донецкая обл., 5 км S г. Константиновка (РЛП «Клебан Бык»), 30.04.2000 (колл. ХЭО).

56. *Eucera (Heterocera) taurica* Morawitz, 1870

Древнесредиземский вид, редкий на исследуемой территории, приуроченный к степным биотопам.

Материал. 2 ♀ (колл. ХЭО). *Донецкая обл.*, ♀, 5 км S г. Константиновка (РЛП «Клебан Бык»), 27.06.2000; ♀, 9 км S-E г. Донецка, окр. пос. Грузско-Зорянское, 18.07.2000.

57. *Eucera (Synhalonia) tricineta* Erichson, 1835

Древнесредиземский вид, единично отмеченный нами в «Провальской степи».

Материал. *Луганская обл.*: ♀, 10 км NE г. Свердловск (з-к «Провальская степь»), 05.07.2001 (колл. ХЭО).

58. *Tetraloniella fulvescens* (Giraud, 1863)

[12]: 187 (запов. «Хомутовская степь») (приведен как *Tetralonia fulvescens* Giraud).

Евразийский степной вид, отмеченный нами в степных биотопах Донецкого края. Самки и самцы часто находили на цветках девясила (*Inula* sp.).

Материал. 2 ♀, 3 ♂ (колл. ХЭО). *Донецкая обл.*, ♂, г. Донецк, ДБС, 22.06.1997; ♀, 2 км E г. Донецка, 16.07.1997; ♂, ♀, там же, 26.06.2000; ♂, там же, 11.07.2001.

59. *Tetraloniella graja* (Eversmann, 1852)

[12]: 187 (запов. «Хомутовская степь») (приведен как *Tetralonia graja* Ev.).

По-видимому, евразийский степной вид. Агрегацию гнезд данного вида обнаружили в окр. г. Ясиноватая на поляне с разреженным травостоем в байрачном лесу.

Материал. *Донецкая обл.*, ♂, г. Донецк, пос. Ларино, 14.07.1996 (колл. ХЭО); ♂, окр. г. Ясиноватая, 22.07.2004 (колл. ЗМ ДонНУ).

60. *Tetraloniella julliani* (Pérez, 1879)

[12]: 187 (запов. «Хомутовская степь») (приведен как *Tetralonia julliani biroj* Mocs.).

Редкий степной вид, отмеченный нами единично в окр. г. Донецка.

Материал. *Донецкая обл.*, ♀, 9 км S-E г. Донецка, окр. пос. Грузско-Зорянское, 22.08.1997 (колл. ХЭО).

61. *Anthophora (Paramegilla) fulvipes* Eversmann, 1846

Евразийский степной вид, единично отмеченный нами в степных ландшафтах Донбасса.

Материал. *Донецкая обл.*, ♂, 5 км S г. Константиновка (РЛП «Клебан Бык»), 05.06.1997 (колл. ХЭО).

62. *Anthophora (Paramegilla) podagra* Lepeletier de Saint-Fargeau, 1841

[12]: 189 (запов. «Хомутовская степь») (приведен как *Paramegilla podagra* Lep.).

Древнесредиземский вид (рис. 2, А), локально встречаемый на сохранившихся степных участках.

Материал. 4 ♀ (2 ♀ – колл. ХЭО, колл. ЗМ ДонНУ). *Донецкая обл.*, 2 ♀, 5 км S г. Константиновка (РЛП «Клебан Бык»), 25.07.2005; ♀, окр. пос. Старомихайловка, 19.07.2005; *Луганская обл.*: ♀, 16 км S г. Антрацит, с. Дьяково, 04.08.2006 (Коновалов).



Рис. 2. Некоторые редкие степные виды пчел-апид из коллекции ЗМ ДонНУ (фото А. И. Губина):
А – *Anthophora podagra* (♀); Б – *Bombus armeniacus* (♀)

63. *Anthophora (Petalosternon) radoszkowskyi* Fedtschenko, 1875

[12]: 189 (запов. «Хомутовская степь»).

Центральноазитский степной вид, отмеченный автором в степных биотопах Донецкого края и Северного Приазовья.

Материал. ♀, 5 ♂ (колл. ХЭО). *Донецкая обл.*, ♀, г. Донецк, пос. Авдотьино, 16.06.1996; 2 ♂, 2 км Е г. Донецка, 28.04.2000; 2 ♂, там же, 28.05, 05.06. 2000; ♂, 14 км N г. Мариуполь (ст. Кальчик), 12.06.1996.

64. *Bombus (Cullumanobombus) cullumanus serrisquama* F. Morawitz, 1888

Евразийский лугово-степной подвид, приуроченный к открытым ландшафтам луговых степей. На территории Донбасса редкий, отмеченный в заповеднике «Хомутовская степь». В последние два десятилетия на исследуемой территории не отмечен.

Материал. *Донецкая обл.*, ♀, 20 км NE г. Новоазовск (з-к «Хомутовская степь»), 14.06.1994 (собранный экземпляр разрушен).

65. *Bombus (Thoracobombus) armeniacus* Radoszkowski, 1877*

[13]: 87 (отделение «Стрельцовская степь» Луганского природного запов.); [4]: 33 (окр. г. Донецк).

Евразийский степной вид (рис. 2, Б), приуроченный к открытым степным ландшафтам. В Донбассе крайне редкий, отмеченный в заповеднике «Хомутовская степь». В последние два десятилетия на исследуемой территории не обнаружен.

Материал. *Донецкая обл.*, ♀, 20 км NE г. Новоазовск (з-к «Хомутовская степь»), 28.05.1994 (колл. ЗМ ДонНУ).

66. *Bombus (Thoracobombus) laesus laesus* F. Morawitz, 1875*

[13]: 87 (отделение «Стрельцовская степь» Луганского природного запов.).

Евразийский степной подвид, приуроченный к открытым равнинным и горным степным ландшафтам. На территории Донбасса редкий вид, отмеченный в заповедниках «Каменные могилы» и «Хомутовская степь».

Материал. *Донецкая обл.*, ♀, 20 NW пгт Володарское (з-к «Каменные могилы»), 13.07.2001 (Васильева) (колл. ЗМ ДонНУ).

67. *Bombus (Thoracobombus) muscorum* (L., 1758)*

[13]: 87 (отделение «Провальская степь» Луганского природного запов.); [4]: 33 (окр. г. Донецк).

Транспалеарктический луговой вид, отмеченный на исследуемой территории на лугово-степных участках в долинах рек. Из-за систематического выжигания сухой растительности численность вида в Донбассе неуклонно сокращается. Питание имаго отмечено на цветках 10 видов цветковых растений из 10 родов и 5 семейств.

Материал. 4 ♀ (колл. ЗМ ДонНУ). *Донецкая обл.*, 2 ♀, 20 км NE г. Новоазовск (з-к «Хомутовская степь»), 21.05.2005; ♀, г. Донецк, ДБС, 24.06.1973 (сборщик не указан); ♀, г. Донецк, 02.07.1997 (Космина).

68. *Bombus (Thoracobombus) zonatus* Smith, 1854*

[4]: 34 (окр. г. Донецк).

По-видимому, восточномедиземноморский вид, отмеченный на исследуемой территории в степных ландшафтах (лугово-степные участки в долинах рек, разнотравно-типчаково-ковыльные степи, участки псаммофитных степей), а также в урболандшафтах (сохранившиеся лугово-степные участки в границах городов). Малочисленный вид. В урболандшафтах Донбасса питание имаго отмечено на цветках 9 видов цветковых растений из 9 родов и 5 семейств.

Материал. 6 ♀, ♂ (колл. ЗМ ДонНУ). *Донецкая обл.*, ♂, 14 км S пгт Волноваха (окр. с. Анадоле), 05.10.2001; ♀, 20 км NE г. Новоазовск (з-к «Хомутовская степь»), 15.07.2001; ♀, 20 NW пгт Володарское (з-к «Каменные могилы»), 14.08.2006 (Панченко); ♀, 20 км SE г. Шахтерск (РЛП «Донецкий край»), 11.06.2004; ♀, Белосарайская коса, 20.07.2008; ♀, г. Донецк, ДБС, 02.06.2016 (Жукова); *Луганская обл.*, ♀, 10 км NE г. Свердловск (з-к «Провальская степь»), 06.05.2002.

Приведенный выше список включает в большинстве своем степные и средиземноморские виды, сокращающие свою численность и весьма уязвимые в антропогенных ландшафтах Донбасса. Некоторые виды являются чувствительными

индикаторами сохранности естественных биоценозов, например степные виды шмелей (*Bombus armeniacus*, *Bombus laesus*). С целью сохранения популяций редких степных видов необходимо увеличить площадь природоохранных территорий, повсеместно запретить выжигание сухой растительности, проводить мониторинг сохранившихся популяций редких видов, организовывать заказники в агроландшафтах.

В качестве перспективных для заповедания мест в Центральном Донбассе следует отметить: участок правого берега реки Кальмиус между пгт Старобешево и с. Новокатериновка, окр. г. Харцызска (балка Певчая), окр. с. Дмитровка (в пределах долины Миуса и прилегающих степных участков), степные участки в сочетании с байрачными лесами в окрестностях сел Ольховатка, Никишино, Рассыпное, участки петрофитных степей между Миусинском и Есауловкой, байрачный лес в Ореховой балке (между с. Дьяково и с. Орехово), а также многие другие сохранившиеся участки естественных ландшафтов Донецкого края в Лутугинском, Краснодонском, Антрацитовском, Свердловском районах Луганщины.

Благодарности

Автор выражает глубокую благодарность специалистам-апидологам М. А. Филатову (Харьковский национальный аграрный университет им. В. В. Докучаева, г. Харьков, Украина), Ю. А. Песенко и Ю. В. Астафуровой (Зоологический институт РАН, г. Санкт-Петербург, Россия), Л. П. Ромасенко за оказанную помощь при определении пчел, М. Ю. Прощалыкину (Биолого-почвенный институт ДВО РАН, г. Владивосток) за рецензирование статьи, а также А. И. Губину (Донецкий ботанический сад, г. Донецк) за изготовление фотографий пчел.

Список литературы

1. Амолин А. В. Некоторые особенности фауны и гнездовой биологии жалоносных перепончатокрылых (Hymenoptera : Aculeata) отделения Украинского степного природного заповедника «Хомутовская степь» // Экология и фауна юго-востока Украины : сб. науч. тр. Донецк : ДонНУ, 2005. Вып. 5. С. 34–36.
2. Амолин А. В. Гнездостроящие пчелы трибы Anthidiini (Hymenoptera : Megachilidae) юго-востока Украины // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона : межвед. сб. науч. тр. Донецк : ДонНУ, 2008. Вып. 8. С. 96–103.
3. Амолин А. В. Находки некоторых редких видов пчел и ос (Hymenoptera, Vespomorpha) на юго-востоке Украины // Zoocenosis–2015 : Матер. VIII Междунар. науч. конф. (Днепропетровск, 21–23 декабря 2015 г.). Днепропетровск : Лира, 2015. С. 145–147.
4. Амолин А. В. Материалы к изучению экологии некоторых видов шмелей (Hymenoptera, Apidae, Bombini) г. Донецка и его окрестностей // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2017. № 3–4. С. 32–41.
5. Амолин А. В. К изучению экологии и брачного поведения четырех гнездостроящих видов пчел (Hymenoptera : Apoidea : Apiformes) в Донбассе // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2018 а. № 1–2. С. 51–62.
6. Амолин А. В. К изучению ландшафтно-биотопического распределения пчел семейства Colletidae (Hymenoptera : Apoidea) в Донбассе // Эверсманния. 2018 б. № 54. С. 43–48.
7. Амолин А. В. Роль Донецкого ботанического сада в сохранении редких и практически значимых видов пчел и ос // Матер. науч. конф. с междунар. участием, посвященной 55-летию Донецкого ботанического сада (Донецк, 8–10 октября 2019 г.). Донецк, 2019. С. 15–20.
8. Амолин А. В., Ярошенко Н. Н. К фауне пчел (Hymenoptera, Apoidea) Донецко-Макеевской городской агломерации // Праці наук. конф. ДонНУ за підсумками наук.-дослід. роботи за період 1999–2000 рр. (секція біол. наук). Донецьк : ДонНУ, 2001. С. 3–5.
9. Астафурова Ю. В. Пчелы подсемейств Rophitinae и Nomiinae (Hymenoptera, Halictidae) России и сопредельных территорий. М : Товарищество научных изданий КМК, 2014. 396 с.

10. *Иванов П. В.* Перечень перепончатокрылых Hymenoptera, Monotrocha, встречающихся в окрестностях г. Купянска // Труды Общ-ва испытателей природы при Императорском Харьковском ун-те. 1873. VI. С. 151–169.
11. *Левченко Т. В.* Зоогеографическая характеристика фауны пчел (Hymenoptera, Apoidea) Московской области // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отд. Биол. 2009, 114 (1). С. 14–21.
12. *Литвиненко Д. П.* Аннотированный список пчел-антофорид (Hymenoptera, Apoidea, Anthophoridae) Хомутовской степи // Летопись Природы УГСПЗ Института Ботаники им. Н. Г. Холодного. 1990. Т. I. С. 187–190.
13. *Мороз О. Ю.* К фауне шмелей и шмелей-кукушек (Hymenoptera, Apidae) Луганского природного заповедника // Респ. энтомол. конф., присв. 50-й річниці заснування Укр. энтомол. тов-ва (Ніжин, 19–23 серпня 2000 р.) : Тез. доп. Ніжин : ТОВ «Наука-сервіс», 2000. С. 87.
14. *Осичнюк Г. З.* Бджоли-колетиды. Фауна України. Бджолині. К. : Наук. думка, 1970. 12 (4). С. 1–158.
15. *Осичнюк Г. З.* Бджоли-андреніди. Фауна України. Бджолині. К. : Наук. думка, 1977. 12 (5). С. 1–328.
16. *Песенко Ю. А.* Материалы по фауне и экологии пчелиных (Hymenoptera, Apoidea) степей Нижнего Дона. Сообщение I. Семейство Megachilidae // Энтомол. обозр. 1971. Т. 50, № 1. С. 66–78.
17. *Песенко Ю. А.* Материалы по фауне и экологии пчелиных (Hymenoptera, Apoidea) степей Нижнего Дона. Сообщение II. Семейство Halictidae // Энтомол. обозр. 1972 а. Т. 51, № 2. С. 282–295.
18. *Песенко Ю. А.* Материалы по фауне и экологии пчелиных (Apoidea) Нижнего Дона. Сообщение III. Фенология и трофические связи Andrenidae // Зоол. журн. 1972 б. Т. 51, № 8. С. 1196–1200.
19. *Песенко Ю. А.* Пчелиные (Hymenoptera, Apoidea) Нижнего Дона (фауна, трофические связи, биоценология) : Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Л., 1973. 20 с.
20. *Песенко Ю. А.* Материалы по фауне и экологии пчелиных (Apoidea) Нижнего Дона. Сообщение IV. Семейство Anthophoridae // Энтомол. обозр. 1974 а. Т. 53, № 2. С. 324–333.
21. *Песенко Ю. А.* Материалы по фауне и экологии пчелиных (Apoidea) Нижнего Дона. Сообщение 5. Стациальное распределение и формирование населения вторичных стаций // Зоол. журн. 1974 б. Т. 53, № 6. С. 882–887.
22. *Песенко Ю. А.* Материалы по фауне и экологии пчелиных (Apoidea) Нижнего Дона. Сообщение VI. Обзор трофических связей // Энтомол. обозр. 1975. Т. 54, № 3. С. 555–564.
23. *Песенко Ю. А.* Материалы по фауне и экологии пчелиных (Apoidea) Нижнего Дона. Сообщение VII. Фенология, сезонная и суточная динамика численности // Энтомол. обозр. 1978. Т. 57, № 4. С. 762–771.
24. *Песенко Ю. А.* Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М. : Наука, 1982. С. 1–287.
25. *Песенко Ю. А.* Систематика пчел рода *Halictus* Latreille (Hymenoptera, Halictidae) с описанием метасомальных 7-го и 8-го стернумов самців : подрод *Tythalictus* Pesenko // Энтомол. обозр. 1986. Т. 65, № 3. С. 618–632.
26. *Процалыкин М. Ю., Астафурова Ю. В.* Пчелы-галиктиды (Hymenoptera, Apoidea, Halictidae) Украины : фауна и зональное распространение // Чтения памяти Алексея Ивановича Куренцова. 2012. Т. XXIII. С. 93–113.
27. *Радченко В. Г.* Биология пчелиных (Hymenoptera, Apoidea) юго-восточной части Украины : Автореф. дис. ... канд. биол. наук. К., 1982. 25 с.
28. *Радченко В. Г.* Стациальное распределение пчел (Hymenoptera : Apoidea) на территории юго-восточной части Украины // Тези доп. Республ. энтомол. конф., присв. 50-й річниці заснування УЕТ (Ніжин, 19–23 серпня 2000 р.). Ніжин, 2000. С. 108.

29. Радченко В. Г., Песенко Ю. А. Определительная таблица пчел рода *Dasygaster* Latreille (Hymenoptera, Melittidae) европейской части СССР, с обозначением лектотипов // Тр. Зоол. Ин-та АН СССР. Л., 1989. Вып. 188. С. 114–121.
30. Радченко В. Г., Песенко Ю. А. Биология пчел (Hymenoptera, Apoidea). СПб. : ЗИН РАН, 1994. 350 с.
31. Ромасенко Л. П. Пчелы-мегахилиды (Apoidea, Megachilidae) Украинского государственного степного заповедника (Хомутовская степь, Каменные могилы). К. : Ин-т зоол. АН УССР, 1990. 64 с.
32. Ромасенко Л. П. Пчелы-мегахилиды (Apoidea, Megachilidae) «Каменных могил» // Тр. филиала Укр. степного природ. запов. «Каменные могилы». К., 1998. Вып. 1. С. 104–110.
33. Ярошевский В. А. Материалы для энтомологии Харьковской губернии. III. Список перепончатокрылых (Hymenoptera), встречающихся в Харьковской губернии // Тр. Харьковского общества испытателей природы. 1882. Т. XV. С. 105–144.
34. Annotated Catalogue of the Hymenoptera of Russia. Vol. I. Symphita and Apocrita : Aculeata. Proceedings of the Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences. 2017. Suppl. № 6. 475 p.
35. Banaszak J., Romasenko L. Megachilid bees of Europe. Bydgoszcz, 2001. 240 p.
36. Bramson K. L. Die Hymenoptera Mellifera der Umgegend von Jekaterinoslaw // Bulletin de la Imperiale Society des Naturalistes de Moscou. 1879. 54 (pt. 1, № 2). S. 253–306.
37. Dathe H. H. Die Arten der Gattung *Hylaeus* F. in Europa (Hymenoptera : Apoidea, Colletidae) // Mitteilungen aus dem Zoologischen Museum in Berlin. 1980. 56 (2). S. 207–294.
38. Levchenko T. V., Byvaltsev A. M., Proshchalykin 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. 2017. Suppl. № 6. P. 309–332.
39. Michez D., Patiny S. World revision of the oil-collecting bee genus *Macropis* Panzer, 1809 (Hymenoptera : Apoidea: Melittidae) with a description of a new species from Laos // Annales de la Société entomologique de France (n.s.). 2005. 41 (1). P. 15–28.
40. Pawlikowski T. Klucze do oznaczania owadów Polski // Polskie Towarzystwo Entomologiczne. Toruń: Oficyna wydaw. Turpress. XXIV, Blonkówki – Hymenoptera. 1996. 148 (serii kluczy). 57 s.
41. Proshchalykin M. Yu., Astafurova Yu. V. Family Melittidae. Annotated Catalogue of the Hymenoptera of Russia. Vol. I. Symphita and Apocrita : Aculeata. Proceedings of the Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences. 2017. Suppl. № 6. P. 293–294.
42. Proshchalykin M. Yu., Dathe H. H. Additional records of the genus *Hylaeus* Fabricius, 1793 (Hymenoptera : Apoidea : Colletidae) from Siberia, with description of a new species // Zootaxa. 2016. Vol. 4105 (4). P. 301–320.
43. Proshchalykin M. Yu., Kuhlmann M. The bees of the genus *Colletes* Latreille, 1802 of the Ukraine, with a key to species (Hymenoptera : Apoidea : Colletidae) // Zootaxa. 2012. Vol. 3488. P. 1–40.
44. Proshchalykin M. Yu., Fateryga A. V. Family Megachilidae. Annotated Catalogue of the Hymenoptera of Russia. Vol. I. Symphita and Apocrita : Aculeata. Proceedings of the Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences. 2017. Suppl. № 6. P. 295–308.
45. Fateryga A. V., Ivanov S. P., Filatov M. A. Megachilid-bees (Hymenoptera : Megachilidae) of the Crimean Peninsula // Entomofauna. 2018. 39/1. Heft 11. P. 235–283.

Amolin A. V. Finds of rare species of bees (Hymenoptera, Apoidea) in the Central Donbass. – The paper provides an annotated list of 68 rare species of bees in the Central Donbass. The above list includes for the most steppe and Mediterranean species, reducing their numbers and very vulnerable in the anthropogenic landscapes Donbass. The necessary measures for preserving populations of rare steppe species of bees and promising for the protection of the territory in the Donbass are indicated.

Key words: bees, Central Donbass, rare species.

УДК 595.7

© Е. Ю. Савченко, Е. В. Сухинина

ЭКОЛОГО-ФАУНИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НАСЕКОМЫХ Г. ДОНЕЦКА, СОБРАННЫХ В ХОДЕ ЛЕТНЕЙ УЧЕБНО-ПОЛЕВОЙ ПРАКТИКИ

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

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

Савченко Е. Ю., Сухинина Е. В. Эколого-фаунистический анализ насекомых г. Донецка, собранных в ходе летней учебно-полевой практики. – В работе проанализирован видовой состав и таксономическая структура насекомых г. Донецка, собранных во время летней учебно-полевой практики. Всего за период исследований было выявлено 55 видов насекомых из 45 родов, 28 семейств, 7 отрядов.

Ключевые слова: насекомые, практика.

Введение

Насекомые – наибольший по разнообразию и численности класс животного мира, объем которого составляет до 4/5 всего разнообразия животных. Насекомые имеют большое фитосанитарное, санитарно-эпидемиологическое значение, играют важную роль в поддержании устойчивости живых систем, в больших и малых круговоротах живой материи.

Летняя учебно-полевая практика представляет собой неотъемлемую и важнейшую часть общебиологического образования студентов. При проведении зоологической практики на первом курсе закрепляются знания о местной энтомофауне, формируется правильное поведение в природе, особое внимание уделяется видам, занесенным в Красную книгу [2]. Сбор насекомых, их обработка и хранение требуют определенных приборов и приспособлений, навыков и аккуратности. Поэтому студенты-биологи должны уметь правильно собирать, монтировать, хранить насекомых, а также уметь изготавливать из них коллекции.

Цель нашей работы – установить видовой состав и таксономическую структуру насекомых г. Донецка, собранных студентами первого курса биологического факультета ДонНУ за период летней учебно-полевой практики.

Материал и методы исследования

Сборы проводились в июне 2017–2019 гг. на территории г. Донецка. В качестве стационаров использовались участки с разным типом растительного и почвенного покрова, расположенные вблизи Верхнекальмиусского водохранилища, городских прудов, в парке им. Щербакова, в дендрарии Донецкого ботанического сада и др.

Материал собирался по стандартным методикам: энтомологическое кошение, маршрутный учет, постановка почвенных ловушек Барбера и т.д. [1, 3]. Далее в лабораториях кафедры зоологии и экологии ДонНУ проводилась камеральная обработка материала: разбор проб, монтирование, этикетировка, определение, постановка энтомологических коллекций.

Весь собранный материал был передан в фонд зоологического музея кафедры зоологии и экологии ДонНУ.

Результаты и обсуждение

Всего за период исследований было выявлено 55 видов насекомых из 45 родов, 28 семейств, 7 отрядов. Из 55 зарегистрированных видов Insecta, 20 можно отнести к серьезным сельскохозяйственным вредителям и переносчикам различных заболеваний, и 6 – к видам, занесенным в Красную Книгу (рис. 1).

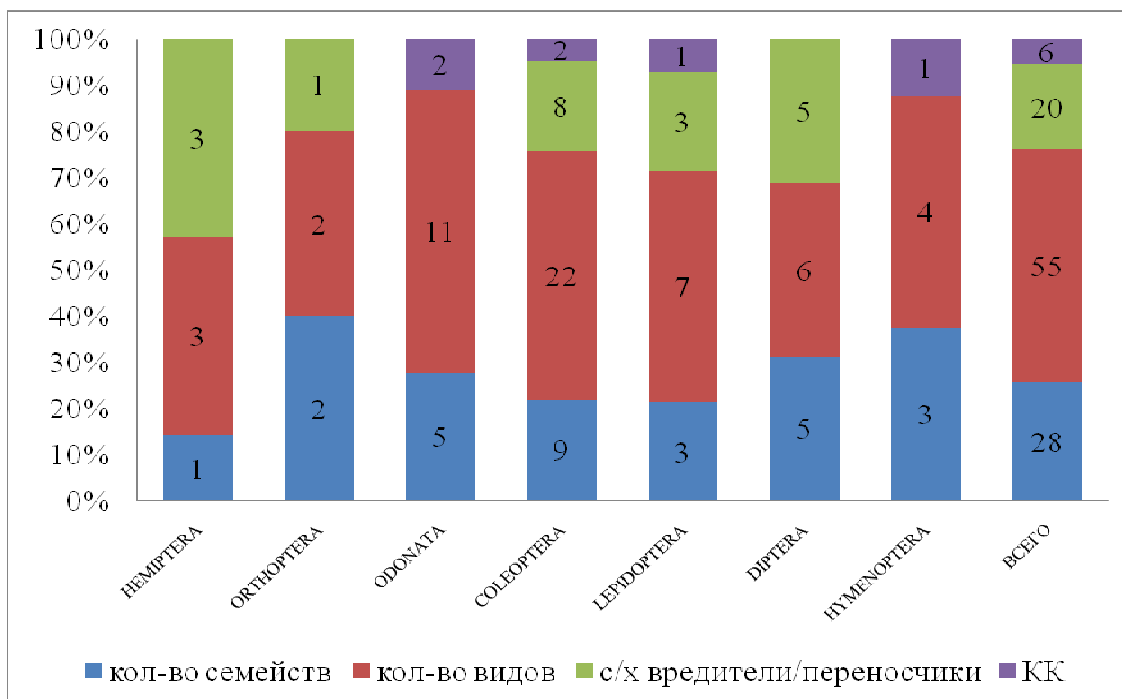


Рис. 1. Таксономическая структура насекомых на исследуемых участках г. Донецка (июнь 2017–2019 гг.) (КК – Красная книга)

Анализ таксономической структуры насекомых района исследований показал, что преобладающими по числу видов являются отряды Coleoptera (22 вида) и Odonata (11 видов), что составляет 40 и 20% видового богатства Insecta исследуемой территории соответственно. Отряд Lepidoptera в пределах района исследования насчитывает 7 видов (13%), Diptera – 6 видов (11%), отряды Hymenoptera и Hemiptera включают 4 и 3 вида соответственно (7 и 5%). Наименее многочисленным по количеству видов оказался отряд Orthoptera (2 вида, 4%), что связано прежде всего с тем, что представители прямокрылых во время практики находятся на стадии нимфы, сложно поддающейся определению из-за отсутствия важных систематических признаков (рис. 2).

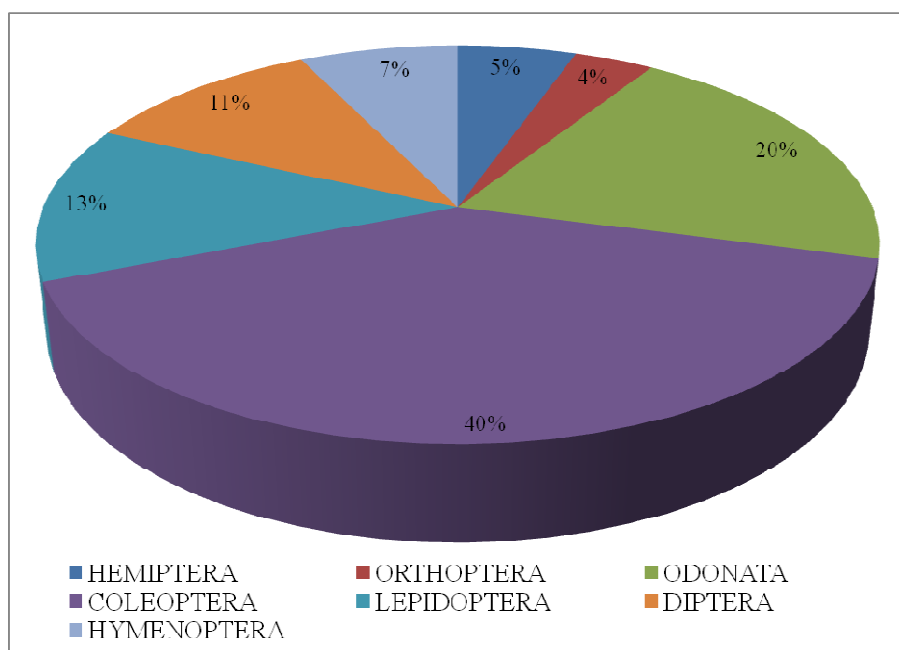


Рис. 2. Диаграмма представленности отрядов насекомых на исследуемых участках г. Донецка по количеству видов (июнь 2017–2019 гг.)

Ниже представлен список насекомых, собранных за период исследований (* отмечены виды-вредители, ** – виды, занесенные в Красную книгу).

Отряд HEMIPTERA

Семейство Pentatomidae: **Eurygaster integriceps* Puton, 1881, **Aelia acuminata* (L., 1758), **Dolycoris baccarum*, *Graphosoma lineatum* (L., 1758).

Отряд ORTHOPTERA

Семейство Gryllotalpidae: **Gryllotalpa gryllotalpa* (L., 1758); **Семейство Tettigoniidae:** *Tettigonia viridissima* (L., 1758).

Отряд ODONATA

Семейство Aeshnidae: *Aeshna affinis* Vander Linden, 1820, *Aeshna grandis* (L., 1758), ***Anax imperator* Leach, 1815; **Семейство Platycnemididae:** *Platycnemis pennipes* Pallas, 1771; **Семейство Calopterygidae:** *Calopteryx splendens* Harris, 1782, ***Calopteryx virgo* L., 1758; **Семейство Coenagrionidae:** *Coenagrion pulchellum* Vander Linden, 1825, *Ischnura elegans* Vander Linden, 1820; **Семейство Libellulidae:** *Libellula depressa* L., 1758, *Orthethrum cancellatum* L., 1758, *Sympetrum flaveolum* (L., 1758).

Отряд COLEOPTERA

Семейство Hydrophilidae: *Hydrous piceus* (L., 1758); **Семейство Tenebrionidae:** **Blaps lethifera* Marsham, 1802, **Blaps halophila* Fischer-Waldheim, 1832, **Blaps mortisaga* (L., 1758), *Gnaptor spinimanus* (Pallas, 1781), **Opatrum sabulosum* (L., 1761), **Tenebrio molitor* L., 1758; **Семейство Scarabaeidae:** *Cetonia aurata* (L., 1758); **Семейство Lucanidae:** ***Lucanus cervus* (L., 1758), *Dorcus parallelipipedus* (L., 1758); **Семейство Carabidae:** ***Calosoma inquisitor* (L., 1758), *Carabus clathratus* L., 1761, **Zabrus tenebrioides* (Goeze, 1777), **Harpalus rufipes* (De Geer, 1774), *Harpalus affinis* Schrank, 1781; **Семейство Staphylinidae:** *Staphylinus caesareus* (Cederhjelm, 1798); **Семейство Chrysomelidae:** **Leptinotarsa decemlineata* (Say, 1824), *Clytra quadripunctata* (L., 1758); **Семейство Silphidae:** *Silpha carinata*, Herbst, 1783, *Silpha obscura*, Brulle, 1832, *Thanatophilus dispar*, Herbst, 1793; **Семейство Coccinellidae:** *Coccinella septempunctata* (L., 1758).

Отряд LEPIDOTERA

Семейство Satyridae: *Melanargia galathea* (L., 1758), *Maniola jurtina* (L., 1758); **Семейство Pieridae:** **Pieris rapae* (L., 1758), **Pieris brassicae* (L., 1758), **Pieris napi* (L., 1758), *Aporia crataegi* (L., 1758); **Семейство Noctuidae:** ***Catocala sponsa* (L., 1758).

Отряд DIPTERA

Семейство Tabanidae: **Tabanus bovinus* (L., 1758); **Семейство Asilidae:** *Asilus picipes* Meigen, 1820; **Семейство Muscidae:** **Musca domestica* (L., 1758); **Семейство Sarcophagidae:** **Sarcophaga carnaria* (L., 1758); **Семейство Calliphoridae:** **Calliphora vicina* (Robineau-Desvoidy, 1830), **Calliphora uralensis* (Villeneuve, 1920); **Семейство Bombyliidae:** *Hemiphetes morio* (L., 1758)

Отряд HYMENOPTERA

Семейство Apidae: *Bombus terrestris* (L., 1758), *Bombus lapidarius* (L., 1761); **Семейство Vespidae:** *Vespa crabro* L., 1758; **Семейство Scoliididae:** ***Megascolia maculata* (Drury, 1773).

Насекомых, собранных за период летней полевой практики, можно разделить на 4 основные экологические группы (рис. 3):

1) ксерофилы – виды, населяющие сухие открытые местообитания (преимущественно каменистые грунты, склоны южной экспозиции, песчаные участки и засоленные грунты, а также степные участки). К этой группе относятся 12 видов (22%);

2) мезо-ксерофилы – виды, обитающие в остепненных лугах, сухих луговых степях, сухих лесных местообитаниях. К этой группе относятся 12 видов (22%);

3) мезофилы – населяют открытые и затененные местообитания с умеренной степенью увлажненности. Это преобладающая по количеству видов группа, к которой относятся 25 видов (45%);

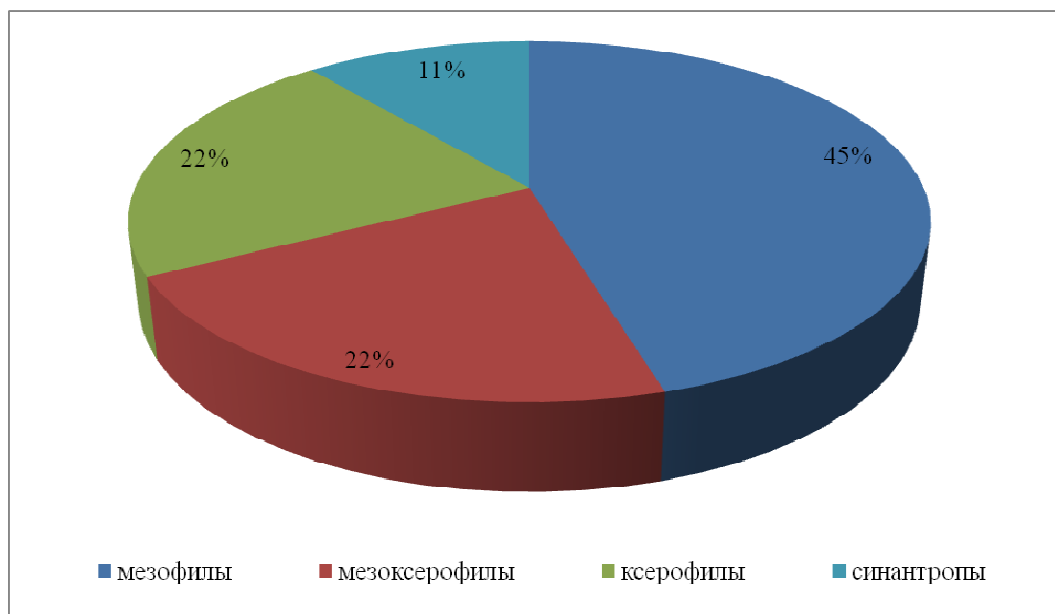


Рис. 3 Распределение насекомых по основным экологическим группам на исследуемых участках г. Донецка (июнь 2017–2019 гг.)

4) синантропы – насекомые, образ жизни которых эволюционно направлен на образование связей с человеком, его жильем, созданным или измененным им ландшафтом. К этой группе относится 6 видов (11%): *Blaps mortisaga*, *Tenebrio molitor* (Coleoptera, Tenebrionidae), *Tabanus bovinus*, *Musca domestica*, *Calliphora vicina*, *Calliphora uralensis* (Diptera).

Если рассматривать распределение по экологическим группам в пределах отрядов, то оно весьма неравномерно. В наиболее многочисленном по количеству видов отряде жесткокрылых соотношение между мезофилами, ксерофилами и мезо-ксерофилами практически одинаковое и составляет соответственно 9, 6 и 5 видов (рис. 4).

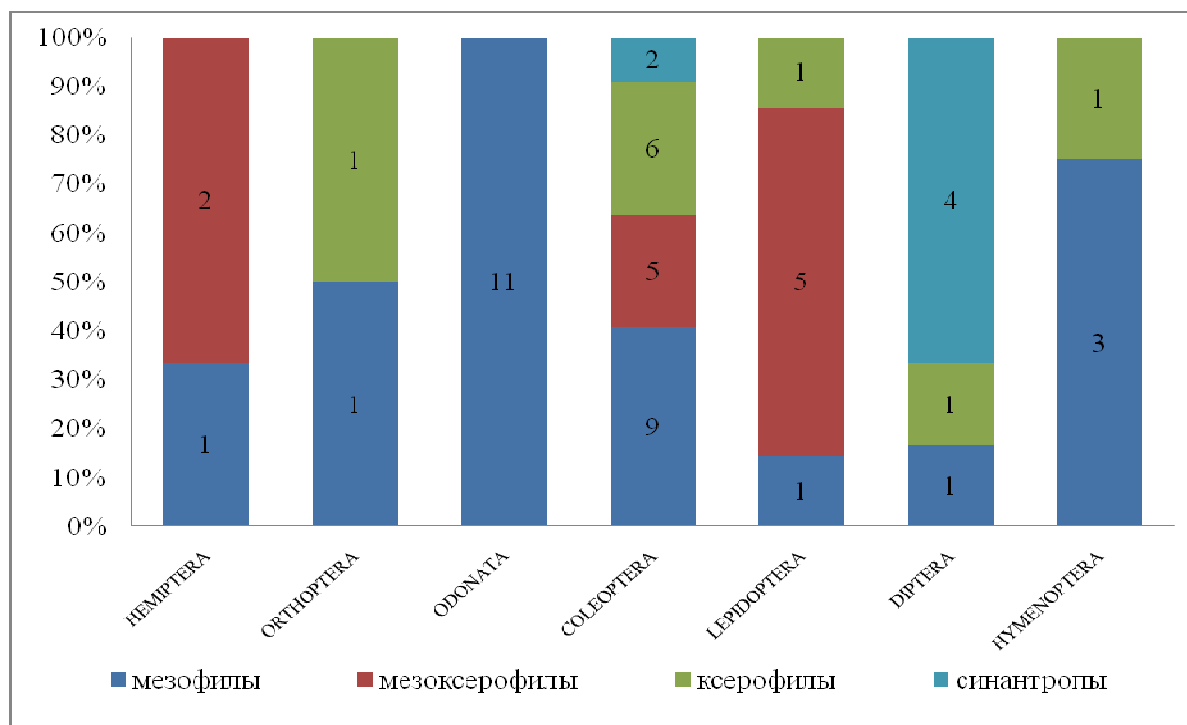


Рис. 4. Распределение насекомых по основным экологическим группам в пределах отрядов на исследуемых участках г. Донецка (июнь 2017–2019 гг.)

В отряде чешуекрылых наибольшее количество видов (5) относятся к группе мезо-ксерофилов. В отрядах стрекоз и перепончатокрылых доминирует группа мезофилов, число видов составляет соответственно 11 и 3. Отряд двукрылых представлен в основном синантропными видами (4 вида). В отряде полужесткокрылых преобладают мезо-ксерофилы (2 вида), в отряде прямокрылых один вид относится к ксерофилам, другой – к мезофилам.

По классификации жизненных форм В. В. Яхонтова [4], в основе которой лежит местообитание насекомых, все зарегистрированные виды можно разделить на 8 групп: геобионты (обитатели почвы), эпигеобионты (обитатели поверхности почвы), герпетобионты (обитатели растительных остатков на поверхности почвы), хортобионты (обитатели травостоя), тамнобионты и дендробионты (обитатели кустарников и древесных насаждений), ксилобионты (обитатели отмершей древесины), гидробионты (водные насекомые), амфибионты (обитатели как воздушной, так и водной среды).

Как видно из диаграммы (рис. 5), наибольшей по количеству видов является группа хортобионтов, представленная 21 видом (38%). Это связано с тем, что основной применяемой методикой сбора насекомых на практике является кошение энтомологическим сачком.

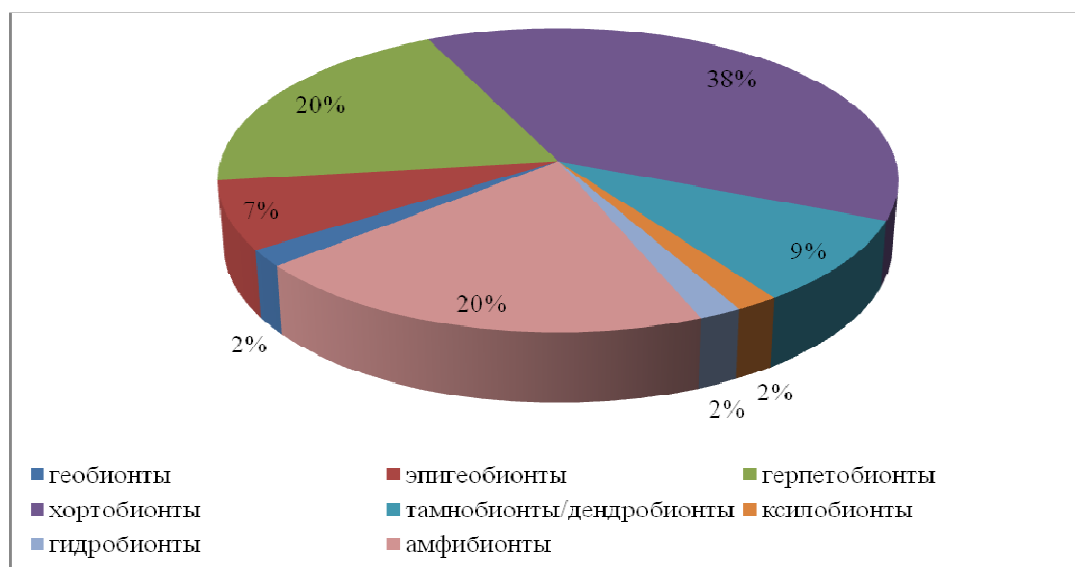


Рис. 5. Распределение насекомых по экологическим группам, приуроченным к месту обитания, на исследуемых участках г. Донецка (июнь 2017–2019 гг.)

На втором месте стоят группы герпетобионтов и амфибионтов. Группа герпетобионтов, которых собирают при помощи почвенных ловушек, представлена только жесткокрылыми (11 видов, 20%), группа амфибионтов – исключительно представителями отряда Odonata (11 видов, 20%). К группе обитателей кустарников и древесной растительности относится 5 видов (9%). В группе эпигеобионтов зарегистрировано 4 вида (7%). Остальные группы немногочисленны и представлены по одному виду (2%).

Представители некоторых отрядов относятся только к одной экологической группе (полужесткокрылые, стрекозы, чешуекрылые, перепончатокрылые). Отряд жесткокрылых включает представителей практически всех экологических групп, двукрылые и прямокрылые района исследований содержат по две экологические группы (рис. 6).

При анализе трофической структуры выявлено 4 группы жесткокрылых: фитофаги, хищники (зоофаги), сапрофаги, миксофаги (рис. 7). Самую многочисленную по количеству видов группу составляют фитофаги (виды, питающиеся растительной пищей) – к ней относится 23 вида (42%). На втором месте – хищники, или зоофаги (виды, питающиеся животной пищей) – к этой группе относятся 15 видов (27%). Миксофаги (виды, питающиеся как растительной, так и животной пищей) и сапрофаги (виды, питающиеся органическими остатками) представлены соответственно 9 и 8 видами (16 и 15%).

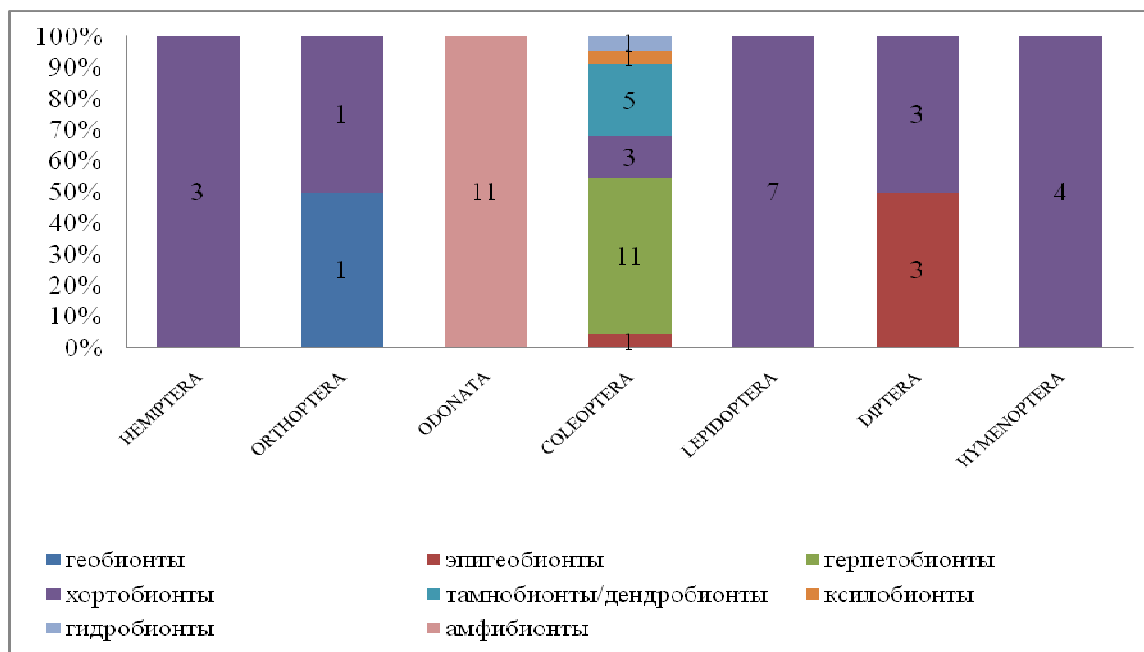


Рис. 6. Распределение насекомых по экологическим группам, приуроченным к месту обитания, в пределах отрядов на исследуемых участках г. Донецка (июнь 2017–2019 гг.)

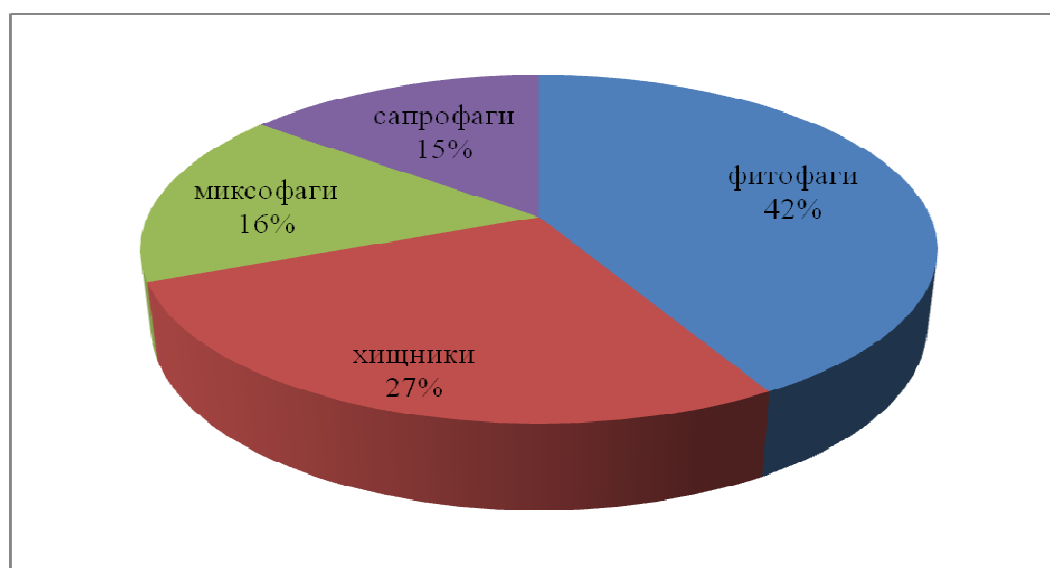


Рис. 7. Трофическая специализация насекомых на исследуемых участках г. Донецка (июнь 2017–2019 гг.)

Если рассмотреть распределение по трофическим группам в пределах отрядов, практически все изученные отряды относятся только к одной определенной группе. Широкую трофическую специализацию демонстрируют отряды двукрылых и жесткокрылых, которые представлены соответственно тремя и четырьмя трофическими группами (рис. 8). Самой многочисленной по количеству видов группой в отряде Coleoptera являются фитофаги (8 видов).

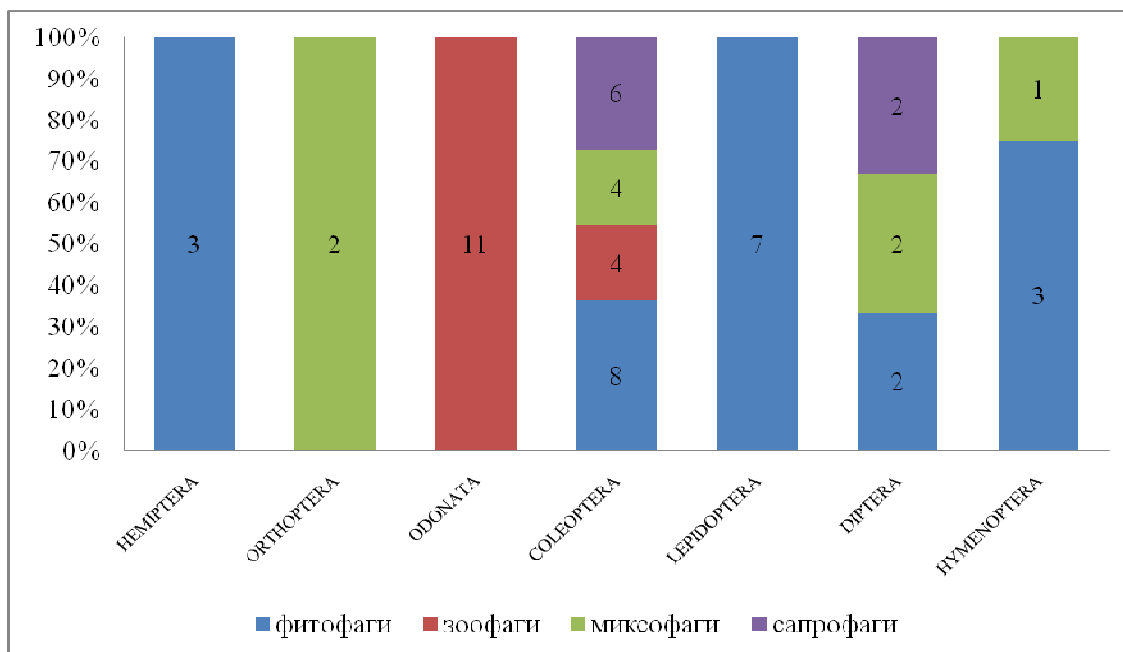


Рис. 8. Распределение насекомых по трофическим группам в пределах отрядов на исследуемых участках г. Донецка (июнь 2017–2019 гг.)

Выводы

Проанализирован видовой состав и таксономическая структура насекомых г. Донецка, собранных во время летней учебно-полевой практики в июне 2017–2019 гг. Всего за период исследований было выявлено 55 видов насекомых из 45 родов, 28 семейств, 7 отрядов.

Из 55 зарегистрированных видов Insecta, 20 можно отнести к серьезным сельскохозяйственным вредителям и переносчикам различных заболеваний, и 6 – к видам, занесенным в Красную Книгу.

Преобладающими по числу видов являются отряды Coleoptera и Odonata. Отмечены представители 4-х основных экологических групп: ксерофилы, мезофилы, мезо-ксерофилы и синантропы. Анализ жизненных форм показал, что отмеченные нами виды относятся к 8 группам. Наибольшей по количеству видов является группа хортобионтов. При анализе трофической структуры выявлено 4 группы жесткокрылых: фитофаги, хищники (зоофаги), сапрофаги, миксофаги. Самую многочисленную по количеству видов группу составляют фитофаги. Широкую трофическую специализацию демонстрируют отряды двукрылых и жесткокрылых.

Список литературы

1. Голуб В. Б., Цуриков М. Н., Прокин А. А. Коллекции насекомых : сбор, обработка и хранение материала. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2012. 339 с.
2. Савченко Е. Ю. Особенности организации и проведения летних учебно-полевых практик студентов биологического факультета // Актуализация практической подготовки студентов в условиях внедрения федеральных государственных образовательных стандартов 3++ : сб. статей Респ. науч.-практ. конф. с Междунар. участием (Донецк, 17 декабря 2020 г.). Донецк : Изд-во ДонНУ, 2020. Т. 2. С. 163–166.
3. Фасулати К. К. Полевое изучение наземных беспозвоночных : уч. пос. М. : Высш. шк., 1971. 424 с.
4. Яхонтов В. В. Экология насекомых. М. : Изд-во МГУ, 1970. 158 с.

Savchenko E. Yu., Sukhinina E. V. Ecological and faunistic analysis of Donetsk insects collected during the summer training field practice. – The article analyzes the species composition and taxonomic structure of insects collected during the summer training field practice. In total, during the research period, 55 species of insects from 45 genera, 28 families, 7 orders were identified.

Key words: insects, practice.

© А. Д. Штирц

**ПАНЦИРНЫЕ КЛЕЩИ (ACARI: ORIBATIDA) ТЕХНОГЕННО
ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ЭКОСИСТЕМ ДОНБАССА***ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»**283050, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: eco-1999@mail.ru*

Штирц А. Д. Панцирные клещи (Acari: Oribatida) техногенно трансформированных экосистем Донбасса. – Обобщены результаты многолетних исследований экологической структуры сообществ панцирных клещей техногенных экосистем Донбасса. На основании оценки параметров видового богатства, средней плотности населения, индексов экологического разнообразия, структуры доминирования и соотношения жизненных форм по интегральному показателю дана оценка состояния окружающей среды.

Ключевые слова: панцирные клещи, орибатиды, экологическая структура сообществ, техногенные экосистемы.

Введение

Исследования почвообитающих беспозвоночных техногенно трансформированных экосистем Донбасса проводятся на кафедре зоологии и экологии Донецкого национального университета с 1984 г. Значительный вклад в их изучение внес д.б.н. Н. Н. Ярошенко, обобщающей работой которого по данному вопросу можно считать монографию «Почвенные зооценозы промышленных экосистем Донбасса» [18]. В ней подведены итоги многолетних исследований почвенных зооценозов Донбасса, проведенных на промышленных отвалах, шахтных терриконах, свалках металлургических заводов, городских очистных сооружениях, рекультивированных шламонакопителях содового производства. Приведен видовой состав панцирных клещей, индексы доминирования, изучена сезонная динамика численности и биотопическое распределение орибатид в промышленных экосистемах региона. Помимо панцирных клещей обобщены результаты исследования по другим почвенным беспозвоночным: тироглифоидным и гамазовым клещам, коллемболам и др. обитателям почвы.

Материал и методы исследования

С 2004 г. нами были продолжены исследования видового состава и экологической структуры сообществ панцирных клещей техногенных экосистем Донбасса.

По данному направлению исследовались: элювиальные, транзитные и аккумулятивные позиции техногенных катен – отвалов угольных шахт «Ливенка» № 4 (им. Горького), № 29, № 31, «Панфиловская» № 1, «Трудовская», им. Шверника № 11-2, им. Калинина № 5-6 и № 7–8, «Заперевальная», «Центрально-Заводская» № 1 г. Донецка; «Советская», № 6-14, «Ганзовка» № 2 г. Макеевки; № 3-3-бис г. Димитрова; № 12 и № 30 г. Шахтерска; промышленные площадки угольных шахт «Холодная балка», «Северная», «Ясиновская глубокая», «Калиновская восточная» и «Шахта им. Ленина» г. Макеевки, шахты им. Засядько г. Донецка; промплощадки и буферная зона предприятий по добыче каменной соли и гипса: «Артемсоль» (г. Соледар), «Лафарж гипс» (г. Артемовск); промплощадка и буферная зона «Артемовского завода по обработке цветных металлов»; отвалы месторождения огнеупорных глин «Часовоярский огнеупорный комбинат» (Артемовский р-н); промплощадка и шлакоотвал Донецкого металлургического завода; окрестности Енакиевского металлургического завода; шламоотстойники Макеевского металлургического завода; промплощадки Енакиевского и Авдеевского коксохимических заводов; промплощадка и буферная зона Харцызского трубного завода; отвалы вскрышных пород Новотроицкого доломитного комбината; промплощадка предприятия химической промышленности по производству минеральных удобрений – концерн «Стирол» (г. Горловка) и его буферная зона.

Кроме этого, исследовались шахтные отвалы и участки рекультивации техногенных ландшафтов Западного Донбасса (г. Павлоград и г. Желтые Воды Днепропетровской области) [4, 15].

Сбор и обработка материала проводились по общепринятой методике Е. М. Булановой-Захваткиной [1] поэтапно: взятие проб объемом 250 см³, доставка в лабораторию акарологии, выгонка клещей с помощью термоэлектродов Тульгрена, фиксация, изготовление микропрепаратов с использованием жидкости Фора под биноклем, определение видового состава под микроскопом, математическая обработка и анализ материала. Для оценки экологического разнообразия исследуемых сообществ панцирных клещей применялся информационно-статистический индекс Шеннона, рассчитанный с использованием натурального логарифма [5]. Для анализа структуры доминирования сообществ применялись градации доминирования по шкале Г. Энгельманна [19] для микроартропод. Анализ распределения жизненных форм проведен в соответствии с работами Д. А. Кривоуцкогo [3, 6]. Оценка состояния окружающей среды по интегральному показателю структуры сообществ панцирных клещей проведена по предложенной нами ранее методике [7, 10]. Все расчеты проведены в MS Excel.

Результаты и обсуждение

В результате проведенной работы был установлен видовой состав панцирных клещей исследуемых техногенных экосистем и проанализирована экологическая структура сообществ (видовое богатство, средняя плотность населения, индексы экологического разнообразия, структура доминирования, соотношение жизненных форм).

В целом для исследуемых техногенно трансформированных экосистем характерны достаточно низкие показатели видового богатства, средней плотности населения и индексов экологического разнообразия, явные нарушения в структуре доминирования и соотношении жизненных форм панцирных клещей, по сравнению с эталонными участками заповедных степей Донбасса [8].

Характерной особенностью техногенных катен является то, что, в отличие от природных, значительное влияние на структуру сообществ орибатид оказывает не только позиция катены (вершина, склон или подножие отвалов), но и характер растительности (общее проективное покрытие растительности, наличие листового опада на рекультивированных терриконах, а также наличие растительной подстилки при самозаращении). Важной характеристикой при этом является плотность и характер субстрата, а также уровень его увлажненности. Основные экологические характеристики сообществ панцирных клещей варьируют и по сезонам года. В целом для исследуемых техногенных катен характерны довольно низкие показатели видового богатства и средней плотности населения орибатид, которые обусловлены экстремальными гидротермическими условиями (особенно низкой влажностью породы и ее высокой плотностью), низким проективным покрытием растительности и большим смывом с вершины отвалов (особенно там, где рекультивация не была успешной, и вершина и часть склонов остаются «голыми»). Основу комплексов орибатид таких нарушенных экосистем составляют экологически пластичные эврибионтные виды, относимые к вторично неспециализированным формам (например, *Tectocepheus velatus* Michael, 1880, и ряд других видов этого адаптивного типа), наиболее приспособленные к экстремальным эдафическим условиям техногенных экосистем [9].

Для более успешной фитооптимизации породных отвалов необходимы сведения о ходе сукцессионного почвообразовательного процесса, происходящего в техногенном субстрате. Косвенно об этом можно судить по экологической структуре сообществ почвообитающих панцирных клещей. Кроме увеличения основных количественных показателей видового богатства и средней плотности населения, на рекультивированных терриконах изменяется структура доминирования орибатид, снижается степень доминирования эудоминантов и

доминантов, увеличивается количество и доля рецедентных и субрецедентных видов, повышается разнообразие жизненных форм.

Для исследуемых отвалов угольных шахт отмечено, что экологическая структура населения орибатид на них достаточно уникальна и своеобразна, что свидетельствует о различиях в ходе восстановительного сукцессионного процесса. На каждом терриконе складываются свои особые орографические, эдафические, микроклиматические условия, оригинальный характер растительности, что откладывает отпечаток на экологической структуре сообществ заселяющих террикон микроартропод. Проведенные технические и биологические рекультивационные мероприятия на терриконах в значительной степени способствуют ускорению хода восстановительной сукцессии, которая в противном случае протекала бы гораздо медленнее за счет более длительных процессов самовосстановления растительного покрова и формирования зооценоза. Это в свою очередь, способствует снижению негативного воздействия отвалов угольных шахт на окружающую среду, в том числе и для человека [12].

Отмечено, что фауна орибатид промплощадок угольных шахт в целом достаточно бедна, представлена немногочисленными видами с низкой численностью, что обусловлено загрязненностью и небольшим проективным покрытием растительности исследуемых биотопов. Показатели видового богатства, средней плотности населения и индексы экологического разнообразия большинства исследуемых промплощадок низкие. Анализ структуры доминирования свидетельствует о серьезных нарушениях всех исследуемых сообществ орибатид. В спектре адаптивных типов преобладают вторично неспециализированные формы [13, 14].

Анализ экологической структуры населения орибатид территории промплощадки Енакиевского коксохимического завода (ЕКХЗ) в весенний период показал типичный пример техногенно трансформированной экосистемы, характеризующейся крайне низкими синэкологическими показателями: средней плотности, видового богатства, индексов экологического разнообразия, нарушением структуры доминирования (полностью отсутствуют субдоминанты и редкие виды) и соотношения жизненных форм (обнаружены представители только двух жизненных форм из шести). Следует отметить также крайне высокую степень агрегированности сообществ панцирных клещей исследуемого участка. При этом численность орибатид в весенний период на контрольном степном участке превышает данный показатель на ЕКХЗ в 26 раз, а видовое богатство – в 4 раза. В осенний период на промплощадке ЕКХЗ панцирные клещи в пробах вообще не были обнаружены [2].

Экологическая структура населения панцирных клещей промплощадки «Артёмовского завода по обработке цветных металлов» также является нарушенной, типичной для техногенных территорий, характеризуется низкими показателями средней плотности населения, видового богатства, индексов экологического разнообразия, трансформацией структуры доминирования и характера распределения жизненных форм по сравнению с контрольным степным участком [17].

В результате проведенных исследований установлено, что экологическая структура сообществ панцирных клещей территории промплощадки и буферной зоны ГП «Артемсоль» является нарушенной и характеризуется крайне низкими показателями видового богатства, средней плотности населения, индексов экологического разнообразия, а также нарушением структуры доминирования и характера распределения адаптивных типов орибатид, особенно на промплощадке предприятия, где единичные особи орибатид были обнаружены в весенний и осенний периоды года, в летний же период клещи в пробах полностью отсутствовали [16].

В последние годы панцирные клещи активно используются для биоиндикации различных форм антропогенной нагрузки на экосистемы. Одним из направлений современных исследований орибатид является биоиндикация антропогенной трансформации экосистем с помощью основных экологических показателей сообществ [11].

В рамках научно-исследовательской работы, проводимой на биологическом факультете ДонНУ в 2010–2013 гг., по разработке системы нормированных параметров биоиндикаторов

для екологічного моніторингу стану оточуючої середовища, було проведено вивчення панцирних кліщів техногенно трансформованих екосистем Донбасу і розроблені критерії оцінки основних екологічних показників спільнот орібатид за 5-бальною шкалою. Представлено схему оцінки екологічного стану оточуючої середовища за інтегральним показником спільнот панцирних кліщів: від 0 до 5 балів – *критичний стан екосистеми* (V рівень), 6–10 балів – *значущий рівень відхилень від норми* (IV), 11–15 балів – *середній рівень відхилень від норми* (III), 16–20 балів – *незначущі відхилення від норми* (II), 21–25 балів – *умовно нормальний стан* (I рівень) [7, 10].

В результаті аналізу інтегрального показника екологічної структури спільнот панцирних кліщів досліджуваних техногенних територій Донбасу встановлено, що в основному для порушених екосистем характерні III і IV рівні екологічного стану оточуючої середовища. *Критичний стан екосистеми* (V рівень) було відмічено на кількох ділянках (наприклад, незелені вершини деяких терриконів, промислова територія підприємства з видобутку каменної солі «Артемсоль», промислова територія Єнакієвського коксохімічного заводу).

Висновки

Основні показники екологічної структури спільнот панцирних кліщів техногенно трансформованих екосистем Донбасу ще дуже далекі від еталонних, а структура населення орібатид дуже несбалансована. Досліджувані спільноти представляють собою специфічні комплекси, слабо нагадуючі природні, для повного відновлення яких потрібно пройти ще багато часу.

Представлений спосіб біоіндикації з використанням інтегрального показника екологічної структури спільнот панцирних кліщів дозволяє проводити оцінку стану екосистем, що знаходяться під впливом різноманітних форм техногенного навантаження.

Список літератури

1. Буланова-Захваткина Е. М. Панцирные клещи – орібатиды. М. : Высш. шк., 1967. 254 с.
2. Колосова Ю. Е., Штирц А. Д. Екологічна структура спільнот панцирних кліщів техногенної і природної екосистем // Охорона оточуючої середовища і раціональне використання природних ресурсів : зб. докл. X Міжнародн. наук. конф. (Донецьк, 13–14 квітня 2016 р.). Ростов-на-Дону: Вид-во ЮФУ, 2016. С. 280–282.
3. Криволицкий Д. А. Морфо-екологічні типи панцирних кліщів (Acariformes, Oribatei) // Зоол. журн. 1965. Т. 44, № 8. С. 1176–1189.
4. Кульбачко Ю. Л., Штирц А. Д., Дідур О. О. Екологічна структура угруповань панцирних кліщів у насадженні клена гостролистого на ділянці рекультивації шахти «Павлоградська» (Павлоград, Дніпропетровська обл.) // Біологічний вісник Мелітопольського державного педагогічного університету ім. Богдана Хмельницького. 2014. № 1 (4). С. 113–131. <http://dx.doi.org/10.7905/bbmspu.v4i1.795>
5. Мэгарран Э. Екологічне різноманітність і його вимірювання : пер. з англ. М. : Мир, 1992. 184 с.
6. Панцирные клещи : морфология, развитие, филогения, экология, методы, исследования, характеристика модельного вида *Nothrus palustris* С. L. Koch, 1839 / Д. А. Криволицкий, Ф. Лебрен, М. Кунст и др. / Под ред. Д. А. Криволицкого. М. : Наука, 1995. 224 с.
7. Спосіб біоіндикації якості середовища з використанням панцирних кліщів: патент 82151 України № u201300321 / Беспалова С. В., Горещкий О. С., Штирц А. Д.; заявл. 09.01.2013; опубл. 25.07.2013, Бюл. № 14. 6 с.

8. *Штирц А. Д., Ярошенко Н. Н.* Структура и динамика населения панцирных клещей заповедных степей юго-востока Украины. Донецк : Норд, 2003. 269 с.
9. *Штирц А. Д.* Влияние различных форм антропогенной нагрузки на структуру сообществ панцирных клещей (Acariformes, Oribatei) // Биоразнообразие и роль животных в экосистемах : матер. V Междунар. науч. конф. (Днепропетровск, 12–16 октября 2009 г.). Днепропетровск : Лира, 2009. С. 184–186.
10. *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>
11. *Штирц А. Д.* Оценка состояния окружающей среды с помощью интегрального показателя сообществ орибатид // Матер. XVIII Всеросс. совещ. по почвенной зоологии (Москва, 22–26 октября 2018 г.). М. : Товарищество научных изданий КМК, 2018. С. 227–228.
12. *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.
13. *Штирц А. Д., Кашук Н. Ю.* Экологическая структура населения панцирных клещей (Acari : Oribatida) промышленных площадок шахт г. Макеевки // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2016. № 3–4. С. 71–78.
14. *Штирц А. Д., Кашук Н. Ю.* Особенности экологической структуры сообществ орибатид (Acari : Oribatida) шахтных промплощадок г. Макеевки // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2018. № 1–2. С. 71–83.
15. *Штирц А. Д., Кульбачко Ю. Л., Нікітенко А. В., Дідур О. О.* Екологічна структура угруповань панцирних кліщів (Acariformes, Oribatei) ділянок рекультивації м. Жовті Води Дніпропетровської області // Вісник Дніпропетровського університету. Сер. Біологія. Медицина. 2010. Вип. 1, т. 2. С. 101–110.
16. *Штирц А. Д., Ярошенко М. С.* Панцирные клещи как биоиндикаторы степени влияния производственной деятельности ГП «Артемсоль» (г. Соледар) на окружающую среду // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2012. № 1 (12). С. 179–185.
17. *Штирц А. Д., Ярошенко М. С.* Экологическая структура населения панцирных клещей техногенного и природного ландшафтов как индикатор состояния экосистем // Биологический вестник Мелитопольского государственного педагогического университета им. Богдана Хмельницкого. 2013. № 3 (3). С. 259–273. [http://dx.doi.org/10.7905/bbmstu.v0i3\(6\).544](http://dx.doi.org/10.7905/bbmstu.v0i3(6).544)
18. *Ярошенко Н. Н.* Почвенные зооценозы промышленных экосистем Донбасса. Донецк : ДонГУ, 1996. 294 с.
19. *Engelmann H.-D.* Zur Dominanzklassifizierung von Bodenarthropoden // Pedobiologia. 1978. Bd. 18, Hf. 5/6. S. 378–380.

Shirts A. D. Oribatid mites (Acari: Oribatida) of technogenically transformed ecosystems of Donbass. – The results of long-term studies of the ecological structure of oribatid mites communities of technogenic ecosystems of Donbass are summarized. Based on the assessment of the parameters of species richness, the average population density, indices of ecological diversity, the structure of dominance and the ratio of life forms according to the integral indicator, an assessment of the environment state is given.

Key words: oribatid mites, ecological structure of communities, technogenic ecosystems.

УДК 595.423

© Н. Н. Ярошенко

**МОНИТОРИНГ ПАНЦИРНЫХ КЛЕЩЕЙ И СОПУТСТВУЮЩИХ ПЕДОБИОНТОВ
РЛП «ЗУЕВСКИЙ»**

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

283050, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: yaroshenko-1935@mail.ru

Ярошенко Н. Н. Мониторинг панцирных клещей и сопутствующих педобионтов РЛП «Зуевский». –

В результате многолетних исследований в условиях РЛП «Зуевский» обнаружено 182 вида панцирных клещей, относящихся к 87 родам и 48 семействам, со средней плотностью населения 16460 экз./м², что составило 44% от общего числа почвообитателей (плотность – 37392 экз./м²). Доминировали 3 вида: *Ramusella clavigerina* (Mih.) – 6,23%, *Micropia minus* (Paoli) – 12,68%, *Protoribates capucinus* (Berl.) – 6,82%, часто встречались 9 видов. Другие обитатели почвы (акариформные клещи, коллемболы, гамазовые клещи и др.) составили 56% от общей численности педобионтов со средней плотностью населения 29936 экз./м². В различных биотопах РЛП «Зуевский» отмечено значительное разнообразие и обилие обитателей почвы, в том числе панцирных клещей, что в целом характерно для заповедных ландшафтов Донбасса.

Ключевые слова: панцирные клещи, орибатиды, педобионты, биотоп, фауна, мониторинг.

Введение

Республиканский ландшафтный парк «Зуевский» расположен на территории пгт. Зуевка. Он характеризуется разнообразием экотопов и населяющих их педобионтов, среди которых доминируют панцирные клещи, или орибатиды. Их численность значительно варьирует в зависимости от условий обитания и влияния различных биологических и антропогенных факторов. Средняя плотность населения орибатид может достигать десятков тысяч экземпляров на квадратный метр [8–10].

Панцирные клещи – разнообразная группа почвенных членистоногих, относящаяся к подотряду Oribatida, отряду акариформных клещей – Acariformes. В настоящее время известно более 10 тысяч видов орибатид. Это древнейшая группа почвообитающих членистоногих известна еще с времен девона [5]. Орибатиды по своим адаптивным морфо-биологическим и экологическим особенностям относятся к шести основным жизненным формам: обитатели верхних слоев всех типов почв, мелких почвенных скважин, глубокопочвенные, обитатели толщи различных растительных подстилок, гидробионты и неспециализированные формы. Эти микроскопические паукообразные (размеры тела от 0,2 до 1,0 мм), обладают мощным ротовым аппаратом грызущего типа, питаются растительными, грибными и животными тканями, превращают их в копрогенную массу, чем способствуют круговороту веществ в биогеоценозе. Они многочисленны в почве, в растительной подстилке, в мхах и лишайниках, в норах мелких грызунов, в гнездах птиц.

Высокая численность орибатид указывает на их важную роль в почвообразовательных процессах. Они, как и многие другие почвообитатели, проникают в мертвые корешки растений, выедавая содержимое, образуя в почве микроскопические полости. В результате деятельности клещей и других членистоногих более крупные отмершие корни обретают губчатую структуру. В ходах каждый клещ оставляет цепочку зерноподобных экскрементов, которые содержат легко минерализующиеся азотосодержащиеся вещества, так называемый гуанин, необходимый для растений. В проделанные ходы проникает воздух, вода, которая увлекает с собой их экскременты, таким образом, клещи поддерживают естественную скважность почвы. Клещи-орибатиды грызущим ротовым аппаратом дробят и разрушают растительную подстилку и тем самым ускоряют гумификацию почв. Пища и типы питания у панцирных клещей разнообразны. Большинство из них – сапрофаги, основными продуктами питания являются разлагающиеся и гниющие растительные остатки. У лесных видов орибатид сильно развита микофагия.

Мигрируя в почве и на древесную и травянистую растительность, орибатиды способны распространять фитопатогенные вирусы, бактерии и грибы. Некоторые виды орибатид,

питаюсь на пастбищах экскрементами сельскохозяйственных и диких животных, заглатывают яйца ленточных червей из сем. Anoplocephalidae. В теле клеща развивается онкосфера и клещ становится инвазированным. На пастбище домашнее животное вместе с травой заглатывает инвазированного клеща, в кишечнике которого из онкосферы развивается взрослый ленточный червь (например, *Moniezia expansa*, вызывающий заболевание мониезиоз) [3].

Почва, как и другие среды обитания, обильна невидимыми простым глазом животными, такими как, простейшие, коловратки и многими мелкими членистоногими – микроартроподами. Благодаря своей многочисленности общая биомасса почвенных животных может достигать 3,5 т/га живого веса [4]. Жизнедеятельность многих почвенных беспозвоночных (почвенные нематоды, дождевые черви, мокрицы, многоножки, клещи, пауки, ложноскорпионы, коллемболы, сеноеды, трипсы, муравьи, тли, клопы, жуки, двукрылые, личинки насекомых и др.) проходит в подстилке, на поверхности почвы и в верхних горизонтах почвы. В связи с этим, они оказывают значительное разностороннее воздействие на среду, в которой обитают.

В естественных и рекультивированных экотопах в почву постоянно попадают растительные остатки, которыми активно питаются сапрофаги, разрушители растительных остатков разных видов растений. В процессе питания почвенные обитатели выделяют копролиты, необходимые для развития микрофлоры, принимающей участие в формировании гумуса. Формирование гумусовых веществ происходит под влиянием деятельности микроорганизмов и беспозвоночных животных, гидротермического режима, химических и физических свойств почвы [4].

Комплексы почвообитающих беспозвоночных способны чутко реагировать на любые изменения в экосистеме, что дает возможность использовать их в зоологической диагностике почв. В последние годы их активно используют для целей биоиндикации и биомониторинга состояния окружающей среды.

Учитывая важную роль почвообитателей (в том числе панцирных клещей) в составе, строении и функционировании биогеоценозов, кафедрой зоологии и экологии ДонНУ проводятся многолетние мониторинговые исследования педобионтов в естественных заповедных ландшафтах Донбасса.

Цель данной работы – проведение мониторинговых исследований панцирных клещей и сопутствующих почвообитателей в условиях республиканского ландшафтного парка «Зуевский».

Материал и методика исследования

Исследование панцирных клещей и сопутствующих почвообитателей были проведены в 2006–2015 гг. Материал собран в пойме р. Крынка в следующих биотопах: пойменный луг, целинная петрофитная степь, лесопосадка, березовая роща (обработано 110 проб); в пойме р. Ольховая в трех биотопах – луговая степь, лесопосадка, целинная степь (29 проб); на стационарных участках поймы р. Ольховой – в луговой степи, целинной петрофитной степи, на вершине скалистого берега р. Ольховая (120 проб); на вершине, склоне и у основания «Зуй-горы» (349 проб). Почвенные образцы брали биоценометром объемом 250 см³ (5х5х10 см) в 10-кратной повторности на стационарных участках размером 15 х 15 м. Камеральную обработку собранного материала проводили в лаборатории акарологии кафедры зоологии и экологии ДонНУ по общепринятой методике Е. М. Булановой-Захваткиной [2]. Среднюю плотность почвенного населения определяли по методике К. К. Фасулати [7]. Индекс доминирования по обилию, выраженном в процентах, применяли при сравнении количественных характеристик панцирных клещей и других почвообитающих членистоногих исследуемых биотопов (свыше 5% – доминирующий, от 2 до 5% – часто встречаемый, менее 2% – редкий вид) [1]. Сходство фаунистического состава панцирных клещей исследуемых биотопов определяли по формуле Жаккара.

Результаты и обсуждение

Результаты мониторинговых исследований видового состава панцирных клещей в биоценозах РЛП «Зуевский» и фаунистического сходства видового состава, доминирующих и часто встречаемых видов приведены в табл. 1.

В 2006–2007 гг. в условиях РЛП «Зуевский» в пяти биоценозах (поймы р. Крынка и р. Ольховая, на стационарах поймы р. Ольховая, в биотопах «Зуй-горы», в байрачном лесу (Липовая балка)) обнаружено 182 вида панцирных клещей, относящихся к 87 родам и 48 семействам. Доминировали 3 вида: *Ramusella clavipectinata* (Mih.) – 6,23%, этот вид был многочисленным на стационарах поймы р. Ольховой – 7,15%, в исследуемых биотопах «Зуй-горы» – 6,71%, в байрачном лесу – 8,01%, часто встречался в поймах рек Крынка и Ольховая; *Microppia minus* (Paoli) – 12,68% – доминировал в пойме р. Крынка, на стационарах поймы р. Ольховая, на «Зуй-горе» и в байрачном лесу, соответственно – 7,52 – 9,45 – 12,76 – 35,24%; *Protoribates capucinus* (Berl.) – 6,82%, доминант «Зуй-горы» – 19,06%, не обнаружен в пойме р. Ольховая, в остальных биотопах – часто встречаемый вид. Для фауны орибатид РЛП «Зуевский» отмечены 9 часто встречаемых видов: *Brachychthonius immaculatus* Will. – 2,60%, *Malaconothrus punctulatus* v.d. Hammen – 3,48%, *Suctobelbella latirostris* (Forssl.) – 3,09%, *S. alloenasuta* Moritz – 3,09%, *Multioppia glabra* Mih. – 3,84%, *Oppiella nova* (Oudms.) – 2,48%, *Scheloribates laevigatus* (Koch) – 2,04%, *Protoribates monodactylus* (Haller) – 3,91%, *Punctoribates zachvatkini* Schald. – 2,55%. Доминирующие и часто встречаемые виды, в основном оппидного комплекса, по численности составляют основную долю фауны орибатид в исследуемых биотопах (см. табл. 1).

В биотопах поймы р. Крынка (пойменный луг, целинная петрофитная степь, лесопосадка, насаждения березы, мхи на почве) найдено 79 видов орибатид, относящихся к 54 родам и 32 семействам. Доминировали 5 видов: *Malaconothrus punctulatus* v.d. Hammen – 8,09%, массовый вид на пойменном лугу р. Крынка с плотной ризосферой пырея и осоки; *Suctobelbella alloenasuta* (Forssl.) – 8,03%, часто встречаемый на стационарах поймы р. Ольховой, в остальных биотопах – редкий вид; *S. latirostris* (Forssl.) – 7,46%, часто встречаемый вид в пойме р. Ольховой, малочисленный на «Зуй-горе» и в байрачном лесу; *Microppia minus* (Paoli) – 7,52%, доминант стационаров поймы р. Ольховой, «Зуй-горы», байрачного леса; *Multioppia glabra* Mih. – 5,02%, доминировал в байрачном лесу, часто встречаемый на стационарах поймы р. Ольховая. Часто встречались 12 видов: *Liochthonius lapponicus* (Trag.), *Microzetorches emeryi* (Coggi), *Tectocephus velatus* Mich., *Suctobelbella subtrigona* (Oudms.), *Ramusella clavipectinata* (Mih.), *Zygoribatula exarata* Berl., *Z. terricola* v.d. Hammen, *Scheloribates latipes* (Koch), *S. laevigatus* (Koch), *Protoribates capucinus* (Berl.), *P. monodactylus* (Haller), *Pilogalumna allifera* (Oudms.).

В биотопах поймы р. Ольховая (лесопосадка, пойменный луг, вершина скалистого берега р. Ольховая, акациевая роща) отмечено 65 видов орибатид из 45 родов и 30 семейств. Доминировал один вид – *Zygoribatula frisiae* (Oudms.) – 16,54%. Часто встречались 17 видов: *Brachychthonius immaculatus* Will., *Gymnodamaeus austriacus* Will., *Metabelba pulverulenta* (Koch), *M. papillipes* (Nic.), *Microzetorches emeryi* (Coggi.), *Tectocephus velatus* Mich., *Suctobelbella latirostris* (Forssl.), *Ramusella clavipectinata* (Mih.), *Zygoribatula talassophila* Gr., *Scheloribates laevigatus* (Koch), *Peloribates pilosus* Hammer, *Protoribates monodactylus* (Haller), *Ceratozetes mediocris* Berl., *C. minutissimus* Will., *Tectoribates ornatus* (Schuster), *Pilogalumna allifera* (Oudms.), *Phthiracarus lentulus* (Koch) (см. табл. 1).

Панцирные клещи и сопутствующие почвообитатели РЛП «Зуевский» (2006–2015 гг.)

Вид	Пойма р. Крынка	Пойма р. Ольховая	Стационары у р. Ольховая	Биотопы Зуй-горы	Байрачный лес	Всего
<i>Parchypochthonius aphidinus</i> Berl.	-	-	-	-	8/0,49	8/0,068
<i>Hypochthonius rufulus rufulus</i> Koch Голарктика	12/0,38	2/0,24	7/0,22	2/0,07	-	23/0,195
<i>H. rufulus europaeus</i> D. Kriv. Палеарктика	-	12/1,44	-	-	-	12/0,102
<i>H. luteus luteus</i> Oudms. Палеарктика	34/1,09	2/0,24	43/1,33	12/0,41	32/1,97	123/1,045
<i>Sphaerochthonius splendidus</i> (Berl.)	10/0,32	8/0,96	12/0,37	-	-	30/0,255
<i>S. ovatus</i> Serg.	-	-	-	6/0,20	-	6/0,051
<i>S. dilutus</i> Serg.	-	-	-	41/1,39	6/0,37	47/0,399
<i>Hypochthoniella minutissima</i> (Berl.) Космополит	-	-	1/0,03	69/2,35	32/1,97	102/0,866
<i>Cosmochthonius lanatus</i> Mich. Голарктика	-	13/1,56	-	-	-	13/0,110
<i>C. ponticus</i> Gordeeva	-	-	-	4/0,14	-	4/0,034
<i>C. novus</i> Serg.	-	-	-	1/0,03	-	1/0,008
<i>C. tenuisetosus</i> Gordeeva	-	-	-	2/0,07	-	2/0,018
<i>Phylozetes emmae</i> Berl.	-	-	-	18/0,61	-	18/0,153
<i>P. tauricus</i> Gordeeva	-	-	-	2/0,07	-	2/0,018
<i>Eobrachychthonius latior</i> Berl. Голарктика	-	-	-	-	1/0,06	1/0,008
<i>Brachychthonius immaculatus</i> Will. Палеарктика	56/1,78	24/2,88	147/4,55	56/1,91	23/1,42	306/2,599
<i>B. cricoides</i> Weis-Fogh.	42/1,33	-	-	1/0,03	-	43/0,365
<i>B. marginatus</i> Forssl.	-	-	-	3/0,10	-	3/0,026
<i>B. zelawaiensis</i> (Selln.) Палеарктика	-	-	-	4/0,14	-	4/0,034
<i>B. berlesei</i> Will. Голарктика	-	-	-	8/0,27	-	8/0,068
<i>Liochthonius alpestris</i> (Forssl.)	40/1,27	3/0,36	47/1,46	10/0,34	20/1,23	120/1,019
<i>L. lapponicus</i> (Trag.)	67/2,13	1/0,12	42/1,30	7/0,24	10/0,62	127/1,079
<i>Selnickochthonius suecicus</i> Forssl. Голарктика	-	-	9/0,28	-	-	9/0,076
<i>Papillacarus aciculatus</i> (Trag.)	-	-	-	2/0,07	-	2/0,018
<i>Eulohmannia ribagai</i> Berl. Голарктика	-	-	-	16/0,54	-	16/0,136
<i>Perlohmannia dissimilis</i> (Hevitt)	-	-	-	1/0,03	-	1/0,008
<i>P. coiffaiti</i> Grandjean	-	-	-	24/0,82	8/0,49	32/0,272
<i>Epilohmannia cylindrica</i> (Berl.) Палеарктика	-	-	1/0,03	20/0,68	3/0,19	21/0,178

Вид	Пойма р. Крынка	Пойма р. Ольховая	Стационары у р. Ольховая	Биотопы Зуй-горы	Байрачный лес	Всего
<i>E. inexpectata</i> Schuster	1/0,03	-	7/0,22	13/0,44	7/0,43	28/0,238
<i>E. styriaca</i> Schuster	-	-	-	3/0,10	3/0,19	6/0,051
<i>Nothrus biciliatus</i> Koch Палеарктика	16/0,51	10/1,20	8/0,25	-	-	34/0,289
<i>N. palustris</i> Koch Палеарктика	-	3/0,36	-	-	-	3/0,026
<i>N. borussicus</i> Selln. Палеарктика	-	-	1/0,03	-	-	1/0,008
<i>Camisia horrida</i> (Herm.) Палеарктика	1/0,03	9/1,08	6/0,19	-	-	16/0,136
<i>C. biverrucata</i> (Koch) Палеарктика	-	1/0,12	-	-	-	1/0,008
<i>C. segnis</i> (Herm.) Палеарктика	-	-	-	-	1/0,06	1/0,008
<i>Platynothrus peltifer</i> (Koch)* Палеарктика	5/0,16	-	19/0,59	-	-	24/0,204
<i>Trimalaconothrus glaber</i> (Mich.)	1/0,03	-	21/0,65	-	-	22/0,187
<i>Trhypochthonius cladonicola</i> Will. Палеарктика	-	-	1/0,03	-	-	1/0,008
<i>T. conspectus</i> Serg.	-	-	2/0,06	-	-	2/0,018
<i>Malacanothrus egregius</i> Berl.	29/0,92	-	1/0,03	-	-	30/0,255
<i>M. punctulatus</i> v.d. Hammen	255/8,09	-	155/4,80	-	-	410/3,482
<i>Nanhermannia nana</i> (Nicolet) Палеарктика	11/0,35	-	-	-	-	11/0,093
<i>Hermanniella serrata</i> Sitnikova	2/0,06	4/0,48	-	2/0,07	-	8/0,068
<i>H. dolosa</i> Gr. Палеарктика	9/0,29	13/1,56	-	4/0,14	2/0,12	28/0,238
<i>H. punctulata</i> Berl. Палеарктика	-	1/0,12	-	31/1,06	20/1,23	52/0,442
<i>H. reticulata</i> Sitnikova	-	-	-	1/0,03	-	1/0,008
<i>Liodes theleproctus</i> (Herm.) Палеарктика	-	-	-	5/0,17	-	5/0,043
<i>Allodamaeus starki</i> B.-Z.	-	7/0,84	12/0,37	-	1/0,06	20/0,170
<i>A. femoratus</i> (Koch)	31/0,98	14/1,68	-	-	-	45/0,382
<i>Gymnodamaeus austriacus</i> Will.	-	37/4,44	14/0,43	11/0,37	3/2,34	65/0,552
<i>G. bicostatus</i> Koch Палеарктика	-	-	9/0,28	4/0,14	-	13/0,110
<i>Licnodamaeus undulatus</i> (Paoli)	5/0,16	-	-	30/1,02	16/0,99	51/0,433
<i>Licnodamaeus andrei</i> Gr.	-	-	-	4/0,14	-	4/0,034
<i>Licnobelba alestensis</i> Gr.	3/0,09	4/0,48	-	3/0,10	-	10/0,085
<i>Epidamaeus plumosus</i> B.-Z.	-	-	-	1/0,03	-	1/0,008
<i>E. pavlovskii</i> B.-Z.	-	2/0,24	-	12/0,41	-	14/0,119
<i>Belba dubinini</i> B.-Z.	3/0,09	-	8/0,25	-	-	11/0,093
<i>Metabelba pulverulenta</i> (Koch) Палеарктика	55/1,75	17/2,04	42/1,30	3/0,10	6/0,37	123/1,045

Вид	Пойма р. Крынка	Пойма р. Ольховая	Стационары у р. Ольховая	Биотопы Зуй-горы	Байрачный лес	Всего
<i>M. papillipes</i> (Nic.)	19/0,60	22/2,64	37/1,15	27/0,92	6/0,37	111/0,943
<i>M. rohdendorfi</i> B.-Z.	-	-	-	1/0,03	-	1/0,008
<i>Nellacarus caucasicus</i> Kriv.	-	-	-	3/0,10	-	3/0,026
<i>Eremaeus silvestris</i> Forssl. Палеарктика	-	-	77/2,39	-	-	77/0,654
<i>Fosseremaeus laciniatus</i> (Berl.) Палеарктика	8/0,25	3/0,36	8/0,25	31/1,06	16/0,99	66/0,561
<i>Eremulus flagellifer</i> Berl.	-	-	6/0,19	-	-	6/0,051
<i>Ctenobelba pectinigera</i> (Berl.)	-	-	1/0,03	-	-	1/0,008
<i>C. pilosella</i> Jeleva	-	-	-	-	1/0,06	1/0,008
<i>Microzetorches emeryi</i> (Coggi)	69/2,19	27/3,24	54/1,67	26/0,89	-	176/1,495
<i>Zetorches micronichus</i> (Berl.) Палеарктика	-	-	-	1/0,03	-	1/0,008
<i>Z. flambriatus</i> Gr.	-	-	-	-	1/0,06	1/0,008
<i>Xenillus tegeocranus</i> (Herm.)* Палеарктика	4/0,13	3/0,36	8/0,25	10/0,34	1/0,06	26/0,221
<i>X. clypeator</i> Rob-Desv.	-	-	1/0,03	-	-	1/0,008
<i>Birsteinus clavatus</i> D. Kriv.	3/0,09	-	-	-	-	3/0,026
<i>Liacarus coracinus</i> (Koch)* Палеарктика	2/0,06	-	-	2/0,07	-	4/0,034
<i>L. lencoranicus</i> D. Kriv.	2/0,06	-	-	2/0,07	-	4/0,034
<i>L. vombi</i> (Dalenius)	-	4/0,48	-	3/0,10	-	7/0,059
<i>L. brevilamellatus</i> Mih.	-	-	-	3/0,10	-	3/0,026
<i>Dorycranosus punctulatus</i> (Mih.)	-	-	2/0,06	5/0,17	-	7/0,059
<i>D. splendens</i> (Coggi)	-	2/0,24	1/0,03	-	-	3/0,026
<i>D. moraviacus</i> (Will.)	-	-	-	11/0,37	3/0,19	14/0,119
<i>D. acutus</i> (Psch.-Walch)	-	-	-	-	2/0,12	2/0,018
<i>Furcoribula furcillata</i> Nord.* Палеарктика	-	-	-	5/0,17	-	5/0,043
<i>Tectocephus velatus</i> Mich.* Палеарктика	121/3,84	40/4,79	45/1,39	15/0,51	13/0,80	234/1,987
<i>T. sarecensis</i> Trag. Палеарктика	-	-	-	1/0,03	-	1/0,008
<i>Suctobelbella latirostris</i> (Forssl.)	235/7,46	18/2,16	84/2,60	9/0,31	1/0,06	347/2,947
<i>S. alloenasuta</i> Moritz	253/8,03	16/1,92	71/2,20	14/0,48	10/0,62	364/3,091
<i>S. subtrigona</i> (Oudms.)	76/2,41	10/1,20	30/0,93	14/0,48	1/0,06	131/1,113
<i>S. acutidens</i> (Forssl.) Палеарктика	3/0,09	-	-	-	-	3/0,026
<i>S. perpendicularata</i> (Forssl.)	-	-	1/0,03	-	-	1/0,008
<i>Multioppia glabra</i> Mih.	158/5,02	8/0,96	121/3,75	47/1,60	118/7,27	452/3,839

Вид	Пойма р. Крынка	Пойма р. Ольховая	Стационары у р. Ольховая	Биотопы Зуй-горы	Байрачный лес	Всего
<i>Quadroppia quadricarinata</i> (Mich.)	-	-	11/0,34	-	-	11/0,093
<i>Oppiella nova</i> (Oudms.)	62/1,97	16/1,92	126/3,90	63/2,14	25/1,54	292/2,480
<i>Epimerella smirnovi</i> var <i>longisetosa</i> Kul.	1/0,03	1/0,12	-	1/0,03	2/0,12	5/0,043
<i>E. smirnovi</i> Kul.	-	-	-	-	1/0,06	1/0,008
<i>Medioppia obsoleta</i> (Paoli)	16/0,51	2/0,24	52/1-,61	24/0,82	12/0,74	106/0,900
<i>M. fallax</i> (Paoli)	6/0,19	-	1/0,03	-	-	7/0,059
<i>Lauropia maritima</i> (Will.) Палеарктика	9/0,29	-	2/0,06	134/4,56	3/0,19	148/1,257
<i>L. neerlandica</i> (Oudms.) Палеарктика	3/0,09	2/0,24	7/0,22	-	-	12/0,102
<i>Discoppia cylindrica</i> (Perez-Inigo)	8/0,25	-	2/0,06	64/2,18	-	74/0,628
<i>Oppia nitens</i> Koch.	12/0,38	-	1/0,03	-	-	13/0,110
<i>O. krivolutskyi</i> Kul.	-	-	3/0,09	4/0,14	9/0,55	16/0,136
<i>O. minuta</i> B.-Z.	-	1/0,12	-	-	-	1/0,008
<i>Ramusella clavipectinata</i> (Mih).	146/4,63	29/3,47	231/7,15	197/6,71	130/8,01	733/6,225
<i>R. mihelcici</i> (Perez-Inigo)	5/0,16	2/0,24	6/0,19	32/1,09	11/0,68	56/0,476
<i>R. puertomontensis</i> Hammer	15/0,48	-	-	-	-	15/0,127
<i>Microppia minus</i> (Paoli) Палеарктика	237/7,52	4/0,48	305/9,45	375/12,76	572/35,24	1493/12,679
<i>M. minutissima</i> (Selln.) Палеарктика	40/1,27	1/0,12	2/0,06	39/1,33	-	82/0,696
<i>Berniniella bicarinata</i> (Paoli) Палеарктика	4/0,13	-	5/0,16	2/0,07	8/0,49	19/0,161
<i>Passalozetes africanus</i> Gr.	3/0,09	-	-	10/0,34	8/0,49	21/0,178
<i>P. intermedius</i> Mih.	1/0,03	-	-	-	-	1/0,008
<i>P. perforatus</i> (Berl.)	-	-	-	3/0,10	-	3/0,026
<i>Scutovertex punctatus</i> Sitnikova	8/0,25	-	3/0,09	6/0,20	-	17/0,144
<i>S. serratus</i> Sitnikova	-	9/1,08	13/0,40	1/0,03	-	23/0,195
<i>S. rugosus</i> Mih.	-	-	1/0,03	-	-	1/0,008
<i>S. minutus</i> (Koch)	-	-	-	4/0,14	-	4/0,034
<i>Oribatula pallida</i> Banks	1/0,03	-	15/0,47	1/0,03	-	18/0,153
<i>O. tibialis</i> Mich.	-	-	33/1,02	22/0,75	1/0,06	56/0,476
<i>O. vera</i> (B.-Z.)	-	-	1/0,03	-	-	1/0,008
<i>Simkina tianschanika</i> D. Kriv.	-	1/0,12	-	-	27/1,67	28/0,238
<i>Zygoribatula frisiae</i> (Oudms.)* Палеарктика	12/0,38	138/16,54	24/0,74	2/0,07	7/0,43	183/1,554
<i>Z. exarata</i> Berl.	76/2,41	1/0,12	45/1,39	48/1,63	23/1,42	193/1,639

Вид	Пойма р. Крынка	Пойма р. Ольховая	Стационары у р. Ольховая	Биотопы Зуй-горы	Байрачный лес	Всего
<i>Z. terricola</i> v.d. Hammen	121/3,84	10/1,20	24/0,74	-	-	155/1,316
<i>Z. thalassophila</i> Gr.	1/0,03	19/2,28	39/1,21	15/0,51	1/0,06	75/0,637
<i>Z. microporoza</i> B.-Z.	-	-	1/0,03	-	-	1/0,008
<i>Eporibatula rauschenensis</i> (Selln.)	-	-	1/0,03	-	-	1/0,008
<i>Liebstadia similis</i> (Mich.)* Палеарктика	4/0,13	1/0,12	4/0,12	6/0,20	1/0,06	16/0,136
<i>Scheloribates latipes</i> (Koch)* Палеарктика	113/3,59	-	53/1,64	24/0,82	14/0,86	204/1,732
<i>S. laevigatus</i> (Koch) Палеарктика	84/2,67	30/3,59	100/3,10	17/0,58	9/0,55	240/2,038
<i>S. semidesertus</i> B.-Z. et Machmudova	-	-	-	26/0,89	6/0,37	32/0,272
<i>S. longus</i> Kujiw	12/0,38	-	-	-	1/0,06	13/0,110
<i>S. pallidulus</i> (Koch) Палеарктика	-	-	1/0,03	-	-	1/0,008
<i>S. sergienkoe</i> Subbotina	-	-	-	1/0,03	-	1/0,008
<i>Hemileius initialis</i> Berl.	-	-	-	24/0,82	-	24/0,204
<i>Peloribates europaeus</i> Will.* Палеарктика	-	-	2/0,06	20/0,68	5/0,31	27/0,229
<i>P. pilosus</i> Hammer Палеарктика	28/0,89	20/2,39	-	3/0,10	-	51/0,433
<i>P. longipilosus</i> Ccizar	-	11/1,32	-	-	-	11/0,093
<i>Protoribates longior</i> Berl.	-	-	-	67/2,28	-	67/0,569
<i>P. capucinus</i> (Berl.) Палеарктика	78/2,48	-	92/2,85	560/19,06	73/4,50	803/6,820
<i>P. monodactylus</i> (Haller)	153/4,86	21/2,52	129/4,00	122/4,15	36/2,22	461/3,915
<i>P. lophotrichus</i> (Berl.)	-	6/0,72	-	-	-	6/0,051
<i>Haplozetes vindobonensis</i> (Will.) Палеарктика	-	-	3/0,09	2/0,07	-	5/0,043
<i>Latilamelobates naltshiki</i> Schald.	-	2/0,24	-	-	-	2/0,018
<i>Trichoribates novus</i> (Selln.)* Палеарктика	-	-	2/0,06	2/0,07	-	4/0,034
<i>T. punctatus</i> Schald.	8/0,25	-	2/0,06	-	-	10/0,085
<i>T. trimaculatus</i> (Koch)* Палеарктика	-	1/0,12	5/0,16	-	-	6/0,051
<i>Ceratozetes gracilis</i> (Mich.)* Палеарктика	-	12/1,44	86/2,66	47/1,60	-	145/1,231
<i>C. mediocris</i> Berl.* Палеарктика	40/1,27	26/3,12	28/0,87	92/3,13	23/1,42	209/1,775
<i>C. minutissimus</i> Will.	-	17/2,04	-	48/1,63	9/0,55	74/0,628
<i>Ceratozetella sellnicki</i> (Rajski)*	-	-	9/0,28	-	18/1,11	27/0,229
<i>C. longicuspидatus</i> Kul.	-	-	5/0,16	-	-	5/0,043
<i>C. macromediocris</i> Schald.	-	-	-	1/0,03	-	1/0,008
<i>Ceratozetoides cisalpinus</i> (Berl.)	-	-	-	1/0,03	-	1/0,008

Вид	Пойма р. Крынка	Пойма р. Ольховая	Стационары у р. Ольховая	Биотопы Зуй-горы	Байрачный лес	Всего
<i>Ceresella venusta</i> Pavl.	-	-	-	2/0,07	-	2/0,018
<i>Mycobates trydactylus</i> Will.	-	-	2/0,06	-	-	2/0,018
<i>Punctoribates zachvatkini</i> Schald.	31/0,98	4/0,48	48/1,49	88/3,00	130/8,01	301/2,556
<i>P. punctum</i> (Koch)*	11/0,35	-	-	-	-	11/0,093
<i>P. minutissimus</i> Schald.	-	-	-	-	21/1,29	21/0,178
<i>Chamobates cuspidatus</i> (Mich.) Палеарктика	-	-	61/1,89	-	-	61/0,518
<i>Oribatula reticulata</i> Berl. Палеарктика	-	-	-	1/0,03	-	1/0,008
<i>Eupelops bilobus</i> (Selln.)	5/0,16	-	-	-	-	5/0,043
<i>E. acromios</i> (Herm.)* Палеарктика	2/0,06	-	-	-	-	2/0,018
<i>Peloptulus phaenotus</i> (Koch) Палеарктика	2/0,06	3/0,36	13/0,40	2/0,07	4/0,25	24/0,204
<i>Tectoribates ornatus</i> (Schuster)	6/0,19	38/4,55	32/0,99	-	-	76/0,645
<i>Parachipteria punctata</i> (Nic.) Палеарктика	15/0,48	-	149/4,61	-	-	164/1,393
<i>P. nivalis</i> (Hammer)	-	-	2/0,06	-	-	2/0,018
<i>P. bellus</i> (Selln.)	6/0,19	-	10/0,31	-	-	16/0,136
<i>Galumna lanceata</i> Oudms. Палеарктика	37/1,18	3/0,36	69/2,14	19/0,65	3/0,19	131/1,113
<i>Pergalumna nervosa</i> (Berl.) Палеарктика	-	-	-	1/0,03	-	1/0,008
<i>P. willmanni</i> (A. Zachvatkin)	-	-	1/0,03	-	-	1/0,008
<i>Pilogalumna allifera</i> (Oudms.)	67/2,13	29/3,47	121/3,75	4/0,14	4/0,25	225/1,911
<i>Phthiracarus lentulus</i> (Koch)	4/0,13	18/2,16	-	-	-	22/0,187
<i>P. anonymus</i> Grandjean	-	-	-	2/0,07	-	2/0,018
<i>P. globosus</i> (Koch) Палеарктика	-	-	-	2/0,07	3/0,19	5/0,043
<i>P. pallidus</i> Feider et Suci	-	-	-	1/0,03	-	1/0,008
<i>P. ligneus</i> Will.	-	-	-	-	5/0,31	5/0,043
<i>Hoplophthiracarus pavidus</i> (Berl.)	-	-	-	-	2/0,12	2/0,018
<i>H. minus</i> (D. Kriv.)	-	-	-	-	1/0,06	1/0,008
<i>Euphthiracarus cribrarius</i> (Berl.)	13/0,41	16/1,92	63/1,95	19/0,65	42/2,59	153/1,299
<i>Rhysotritia duplicata</i> (Grandjean)	-	-	-	15/0,51	-	15/0,127
<i>Steganacarus serratus</i> (Koch)	-	-	-	6/0,20	-	6/0,051
<i>S. carinatus</i> (Koch)	-	-	21/0,65	-	-	21/0,178
<i>S. (Atropacarus) striculus</i> (Koch) Палеарктика	4/0,13	-	-	-	-	4/0,034
Всего панцирных клещей (имаго), экз.	3151	834	3229	2938	1623	11775

Вид	Пойма р. Крынка	Пойма р. Ольховая	Стационары у р. Ольховая	Биотопы Зуй-горы	Байрачный лес	Всего
Количество проб	110	29	120	90	70	419
Количество на 1 пробу, экз.	28,65	28,76	26,91	32,64	23,19	28,10
Плотность, экз./м ²	11456	11504	10764	13056	9276	11240
Количество видов	79	65	94	107	68	182
Доминирующих	5	1	2	3	4	3
Часто встречаемых	12	17	13	7	4	9
Редких	62	47	79	97	60	170
% к общему числу панцирных клещей	77,12	86,69	44,60	84,30	85,87	72,46
Количество преимагинальных фаз орибатид	935	128	2599	547	267	4476
Количество проб	110	29	120	90	70	419
Количество на 1 пробу, экз.	8,5	4,41	21,66	6,08	3,81	10,68
Плотность, экз./м ²	3400	1764	8664	2432	1524	4272
% к общему числу панцирных клещей	22,88	13,31	55,40	15,70	14,72	21,54
Всего панцирных клещей, экз.	4086	962	5828	3485	1890	16251
Количество проб	110	29	120	90	70	419
Количество на 1 пробу, экз.	37,14	33,17	48,57	38,72	27,00	38,78
Плотность, экз./м ²	14856	13268	19428	15488	10800	15512
% к общему числу почвообитателей	42,29	35,83	45,21	43,42	37,14	43,09
Класс Nematoda	12/0,24	-	31/0,44	1/0,02	4/0,13	48/0,22
Класс Oligochaeta	37/0,75	3/0,17	25/0,35	14/0,31	4/0,13	83/0,38
Класс Arachnida. Отр. Aranei	-	2/0,12	4/0,06	-	-	6/0,03
Отр. Pseudoscorpiones	6/0,12	-	2/0,03	3/0,07	2/0,06	13/0,06
Отр. Parasitiformes. Надсем. Gamasoidea	371/7,52	101/5,86	503/7,12	536/11,80	417/13,04	1928/8,99
Надсем. Uropodinea	3/0,06	-	-	-	5/0,16	8/0,04
Отр. Acariformes. Надсем. Acaroidea	10/0,20	37/2,15	11/0,16	145/3,21	158/4,94	361/1,68
Гипопусы	40/0,81	-	9/0,13	28/0,62	22/0,69	99/0,46
Семейство Trombiculidae	22/0,45	22/1,28	35/0,49	55/1,21	15/0,47	149/0,69
Прочие сем. отр. Acariformes	1979/40,10	957/55,54	3197/45,26	1857/40,89	391/12,2	8381/39,06
Класс Crustacea. Отр. Isopoda	4/0,08	1/0,06	127/1,79	-	-	132/0,61
Надкласс Myriapoda. Класс Chilopoda	51/1,03	2/0,12	140/1,98	57/1,25	99/3,09	349/1,63
Класс Diplopoda	11/0,22	5/0,29	73/1,03	-	1/0,03	90/0,42

Вид	Пойма р. Крынка	Пойма р. Ольховая	Стационары у р. Ольховая	Биотопы Зуй-горы	Байрачный лес	Всего
Отр. Polyxena (<i>P. lagurus</i>)	-	-	-	3/0,07	-	3/0,01
Отр. Julida	-	-	-	52/1,14	-	52/0,24
Класс Symphyla	-	-	-	11/0,24	-	11/0,05
Класс Insecta. Отр. Diplura	15/0,31	-	11/0,16	6/0,13	18/0,56	50/0,23
Отр. Podura	1945/39,40	497/28,84	2375/33,62	1297/28,56	1900/59,39	8014/37,34
Отр. Psocoptera	1/0,02	7/0,41	14/0,20	1/0,02	-	23/0,12
Отр. Thysanoptera	14/0,29	9/0,52	2/0,03	40/0,88	13/0,40	78/0,36
Отр. Homoptera. Подотр. Aphidinae	93/1,88	3/0,17	109/1,54	63/1,39	1/0,03	269/1,25
Отр. Hemiptera	6/0,12	-	23/0,33	-	-	29/0,14
Отр. Hymenoptera. Надсем. Formicoidae	41/0,83	28/1,62	19/0,27	256/5,63	7/0,22	351/1,64
Надсем. Ichneumonoidea	5/0,10	1/0,06	4/0,06	4/0,08	3/0,09	17/0,08
Отр. Diptera. Сем. Tipuludae	2/0,04	2/0,12	2/0,03	-	4/9,13	10/0,04
Отр. Coleoptera	6/0,12	4/0,23	10/0,14	6/0,13	6/0,19	32/0,15
Личинки насекомых	262/5,31	42/2,44	338/4,78	107/2,35	129/4,03	878/4,09
Всего других почвообитателей, экз.	4936	1723	7064	4542	3199	21464
Количество проб	110	29	120	90	70	419
Количество на 1 пробу	44,87	59,41	58,87	50,46	45,7	51,22
Плотность, экз./м ²	17948	23764	23548	20184	18280	20488
% к общему числу почвообитателей	54,71	64,17	54,79	56,58	62,86	56,91
Всего почвенного населения, экз.	9022	2685	12892	8027	5089	37715
Количество проб	110	29	120	90	70	419
Количество на 1 пробу, экз.	82,01	92,59	107,44	89,18	72,7	90,00
Плотность, экз./м ²	32804	37032	42976	35672	29080	36004

Примечания:

- 1.* – виды, которые могут принимать участие в цикле развития ленточных червей из сем. Anoplocephalidae;
2. – в числителе – количество экз., в знаменателе – индекс доминирования в процентах.

На стационарных участках поймы р. Ольховой (луговая степь, лесопосадка, целинная степь, вершина скалистого берега) обнаружено 94 вида орибатид, относящихся к 58 родам и 32 семействам. Доминировали 2 вида: *Ramusella clavipectinata* (Mih.) – 7,15%, *Microppia minus* (Paoli) – 9,45%. Часто встречались 14 видов: *Brachychthonius immaculatus* Will., *Malaconothrus punctulatus* v.d. Hammen, *Eremaeus silvestris* Forssl., *Suctobelbella latirostris* Forssl., *S. alloanasuta* Moritz, *Multioppia glabra* Mih., *Oppiella nova* (Oudms.), *Scheloribates laevigatus* (Koch), *Protoribates capucinus* (Berl.), *P. monodactylus* (Haller), *Ceratozetes gracilis* (Mich.), *Parachipteria punctata* (Nic.), *Galumna lanceata* Oudms., *Pilogalumna allifera* (Oudms.) (см. табл. 1).

На вершине, склоне и у основания «Зуй-горы» за весь период исследования было обнаружено 107 видов клещей-орибатид, относящихся к 64 родам и 37 семействам. Доминировали 3 вида: *Ramusella clavipectinata* (Mih.) – 6,71%, этот вид также преобладал в биотопах байрачного леса и на стационарах поймы р. Ольховая, часто встречался в поймах рек Крынка и Ольховая; *Microppia minus* (Paoli) – 12,76%, редкий вид в пойме р. Ольховая, в остальных биотопах – доминирующий вид; *Protoribates capucinus* (Berl.) – 19,06%, часто встречаемый вид в пойме р. Крынка, на стационарах поймы р. Ольховая и в байрачном лесу. Часто встречались 7 видов: *Hypochthoniella minutissima* (Berl.), *Oppiella nova* (Oudms.), *Lauroppia maritima* (Will.), *Discoppia cylindrica* (Perez-Inigo), *Protoribates monodactylus* (Haller), *Ceratozetes mediocris* Berl., *Punctoribates zachvatkini* Schald.

В биотопах байрачного леса обнаружено 68 видов орибатид, относящихся к 48 родам и 29 семействам. Доминировали 4 вида: *Multioppia glabra* Mih. – 7,27%, доминировал в пойме р. Крынка, часто встречаемый вид на стационарах поймы р. Ольховой, в остальных биотопах – малочисленный вид; *Ramusella clavipectinata* (Mih.) – 8,01%, доминировал в биотопах «Зуй-горы», на стационарах поймы р. Ольховая, в поймах рек Крынка и Ольховая – часто встречаемый вид; *Microppia minus* (Paoli) – 35,24%, вид обладает широким распространением, малочисленный в биотопах поймы р. Крынка; *Punctoribates zachvatkini* Schald. – 8,01%, часто встречаемый вид в биотопах «Зуй-горы», малочисленный в остальных биотопах. Часто встречались 4 вида: *Gymnodamaeus austriacus* Will., *Protoribates capucinus* (Berl.), *Protoribates monodactylus* (Haller), *Euphthiracarus cribrarius* (Berl.).

Из приведенных данных видно, что доминирующие и часто встречаемые виды панцирных клещей в различных биотопах ландшафтного парка играют важную роль в составе и структуре почвенного зооценоза.

При сравнении видового состава орибатид поймы р. Крынка (79 видов) и поймы р. Ольховая (65 видов) отмечено 45 общих видов, отмечено максимальное фаунистическое сходство – 45,45%, что обусловлено сопряженным расположением исследуемых биотопов и однообразием климатических условий обитания (табл. 2). Что касается доминирующих (5 и 1 вид соответственно), то общих видов среди них не отмечено. Часто встречаемые виды орибатид поймы р. Крынка (12) и поймы р. Ольховая (17) обладают 6 общими видами, степень фаунистического сходства – 26,08%.

При сравнении видового состава орибатид поймы р. Крынка (79 видов) и стационаров поймы р. Ольховая (94 видов) общими являются 50 видов, степень фаунистического сходства достаточно высокая – 40,65%, в основном за счет малочисленных видов орибатид (см. табл. 1, 2). В пойменных биотопах равнинного характера эдафические условия обитания для орибатид практически идентичны.

Среди доминирующих видов орибатид поймы р. Крынки (5) и стационаров поймы р. Ольховой (1) один вид является общим – *Microppia minus* (Paoli) – 16,66%. Среди часто встречаемых видов орибатид поймы р. Крынки (12 видов) и стационаров поймы р. Ольховой (14 видов) общими являются 2 вида – 8,33% (см. табл. 2).

Сходство видового состава панцирных клещей поймы р. Крынка (79 видов) и «Зуй-горы» (109 видов) – 35,25% (49 общих видов).

Таблица 2

**Степень фаунистического сходства между исследуемыми биотопами РЛП «Зуевский»
(по индексу Жаккара, %)**

Биотопы	ПК	ПО	СО	ЗГ	БЛ
ПК	В	45,45	40,65	35,25	37,38
	Д	0	16,66	14,28	28,57
	Ч	26,08	8,33	5,26	15,38
ПО	В		40,70	34,88	38,54
	Д		0	0	0
	Ч		19,23	8,69	5,26
СО	В			35,33	30,64
	Д			66,66	50,00
	Ч			10,00	13,33
ЗГ	В				42,74
	Д				40,00
	Ч				10,00
БЛ	В				
	Д				
	Ч				

Примечания:

1. Биотопы: ПК – биотопы поймы р. Крынка, ПО – биотопы поймы р. Ольховая, СО – стационары поймы р. Ольховая, ЗГ – биотопы «Зуй-Горы», БЛ – биотопы байрачного леса;
2. В – степень фаунистического сходства видов; Д – степень фаунистического сходства доминирующих видов; Ч – степень фаунистического сходства часто встречаемых видов.

Следует отметить, что исследуемые биотопы «Зуй-горы» расположены на склонах с зональной степной растительностью, значительно возвышаются над пойменными биотопами рек Крынка и Ольховая, и отличаются специфическими эдафическими условиями обитания для педобионтов. На «Зуй-горе» доминировали 3 вида орибатид: *Ramusella clavipectinata* (Mih.) – 6,71%, *Microppia minus* (Paoli) – 12,76%, *Protoribates capucinus* (Berl.) – 19,06%. При сравнении с доминантами поймы р. Крынка отмечен один общий вид – *M. minus* (Paoli), общность фаун составила 14,28%. Среди часто встречаемых видов этих участков отмечен 1 общий вид – *Protoribates monodactylus* (Haller) – 5,26%.

Сравнивая фауну орибатид биотопов поймы р. Крынки (79 видов) и байрачного леса (68 видов), отмечено 40 общих видов (37,8%). Есть два общих доминирующих вида: *Multioppia glabra* Mih. и *Microppia minus* (Paoli) – 28,57%. Среди часто встречаемых видов поймы р. Крынка и байрачного леса также есть 2 общих вида: *Protoribates monodactylus* (Haller), *P. capucinus* (Berl.) – 15,38%. Низкая степень фаунистического сходства панцирных клещей обусловлена разнообразием условий обитания и экологическими свойствами исследуемых биотопов.

Пойма р. Ольховой (65 видов) и стационарные участки поймы р. Ольховой (94 вида) имеют 46 общих видов и максимальную степень сходства видового состава – 40,70%. Среди доминирующих видов поймы р. Ольховая (*Zygoribatula frisiae* (Oudms.)) и стационаров поймы р. Ольховая (*Ramusella clavipectinata* (Mih.), *Microppia minus* (Paoli)) общих видов нет. Среди часто встречаемых видов (17 и 13) отмечено 5 общих видов (*Brachychthonius immaculatus* Will., *Suctobelbella latirostris* (Forssl.), *Scheloribates laevigatus* (Koch), *Protoribates monodactylus* (Haller), *Pilogalumna allifera* (Oudms.) – 19,23% – максимальная степень сходства). В пойме р. Ольховая и на стационарных участках поймы в различных биотопах наблюдается высокая степень фаунистического сходства орибатид, но общие доминирующие виды отсутствуют. Каждому биотопу присущ определенный видовой состав доминантов, обусловленный условиями обитания в различные сезоны года.

Фауна панцирных клещей биотопов поймы р. Ольховой (65 видов) и биотопов «Зуй-горы» (109 видов) имеет минимальное сходство – 34,88% (45 общих видов). Среди доминирующих общих видов не обнаружено. При сравнении часто встречаемых видов (17 и 8) отмечено 2 общих вида (*Protoribates monodactylus* (Haller), *Ceratozetes mediocris* Berl.), минимальная степень сходства – 8,69%, что обусловлено сложным рельефом, имеющим горный характер как часть Донецкого кряжа, с характерными для петрофитных степей Донбасса почвами, с преобладанием разнотравно-типчаково-ковыльных и разнотравных участков с кустарниково-древесной растительностью.

Пойма р. Ольховой (65 видов) и байрачный лес (68 видов) обладают незначительным фаунистическим сходством панцирных клещей – 38,54% (37 общих видов). Общие доминирующие виды отсутствуют. Среди часто встречаемых видов есть 2 общих – *Gymnodamaeus austriacus* Will., *Protoribates monodactylus* (Haller) – 10,00%. Минимальная степень фаунистического сходства орибатид сравниваемых биотопов обусловлена географической разобщенностью, различием условий обитания, разнообразием растительных подстилок, ризосферы, сохраняющих влажность поверхностного горизонта почвы.

Стационарные участки поймы р. Ольховой (94 вида) и «Зуй-горы» (109 видов) имеют 53 общих вида панцирных клещей – 35,33%. Небольшое фаунистическое сходство орибатид стационаров поймы р. Ольховой и «Зуй-горы» отображает различие в расположении этих биотопов на равнинных участках поймы и на склонах горы, с небольшими степными участками и преобладанием древесно-кустарниковой растительности. Среди доминирующих есть 2 общих вида орибатид: *Ramusella clavipectinata* (Mih.), *Micropippia minus* (Paoli) – 66,66%. Следует отметить, что эти два доминантных вида оппидного комплекса многочисленны и часто встречаются во всех исследуемых биотопах, за исключением поймы р. Ольховой, где вид *M. minus* был единичен (см. табл. 1). Среди часто встречаемых видов отмечены 2 общих вида (*Oppiella nova* (Oudem.), *Protoribates capucinus* (Berl.) – 10,00%).

Сравнивая видовой состав орибатид стационаров поймы р. Ольховой (94 вида) и биотопов байрачного леса (68 видов) отмечено 38 общих видов – 30,64% (см. табл. 2), что обусловлено различием биотопов и их географической разобщенностью. Среди доминантов отмечены 2 общих вида: *Ramusella clavipectinata* (Mih.), *Micropippia minus* (Paoli) – 50,00%. Также 2 общих вида отнесены к часто встречаемым (13,33%): *Protoribates monodactylus* (Haller) – часто встречаемый вид в исследуемых биоценозах и *P. capucinus* (Berl.) – доминант «Зуй-горы», в пойме р. Ольховой не обнаружен, в остальных трех биотопах – часто встречаемый вид (см. табл. 1).

Сходство видового состава панцирных клещей биоценозов «Зуй-горы» (109 видов) и байрачного леса (68 видов) составило 42,74% (53 общих вида) (см. табл. 2). Доминирующие виды орибатид также обладают высокой степенью сходства – 40,00% в связи с общим характером байрачно-балочного рельефа, травянистой и древесно-кустарниковой растительности. Сходство часто встречаемых видов панцирных клещей в этих двух биотопах было минимальным – 10,00%.

В исследуемых биотопах РЛП «Зуевский» также было обнаружено 27 таксономических групп других обитателей почвы. Всего в 349 пробах учтено 18265 экз., средняя плотность населения составила 20936 экз./м². Максимум этого показателя отмечен в пойме р. Ольховой – 23764 экз./м², минимум – в байрачном лесу – 18280 экз./м². К доминирующим группам отнесены различные семейства отряда акариформных клещей – 43,74%, коллемболы – 33,47% и свободноживущие гаммазовые клещи – 8,27%, которые преобладали во всех исследуемых биотопах, часто встречались личинки насекомых – 4,10% (см. табл. 1).

Таким образом, в исследуемых биотопах РЛП «Зуевский» в 349 пробах учтено 32626 экз. почвообитателей, средняя плотность населения составила 37392 экз./м². Доминировали в почвенном зооценозе панцирные клещи – 14361 экз. (с учетом преимагинальных фаз), плотность – 16460 экз./м², что составляет 44,02% от общего количества почвообитателей.

Обобщен видовой состав панцирных клещей РЛП «Зуевский» – всего обнаружено 182 вида, относящихся к 87 родам и 48 семействам. Из них 16 видов известны как промежуточные хозяева ленточных червей из семейства Anoplocephalidae, паразитирующих в теле домашних и диких животных. Для каждого исследуемого биотопа характерен своеобразный комплекс орибатид, со специфическим набором доминирующих, часто встречаемых и редких видов. Среди 182 обнаруженных нами видов 58 относятся к Палеарктическим. Максимальное сходство фаун орибатид исследуемых биотопов на территории РЛП «Зуевский» отмечено между поймой р. Крынка и поймой р. Ольховая – 45,55%, минимальное – между стационарами поймы р. Ольховой и байрачным лесом – 30,64%, что свидетельствует о значительном разнообразии эдафических условий в парке.

Выводы

Для территории РЛП «Зуевский» приведено 182 вида панцирных клещей, относящихся к 87 родам и 48 семействам. Доминировали 3 вида: *Ramusella clavipectinata* (Mih.) – 6,23%, этот вид часто встречался в исследуемых биотопах пойм рек Крынка и Ольховой, преобладал на стационарных участках поймы р. Ольховой, в байрачном лесу и на «Зуй-горе»; *Microppia minus* (Paoli) – 12,68%, доминировал во всех исследуемых биотопах, кроме поймы р. Ольховой; *Protoribates capucinus* (Berl.) – 6,82%, часто встречаемый вид в биотопах поймы р. Крынка, на стационарах р. Ольховой и в байрачном лесу, многочисленный на «Зуй-горе». Часто встречались 9 видов. Наиболее высокая средняя плотность имаго и преимагинальных фаз орибатид отмечена на стационарных участках поймы р. Ольховая (19428 экз./м²), минимум – в байрачном лесу (10800 экз./м²). Средняя плотность населения панцирных клещей всех исследуемых биотопов составила 16460 экз./м², что в целом характерно для степной зоны Донбасса.

При сравнении видового состава панцирных клещей пяти исследуемых биотопов в условиях РЛП «Зуевский» отмечена высокая степень фаунистического сходства орибатид в поймах рек Крынка и Ольховая – 45,45%, минимальная – между стационарами поймы р. Ольховая и байрачным лесом – 30,64%, что отражает различие эдафических условий обитания орибатид в парке. Следует отметить, что выявленный видовой состав орибатид еще неполный, в связи с тем, что ландшафтный парк изобилует разнообразием биотопов, которые требуют дальнейшего изучения.

Сопутствующие обитатели почвы исследуемых биотопов в условиях парка представлены 27 таксонами, со средней плотностью населения 20936 экз./м². Максимум этого показателя отмечен в биотопах поймы р. Ольховой – 23764 экз./м² и на стационарных участках поймы р. Ольховой – 23548 экз./м², минимум – в исследуемых биотопах поймы р. Крынка – 17948 экз./м². К доминирующим группам почвообитателей отнесены различные семейства акариформных клещей – 43,74%, которые вместе с орибатидами участвуют в формировании и функционировании почвенного зооценоза в условиях ландшафтного парка; немаловажную роль в круговороте веществ в биоценозах играют многочисленные коллемболы – 33,47% и свободноживущие гамазовые клещи – 8,27%, которые преобладали во всех исследуемых биотопах. Часто встречались личинки насекомых – 4,10%, остальные группы (почвенные нематоды, олигохеты, пауки, ложноскорпионы, мокрицы, многоножки, сеноеды, тли, муравьи, жуки и др.) были малочисленны. В целом средняя плотность почвообитателей в исследуемых биотопах РЛП «Зуевский» составила 37392 экз./м². Максимум отмечен на стационарных участках поймы р. Ольховой (42976 экз./м²), минимум – в байрачном лесу (29080 экз./м²).

В различных биотопах РЛП «Зуевский» отмечено значительное разнообразие и обилие обитателей почвы, в том числе панцирных клещей, что в целом характерно для заповедных ландшафтов Донбасса.

Список литературы

1. Беклемишев В. Н. Термины и понятия, необходимые при количественном изучении популяций эктопаразитов и нидиколов // Зоол. журн. 1961. Вып. 2. С. 143–158.
2. Буланова-Захваткина Е. М. Панцирные клещи – орибатида. М. : Высш. шк., 1967. 254 с.
3. Исмаилов Г. Д. Аноплоцефалы домашних жвачных животных в Азербайджане (фауна, систематика, биология) эколого-географический и эпизотологический анализ : Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Баку, 2013. 39 с.
4. Курчева Г. Ф. Роль животных в почвообразовании. М. : Знание, 1973. 64 с. (Новое в жизни, науке и технике. Сер. Биол. Вып. 3).
5. Панцирные клещи : морфология, развитие, филогения, экология, методы, исследования, характеристика модельного вида *Nothrus palustris* C. L. Koch, 1839 / Д. А. Криволицкий, Ф. Лебрен, М. Кунст и др. / Под ред. Д. А. Криволицкого. М. : Наука, 1995. 224 с.
6. Сергиенко Г. Д. Фауна Украины. Низшие орибатида. К. : Наук. думка, 1994. Т. 25, вып. 1. 203 с.
7. Фасулати К. К. Полевое изучение наземных беспозвоночных. М. : Высш. шк., 1971. 424 с.
8. Ярошенко Н. Н. Почвенные зооценозы промышленных экосистем Донбасса. Донецк : ДонГУ, 1999. 294 с.
9. Ярошенко Н. Н. Орибатидные клещи (Acariformes, Oribatei) естественных экосистем Украины. Донецк : ДонГУ, 2000. 313 с.
10. Ярошенко Н. Н. Панцирные клещи (Acariformes : Oribatei) и сопутствующие почвенные обитатели регионального ландшафтного парка «Краматорский» Донецкой области. Донецк : ЛАНДОН-XXI, 2015. 224 с.

Yaroshenko N. N. Monitoring of oribatid mites and accompanying pedobionts of the RLP «Zuevsky». – As a result of many years of research in the conditions of the RLP «Zuevsky», 182 species of oribatid mites belonging to 87 genera and 48 families were found, with an average population density of 16460 ind./m², which amounted to 44% of the total number of soil inhabitants (density – 37392 ind./m²). Three species dominated: *Ramusella clavipectinata* (Mih.) – 6,23%, *Micropoppia minus* (Paoli) – 12,68%, *Protoribates capucinus* (Berl.) – 6,82%, 9 species were often found. Other soil inhabitants (acariform mites, collembolans, gamasid mites etc.) accounted for 56% of the total number of pedobionts with an average population density of 29936 ind./m². In various biotopes of the RLP «Zuevsky» there is a significant diversity and abundance of soil inhabitants, including oribatid mites, which is generally typical for the protected landscapes of Donbass.

Key words: oribatid mites, pedobionts, biotope, fauna, monitoring.

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

УДК 635.82 : 577.15

© С. И. Демченко, Ю. П. Загнитко, Д. А. Дутик, Д. А. Устинова

**ДЕСТРУКТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ БАЗИДИАЛЬНЫХ КСИЛОТРОФОВ ПРИ
ТВЕРДОФАЗНОМ КУЛЬТИВИРОВАНИИ НА РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДАХ**

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

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

Демченко С. И., Загнитко Ю. П., Дутик Д. А., Устинова Д. А. Деструктивная активность базидиальных ксилотрофов при твердофазном культивировании на растительных отходах. – Результаты исследований позволили оценить возможность использования базидиальных ксилотрофов для деградации и трансформации растительных отходов. Деструктивная способность грибов в значительной степени определяется активностью литических экзоферментов. Исследована целлюлазная активность базидиомицетов, способных расти на лигноцеллюлозных растительных материалах (лузге подсолнечника и ячменной соломе). Выявлены активные культуры грибов, продуцирующие внеклеточные целлюлазы.

Ключевые слова: базидиальные ксилотрофы, растительные отходы, деструктивная активность, внеклеточные целлюлазы, грибные продуценты.

Введение

Утилизация значительных масс отходов, образуемых в сфере производства и переработки растениеводческой продукции, является одной из актуальных проблем охраны окружающей среды. В настоящее время большое внимание уделяется исследованию процессов биологической переработки всех типов растительных отходов. Широкое распространение получили методы биоконверсии, применение которых позволит не только значительно уменьшить загрязнение окружающей среды, но и получить практически полезные продукты (биотопливо, биологически активные добавки, пищевые продукты, белково-углеводные корма и др.) [1, 6, 10].

Среди большого разнообразия живых организмов, участвующих в деструкции лигнина и целлюлозы, одну из ведущих ролей играют базидиальные ксилотрофы. Они имеют эффективные комплексы ферментов, способных осуществлять деградацию трудно разлагаемых биополимеров, входящих в состав растительных отходов [1, 3]. Скрининг штаммов базидиомицетов – активных продуцентов целлюлаз, участвующих в грибной конверсии целлюлозосодержащего растительного сырья, – актуальная биотехнологическая задача.

Целью работы было изучение деструктивной и целлюлазной активности съедобных базидиальных ксилотрофов, способных расти на лигноцеллюлозных растительных отходах (лузге семян подсолнечника и ячменной соломе).

Материал и методы исследования

В работе использовали штаммы съедобных базидиальных ксилотрофов из коллекции кафедры физиологии растений ГОУ ВПО «ДонНУ»: *Agrocybe aegerita* 440, *Flammulina velutipes* 821, *Lentinus edodes* 480, *Pleurotus ostreatus* Д-2.3 и *Pleurotus eryngii* 515. Музейные культуры грибов хранили при температуре +4°C на картофельно-глюкозной агаровой среде (КГА) [9] с добавлением опилок из тополя.

Первичную оценку гидролизующей способности тестируемых грибов проводили методом поверхностного культивирования на голодном агаре, содержащем Na-карбоксиметилцеллюлозу (Na-КМЦ) в концентрации 0,5%. После 48 ч культивирования при 24°C поверхность чашек Петри заливали раствором Люголя (10% йодида калия, 5% йода), разбавленным дистиллированной водой в соотношении 1 : 10. После выдержки в течение 5 мин, раствор Люголя сливали. У штаммов, обладавших способностью к гидролизу Na-КМЦ,

вокруг колонии гриба появлялась светлая зона. Относительную целлюлазную активность (ОЦА) вычисляли по формуле [5]:

$$\text{ОЦА} = \frac{S_{\text{светл.}} - S_{\text{колонии}}}{S_{\text{колонии}}},$$

где ОЦА – относительная целлюлазная активность (безразмерная величина); $S_{\text{светл.}}$ – площадь неокрашенного светлого участка вокруг колонии мицелия, мм²; $S_{\text{колонии}}$ – площадь, занимаемая мицелием гриба, мм².

Для определения деструктивной и целлюлазной активности грибов при твердофазном культивировании использовали субстраты из лузги семян подсолнечника и ячменной соломы (влажность 67±1%, начальная pH 6,8). Растительные субстраты, увлажненные дистиллированной водой, по 15 г помещали в чашки Петри и стерилизовали в автоклаве на протяжении 1 ч при давлении 0,6–1,0 атм. Инокуляцию охлажденных субстратов осуществляли семисуточным маточным мицелием, выращенным на КГА. Культивирование грибов проводили в течение 30-ти суток при температуре 24°C. Пробы для анализа отбирали на 15-е и 30-е сутки твердофазной ферментации (ТФФ).

Для определения целлюлазной активности использовали колориметрический метод, основанный на определении редуцирующих сахаров, образующихся при действии на субстрат ферментов целлюлазного комплекса [7]. Реакцию гидролиза проводили при 40°C в течение 24 ч. За единицу активности принимали такое количество фермента, при действии которого на субстрат в условиях ферментативной реакции за 1 мин образуется 1 микромоль редуцирующих сахаров.

ФБ-активность ферментов целлюлозолитического комплекса определяли по скорости разложения фильтровальной бумаги (Whatman № 1, плотность 80 г/м³). Для определения Na-КМЦ-активности в качестве субстрата использовали 1%-ный раствор Na-КМЦ в 0,1 М ацетатном буферном растворе с pH 5,0 [7].

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

Деструктивную активность базидиальных грибов оценивали по убыли/степени разложения субстрата [7].

Скорость роста вегетативного мицелия тестируемых грибов определяли в логарифмическую фазу путем ежедневных замеров распространения колоний ксилотофов на растительных субстратах [2].

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, 8].

Результаты и обсуждение

При твердофазном культивировании исследованные базидиомицеты показали 100% приживаемость на всех видах субстратов. Однако в логарифмическую фазу роста эти грибы достоверно отличались друг от друга по скорости колонизации растительных отходов (рис. 1). Наибольшей скоростью освоения этих субстратов отличался гриб *P. ostreatus* Д-2.3. Для большинства исследованных макромицетов наиболее оптимальным по составу питательных веществ был субстрат из ячменной соломы, на котором скорость роста мицелия была в 1,2 раза больше, чем на подсолнечной лузге. Исключением был ксилотроф *L. edodes* 480, который быстрее колонизировал лузгу семян подсолнечника.

У исследованных базидиомицетов характер формирования воздушного мицелия на различных субстратах также был неодинаковым.

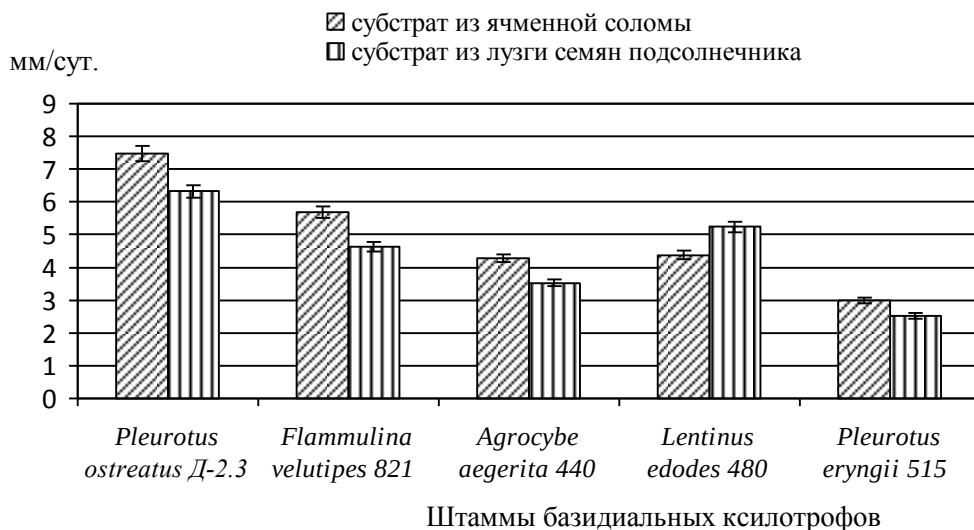


Рис. 1. Скорость роста вегетативного мицелия съедобных базидиальных ксилотрофов на растительных субстратах

На субстрате из ячменной соломы они формировали тонкий паутинообразный мицелий, а на подсолнечной лузге – плотный, ватный мицелий, различающийся только по высоте (рис. 2).



Субстрат из ячменной соломы



Субстрат из подсолнечной лузги

Рис. 2. Семисуточные колонии *Pleurotus ostreatus* Д-2.3 на субстратах из растительных отходов

В процессе роста на растительных субстратах все исследованные штаммы базидиальных ксилотрофов способны были утилизировать как лузгу семян подсолнечника, так и ячменную солому как единственный источник питания и энергии (табл. 1). Деструктивная активность (ДА) макромицетов зависела от возраста культуры и состава субстратов, на которых культивировались грибы. Так, в период интенсивного роста мицелия ксилотроф *F. velutipes* 821 с одинаковой интенсивностью утилизировал исследованные растительные отходы. В этот период у гриба *P. eryngii* 515 высокая ДА наблюдалась на субстрате из ячменной соломы, а у ксилотрофов *L. edodes* 480, *P. ostreatus* Д-2.3 и *A. aegerita* 440 – на субстрате из лузги семян подсолнечника. В фазу стационарного роста наибольшая ДА у базидиальных грибов обнаружена при ТФФ ячменной соломы. Лишь гриб *L. edodes* 480 лучше утилизировал лузгу семян подсолнечника, чем солому злаковых.

В процессе ТФФ лузги семян подсолнечника по степени деградации субстрата лидировал гриб *L. edodes* 480. На 15-е сутки ТФФ ячменной соломы высокая ДА была характерна для гриба *F. velutipes* 821. На 30-е сутки ТФФ растительные отходы сельского хозяйства сравнительно интенсивно разлагали культуры *P. ostreatus* Д-2.3 и *F. velutipes* 821.

Таблица 1

Деструктивная активность базидиальных ксилотрофов при твердофазном культивировании на растительных отходах

Виды и штаммы базидиальных ксилотрофов	Потеря сухого вещества, %	
	через 15 суток ТФФ	через 30 суток ТФФ
Лузга семян подсолнечника, увлажненная дистиллированной водой		
<i>Lentinus edodes</i> 480	10,30±0,25	15,83±0,53
<i>Pleurotus eryngii</i> 515	4,30±0,19	7,71±0,42
<i>Pleurotus ostreatus</i> Д-2.3	6,71±0,30	11,08±0,26
<i>Flammulina velutipes</i> 821	8,05±0,07	9,27±0,04
<i>Agrocybe aegerita</i> 440	4,56±0,06	5,96±0,23
Ячменная солома, увлажненная дистиллированной водой		
<i>Lentinus edodes</i> 480	2,29±0,26	10,73±0,28
<i>Pleurotus eryngii</i> 515	7,10±0,09	10,06±0,53
<i>Pleurotus ostreatus</i> Д-2.3	4,07±0,05	19,42±0,53
<i>Flammulina velutipes</i> 821	8,99±0,06	19,73±0,39
<i>Agrocybe aegerita</i> 440	3,38±0,28	6,08±0,11

Деструктивная активность исследованных базидиомицетов зависела от интенсивности гидролиза целлюлозы, входящей в состав растительных отходов. Ферментативное разложение целлюлозы на составные ее компоненты происходит под действием не отдельных ферментов, а полиферментных систем [1]. Большое число ксилотрофов продуцируют ферменты, гидролизующие β -связанные глюконы. К этим ферментам относятся эндоглюканазы, целлобиогидролазы и β -глюкозидазы. Эндоглюканазы расщепляют целлюлозный полимер в случайных положениях, делая его доступным для воздействия целлобиогидролаз. Целлобиогидролазы последовательно высвобождают молекулы целлобиозы с концов целлюлозного полимера. Целлобиоза представляет собой водорастворимый димер глюкозных остатков, связанных β -1,4-связью; β -глюкозидазы гидролизуют целлобиозу до глюкозы [7].

На первом этапе наших исследований была изучена способность съедобных базидиальных ксилотрофов осуществлять ферментативную трансформацию целлюлозы при культивировании на голодном агаре, содержащем Na-КМЦ. При росте на агаровой среде все тестируемые грибы секретируют ферменты, гидролизующие Na-КМЦ. После контрастирования питательной среды раствором Люголя во всех вариантах опыта появлялась светлая зона, соответствующая зоне гидролиза субстрата (рис. 3).

Среди испытанных базидиальных ксилотрофов *F. velutipes* 821, *L. edodes* 480 и *P. ostreatus* Д-2.3 имели относительную целлюлазную активность >6,0. Наименьшей ОЦА характеризовался гриб *A. aegerita* 440 (рис. 4).

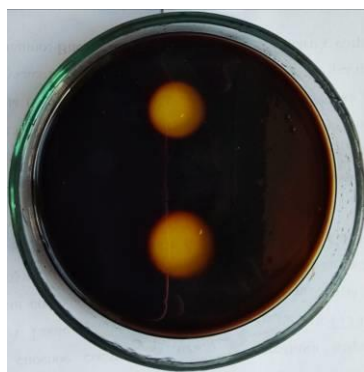


Рис. 3. Зоны гидролиза субстрата на чашках Петри с агаровой средой, содержащей Na-КМЦ (48-часовая культура *Agrocybe aegerita* 440)



Рис. 4. Относительная целлюлазная активность съедобных базидиальных ксилотрофов

На втором этапе наших исследований была изучена целлюлазная активность съедобных базидиальных ксилотрофов в процессе ТФФ ячменной соломы и лузги семян подсолнечника. Результаты этих исследований представлены на рис. 5, 6.

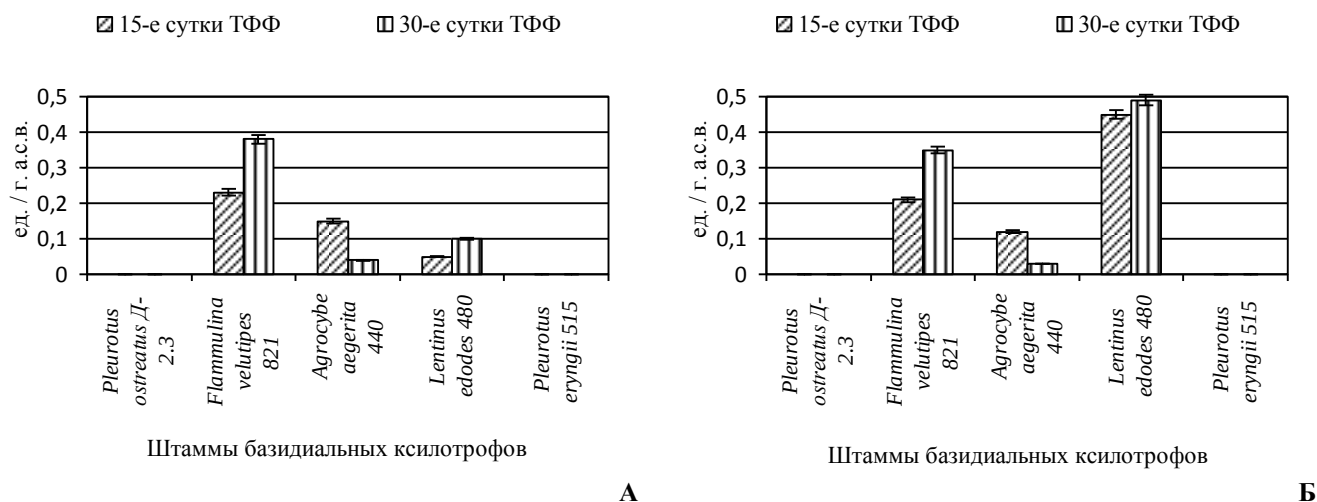


Рис. 5. ФБ-активность внеклеточных целлюлаз базидиальных ксилотрофов при твердофазном культивировании на растительных отходах:

А – субстрат из ячменной соломы, Б – субстрат из лузги семян подсолнечника

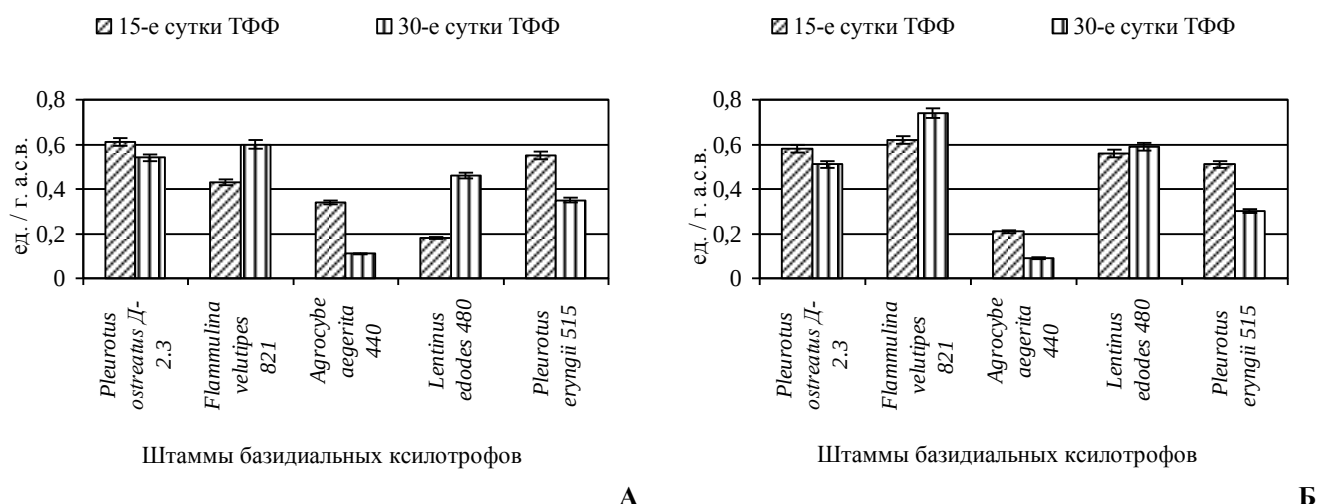


Рис. 5. Na-KMnO₄-активность внеклеточных целлюлаз базидиальных ксилотрофов при твердофазном культивировании на растительных отходах:

А – субстрат из ячменной соломы, Б – субстрат из лузги семян подсолнечника

Установлено, что при твердофазном культивировании на субстратах из растительных отходов все исследованные базидиальные ксилотрофы синтезировали внеклеточные целлюлазы. При этом Na-KMnO₄-активность энзимов выявлена для всех мицелиальных культур ксилотрофов. ФБ-активность целлюлаз на 15-е и 30-е сутки ТФФ не обнаружена у грибов рода *Pleurotus*, что, по-видимому, связано с отсутствием у этих базидиомицетов некоторых компонентов ферментного комплекса, способных разлагать нативную целлюлозу.

Интенсивность гидролиза Na-KMnO₄ грибовыми целлюлазами в среднем была выше, чем фильтровальной бумаги. При этом ФБ и Na-KMnO₄-активность целлюлаз исследованных базидиальных ксилотрофов зависела от продолжительности ТФФ. Так, у грибов *F. velutipes* 821 и *L. edodes* 480 наибольшая активность по гидролизу фильтровальной бумаги и Na-KMnO₄ выявлена на 30-е сутки ТФФ, а у гриба *A. aegerita* 440 – на 15-е сутки ТФФ. У грибов

P. ostreatus Д-2.3 и *P. eryngii* 515 максимальные показатели Na-КМЦ-активности отмечены на 15-е сутки ТФФ.

Интенсивность осахаривания фильтровальной бумаги и Na-КМЦ грибными целлюлазами зависела также и от вида растительного субстрата, на котором культивировались ксилотрофы. У грибов *F. velutipes* 821 и *A. aegerita* 440 внеклеточные целлюлазы с высокими показателями ФБ-активности синтезировались на ячменной соломе, а у макромикета *L. edodes* 480 – на лузге семян подсолнечника. Интенсивное осахаривание Na-КМЦ внеклеточными целлюлазами выявлено у базидиомицетов *P. ostreatus* Д-2.3, *A. aegerita* 440 и *P. eryngii* 515 при ТФФ ячменной соломы, а у *F. velutipes* 821 и *L. edodes* 480 – при ТФФ лузги семян подсолнечника.

Среди исследованных базидиальных ксилотрофов наибольшая ферментативная активность по гидролизу фильтровальной бумаги обнаружена у грибов *L. edodes* 480 (0,49 ед./г а. с. в.) при твердофазном культивировании на подсолнечной лузге и *F. velutipes* 821 (0,38 ед./г а. с. в.) при выращивании на ячменной соломе.

Максимальной активностью эндоглюконаз при росте макромикетов на ячменной соломе отличались опенок зимний (0,60 ед./г а. с. в.) и вешенка обыкновенная (0,61 ед./г а. с. в.). По степени разложения растительного субстрата на 30-е сутки ТФФ эти грибы также были близки между собой (19,42–19,73%) и значительно превосходили все остальные испытанные культуры (см. табл. 1).

При твердофазном культивировании съедобных базидиальных ксилотрофов на лузге семян подсолнечника по эндоглюказной активности снова лидировал гриб *F. velutipes* 821 (0,74 ед./г а. с. в.), но по деструктивной активности (9,27%) в исследуемой выборке грибов был лишь третьим. Подсолнечную лузгу сравнительно интенсивно разлагали культуры *L. edodes* 480 (15,83%) и *P. ostreatus* Д-2.3 (11,08%), хотя их ферментативная активность по гидролизу Na-КМЦ была достаточно умеренной – 0,59 ед./г а. с. в. По-видимому, это связано с тем, что базидиальные ксилотрофы, обитая на разных породах деревьев с различной структурой лигноцеллюлозного комплекса, обладают специфическими ферментативными комплексами, в разной степени адаптированных к деградации определенного вида субстрата.

Выводы

Все исследованные базидиальные ксилотрофы при росте на подсолнечной лузге и ячменной соломе активно утилизируют лигноцеллюлозный растительный материал в качестве единственного источника питания и энергии. В процессе твердофазной ферментации растительных отходов все исследованные съедобные базидиомицеты синтезируют внеклеточные целлюлазы. Активность внеклеточных ферментов зависит от времени культивирования грибов и вида субстратов. В исследованной выборке базидиальных ксилотрофов наибольшая ФБ-активность целлюлаз выявлена у грибов *L. edodes* 480 и *F. velutipes* 821, Na-КМЦ-активность – у *F. velutipes* 821 и *P. ostreatus* Д-2.3. Полученные данные могут представлять интерес для утилизации отходов сельского хозяйства и перерабатывающей промышленности.

Список литературы

1. Биоконверсия отходов агропромышленного комплекса : моногр. / Под ред. В. Ю. Барштейна. Новосибирск : Изд. АНС «СибАК», 2016. 88 с.
2. Бухало А. С. Высшие съедобные базидиомицеты в чистой культуре. К. : Наук. думка, 1988. 144 с.
3. Демченко С. И., Дудка И. В., Швиндина Е. С. Целлюлозо- и лигнолитическая активность штаммов гриба *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kumm. при твердофазном культивировании // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2017. № 1–2. С. 93–100.
4. Лакин Г. Ф. Биометрия. М. : Высш. шк., 1990. 350 с.

5. Лакина Н. В., Петрова А. И., Матвеева В. Г., Шкилева И. П. Преимущества биотехнологических способов преобразования лигноцеллюлозного сырья в ценные продукты // Вестник ТвГУ. Сер. Химия. 2017. № 3. С. 122–126.

6. Лобанок А. Г., Бабицкая В. Г., Богдановская Ж. Н. Микробный синтез на основе целлюлозы : белок и другие ценные продукты. Минск : Наука и техника, 1988. 260 с.

7. Методы экспериментальной микологии : справ. / Под ред. В. И. Билай. К. : Наук. думка, 1982. 550 с.

8. Приседський Ю. Г. Статистична обробка результатів біологічних експериментів. Донецьк : Кассиопея, 1999. 201 с.

9. Семенов С. М. Лабораторные среды для актиномицетов и грибов : справ. М. : Агропромиздат, 1990. 240 с.

10. Халимова Л. Х., Петухова Н. И., Ногина Т. С., Султанова Л. М., Зорин В. В. Скрининг микроорганизмов с целлюлазной и лакказной активностью // Башкирский химический журнал. 2009. Т. 16, № 4. С. 68–70.

Demchenko S. I., Zagnitko Yu. P., Dutik D. A., Ustinova D. A. The destructive activity of xylotrophic basidiomycetes at solid-state cultivation on vegetable wastes. – The paper provides information about the possibility of using xylotrophic basidiomycetes for degradation and transformation of vegetable wastes. The destructive capacity of fungi to vegetable wastes is largely determined by the activity of lytic exoenzymes. The cellulase activity of basidiomycetes, which are able to grow on lignocelluloses-containing vegetable materials (sunflower husk and barley straw) was researched. The active cultures of fungi produced extracellular cellulase were found.

Key words: xylotrophic basidiomycetes, vegetable wastes, destructive activity, extracellular cellulase, fungal producers.

УДК 631.414 : 631.413.42

© Д. В. Сыщиков, И. В. Агурова

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ КИСЛОТНОСТИ ПОЧВ
В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ПРЕССИНГА**

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. Особенности формирования потенциальной кислотности почв в условиях антропогенного прессинга. – Значения обменной и гидролитической кислотности на всех изученных участках выше по сравнению с аналогичными генетическими горизонтами контрольного участка, что связано с увеличением роли ионов водорода и алюминия в почвенно-поглощающем комплексе и негативных процессах, происходящих в почвенно-поглощающих комплексах эдафотопов индустриоземов и техногенных экотопов. Существенных сезонных изменений, варьирования по участкам, горизонтам для значений обменной и гидролитической кислотности не было зафиксировано.

Ключевые слова: обменная кислотность, гидролитическая кислотность, мониторинговый участок, фиторекультивация, почвенно-поглощающий комплекс.

Введение

Высокий уровень антропогенной нагрузки на растительный и почвенный покров на современном этапе развития цивилизации приводит к существенному развитию деградационных процессов, которые затрагивают все большие территории, приводя к коренным изменениям как на уровне популяций и фитоценозов, так и на уровне почв. Техногенное воздействие замедляет развитие и дальнейшее формирование почвенного покрова, в связи с чем в условиях техногенеза мы часто имеем дело с неразвитым почвенным покровом, в котором нарушены все его основные функции.

Изучение почв техногенных ландшафтов, а именно механизмов их функционирования и путей эволюции становятся предметом пристального внимания ученых-почвоведов. Придерживаясь профильно-генетической классификации почв техногенных ландшафтов [3] рассматриваем техногенный ландшафт как своего рода эоклин, внедренный в естественные ландшафты. Техногенный ландшафт, в отличие от естественных аналогов, сформированных под действием всех факторов географической среды, характеризуется предельной степенью нарушения взаимосвязи всех составных элементов. В ряде случаев эти взаимосвязи настолько нарушены, что почвы техногенных экотопов можно рассматривать как особую категорию почв, которая лишь весьма поверхностно может напоминать настоящие почвы, как по формированию почвенного горизонта, ряду физических и химических свойств, так и по содержанию жизненно необходимых для произрастания растений элементов и по уровню поглотительной способности. Фиторекультивация может стать тем механизмом, который позволит приблизить условия почв техногенных экотопов к условиям естественных ландшафтов.

Одним из главнейших свойств почвы является ее поглотительная способность. Твердая фаза почвы, способная к реакциям ионного обмена и представляющая совокупность различных коллоидов и тонкодисперсных веществ, представляет собой почвенно-поглощающий комплекс (ППК). Благодаря изучению поглотительной способности почв в индустриоземах и техноземах можно делать выводы относительно сформированности почвенного покрова на территории тех или иных экотопов [1, 5]. Обменная и гидролитическая кислотность, объединенные в понятие «потенциальная» кислотность, могут дать представление не только о возможности произрастания растений, но и о степени сформированности почвы.

В связи с вышесказанным, целью проведенных исследований было изучение потенциальной кислотности почв антропогенно трансформированных участков.

Материал и методы исследования

При выборе мониторинговых участков для исследования почвенного покрова деградированных экосистем учитывались такие факторы, как распространенность типа нарушения в пределах района исследования, 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 формирование потенциальной кислотности почв в эдафотопях антропогенно трансформированных экосистем был проведен высеv семян *Kitaibelia vitifolia* Willd. и *Onobrychis arenaria* (Kit.) DC. на площади 1 м². Выбор данных видов обусловлен их адаптивными возможностями в условиях техногенно нарушенной среды.

Мониторинговый участок № 6. Территория, прилегающая к южной части отвала шахты № 12 «Наклонная» (Пролетарский район, г. Донецк). Общее проективное покрытие 95–100%. Доминируют *Elytrigia repens* (L.) Nevski и растущий группами *Vicia cracca* L. Рассеянно встречаются *Artemisia absinthium* L., *Verbascum lychnitis* L., *Achillea pannonica* Scheele, *Euphorbia virgata* Waldst. & Kit. Единично растут *Linaria vulgaris* L. и *Pilosella echinoides* (Lumn.) F. Schult. & Sch. Bip.

Разрез № 6. Чернозем обыкновенный средне гумусированный.

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

Bh – 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). Растительный покров с высокой мозаичностью, имеются пятна как сорно-рудеральных видов, так и видов степного ценоэлемента. ОПП (за вычетом поверхности крупнообломочного камня) 70–80%. Наибольшее распространение среди травянистых растений получили такие виды как: *Echium vulgare* L., *Sideritis montana* L., *Stachys transsilvanica* Schur, *Anisantha tectorum* (L.) Nevski, *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Poa compressa* L., *P. bulbosa* L., *P. angustifolia* L., *Galium humifusum* M. Bieb., *Daucus carota* L., *A. pannonica*, *A. absinthium*, *A. austriaca* Jacq., *Centaurea diffusa* Lam., *Senecio jacobaea* L., *S. vernalis* Waldst. & Kit., *Linaria maeotica* Klokov, *E. repens*, *V. lychnitis*, *Cirsium acanthoides* L., *C. setosum* (Willd.) Besser, *Chondrilla juncea* L., *Lactuca tatarica* (L.) C. A. Mey, *Picris hieracioides* L., *Taraxacum officinale* Wigg., *Convolvulus arvensis* L., *Reseda lutea* L., *E. virgata*, *Berteroa incana* (L.) DC., *Hieracium virosum* Pall., *Melandrium album* (Mill.) Garcke, *Tragopogon dasyrhynchus* Artemcz., *Falcaria vulgaris* Bernh., *Phalacrolooma annuum* (L.) Dumort s.l., *Ambrosia artemisiifolia* L., *Medicago romanica* Prodán, *Tanacetum vulgare* L., *Tussilago farfara* L., *Hyoscyamus niger* L., *Oberna behen* (L.) Ikonn., *Camelina microcarpa* Andr.

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

А – 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). Каменность – 5%.

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

Почвообразование по дерновому типу (выражен дерновый гумусоаккумулятивный процесс).

Мониторинговый участок № 7. Склон отвала шахты № 12 «Наклонная» восточной экспозиции (Пролетарский район, г. Донецк). Моновидовая группировка *Oberna behen* (L.) Ikonn. Общее проективное покрытие 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 № 11. Индустриозем (балка Богодуховская, Буденновский район, г. Донецк). Имеются разреженные древесные растения различного возраста на площадке над склоном: *Padellus mahaleb* (L.) Vassilcz., *Elaeagnus angustifolia* L., *F. pennsylvanica*, *A. negundo*. На выположенных участках в травянистом покрове доминируют *E. repens* и *P. angustifolia*, а на склонах *Marrubium praecox* Janka, *C. diffusa*, *Salvia tesquicola* Klokov & Pobed. Также представлены *Festuca valesiaca* Gaudin, *Diplotaxis tenuifolia* (L.) DC., *B. incana*, *Artemisia austriaca* Jacq., *A. absinthium*, *Carduus acanthoides* L., *A. artemisiifolia*, *E. vulgare*, *A. panonica*, *E. virgata*, *S. transsilvanica*, *M. romanica*, *G. humifusum*, *L. vulgaris*, *Melilotus officinalis* (L.) Pall., *Securigera varia* (L.) Lassen, *Senecio vernalis* Waldst. & Kit., *Rumex crispus* L., *R. lutea* и *Melica transsilvanica* Schur. Общее проективное покрытие 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 составляет 20%. Единичные корни. Прослежен до глубины 70 см.

Мониторинговый участок № 12. Культурозем Донецкого ботанического сада (Калининский район, г. Донецк). Участок под паром. Растительный покров отсутствует.

Разрез № 12. Чернозем обыкновенный мало гумусированный.

Ап – 0–38 см. Свежий, коричнево-бурый однородный, легкосуглинистый, мелкозернистый, умеренно плотный. Новообразований и включений не отмечено. Переход в горизонт Bh постепенный по цвету и структуре.

Bh – 38–61 см. Свежий, светло-коричневый, однородный, легкосуглинистый, среднезернистый, умеренно плотный. Новообразований и включений не отмечено. Переход в горизонт В резкий по цвету и структуре.

В – 61–97 см. Суховатый, светло-каштановый, однородный, суглинистый, пластинчатый, умеренно плотный. Новообразований и включений не отмечено. Переход в горизонт С языковатый по цвету.

С – глубже 97 см. Суховатый, коричневато-оранжевый, однородный, суглинистый, пластинчатый, плотный. Новообразований и включений не отмечено.

Описание почвенных разрезов проводили согласно общепринятых методик [6, 10]. Отбор почвенных образцов проводили по почвенным горизонтам [7].

Определение потенциальной кислотности, суммы обменных оснований и степени засоления проводили общепринятыми методами [2, 8].

Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась по общепринятым методам параметрической статистики на 95% уровне значимости по Б. А. Доспехову и Ю. Г. Приседскому [4, 9].

Результаты и обсуждение

Известно, что в зависимости от места нахождения катионов водорода и алюминия кислотность почвы делится на актуальную (активную) кислотность почвенного раствора и потенциальную (скрытую) кислотность твердой фазы почвы, которая, в свою очередь, подразделяется на обменную и гидролитическую [5].

Потенциальная кислотность – это количество обменных ионов H^+ и Al^{3+} в составе ППК, выражаемое в миллиграмм-эквивалентах на 100 граммов почвы (мг-экв/100 г). Обменная кислотность проявляется при взаимодействии с почвой нейтральных солей. Обычно для ее определения используют раствор KCl. Образующаяся в растворе кислота оттитровывается щелочью, а сама кислотность выражается в мг-экв на 100 г почвы. При определении обменной кислотности учитываются катионы H^+ , находящиеся в почвенном растворе, т. е. в величину обменной кислотности входит и актуальная кислотность. Обменная кислотность может переходить в актуальную, ухудшая условия развития растений. Обменная кислотность характерна для подзолистых, дерново-подзолистых, красноземов, а также почв северной части черноземной зоны (серые лесные, выщелоченные черноземы) [1].

Результаты изучения обменной кислотности почв мониторинговых участков приведены в табл. 1. Наименьшие значения обменной кислотности, а значит и наиболее благоприятные условия для произрастания растений, в сравнении с контролем весной, нами были зафиксированы на мониторинговом участке № 12 (превышение показателя обменной кислотности по сравнению с контролем составляло 1,3–1,6 раза). Значения обменной кислотности на контрольном участке минимальны, что согласуется с литературными данными по изучению различных видов кислотности. Для некоторых почв с щелочной реакцией среды обменная кислотность может и вовсе отсутствовать.

Наиболее существенное увеличение значений обменной кислотности характерно для участка № 7 (отвал угольной шахты), где превышение этого показателя составляло 14,2 раза и 10,5 раз (для гумусо-аккумулятивного и нижележащего горизонта эдафотоп соответственно), что является негативным фактором для развития почвообразовательного процесса почв отвалов и в дальнейшем – для роста растений и формирования устойчивого растительного покрова. Превышение значений обменной кислотности для гумусо-аккумулятивного горизонта и горизонта С в 7,5 раз и 4 раза соответственно были получены в результате проведенных исследований участка № 2; в 5,7 раз и 4,5 раз превысили значения обменной кислотности контрольного участка показатели обменной кислотности индустриоземов участка № 11. В данном случае это может быть оценено как негативный фактор, который лимитирует скорость почвообразовательного процесса на мониторинговых участках.

Летом и осенью нами не зафиксировано достоверных различий между значениями обменной кислотности в весенний период исследований, что дает основание сделать вывод о стабильности данного признака, который является устойчивым к действию внешних условий. Если же говорить о разнице между показателем обменной кислотности различных участков, то в данном случае можно говорить о разной степени сформированности растительного покрова, различной скорости развития почвенного профиля и других факторов, которые и будут определяющими в формировании поглотительной способности.

Поглотительную способность почв можно сравнить с индикатором почвообразовательного процесса, который происходит в течение десятков лет, поэтому на него не могут действовать сезонные флуктуации (а если и действуют, то в незначительной степени, а потом возвращаются к исходным показателям). Посадки растений в незначительной степени повлияли на изменение обменной кислотности, для фиксации более существенных изменений должно пройти значительное время.

Таблица 1

Обменная кислотность (мг-экв/100 г почвы) в почвах мониторинговых участков

Участок, горизонт	Весна				Лето				Осень			
	Нерекультивируемые		Рекультивируемые		Нерекультивируемые		Рекультивируемые		Нерекультивируемые		Рекультивируемые	
	М ± m	%	М ± m	%	М ± m	%	М ± m	%	М ± m	%	М ± m	%
№ 2 Аэ	0,07±0,003*	700,0	0,075±0,003*	750,0	0,068±0,003*	680,0	0,074±0,002*	740,0	0,07±0,002*	700,0	0,076±0,003*	760,0
№ 2 Сэ	0,09±0,003*	450,0	0,081±0,003*	405,0	0,087±0,003*	435,0	0,079±0,003*	395,0	0,091±0,003*	455,0	0,083±0,003*	415,0
№ 2 Ак	0,07±0,003*	700,0	0,074±0,002*	740,0	0,068±0,003*	680,0	0,073±0,002*	730,0	0,07±0,002*	700,0	0,075±0,002*	750,0
№ 2 Ск	0,09±0,003*	450,0	0,086±0,002*	430,0	0,087±0,003*	435,0	0,084±0,002*	420,0	0,091±0,003*	455,0	0,088±0,002*	440,0
№ 7 Аэ	1,49±0,008*	14900,0	1,42±0,006*	14200,0	1,42±0,007*	14200,0	1,38±0,006*	13800,0	1,51±0,006*	15100,0	1,43±0,008*	14300,0
№ 7 Сэ	2,15±0,009*	10750,0	2,11±0,007*	10550,8	2,09±0,006*	10450,0	2,07±0,007*	10350,0	2,18±0,01*	10900,0	2,14±0,009*	10700,0
№ 11 А	0,062±0,004*	620,0	0,057±0,003*	570,0	0,061±0,003*	610,0	0,055±0,002*	550,0	0,063±0,004*	630,0	0,059±0,004*	590,0
№ 11 С	0,084±0,005*	420,0	0,09±0,006*	551,0	0,082±0,005*	410,0	0,089±0,006*	445,0	0,086±0,006*	430,0	0,092±0,008*	460,0
№ 12 Аэ	0,014±0,003*	140,0	0,016±0,003*	160,0	0,012±0,006	120,0	0,015±0,003*	150,0	0,015±0,005	150,0	0,016±0,003*	160,0
№ 12 Сэ	0,025±0,009	125,0	0,027±0,004*	135,0	0,023±0,008	115,0	0,026±0,004	130,0	0,026±0,007	130,0	0,027±0,004*	135,0
№ 12 Ак	0,014±0,003*	140,0	0,015±0,002*	150,0	0,012±0,006	120,0	0,014±0,002*	140,0	0,015±0,005	150,0	0,015±0,002*	150,0
№ 12 Ск	0,025±0,009	125,0	0,026±0,003*	130,0	0,023±0,008	115,0	0,024±0,003	120,0	0,026±0,007	130,0	0,026±0,003*	130,0
№ 6 А	0,01±0,0002				0,01±0,0002				0,01±0,0002			
№ 6 С	0,02±0,0004				0,02±0,0002				0,02±0,0002			

Примечание. Здесь и в табл. 2: э – посадки эспарцета песчаного, к – посадки китайбелии виноградолистной, % – процент превышения значений по отношению к контрольному участку № 6, * – различия статистически достоверны при $p < 0,05$.

Таблица 2

Гидролитическая кислотность (мг-экв/100 г почвы) в почвах мониторинговых участков

Участок, горизонт	Весна				Лето				Осень			
	Нерекультивируемые		Рекультивируемые		Нерекультивируемые		Рекультивируемые		Нерекультивируемые		Рекультивируемые	
	М ± m	%	М ± m	%	М ± m	%	М ± m	%	М ± m	%	М ± m	%
№ 2 Аэ	2,13±0,07*	247,7	2,07±0,13*	241,4	2,06±0,09*	245,2	2,12±0,11*	252,4	2,09±0,08*	245,9	2,14±0,12*	251,8
№ 2 Сэ	1,48±0,13*	462,5	1,42±0,14*	436,4	1,53±0,05*	413,5	1,48±0,09*	400,0	1,51±0,05*	457,6	1,42±0,17*	430,3
№ 2 Ак	2,13±0,07*	247,7	1,95±0,09*	227,6	2,06±0,09*	245,2	1,94±0,06*	231,0	2,09±0,08*	245,9	1,98±0,09*	232,9
№ 2 Ск	1,48±0,03*	462,5	1,42±0,26*	436,4	1,53±0,05*	413,5	1,47±0,14*	397,3	1,51±0,05*	457,6	1,43±0,13*	433,3
№ 7 Аэ	10,92±0,09*	1269,8	10,77±0,06*	1258,6	10,87±0,11*	1294,0	10,65±0,12*	1267,9	10,94±0,13*	1287,1	10,79±0,16*	1269,4
№ 7 Сэ	11,87±0,15*	3709,4	11,54±0,13*	3554,5	11,63±0,17*	3143,2	11,58±0,11*	3129,7	11,75±0,16*	3560,6	11,62±0,14*	3521,2
№ 11 А	1,45±0,19*	169,0	1,36±0,13*	158,6	1,57±0,14*	186,9	1,41±0,1*	167,9	1,49±0,12*	175,3	1,52±0,08*	178,8
№ 11 С	0,59±0,03*	181,8	0,53±0,06*	163,6	0,62±0,06*	167,6	0,58±0,09*	156,8	0,61±0,05*	184,8	0,63±0,07*	190,9
№ 12 Аэ	1,68±0,09*	195,3	1,62±0,08*	189,7	1,73±0,08*	206,0	1,65±0,12*	196,4	1,71±0,07*	201,2	1,68±0,06*	197,6
№ 12 Сэ	0,63±0,04*	196,9	0,62±0,05*	190,9	0,65±0,04*	175,7	0,67±0,06*	181,1	0,66±0,05*	200,0	0,69±0,08*	209,1
№ 12 Ак	1,68±0,09*	195,3	1,83±0,12*	213,8	1,73±0,08*	206,0	1,71±0,14*	196,4	1,71±0,07*	201,2	1,73±0,12*	203,5
№ 12 Ск	0,63±0,04*	196,9	0,69±0,04*	213,6	0,65±0,04*	175,7	0,68±0,05*	181,1	0,66±0,05*	200,0	0,64±0,06*	193,9
№ 6 А	0,86±0,03				0,84±0,03				0,85±0,04			
№ 6 С	0,32±0,02				0,37±0,02				0,33±0,03			

Гидролитическая кислотность определяется как общая кислотность почвы, включающая в себя актуальную, обменную и «собственно» гидролитическую. В отсутствие актуальной и обменной видов «собственно» гидролитическая кислотность не вредна для растений и микроорганизмов. При обработке почвы раствором нейтральной соли выявляется не вся потенциальная кислотность. Более полно ионы водорода из ППК можно вытеснить раствором гидролитически щелочной соли, например, уксуснокислого натрия (CH_3COONa) [5].

Результаты изучения гидролитической кислотности приведены в табл. 2. Собственно гидролитическая кислотность характеризуется слабой подвижностью и в отсутствие актуальной и обменной форм (например, в черноземах) не оказывает вредного влияния на растения. Во всех изученных эдафотопов этот вид кислотности был выше, чем обменная. Весной на рекультивированных участках наибольшие показатели гидролитической кислотности были зафиксированы в техноземах отвала угольной шахты (превышение по сравнению с контролем составляло 13–36 раз). Наименьшие изменения коснулись индустриоземов и культуроземов, где превышение по сравнению с контролем составляло 158,6–163,6% на участке № 11 и 189,7–213,6% на участке № 12. Более чем в 2 раза для гумусо-аккумулятивного горизонта и более чем в 4 раза для нижележащих горизонтов возросли значения обменной кислотности на участке № 2. Если говорить о сезонной динамике, то изменения в течение сезонов были ничтожно малы, разница относительно контроля сохранялась, что говорит о стабильности данного признака и отсутствии кардинальных изменений в течение вегетационного сезона.

По проведенным исследованиям установлено, что рекультивация не оказывает достоверно существенного влияния на гидролитическую кислотность эдафотопов мониторинговых участков. Так, показатели гидролитической кислотности рекультивированных и нереккультивированных эдафотопов не отличаются между собой в тот или иной период исследований.

Выводы

По результатам проведенных исследований установлено, что значения обменной и гидролитической кислотности на всех мониторинговых участках выше по сравнению с аналогичными генетическими горизонтами контрольного участка, что связано с увеличением роли ионов водорода и алюминия в почвенно-поглощающем комплексе и негативных процессах, происходящих в почвенно-поглощающем комплексе эдафотопов индустриоземов и техногенных экотопов. Наименьшие значения обменной кислотности, а значит и наиболее благоприятные условия для произрастания растений, в сравнении с контролем весной, нами были зафиксированы на мониторинговом участке № 12 (превышение показателя обменной кислотности по сравнению с контролем составляло 1,3–1,6 раза). Значения обменной кислотности на контрольном участке минимальны, что согласуется с литературными данными по изучению различных видов кислотности. Весной на рекультивированных участках наибольшие показатели гидролитической кислотности были зафиксированы в техноземах отвала угольной шахты (превышение по сравнению с контролем составляло 13–36 раз). Наименьшие изменения коснулись индустриоземов и культуроземов, где превышение по сравнению с контролем составляло 158,6–163,6% на участке № 11 и 189,7–213,6% на участке № 12.

Существенных сезонных изменений, варьирования по участкам, горизонтам и изменения значений обменной и гидролитической кислотности нами не зафиксировано. Все признаки, связанные с изменениями в почвенно-поглощающем комплексе, – стабильные признаки, для которых нехарактерны значительные сезонные колебания. Подбирая и высаживая растения на территории техногенно нарушенных земель, возможно постепенно обогащать почвы и субстраты необходимыми для самой почвы обменными основаниями, снижать кислотность, а значит регулировать и направлять почвообразовательный процесс к увеличению поглотительной способности.

Список литературы

1. Агрохимия / Под ред. П. М. Смирнова, Э. А. Муравина. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Колос, 1984. 304 с.
2. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М. : Изд-во МГУ, 1970. 487 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. Куликов Я. К. Почвенные ресурсы : уч. пос. Минск : Высш. шк., 2012. 409 с.
6. Методические рекомендации по морфологическому описанию почв / Сост. А. Г. Дюкарев, Н. Н. Пологова, Л. И. Герасько. Томск : Изд-во СО РАН, 1999. 39 с.
7. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под. ред. Д. Г. Звягинцева. М. : Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
8. Практикум по агрохимии / Под ред. В. Г. Минеева. М. : Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
9. Приседський Ю. Г. Статистична обробка результатів біологічних експериментів : навч. пос. Донецьк : Касіопія, 1999. 210 с.
10. Розанов Б. Г. Морфология почв. М. : МГУ, 1983. 320 с.

Syshchykov D. V., Agurova I. V. Features of the potential soil acidity formation under anthropogenic pressure. – The indexes of exchangeable and hydrolytic acidity in all studies sites are higher compared to similar genetic horizons of the control area, which is associated with an increase in the role of hydrogen and aluminum ions in the soil-absorbing complex and negative processes occurring in the soil-absorbing complexes of edaphotopes of industrial soils and technogenic ecotopes. No significant seasonal changes and variations across sites, horizons for the values of exchangeable and hydrolytic acidity were recorded.

Key words: exchangeable acidity, hydrolytic acidity, monitoring site, phytorecultivation, soil-absorbing complex.

УДК 582.296.32 : 632.15 (477)

© С. Д. Трискиба¹, И. И. Полохина²**МАКРОМИЦЕТЫ БАЙРАЧНОГО ЛЕСА БАЛКИ ГРУШЕВАЯ В ОКРЕСТНОСТЯХ
Г. СНЕЖНОЕ**¹ГУ «Донецкий ботанический сад»; 283059, г. Донецк, пр. Ильича, 110²ГО ВПО «Донецкий национальный университет»

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

Трискиба С. Д., Полохина И. И. Макромицеты байрачного леса балки Грушевая в окрестностях г. Снежное. – Рассмотрена уникальность байрачных лесов степной зоны, важность роли макромицетов в функционировании экосистем. Проведена первичная инвентаризация макромицетов байрачного леса балки Грушевая в окр. г. Снежное.

Ключевые слова: байрачный лес, экосистема, макромицеты, инвентаризация.

Введение

Настоящая работа является этапом исследования видового состава макромицетов байрачных дубрав Донбасса и инвентаризации макромицетов этого региона в целом.

Байрачные леса – это микроландшафты с интразональным типом растительности, приуроченные к лесостепным и степным районам Восточно-Европейской равнины, в случае Донбасса – Донецкого кряжа [1]. Значительная часть байрачных лесов уничтожена в XIX–XX вв. во время освоения земель. Характерным элементом ландшафтов степи и лесостепи являются байрачные леса, приуроченные преимущественно к эродированным плакорным местообитаниям. Байрачные леса представляют чрезвычайно большой интерес с теоретической и практической точек зрения. Являясь самыми «степными» лесами, они могут служить хорошим объектом для изучения взаимоотношений леса и степи. Изучение байрачных лесов органически связано с такой важной проблемой как борьба с эрозией почв. А. Л. Бельгард [1] составил подробное описание этих лесов для юго-востока Украины.

Байрачные леса приурочены к оврагам и балкам. Обычно они занимают склоны и тальвеги. Иногда лесная растительность выходит на водораздел. Разнообразие геоморфологических, микроклиматических, гидрологических и петрографических условий порождает в балках значительную пестроту почвенно-грунтовых условий и растительности. В пределах облесенной балки (байрака) расположены различные типы растительности: степной, лесной, луговой, болотной, солончаковой [1].

Однако необходимо признать чрезвычайно высокую степень нарушенности лесного покрова на данной территории, что является результатом хозяйственной деятельности человека. В связи с вышесказанным, стоит необходимость изучения и сохранения байрачных лесов степей Донбасса как эталона ненарушенных почв.

Байрачные дубравы являются уникальными природными сообществами. Произрастают они в специфических условиях концентрации стока воды, отличаются многопородностью растительного состава, сложностью строения, биологической и экологической устойчивостью.

Одним из факторов формирования биогеоценозов является сообщество макромицетов в качестве обязательного компонента гетеротрофного и сапротрофного блоков всех наземных биогеоценозов, выполняя в них самые разнообразные функции [4, 7].

Грибы выработали разнообразные механизмы адаптации для ассимиляции и сохранения азота при развитии в почве и других компонентах наземных экосистем. Большинство из них усваивают разнообразные азотсодержащие соединения, растут в широком диапазоне концентраций азота. Содержание азота в их мицелии может существенно варьировать в зависимости от его наличия в окружающей среде. Многие из них синтезируют ферменты, необходимые для расщепления растительных субстратов, что очень важно при крайне низких концентрациях азота в местообитании. Грибы, благодаря

гифальному строению, а у некоторых групп и ризоморфам, имеют возможность вести широкий поиск азота в почвах и других эконизах и перераспределять его в зоны роста мицелия, репродуктивные органы, и области, где доступного азота недостаточно. Некоторые группы грибов способны к реутилизации азота посредством автолиза части старых гиф и использования собственных азотсодержащих соединений для синтеза новых клеточных структур. В природных местообитаниях широко представлены грибы в ассоциациях с азотфиксирующими микроорганизмами, благодаря чему они могут получать дополнительные источники азота. В случае высокого содержания азота в среде, они способны к образованию в больших количествах белков и хитина, запасанию азота в форме мочевины. При избыточном количестве азота грибы имеют возможность ограничивать его поступление в клетку до определенных пределов, удалять его резервы (мочевину) и другие азотсодержащие соединения во внешнюю среду, а в условиях гипоксии – снижать концентрацию нитритов, восстанавливая их до закиси азота [3].

В почвах и подстилке лесных экосистем количество мицелия грибов – высших базидиомицетов варьирует от 2,35 до 3–6 т/га, а количество биомассы корней растений – до 40 т/га. Поступление органического вещества в почву из мицелия и др. структур грибов составляет 44,4–54,6% от всех поступлений, достигая 14–15% всей органической массы почвы, включая аморфную [10].

Поэтому, немаловажным является оценка роли макромицетов в регуляции экологических систем и поиск на этой основе путей и способов повышения продуктивности и стабильности нарушенных экосистем и агроценозов с использованием грибов-интродуцентов, а также механизмов регуляции, складывающихся на уровне гетеротрофного и сапротрофного блоков биогеоценозов.

В связи с вышесказанным, на фоне усиливающегося процесса оскудения почв и важности их естественного восстановления, возникает необходимость инвентаризации макромицетов.

Материал и методы исследования

Приведены результаты наблюдений, проведенные в разные сезоны 2019–2020 гг., и инвентаризации макромицетов байрачного леса в балке Грушевая, расположенной в бассейне р. Миус, находящейся на территории Первомайской поселковой администрации, административно относящейся к г. Снежное.

Использованы маршрутный и стационарный методы, сбор материала проводился по апробированной методике [2]. Данные полевых обследований указанной территории, а также определение видов осуществлялось при камеральных исследованиях [3, 5, 8, 12].

Исследуемый участок имеет следующие геоботанические характеристики.

Согласно режима водохозяйственной эксплуатации на дне балки Грушевая находится водоем: длина – 0,506 км, максимальная ширина – 0,220 км, площадь водного зеркала – 4,2 га, объем – 146,77 тыс. м³.

Исследуемая балка является типичным представителем байрачных лесов Донбасса. Описываемая территория относится к Приазовско-Черноморской степной подпровинции, что соответствует Черноморско-Азовской подпровинции Е. М. Лавренко [11], а именно к Первомайско-Тельмановскому геоботаническому району. Она характеризуется распространением на плакорах разнотравно-типчачово-ковыльной степи. Ценотипичными тут являются ковыль Лессинга (*Stipa lessingiana* Trin. et Rupe), ковыль украинский (*Stipa ucrainica*) [8], а также типчак (*Festuca valesiaca*). Эта местность прорезана долинами рек Кальмиус, Нагольной и множеством балок и яров. Долины рек узкие, на склонах – частые выходы третичных известняков.

По почвенному и растительному покрову балка Грушевая относится к южной черноземной степной зоне. В балке Грушевой почвообразующей породой являются карбонатные тяжелосуглинистые лёссы (рис. 1), тут преобладают черноземы малогумусные. Данная подзона характеризуется слабоконтинентальным климатом. Зимы тут относительно

короткие и теплые, малоснежные, лето долгое и жаркое, осень и весна сухие, часто бывают засухи [1].



Рис. 1. Карбонатные оголения балки Грушевая

В прошлом, в доагрикультурное время, на водораздельных пространствах преобладали разнотравно-типчаково-ковыльные степи и байрачные лески были характерными ландшафтами данного района.

Рельеф глубоковолнистый с широкими плато и долгими пологими склонами. Сильно развиты эрозийные процессы.

В почвенном покрове на плакорах преобладают черноземы на лёссовых отложениях. Правый берег балки крутой. Наблюдается выход коренных пород – сланцев.

Тут на известняках распространены древесно-кустарниковые заросли, приуроченные к углублениям между скалами, куда стекает дождевая вода, обеспечивая достаточное увлажнение. В таких местах растут яблоня ранняя лесная (*Malus sylvestris* L.), груша обыкновенная (*Pyrus communis* L.), боярышник обыкновенный (*Crataegus laevigata* L.), терн степной (*Prunus stepposa* L.), жостер слабительный (*Rhamnus cathartica* L.).

Кроме того, основные породы – дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) и ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior* L.), клен полевой (*Acer campestre* L.) или паклен, груша обыкновенная (*Pyrus communis* L.), естественно возобновляются [9].

Стоит отметить и тот факт, что сохранились участки с типичной лесной структурой, т. е. верхний ярус составляют дуб, ясень, паклен, вяз, а кустарниковый подлесок представлен чернокленом (*Acer tataricum* L.), бузиной черной (*Sambucus nigra* L.), боярышником (*Crataegus monogina* Jack.), свидиной (*Swida sanguinea* L. Fourr.) и др. Реже встречается вяз пробковый (*Ulmus suberosa* L.), осина (*Populus tremula* L.) [9].

В прошлом, на плакорных участках были распространены разнотравно-типчаково-ковыльные степи. Наибольшее распространение получили ковыль волосистый (*Stipa capillata* L.), люцерна румынская (*Medicago romanica* L.), щавель туполистный (*Rumex obtusifolius* L.). В настоящее время участки целинной степи сохранились лишь на склонах и находятся в деградированном состоянии. Леса представляют собой берестово-ясеньевые и берестово-чернокленовые дубравы (дубняки) [9] (рис. 2).

На этой территории часто встречаются каменные скалы, некоторые до 100 м, покрытые накипными лишайниками и мхами.



Рис. 2. Общий вид водоема балки Грушевая с берегами, поросшими дубом

Результаты и обсуждение

В период 2019–2020 гг. в разные сезоны года проводились работы по инвентаризации макромицетов байрачного леса в балке Грушевая в окр. г. Снежное. За этот период были собраны и идентифицированы представленные ниже виды макромицетов. Условно лес был разделен на зоны-биотопы [12], к которым и были привязаны найденные виды макромицетов. Учитывалась также принадлежность их к экологическим группам [11].

I. Смешанный лес

Представлен дикими грушей и яблоней, кленом ясенелистым, редкими дубами и боярышником, 3–20 м над уровнем водоема.

1. Зонтик пёстрый – *Macrolepiota procera* (Fr.) Sing

Семейство Agaricaceae Cohn. – Шампиньоновые

Экологическая группа: гумусовый сапротроф. Произрастает одиночно и маленькими группами. Созологическая характеристика: обычный. Тип ареала: космополитный.

2. Шампиньон лесной – *Agaricus silvaticus* Schaeff.

Семейство Agaricaceae Cohn. – Шампиньоновые

Экологическая группа: гумусовый сапротроф. Произрастает одиночно и маленькими группами. Созологическая характеристика: обычный. Тип ареала: космополитный.

3. Лепиота гребенчатая – *Lepiota cristata* (Alb. et Schwein.) P. Kumm.

Семейство Agaricaceae Cohn. – Шампиньоновые

Экологическая группа: гумусовый сапротроф. Произрастает небольшими группами, неравномерно. Созологическая характеристика: обычный. Тип ареала: космополитный.

4. Печеночница обыкновенная – *Fistulina hepatica* (Schaeff.) Sibth. (рис. 3).



Рис. 3. Дереворазрушающий гриб печеночница обыкновенная (*Fistulina hepatica*)

Семейство: Fistulinaceae Lotsy – Фистулиновые или Печёночникицевые

Экологическая группа: ксилотроф. Произрастает очень рассеянно. Созологическая характеристика: обычный. Тип ареала: евразийско-американский.

5. Трутовик настоящий – *Fomes fomentarius* (L.) Fr.

Семейство: Polyporaceae – Полипоровые

Экологическая группа: ксилотроф. Произрастает одиночно и группами. Созологическая характеристика: обычный. Тип ареала: бореальный, космополитный.

6. Иудино ухо – *Auricularia auricular-judae* (Bull.) J.

Семейство: Auriculariaceae Bull. – Аурикуляриевые

Экологическая группа: ксилотроф, произрастает небольшими группами, обычный. Созологическая характеристика: обычный. Тип ареала: эвриголарктичный, евразийско-американский.

7. Экси́дия желе́зистая – *Exidia glandulosa* (Bull.) Fr.

Семейство: Exidiaceae – Экси́диевые

Экологическая группа: ксилотроф. Произрастает неравномерно, рассеянно. Созологическая характеристика: обычный. Тип ареала: неморальный, евразийско-американский.

8. Энтолома весенняя – *Entoloma cucullatum* (J. Favre) Bon & Courtec.

Семейство: Entolomataceae – Энтоломовые

Экологическая группа: гумусовый сапротроф. Произрастает очень рассеянно. Созологическая характеристика: обычный. Тип ареала: евразийско-американский.

9. Трутовик серно-желтый – *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill (рис. 4)



Рис. 4. Дереворазрушающий гриб трутовик серно-желтый (*Laetiporus sulphureus*)

Семейство: Fomitopsidaceae – Фомитопсисовые

Экологическая группа: ксилотроф. Произрастает большими группами. Созологическая характеристика: обычный. Тип ареала: мультирегиональный, космополитный.

9. Вешенка обыкновенная – *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm.

Семейство: Pleurotaceae – Вешенковые

Экологическая группа: ксилотроф. Произрастает большими группами. Созологическая характеристика: обычный. Тип ареала: мультирегиональный, космополитный.

10. Опёнок настоящий – *Armillaria mellea* (Vahl) P. Kumm.

Семейство: Physalacriaceae – Физалакриевые (бывш. семейство Tricholomaceae – Рядовковые)

Экологическая группа: ксилотроф. Произрастает небольшими группами, рассеянно. Созологическая характеристика: обычный. Тип ареала: эвриголарктичный, космополитный.

11. Ксилярия многообразная – *Xylaria polymorpha* (Pers.) Grev.

Семейство: Xylariaceae – Ксиляриевые

Экологическая группа: ксилотроф. Произрастает небольшими группами, рассеянно.

Созологическая характеристика: обычный. Тип ареала: евразийско-американско-африканский.

II. Дубовые леса: дубравы верхнего яруса

Представлены дубами 20–40 лет, 20–80 м над уровнем водоема.

1. Моховик каштановый – *Xerocomus spadiceus* (Fr.) Quel.

Семейство: Boletaceae – Болетовые

Экологическая группа: микоризный симбиотроф дуба. Произрастает небольшими группами, рассеянно, неравномерно. Созологическая характеристика: обычный. Тип ареала: мультирегиональный, космополитный.

2. Моховик зеленый – *Xerocomus subtomentosus* (L.) Quel.

Семейство: Boletaceae – Болетовые

Экологическая группа: микоризный симбиотроф дуба. Произрастает небольшими группами, рассеянно, неравномерно. Созологическая характеристика: обычный. Тип ареала: мультирегиональный, космополитный.

3. Полипорус зимний – *Polyporus brumalis* Batsch.: Fr.

Семейство: Polyporaceae – Полипоровые

Экологическая группа: ксилотроф. Произрастает небольшими группами, очень рассеянно, неравномерно. Созологическая характеристика: редкий для региона. Тип ареала: неморальный, евразийский.

4. Полипорус ячеистый – *Neofavolus alveolaris* Sotome & T. Hatt

Семейство: Polyporaceae – Полипоровые

Экологическая группа: ксилотроф. Произрастает небольшими группами, очень рассеянно, неравномерно. Созологическая характеристика: редкий для региона. Тип ареала: неморальный, космополитный.

5. Дубовая губка – *Daedalea quercina* (L.) Pers.

Семейство: Coriolaceae – Кориоловые

Экологическая группа: ксилотроф. Произрастает одиночно и группами. Созологическая характеристика: обычный. Тип ареала: неморальный, космополитный.

6. Печеночница обыкновенная – *Fistulina hepatica* (Schaeff.) Sibth.

Семейство: Fistulinaceae – Фистулиновые

Экологическая группа: ксилотроф. Произрастает очень рассеянно. Созологическая характеристика: обычный. Тип ареала: евразийско-американский.

7. Сморчок конический – *Morchella conica* Pers.

Семейство: Morchellaceae – Сморчковые

Экологическая группа: гумусный сапротроф. Произрастает небольшими группами и одиночно. Созологическая характеристика: обычный. Тип ареала: евразийско-американский.

8. Сморчок обыкновенный – *Morchella esculenta* (L.) Pers.

Семейство: Morchellaceae – Сморчковые

Экологическая группа: гумусный сапротроф. Произрастает небольшими группами и одиночно. Созологическая характеристика: обычный. Тип ареала: евразийско-американский.

9. Шапочка сморчковая – *Verpa bohemica* (Krombh.) Schroet.

Семейство: Morchellaceae – Сморчковые

Экологическая группа: гумусный сапротроф. Произрастает небольшими группами и одиночно. Созологическая характеристика: обычный. Тип ареала: евразийско-американский.

10. Трутовик серно-жёлтый – *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill

Семейство: Fomitopsidaceae – Фомитопсисовые

Экологическая группа: ксилотроф. Произрастает большими группами. Созологическая характеристика: обычный. Тип ареала: мультирегиональный, космополитный.

III. Участки леса, примыкающие к водоему

0–5 м от уровня водоема, затапливаемый при паводках.

1. Ксилария многообразная – *Xylaria polymorpha* (Pers.) Grev.

Семейство: Xylariaceae – Ксилариевые

Экологическая группа: ксилотроф. Произрастает небольшими группами, рассеянно.

Созологическая характеристика: обычный. Тип ареала: евразийско-американско-африканский.

2. Пилолистник тигровый – *Lentinus tigrinus* (Bull.) Fr.

Семейство: Polyporaceae – Полипоровые

Экологическая группа: ксилотроф. Произрастает небольшими группами. Созологическая характеристика: обычный. Тип ареала: мультирегиональный, космополитный.

3. Чешуйчатка тополевая – *Pholiota populnea* (Pers.) Kuiper et Tjall. – Beuk.

Семейство: Strophariaceae – Строфариевые

Экологическая группа: ксилотроф. Произрастает маленькими группами. Созологическая характеристика: обычный. Тип ареала: неморальный, евразийский.

4. Чешуйчатка чешуйчатовидная – *Pholiota squarrosa* (Oeder) P. Kumm.

Семейство: Strophariaceae – Строфариевые

Экологическая группа: ксилотроф. Произрастает маленькими группами. Созологическая характеристика: обычный. Тип ареала: неморальный, евразийский.

IV. Участки степи, примыкающие к в лесу

Участки степи, биотоп описан выше.

1. Рядовка лиловоногая – *Lepista saevus* (Fr.) Orton

Семейство: Tricholomataceae – Трихоломовые или Рядовковые

Экологическая группа: гумусный сапротроф. Произрастает рассеяно, группами. Созологическая характеристика: обычный. Тип ареала: ксеромеридиональный, евразийский.

2. Смorchок степной – *Morchella steppicola* Zerova

Семейство: Morchellaceae – Смorchковые

Смorchок степной занесен в Красную книгу Украины как вид, становящийся редким с исчезновением типичных биотопов.

Экологическая группа: гумусный сапротроф. Произрастает небольшими группами и одиночно. Созологическая характеристика: занесен в Красную книгу Украины (3 категория). Тип ареала: ксеромеридиональный евразийско-американский [7, 9, 13].

3. Опёнок луговой – *Marasmius oreades* Fr. ex Bolt.

Семейство: Marasmiaceae – Негниючниковые

Экологическая группа: подстилочный сапротроф. Тип ареала: мультирегиональный. Распространен везде, встречается часто.

4. Строфария сенная – *Panaeolina foenisecii* (Persoon) Maire

Семейство: Psathyrellaceae – Псатирелловые

Экологическая группа: ксилотроф. Тип ареала: мультирегиональный, космополитный. Распространен везде, встречается часто.

5. Навозная лысина – *Deconica merdaria* (Fr.) Quel.

Семейство: Strophariaceae – Строфариевые

Экологическая группа: ксилотроф. Тип ареала: мультирегиональный, космополитный. Распространен везде, встречается часто.

6. Шампиньон полевой – *Agaricus arvensis* Schaeff.

Семейство: Agaricaceae – Шампиньоновые

Экологическая группа: гумусовый сапротроф. Произрастает одиночно и маленькими группами. Созологическая характеристика: обычный. Тип ареала: космополитный.

Распределение экологических групп макромицетов по экотопам байрачного леса:

1) смешанный лес: всего 12 видов, из них ксилотрофов – 8, сапротрофов – 4;

2) дубрава верхнего яруса: всего 10 видов, из них микоризообразователей – 2, ксилотрофов – 5, сапротрофов – 3;

3) участки леса, примыкающие к водоему: всего 4 вида, из них ксилотрофов – 4;

4) участки степи, примыкающие к лесу: всего 5 видов, из них сапротрофов – 5.

Выводы

За полевые периоды 2019 и 2020 гг. в различных биотопах байрачного леса балки Грушевая в окр. г. Снежное собран и идентифицирован 31 вид макромицетов, принадлежащих к двум отделам, трем порядкам, одному классу, 18 семействам.

Эти грибы принадлежат к следующим экологическим группам: гумусовые сапротрофы – 13 видов, ксилотрофы – 13, микоризные симбиотрофы дуба – 2 вида. Равное количество гумусовых сапротрофов и ксилотрофов свидетельствует о равновесном взаимодействии степи и леса. Небольшое количество микоризных симбиотрофов дуба, и вообще микофлоры дубовых экотопов, – о слабом развитии дубовой формации данного леса.

Большое видовое и экологическое разнообразие макромицоты данного байрачного леса свидетельствует о нормальном функционировании макробиотического сообщества и биогеоценоза в целом.

Список литературы

1. Бельгард А. Л. Степное лесоведение. М.: Лесн. промышленность, 1971. 336 с.
2. Бондарцев А. С., Зингер Р. А. Руководство по сбору высших базидиальных грибов для научного их изучения. М.–Л. : Изд-во АН СССР, 1950. 73 с.
3. Вассер С. П. Флора грибов Украины. Агариковые грибы / отв. ред. И. А. Дудка. К. : Наук. думка, 1980. С. 292–306.
4. Великанов Л. Л., Сидорова И. И. Регуляция высшими базидиомицетами структуры мико- и микробиоты почв и подстилки лесных экосистем. II. Влияние базидиомицетов на видовое разнообразие почвенных микромицетов // Микол. и фитопатол. 1998. Т. 32, № 1. С. 33–36.
5. Виды грибов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://wikigrib./vidy/>, свободный (дата обращения: 25.02.2021).
6. Виноградов Б. В. Основы ландшафтной экологии. М. : Изд-во Геос, 1998. 418 с.
7. Двуреченский В. Г., Середина В. П. Сравнительная характеристика фракционного и группового состава гумуса в эмбриоземах техногенных ландшафтов горно-таежного пояса Кузбасса // Сибирский экол. журн. 2015. Т. 22, № 6. С. 952–965.
8. Зерова М. Я. Атлас грибов України. К. : Наук. думка, 1974. 252 с.
9. Кондратюк Е. Н., Бурда Р. И., Остапко В. М. Конспект флоры юго-востока Украины. Сосудистые растения. К. : Наук. думка, 1985. 272 с.
10. Красная книга Украины. Растительный мир / отв. ред. Я. П. Дидух. К. : Изд-во «Глобал консалтинг», 2009. 900 с.
11. Лавренко Е. М. Геоботаническое районирование СССР. М.–Л. : Изд-во АН СССР, 1947. 152 с.
12. Лешан Т. А. Екологічні групи макромицетів Сходу України // Матер. 12 з'їзду УБТ. Одеса, 2006. С. 268.
13. Трискиба С. Д., Полохина И. И., Дьяков В. А. Макромицеты нагорных дубрав национального природного парка «Святые горы» // Промышленная ботаника. 2005. Вып. 5. С. 221–227.
14. Трискиба С. Д., Кутковая О. В., Полохина И. И. Редкие и охраняемые виды макромицетов Донецкой области // Матер. 12 з'їзду УБТ. Одеса, 2006. С. 267.

Triskiba S. D., Polokhina I. I. Macromycetes of ravine forests of Grushevaya gully in the vicinity of Snezhnoe. – The uniqueness of ravine forests of steppe zone, the importance of macromycetes role in the functioning of ecosystem have been considered. An initial inventory of macromycetes of ravine forest in the vicinity of Snezhnoe has been carried out.

Key words: ravine forests, ecosystem, macromycetes, inventory.

© О. В. Фрунзе, Е. Ф. Миненко

**ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ ИОНАМИ КОБАЛЬТА И МАРГАНЦА
НА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЙ АППАРАТ ДЕКОРАТИВНЫХ ТРАВЯНИСТЫХ
РАСТЕНИЙ**ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
283050, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: hromyh82@mail.ru

Фрунзе О. В., Миненко Е. Ф. Влияние загрязнения почвы ионами кобальта и марганца на фотосинтетический аппарат декоративных травянистых растений. – Исследовали влияние загрязнения почвы ионами кобальта и марганца на морфометрические показатели и интенсивность фотосинтеза декоративных травянистых растений. Проведенные исследования показали, что изменение интенсивности фотосинтеза зависит как от свойств металла, так и от специфических особенностей растений. Внесение в почву как кобальта, так и марганца оказывает угнетающий эффект на активность фотосинтеза, а также на длину корня и стебля проростков *Agrostemma githago* L. и *Calendula officinalis* L. На фотосинтетическую активность и ростовые показатели проростков *Ageratum houstonianum* cv. *Bule Lagoon* загрязнение почвы кобальтом и марганцем не оказывает негативного влияния, отдельное внесение загрязнителей стимулирует активность фотосинтеза.

Ключевые слова: кобальт, марганец, декоративные травянистые растения, интенсивность фотосинтеза.

Введение

Среди многочисленных экологических факторов нежелательной трансформации окружающей среды особо опасными являются загрязнения почвы промышленными выбросами различных химических веществ [5]. На территории Донбасса расположены металлургические предприятия, которые выбрасывают в окружающую среду многочисленные соединения тяжелых металлов [6].

Нарушение экологического равновесия приводит к обеднению флоры и фауны, влечет за собой необратимые изменения природных ландшафтов. Растения являются важным компонентом образования среды городского ландшафта. Реакция растений на загрязнение среды является сложным комплексом недостаточно изученных явлений, которые происходят на всех уровнях живого организма и проявляются в изменениях биохимических и физиологических процессов, анатомических структур и морфометрических показателей растительного организма [7–9]. Разные их виды неодинаково взаимодействуют с промышленным производством, поглощая из воздуха и почвы значительное количество техногенных газов и пылевых частиц, которые содержат очень токсичные примеси тяжелых металлов и других соединений. В данных условиях растения выполняют не только эстетическую, но и санитарно-гигиеническую роль, функционируя как универсальные природные фильтры. При этом у растений формируется комплекс индивидуальных реакций на техногенную среду [1–4].

Целью нашей работы было изучение влияния загрязнения почвы ионами кобальта и марганца на морфометрические показатели и интенсивность фотосинтеза декоративных травянистых растений.

Материал и методы исследования

При проведении эксперимента в качестве объектов исследования были использованы травянистые декоративные растения: Агератум Гаустона (*Ageratum houstonianum* cv. *Bule Lagoon*), Куколь обыкновенный (*Agrostemma githago* L.), Календула лекарственная (*Calendula officinalis* L.)

Исследования проводили по схеме полного двухфакторного трехуровневого эксперимента. В качестве загрязнителей использовались сульфат кобальта и сульфат марганца по стехиометрическому отношению. Концентрации марганца составляли 0–3 г/кг, кобальта – 0–10 мг/кг. Семена растений проращивали согласно их биологическим

особенностям. Выращивание вели на протяжении тридцати дней, продолжительности светового дня 14 ч, температуре 20–22°C и влажности почвы около 70% полной влажности. В каждый сосуд вносилось по 350 г почвы, просеянной через почвенное сито с диаметром отверстий 3 мм, в который предварительно вносились сульфат кобальта и сульфат марганца согласно схеме эксперимента.

При снятии результатов проростков измеряли длину надземной части, длину корней. Активность фотосинтеза проростков определяли по изменению количества накопленного углерода органических веществ при мокром озолении растительных тканей в смеси бихромата калия и серной кислоты [8].

Полученные данные обрабатывали статистически с помощью специально разработанных программ.

Результаты и обсуждение

Изучение влияния загрязнения почвы на ростовые процессы опытных растений позволяет сделать вывод о неоднозначном влиянии соединений кобальта и марганца на исследуемые показатели. Так, загрязнение почвы соединениями кобальта и марганца негативно сказывается на проростках *C. officinalis*, особенно при высоких концентрациях металлов (табл. 1).

Таблица 1

Влияние загрязнения почвы ионами кобальта и марганца на ростовые показатели проростков *Calendula officinalis* L.

Варианты загрязнения	Длина надземной части, см			Длина корня, см		
	M±m	D	%	M±m	D	%
1	25,70±1,18	-	-	8,19±0,81	-	-
2	27,87±1,20	2,17	108,44	6,81±0,60	-1,38	83,15
3	24,31±1,43	-1,39	94,60	6,44±0,61	-1,75	78,63
4	29,88±2,01	4,18	116,26	8,10±0,75	-0,09	98,90
5	26,34±1,04	0,64	102,50	6,65±0,57	-1,54	81,20
6	26,38±1,28	0,68	102,65	2,94±0,19	-5,25	35,90
7	23,46±1,00	-2,23	91,28	3,55±0,35	-4,64	43,35
8	28,44±1,14	2,74	110,66	5,71±0,42	-2,48	69,72
9	28,54±1,39	2,84	111,05	7,72±0,79	-0,46	94,26

Примечание. D – разница между средними; % – проценты от контроля.

Внесение в почву низкой концентрации кобальта (5 мг/кг) стимулирует ростовые процессы надземной части растений на 9%, однако при увеличении концентрации длина стебля уменьшается на 15%, по сравнению с контрольными растениями.

Внесение в почву соединений марганца в концентрации 1,5 г/кг не оказывает достоверного негативного влияния на длину надземной части проростков *C. officinalis*, а наоборот, прослеживается тенденция к увеличению ростовых процессов на 16% (вар. 4), однако при увеличении концентрации марганца до 3 г/кг – длина надземной части уменьшилась почти на 32%, по сравнению с контрольными растениями.

Комплексное внесение загрязнителей не оказывает негативного влияния на рост надземной части проростков *C. officinalis*. Даже при высоких концентрациях металлов (вар. 6, 8 и 9) не было зафиксировано угнетение роста стебля, а наоборот, – увеличение ростовых процессов на 21–27%, по сравнению с растениями, выращенными на незагрязненной почве.

На длину корней проростков *C. officinalis* отдельное внесение как низкой, так и высокой концентрации кобальта оказывает отрицательное влияние. При внесении 5 мг/кг металла длина корней уменьшается на 25%, а при внесении 10 мг/кг – на 27%. Негативная реакция растений прослеживается и при отдельном внесении соединений марганца. Так, при внесении 1,5 г/кг марганца длина корней уменьшается незначительно, но при дальнейшем

увеличении концентрации поллютанта рост корневой системы снижается до 60% от контроля (вар. 7). При совместном действии кобальта и марганца длина корней проростков *S. officinalis* уменьшилась на 21–45%. Наибольшее угнетение отмечено в вариантах с высокой концентрацией кобальта (вар. 8, 9).

Проростки *A. githago* оказались более чувствительными к загрязнению почвы соединениями кобальта и марганца (табл. 2). Даже низкая концентрация ионов Co^{2+} (вар. 2) угнетала ростовые процессы надземной части и корня данного растения на 5–21%, по сравнению с контролем. Также визуально прослеживалось угнетение ростовых процессов проростков, которое выражалось в угнетении роста, торможении развития и некрозах листьев (рис. 1).



Рис. 1. Реакция ответа проростков *Agrostemma githago* L. на избыток в почве ионов кобальта и марганца

Таблица 2

Влияние загрязнения почвы ионами кобальта и марганца на показатели роста проростков *Agrostemma githago* L.

Варианты загрязнения	Длина надземной части, см			Длина корня, см		
	M±m	D	%	M±m	D	%
1	5,54±0,46	-	-	6,97±0,63	-	-
2	5,28±0,57	-0,25	95,31	5,56±0,80	-1,41	79,77
3	5,60±0,32	0,05	101,08	4,95±0,38	-2,02	71,02
4	6,12±0,20	0,57	110,47	5,57±0,59	-1,40	79,91
5	4,6±0,41	-0,92	83,03	4,30±0,83	-2,67	61,69
6	5,1±0,53	-0,43	92,06	3,66±0,71	-3,31	52,51
7	5,22±0,29	-0,32	94,22	4,50±0,63	-2,47	64,56
8	4,56±0,40	-0,98	82,31	4,28±0,91	-2,68	61,41
9	5,05±0,53	-0,48	91,16	4,51±1,02	-2,46	64,71

Примечание. D – разница между средними; % – проценты от контроля.

Похожая тенденция наблюдалась и при внесении в почву соединений марганца. Так, в варианте 7 (Mn^{2+} – 3 г/кг) длина надземной части проростков уменьшается на 6%, а длина корневой системы – на 36%.

На ростовые процессы надземной части проростков *A. houstonianum* cv. *Bule Lagoon* загрязнение почвы соединениями кобальта и марганца не оказывает достоверного влияния (табл. 3), а отдельное внесение загрязнителей даже стимулирует ростовые процессы (вар. 3) на 21%, в сравнении с контролем.

Даже при комплексном внесении загрязнителей не было отмечено достоверного

изменения длины стебля проростков.

Низкие концентрации кобальта (вар. 2) стимулируют ростовые процессы корневой системы проростков *A. houstonianum* cv. *Bule Lagoon*, однако, при увеличении концентрации данный показатель снижается на 7% от контроля.

Таблица 3

Влияние загрязнения почвы ионами кобальта и марганца на ростовые показатели проростков *Ageratum houstonianum* cv. *Bule Lagoon*

Варианты загрязнения	Длина надземной части, см			Длина корня, см		
	M±m	D	%	M±m	D	%
1	8,64±0,37	-	-	2,80±0,23	-	-
2	8,34±0,64	-0,30	96,53	3,20±0,62	0,40	114,29
3	10,51±0,69	1,86	121,64	2,61±0,15	-0,19	93,21
4	8,48±0,48	-0,13	98,15	2,83±0,22	0,03	101,07
5	9,22±0,63	0,87	106,71	3,02±0,14	0,20	107,86
6	9,68±0,80	1,04	112,04	3,21±0,26	0,39	114,64
7	8,63±0,52	-0,01	99,88	2,25±0,18	-0,54	80,36
8	8,76±0,73	0,12	101,38	2,42±0,33	-0,38	86,43
9	8,60±0,47	-0,04	99,54	2,20±0,24	-0,60	78,57

Примечание. D – разница между средними; % – проценты от контроля.

Отдельное внесение низкой концентрации марганца не оказывает достоверного влияния на рост корней проростков, а при увеличении концентрации до 3 г/кг данный показатель уменьшается на 20%. Комплексное загрязнение почвы (вар. 8, 9) угнетает ростовые процессы корневой системы проростков на 14–22%, по сравнению с контрольными растениями.

На накопление сырой массы проростками *C. officinalis* загрязнение почвы кобальтом и марганцем оказывает неоднозначное влияние (табл. 4).

Таблица 4

Накопление биомассы проростками *Calendula officinalis*

Варианты загрязнения	Сырая масса, г			Сухая масса, г		
	M±m	D	%	M±m	D	%
1	0,226±0,052	-	-	0,024±0,001	-	-
2	0,326±0,024	0,052	144,25	0,030±0,003	0,004	125
3	0,223±0,045	-0,037	98,67	0,025±0,006	-0,001	104,16
4	0,385±0,064	0,111	170,35	0,046±0,008	0,020	191,67
5	0,244±0,024	-0,218	107,96	0,026±0,001	0,002	108,33
6	0,105±0,057	-0,169	46,46	0,023±0,001	-0,003	95,83
7	0,147±0,009	-0,127	65,04	0,021±0,006	-0,005	87,50
8	0,256±0,007	-0,018	113,27	0,021±0,007	-0,005	87,50
9	0,330±0,007	0,056	146,02	0,044±0,001	0,018	183,33

Примечание. D – разница между средними; % – проценты от контроля.

Отмечена активация накопления сырой массы проростками как при отдельном внесении кобальта (варианты 2, 3), так и при отдельном внесении соединений марганца (вариант 4). Повышенные концентрации кобальта в 2 ПДК (вариант 3) несколько снижали сырую массу проростков, но данные изменения не были статистически достоверными. Только большая концентрация марганца в 2 ПДК оказывала достоверное негативное влияние на накопление сырой массы проростками (в варианте 7 данный показатель уменьшился на 35%, по сравнению с контролем). При комплексном внесении загрязнителей (варианты 5, 8 и

9) мы так же не наблюдали достоверного негативного влияния, а наоборот, было отмечено увеличение сырой массы проростков на 7,5–11%, в сравнении с контролем.

Марганец и кобальт практически не вызывали достоверных изменений накопления сухой массы проростками *C. officinalis*. Во всех исследованных вариантах прослеживалась только положительная тенденция накопления сухой массы проростками. Только в двух вариантах комплексного воздействия поллютантов мы наблюдали снижение данного показателя (вар. 7, 8), но эти изменения были незначительными.

На накопление сырой биомассы проростками *A. githago* загрязнение почвы концентрацией кобальта в 1 ПДК (вар. 2) не оказывало негативного влияния, а наоборот, мы наблюдали увеличение данного показателя на 15%, в сравнении с контролем. Но при увеличении концентрации кобальта до 2 ПДК прослеживалось уменьшение накопления сырой массы на 6,5% (табл. 5).

Отдельное внесение в почву ионов марганца в концентрации 1 ПДК приводило к уменьшению сырой массы проростков *A. githago* на 18%, но при дальнейшем увеличении концентрации марганца до 2 ПДК показатель сырой массы увеличивался на 6% (вар. 4, 7).

Таблица 5

Накопление биомассы проростками *Agrostemma githago*

Варианты загрязнения	Сырая масса одного проростка, г			Сухая масса одного проростка, г		
	M±m	D	%	M±m	D	%
1	0,415±0,007	-	-	0,037±0,001	-	-
2	0,477±0,217	0,062	114,94	0,205±0,193	0,168	554,05
3	0,388±0,026	-0,027	93,50	0,033±0,001	-0,004	89,19
4	0,341±0,171	-0,074	82,17	0,029±0,015	-0,008	78,38
5	0,375±0,049	-0,040	90,36	0,031±0,005	-0,006	83,78
6	0,404±0,118	-0,011	97,35	0,126±0,121	0,089	340,54
7	0,429±0,039	0,014	103,37	0,034±0,003	-0,003	91,90
8	0,372±0,010	-0,043	89,64	0,032±0,003	-0,005	86,49
9	0,358±0,038	-0,057	86,27	0,036±0,004	-0,001	97,30

Примечание. D – разница между средними; % – проценты от контроля.

Уменьшение накопления сырой массы было отмечено практически во всех вариантах комплексного загрязнения почвы (варианты 5, 6, 8, 9), при которых данный показатель уменьшился на 12–27% в сравнении с растениями, выращенными на незагрязненной почве.

Проведенные исследования показали, что при внесении низких концентраций марганца у проростков *A. githago* сухая масса уменьшается на 18–22%, а при дальнейшем увеличении концентрации поллютанта исследуемые показатели роста практически не отличаются от контрольных растений.

Комплексное внесение в почву соединений кобальта и марганца негативно влияет на накопление биомассы проростками *A. githago*.

Для повышения биопродуктивности и теплоемкости растений, а значит, для более полного использования солнечной энергии большое значение имеет фотосинтетическая деятельность растений [10, 11]. Поэтому в цель нашего исследования входило изучение изменения фотосинтетической активности декоративных травянистых растений в условиях полиметаллического стресса.

Фотосинтетический аппарат растений весьма чувствителен к повышенному содержанию загрязнителей в окружающей среде, что проявляется в изменении многих структурно-функциональных параметров фотосинтеза [12, 13].

Проведенные исследования загрязнения почвы кобальтом и марганцем на проростки *A. houstonianum* cv. *Bule Lagoon* представлены в табл. 6.

Таблица 6

Влияние разных концентраций кобальта и марганца на интенсивность фотосинтеза проростков *Ageratum houstonianum* cv. *Bule Lagoon*

Варианты опыта	Интенсивность фотосинтеза, мг CO ₂ ·г ⁻¹ ·час ⁻¹		
	M ± m	D	% к контролю
1	7,85±2,46	-	100
2	8,53±3,57	0,67	109
3	5,41±2,05	-2,44	69
4	12,18±9,74	4,32	155
5	9,25±4,27	1,40	118
6	3,28±0,66	-4,57	42
7	20,00±5,23	12,15	255
8	2,80±0,96	-5,05	36
9	6,34±2,30	-1,51	81

Примечание. D – разница между средними; % – проценты от контроля.

Анализ приведенных данных показал, что внесение в почву 5 мг/кг кобальта (вар. 2) не оказало достоверного влияния на интенсивность фотосинтеза проростков, хотя наблюдалась тенденция к увеличению интенсивности фотосинтеза на 9%, по сравнению с контрольными растениями. Однако при последующем увеличении концентрации ионов кобальта до 10 мг/кг интенсивность фотосинтеза снизилась на 31%. Внесение ионов марганца (вар. 4, 7) не оказывало негативного влияния на активность фотосинтеза проростков, а прослеживалось увеличение данного показателя на 55–154%, в сравнении с контролем. Наибольшее снижение интенсивности фотосинтеза было отмечено в вариантах комплексного внесения загрязнителей (вар. 6, 8, 9), где данный показатель уменьшился на 19–64%.

Результаты исследования негативного влияния кобальта и марганца на проростки *A. githago* представлены в табл. 7.

Таблица 7

Влияние разных концентраций кобальта и марганца на интенсивность фотосинтеза проростков *Agrostemma githago* L.

Варианты опыта	Интенсивность фотосинтеза, мг CO ₂ ·г ⁻¹ ·час ⁻¹		
	M ± m	D	% к контролю
1	0,89 ± 0,04	-	100
2	0,60± 0,32	0,29	67
3	0,33 ± 0,16	0,56	37
4	0,46 ± 0,09	0,43	52
5	0,42 ± 0,15	0,47	47
6	0,50 ± 0,15	0,39	56
7	0,29 ± 0,12	0,60	33
8	0,28 ± 0,11	0,61	31
9	0,19 ± 0,11	0,69	21

Примечание. D – разница между средними; % – проценты от контроля.

Исследования показали, что даже низкие концентрации кобальта угнетали интенсивность фотосинтеза проростков *A. githago* на 33%, а с увеличением концентрации загрязнителя интенсивность фотосинтеза снизилась на 63%, по сравнению с проростками, растущими на незагрязненной почве. Внесение в почву марганца также оказывало негативное влияние на активность фотосинтеза (вар. 4, 7). В этих вариантах данный показатель уменьшился по сравнению с контролем на 33–48%. Наибольший угнетающий

эффект загрязнения почвы кобальтом и марганцем на фотосинтез был зафиксирован при совместном действии загрязнителей. Так, в варианте 8 данный показатель снизился на 69%, а в варианте 9 – на 79%, в сравнении с контролем. Таким образом, наиболее сильное влияние на проростки *A. githago* оказывает комплексное загрязнение с высоким содержанием марганца и обоих загрязнителей (вар. 8 и 9).

Анализ данных, представленных в табл. 8, показывает, что внесение в почву 5 мг/кг кобальта (вар. 2) не оказало достоверного влияния на интенсивность фотосинтеза проростков *C. officinalis*, а, наоборот, интенсивность фотосинтеза возросла на 7%, по сравнению с контрольными растениями.

Однако при последующем увеличении концентрации кобальта до 10 мг/кг интенсивность фотосинтеза резко снизилась на 54%. Внесение ионов марганца (вар. 4, 7) не оказывало достоверного негативного влияния на активность фотосинтеза проростков, а в варианте 7 даже прослеживалось значительное увеличение данного показателя на 17%, в сравнении с контролем.

Таблица 8

Влияние разных концентраций кобальта и марганца на интенсивность фотосинтеза проростков *Calendula officinalis* L.

Варианты опыта	Интенсивность фотосинтеза, мг CO ₂ ·г ⁻¹ ·час ⁻¹		
	M ± m	D	% к контролю
1	4,14±1,78	-	100
2	4,42±1,60	0,27	107
3	1,89±1,78	-2,25	46
4	4,03±2,13	0,11	97
5	3,02±1,07	1,12	73
6	4,91±2,10	0,77	119
7	4,84±1,21	0,70	117
8	3,17±0,81	0,97	77
9	3,14±1,06	0,99	76

Примечание. D – разница между средними; % – проценты от контроля.

Наибольшее снижение интенсивности фотосинтеза было отмечено в вариантах комплексного внесения загрязнителей (вар. 8, 9), особенно при высоких концентрациях кобальта, где данный показатель уменьшился на 24%.

Выводы

Загрязнение почвы соединениями кобальта и марганца оказывает значительное негативное влияние на ростовые процессы проростков всех изученных видов растений. Наиболее сильное негативное влияние вызывает комплексное загрязнение почвы с высокими концентрациями ионов кобальта и марганца. Внесение в почву как кобальта, так и марганца оказывает угнетающий эффект на длину корня и стебля проростков *A. githago* и *C. officinalis*. На ростовые показатели проростков *A. houstonianum* cv. *Bule Lagoon* загрязнение почвы кобальтом и марганцем не оказывает негативного влияния. Отдельное внесение загрязнителей даже стимулирует ростовые процессы проростков. Внесение в почву как кобальта, так и марганца оказывает угнетающий эффект на накопление сырой и сухой массы проростками *A. githago* и *C. officinalis*. На накопление биомассы проростками *A. houstonianum* cv. *Bule Lagoon* загрязнение почвы кобальтом и марганцем не оказывает негативного влияния. На фотосинтетическую активность проростков *A. houstonianum* cv. *Bule Lagoon* загрязнение почвы кобальтом и марганцем не оказывает негативного влияния, отдельное внесение загрязнителей стимулирует активность фотосинтеза. Внесение в почву как кобальта, так и марганца оказывает угнетающий эффект на активность фотосинтеза проростков *A. githago* и *C. officinalis*.

Список литературы

1. *Большаков В. А.* Агротехногенное загрязнение почвенного покрова тяжелыми металлами: источники, масштабы, рекультивация. М., 1993. 91 с.
2. *Гуральчук Ж. З.* Фітотоксичність важких металів та стійкість рослин до їх дії. К. : Логос, 2006. 208 с.
3. *Давыдова С. Л.* Тяжелые металлы как супертоксиканты XXI века. М. : Изд-во РУДН, 2002. 140 с.
4. *Ильин В. Б.* Тяжелые металлы в системе почва-растение. Новосибирск : Наука, 1991. 151 с.
5. *Пасічна О. О.* Вплив міді та марганцю на фотосинтез, дихання та пігментну систему гідрофітів // Проблеми сучасної екології : Тез. доп. Міжнар. наук. конф. (Запоріжжя, 20–22 вересня 2000 р.). Запоріжжя, 2000. С. 32–33.
6. *Хромих О. В.* Вплив іонів кобальту та марганцю на деякі морфометричні показники квіткових декоративних рослин // Сучасні проблеми фізіології та інтродукції рослин : Матер. II Всеукр. наук.-практ. конф. до 80-річчя проф. Л. Г. Дольової. Дніпропетровськ : ДНУ, 2007. 164 с.
7. *Хромих О. В.* Вплив іонів кобальту та марганцю на деякі морфометричні показники газонних трав // Молодь та поступ біології : Зб. доп. III Міжнар. наук. конф. студ. і асп. (Львів, 23–27 квітня 2007 р.). Львів, 2007. 504 с.
8. *Хромих О. В.* Вплив забруднення ґрунту кобальтом та марганцем на інтенсивність фотосинтезу деяких видів газонних трав // Рослини та урбанізація : Матер. I наук.-практ. конф. (Дніпропетровськ, 21–23 листопада 2007 р.). Дніпропетровськ : ООО ТПГ «Куница», 2007. 260 с.
9. *Hromych O.* The influence of the pollution of soils with cobalt and manganese on some morphometric indices of flowering decorative plants // Biodiversity. Ecology. Adaptation. Evolution : Proceedings of the III International young scientists conference, dedicated to 100 anniversary from birth of famous Ukrainian lichenologist Maria Makarevych (Odessa, 15–18 May 2007). Odessa : Pechatniy dom, 2007. 326 p.
10. *Glick B. R.* Phytoremediation : synergistic use of plants and bacteria to clean up the environment // Biotechnology Advances. 2010. Vol. 21, N 5. P. 383–393.
11. *Junior A. M. D., Oliva M. A., Ferreira F. A.* Dispersal pattern of airborne emissions from an aluminium smelter in Ouro Preto, Brasil, as expressed by foliar fluoride accumulation in eight plant species // Ecological Indicators. 2012. Vol. 8, N 5. P. 454–461.
12. *Kang D.-H., Tsao D., Wang-Cahill F., Rock S., Schwab A. P., Banks M. K.* Assessment of landfill leachate volume and concentration of cyanide and fluoride during phytoremediation // Bioremediation Journal. 2012. Vol. 12, N 1. P. 32–45.
13. *Kramer U.* Phytoremediation : novel approaches to cleaning up polluted soils // Current Opinion in Biotechnology. 2008. Vol. 16, N 2. P. 133–141.
14. *Pilon-Smits E., Pilon M.* Phytoremediation of metals using transgenic plants // Critical Reviews in Plant Sciences. 2014. Vol. 21, N 5. P. 439–456.

Frunze O. V., Minenko E. F. Influence of soil pollution with cobalt and manganese ions on the photosynthetic apparatus of ornamental herbaceous plants. – Investigated the effect of soil pollution by ions of cobalt and manganese on the morphometric parameters and the intensity of photosynthesis of decorative herbaceous plants. Studies have shown that the change in the intensity of photosynthesis depends on both the properties of the metal and the specific characteristics of plants. The introduction of both cobalt and manganese into the soil has a depressing effect on the activity of photosynthesis and the length of the root and stem of the seedlings of *Agrostemma githago* L. and *Calendula officinalis* L. On the photosynthetic activity and growth rates of seedlings of *Ageratum houstonianum* cv. *Bule Lagoon* soil contamination with cobalt and manganese has no negative impact, a separate application of pollutants stimulates the activity of photosynthesis.

Key words: cobalt, manganese, ornamental herbaceous plants, intensity of photosynthesis.

**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОФИЗИКИ И ФИЗИОЛОГИИ
FUNDAMENTAL AND APPLIED PROBLEMS OF BIOPHYSICS AND PHYSIOLOGY**

УДК 574.2

© А. А. Губарев, С. В. Чуфицкий, С. М. Романчук

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА
ФИТОПЛАНКТОНА В ПРОТОЧНОМ ВОДОЕМЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТОКСИКАНТА***ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»*

283001, г. Донецк, ул. Университетская, 24; e-mail: gubarev_a_a@mail.ru

Губарев А. А., Чуфицкий С. В., Романчук С. М. Моделирование изменения концентрации хлорофилла фитопланктона в проточном водоеме под действием токсиканта. – В рамках пространственно одномерной модели построены асимптотики максимального изменения концентрации хлорофилла фитопланктона. Предполагается, что концентрация хлорофилла может регистрироваться на различных расстояниях от места попадания загрязнителя в водоем. Рассмотрено два варианта поступления токсиканта: постоянно действующий точечный источник и поступление в определенный момент времени.

Ключевые слова: флуориметрия, биомониторинг, фитопланктон, воздействие токсикантов, моделирование.

Введение

Многочисленные работы по исследованию флуориметрическими методами воздействия токсикантов на фитопланктон преимущественно выполняются либо в лабораторных, либо в полевых условиях на отобранных пробах (см., например [1, 7, 8, 10]). Одним из показателей, используемых для анализа воздействия токсикантов, является концентрация хлорофилла. В опубликованных работах отсутствуют результаты по аппроксимации аналитическим выражением изменения концентрации хлорофилла фитопланктона под действием токсиканта. Уменьшение концентрации растворённых ионов токсиканта в основном определяется осаждением и связыванием. В общем случае, ионы *d*-переходных элементов (Fe, Cu, Zn, Mn, Ni и др.) проявляют высокую склонность к реакциям гидролиза и комплексообразования, особенно с органическими соединениями, содержащими доноры электронов – атомы кислорода, азота, фосфора. Состояние металлов, в частности меди, в природных водах определяется множеством факторов, многие из которых плохо поддаются учету. Металлы, в частности медь, интенсивно вступают в комплексообразование с органическими веществами, в частности с продуктами метаболизма фитопланктона. Входящие в состав комплексов ионы переходных элементов накапливаются в донных отложениях [5]. При этом переход из толщи воды в донные отложения хлорорганических пестицидов и тяжелых металлов, хоть и зависит от условий и состояния водной среды, но считается быстрым [3], а вторичное загрязнение поверхностных вод медью (а также некоторыми другими тяжелыми металлами) донных отложений – маловероятным [2].

При малых превышениях ПДК такого тяжелого металла как Cu для значительного изменения концентрации хлорофилла может потребоваться несколько часов (в лабораторных экспериментах от 2 до 6, в зависимости от вида водорослей). В проточном водоеме это приведет к переносу токсиканта и взаимодействующего с ним фитопланктона на большое расстояние. Поэтому, при экологическом мониторинге поверхностных вод необходимо учитывать расположение источника загрязнения, характер загрязнения (разовый выброс, постоянный сброс и т. д.), а также состав загрязненных вод.

Целью данной работы было моделирование изменения концентрации хлорофилла фитопланктона, непрерывно измеряемой флуориметром, погруженным в реку на различных расстояниях от точки загрязнения токсикантом. Поскольку, с одной стороны, осаждение и связывание токсиканта в природных водоемах играет еще большую роль, чем в лабораторных экспериментах, а с другой стороны эти процессы плохо поддаются описанию, то ставилась задача составления модели, учитывающей связывание, но настолько простой,

чтобы можно было найти изменение концентрации хлорофилла или ее минимальную величину в виде выражений, зависящих от параметров (в аналитическом виде). Такая модель должна позволить по результатам лабораторных исследований интерпретировать зависимости, получаемые с помощью флуориметра, погруженного в проточный водоем.

Объект и методика исследования

Для грубой оценки величин параметров был выполнен предварительный эксперимент. На рис. 1. приведена зависимость концентрации хлорофилла, измеренная нами при помощи флуориметра РНУТО–РАМ (Heinz Walz GmbH, Германия). В качестве объекта выступали клетки культуры *Pleurochloris magna*, помещенные в суспензию с содержанием CuSO_4 равным двукратному превышению ПДК (2 мг/л).

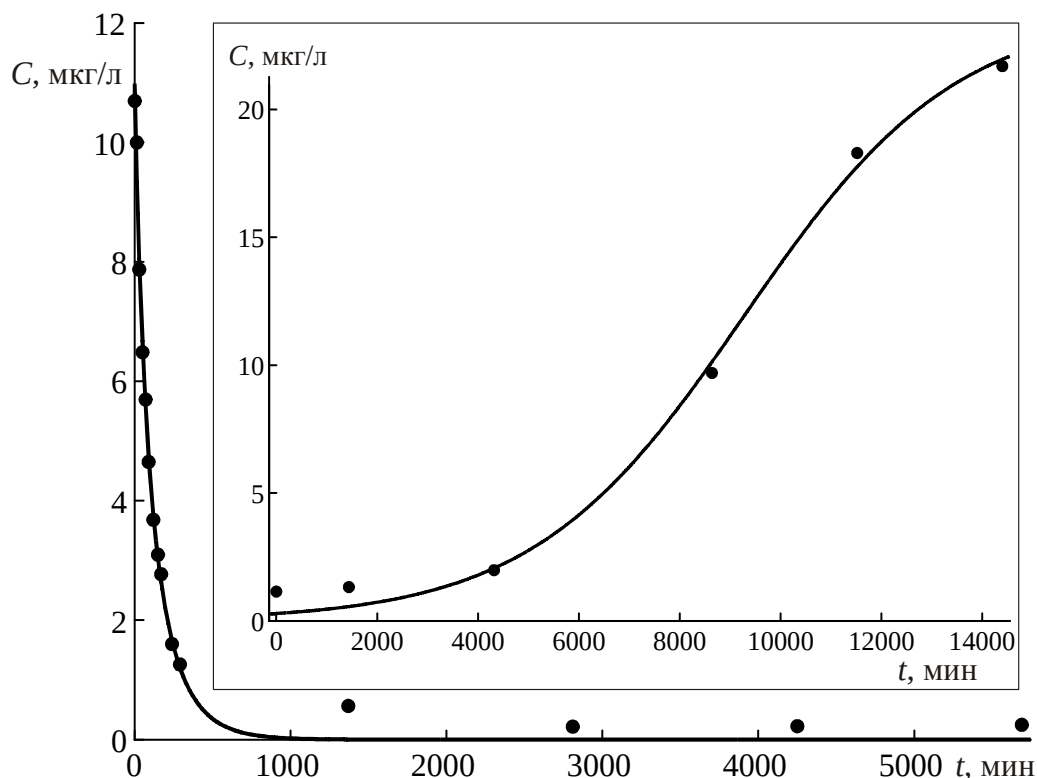


Рис. 1. Изменение концентрации хлорофилла от времени: на основном графике изменение под действием токсиканта; во вставке – при культивировании (без воздействия токсиканта)

Начальный этап убывания концентрации хлорофилла в этом эксперименте, и в ряде подобных экспериментов, достаточно хорошо описывается экспоненциальной зависимостью

$$C(t) = C_0 \exp(-kzt), \quad (1)$$

которая является решением уравнения

$$\frac{dC(t)}{dt} = -\alpha z C(t), \quad (2)$$

где $C(t)$ – зависящая от времени концентрация хлорофилла, z – концентрация токсиканта в начальный момент времени, C_0 – начальная концентрация хлорофилла, α – коэффициент пропорциональности. Культуру *P. magna* выращивали на среде Тамия без добавления этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА), т. к. ЭДТА образует с ионами Cu^{2+} стабильные комплексы (хелаты), которые связывают Cu^{2+} , см. например [9].

Отклонение от экспоненциального убывания можно объяснить в рамках следующей модели, учитывающей слабое уменьшение концентрации токсиканта в результате осаждения и связывания с элементами среды Тамия (которые неизбежно попадают в анализируемую

суспензию при ее приготовлении). Учитывая, что количество ионов токсиканта намного превышает количество клеток фитопланктона, пренебрегая явным учетом связывания токсиканта с клетками водорослей, изменение концентрации токсиканта можно описать уравнением

$$\frac{dz}{dt} = -\gamma z,$$

где параметр $\gamma > 0$ зависит от состава и состояния среды. Подставив решение этого уравнения в (2) и проинтегрировав после этого последнее, получим

$$C(t) = C_0 \exp\left(-\frac{\alpha}{\gamma} z_0 (1 - e^{-\gamma t})\right).$$

Поскольку $1 - e^{-\gamma t} \sim \gamma t$ при $t \rightarrow 0$, при малых значениях t зависимость концентрации хлорофилла от времени будет хорошо описываться экспоненциальной зависимостью. Приведенная на рис. 1 зависимость концентрации хлорофилла от времени удовлетворительно аппроксимируется зависимостью с $\gamma \propto 0,1\alpha$. Приблизительно с этим же значением постоянной γ аппроксимировались и зависимости концентрации хлорофилла от времени для других водорослей (предварительно выращенных на указанной выше среде Тамия без ЭДТА) в суспензии с CuSO_4 .

Модель изменения концентрации хлорофилла под действием токсиканта.

Предположим, что после поглощения клеткой иона тяжелого металла воздействие происходит мгновенно. Поскольку массы клеток намного больше массы ионов, пренебрежем диффузией фитопланктона. Также не будем учитывать изменение концентрации хлорофилла в результате рождения и гибели клеток фитопланктона, поскольку изменение концентрации хлорофилла на некоторую величину занимает промежуток времени во много раз больший по сравнению с изменением концентрации на ту же величину под действием токсиканта (см. рис. 1, где во вставке приведено изменение концентрации хлорофилла в культуре водорослей без недостатка питательных веществ). При таком предположении, изменение концентрации хлорофилла будет описываться уравнением (2) с концентрацией токсиканта, зависящей от координаты и времени. Уравнение изменения концентрации токсиканта, учитывающее диффузию токсиканта, движение водного потока со скоростью $u > 0$ и связывание или осаждение токсиканта в одномерном случае имеет вид

$$\frac{\partial z}{\partial t} = D \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} - u \frac{\partial z}{\partial x} - \gamma z. \quad (3)$$

В дальнейшем связывание и осаждение кратко будем называть связыванием. Токсикант может непрерывно поступать в водоем или быть разово добавлен в некоторый момент времени. Первая возможность задается при помощи источника токсиканта, который будет считаться точечным, с независящей от времени интенсивностью μ и расположенным в начале координат (μ – поступающее за единицу времени количество токсиканта, деленное на площадь поперечного сечения канала; площадь в численных расчетах полагалась равной единице). Уравнение (3) примет вид

$$\frac{\partial z}{\partial t} = D \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} - u \frac{\partial z}{\partial x} - \gamma z + \mu \delta(x) \quad (4)$$

с начальным условием $z(x, 0) = 0$.

Вторая возможность реализуется при помощи начальных условий. Совместно с уравнением (3) рассмотрено два приближения:

(a) точечного начального распределения

$$z(x, 0) = m \delta(x), \quad (5)$$

и (b) начального распределения в форме гауссовой кривой с центром в начале координат

$$z(x,0) = \frac{m}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right). \quad (6)$$

(Здесь m – количество разово внесенного токсиканта, деленное на поперечную площадь канала; площадь в численных расчетах полагалась равной единице).

Во всех вариантах задача рассматривается на прямой $-\infty < x < +\infty$. Начальная концентрация хлорофилла считается постоянной $C(x,0) = C_0$.

Изменение концентрации хлорофилла в точке $x = \ell$ измерения со временем можно представить в виде

$$C_\gamma(t)/C_0 = \exp\left(-\int_0^t \alpha z(\ell - ut + u\tau, \tau) d\tau\right). \quad (7)$$

Здесь $z(x,t)$ – решение задачи для уравнения (3)

$$z(x,t) = \frac{m}{\sqrt{2\pi(\sigma^2 + 2Dt)}} \exp\left(-\frac{(x-ut)^2}{2(\sigma^2 + 2Dt)}\right) e^{-\gamma t}, \quad (8)$$

(где $\sigma = 0$ в случае начального условия (5)), или решение задачи для уравнения с источником (4)

$$z(x,t) = \mu e^{-\gamma t} \int_0^t e^{\gamma\tau'} \frac{\exp\left(-\frac{(x-u(t-\tau'))^2}{4D(t-\tau')}\right)}{2\sqrt{\pi D(t-\tau')}} d\tau'. \quad (9)$$

Метод численного расчета концентрации хлорофилла

Для задачи с источником (задачи для уравнения (4)) в случае $\gamma \neq 0$, меняя порядок интегрирования в повторном интеграле (7), выполняя замену $\lambda = \sqrt{t-\tau'}$, вводя обозначения $w = \frac{(\ell - u(t-\tau'))}{2\sqrt{D}}$, $y = \sqrt{t-\tau'}$ и используя

$$\int_0^y e^{-\lambda^2 - \frac{w^2}{\lambda^2}} d\lambda = \begin{cases} F^+ \equiv \frac{\sqrt{\pi}}{4} \frac{e^{2\sqrt{\gamma}w} [\operatorname{erf}(w/y + \sqrt{\gamma}y) - 1] + e^{-2\sqrt{\gamma}w} [\operatorname{erf}(\sqrt{\gamma}y - w/y) + 1]}{\sqrt{\gamma}}, & w > 1; \\ F^- \equiv \frac{\sqrt{\pi}}{4} \frac{e^{2\sqrt{\gamma}w} [\operatorname{erf}(w/y + \sqrt{\gamma}y) + 1] + e^{-2\sqrt{\gamma}w} [\operatorname{erf}(\sqrt{\gamma}y - w/y) - 1]}{\sqrt{\gamma}}, & w < 1, \end{cases}$$

где $\operatorname{erf} z = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-t^2} dz$ (и для компактности последующей формулы введены F^+ и F^-),

получаем

$$C(t)/C_0 = \begin{cases} \exp\left(-\frac{\alpha\mu}{4\sqrt{D}} \int_0^t F^+ d\tau'\right), & t < \ell/u; \\ \exp\left(-\frac{\alpha\mu}{4\sqrt{D}} \left(\int_0^{t-\ell/u} F^- d\tau' + \int_{t-\ell/u}^t F^+ d\tau'\right)\right), & t > \ell/u. \end{cases} \quad (10)$$

В случае $\gamma = 0$, аналогично меняя порядок интегрирования и делая такую же замену, и используя

$$\int_0^y \exp(-w^2/\lambda^2) d\lambda = \begin{cases} F_0^+ \equiv y \exp(-w^2/y^2) + \sqrt{\pi}w(\operatorname{erf}(w/y) - 1), & w > 0; \\ F_0^- \equiv y \exp(-w^2/y^2) + \sqrt{\pi}w(\operatorname{erf}(w/y) + 1), & w < 0, \end{cases}$$

получаем

$$C(t)/C_0 = \begin{cases} \exp\left(-\frac{\alpha\mu}{\sqrt{\pi D}} \int_0^t F_0^+ d\tau'\right), & t < \ell/u; \\ \exp\left(-\frac{\alpha\mu}{\sqrt{\pi D}} \left\{ \int_0^{t-\ell/u} F_0^- d\tau' + \int_{t-\ell/u}^t F_0^+ d\tau' \right\}\right), & t > \ell/u. \end{cases} \quad (11)$$

Используя эквивалентности, в частности $\operatorname{erf}(w \pm \sqrt{\gamma}y) \underset{\gamma \rightarrow 0}{\sim} \operatorname{erf} w + 2 \frac{e^{-w^2}}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\gamma}y$, можно показать, что (10) при $\gamma \rightarrow 0$ переходит в (11).

Для численных расчётов брались следующие значения параметров. Коэффициент диффузии ионов Си в неподвижной воде приближенно равен $1 \text{ м}^2/\text{с}$. Это значение было использовано для всех расчетов за исключением одного, в котором было проверено влияние величины коэффициента диффузии при помощи увеличения этого коэффициента в несколько раз. Значение скорости u полагалось равным 1 м/с (этой величине приближенно равна скорость течения реки Кальмиус), значение параметра α — равным $0,001 \text{ м}^3 \text{ г}^{-1} \text{ с}^{-1}$, а значение параметра γ — равным $\alpha/3 \text{ с}^{-1}$. Последнее значение слегка увеличено по сравнению со значением, наблюдаемым в лабораторном эксперименте, т.к. скорость осаждения в природном водоёме всегда больше скорости осаждения в специально подобранной среде культивирования водорослей.

Результаты и обсуждение

1. Случай постоянно действующего источника токсиканта. В случае отсутствия связывания на начальном этапе в результате поступления токсиканта правее начала координат формируется область с почти постоянной концентрацией $z_{\max} = \mu/u$. Правее этой области простирается участок убывания концентрации токсиканта от величины $z_{\max} = \mu/u$ до нуля (рис. 2 (а)).

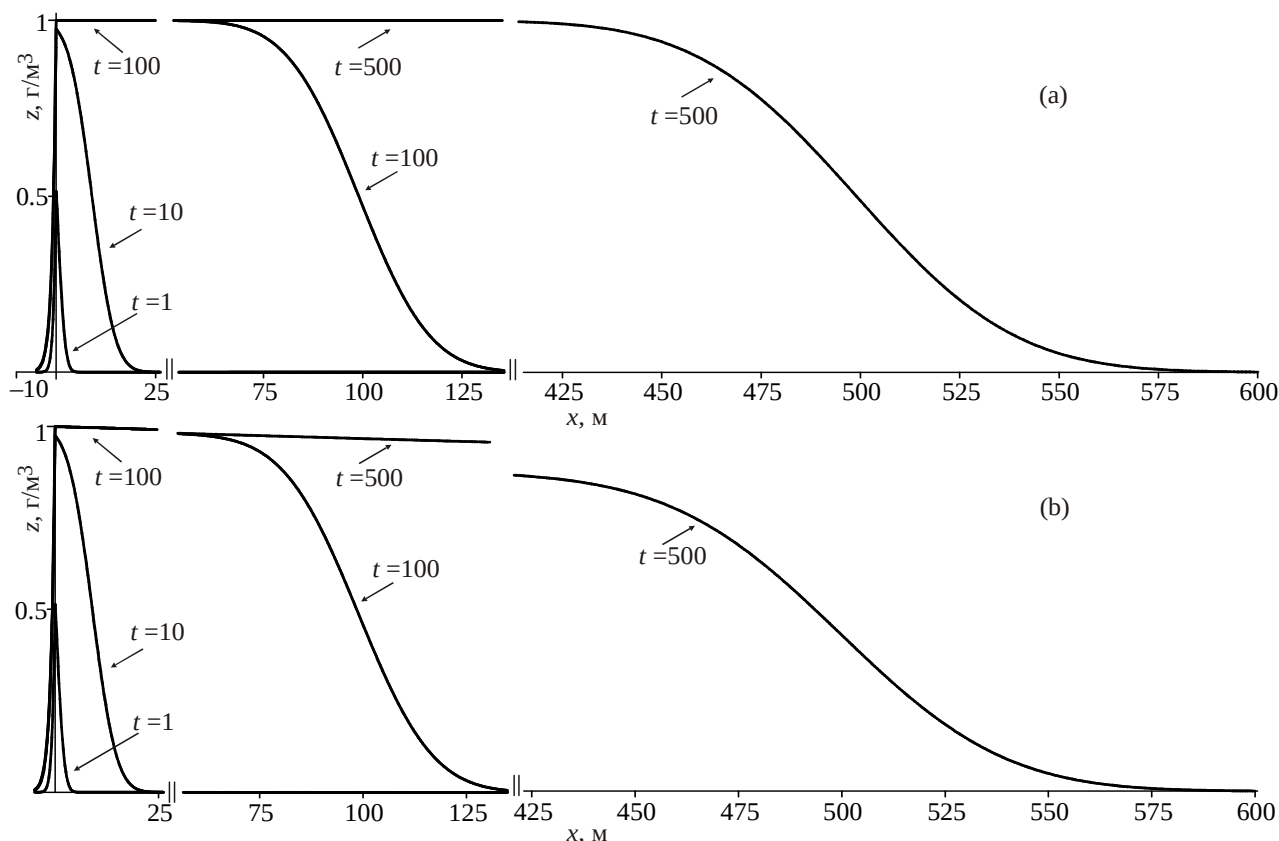


Рис. 2. Профили распределения токсиканта в различные моменты времени (с) в случае точечного источника в начале координат, $\mu = 1 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$: (а) – без учета связывания; (б) – с учетом связывания

Наличие связывания приводит к тому, что в области с почти постоянным значением концентрации при $\gamma = 0$ в случае $\gamma \neq 0$ эта концентрация слабо убывает (рис. 2 (b)).

На рис. 3 приведены зависимости концентрации хлорофилла от времени для трех значений ℓ . При малых t имеется начальный участок с $C(t) \approx 1$, продолжительность которого зависит от величины ℓ (при больших значениях ℓ – длительные участки). На рис. 2 и 3 эти начальные участки не показаны.

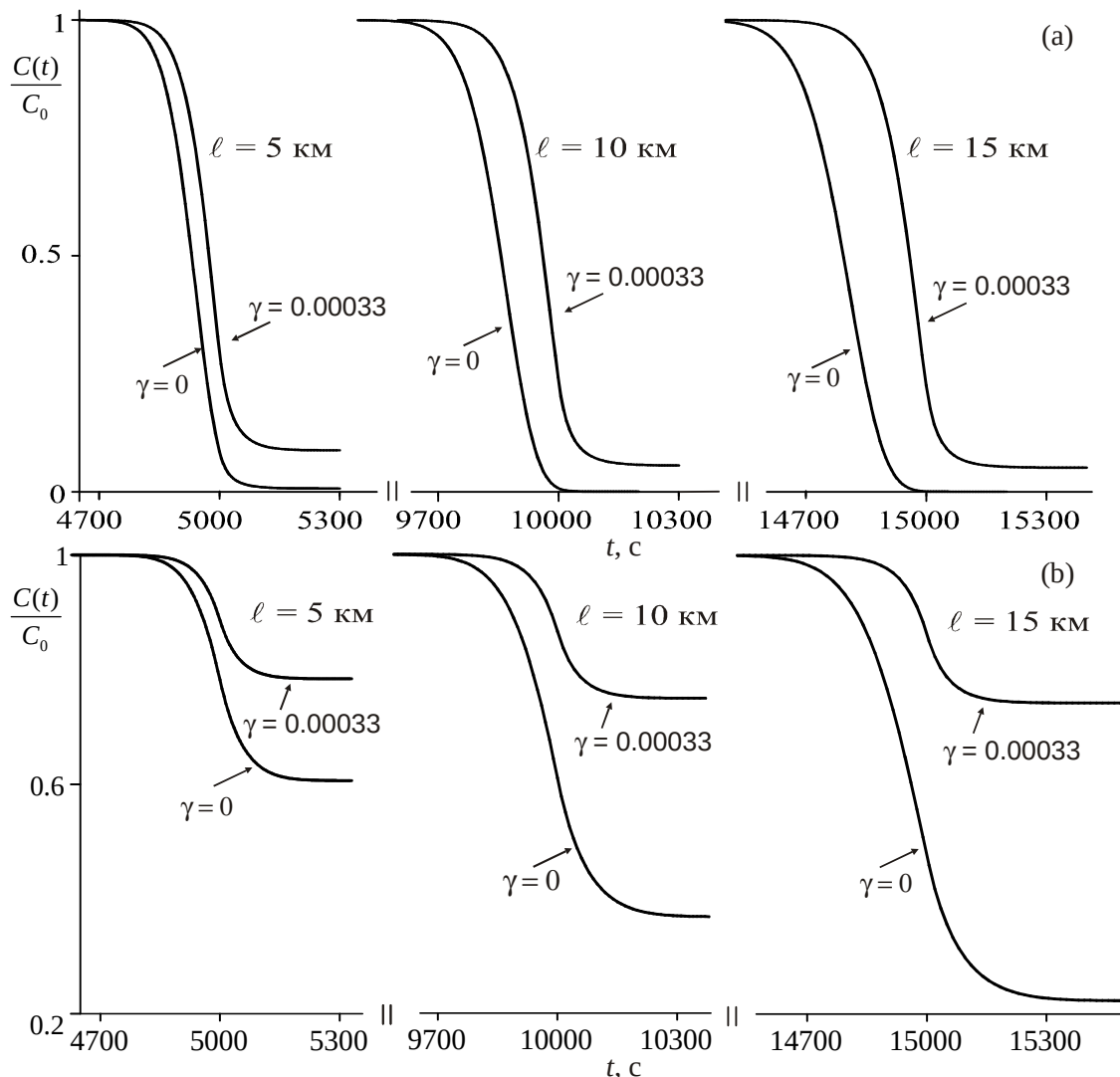


Рис. 3. Зависимости концентрации от времени для различных значений удалений точки измерения ℓ от источника токсиканта и различных значений μ : (a) – $1 \text{ Г} \cdot \text{М}^{-2} \cdot \text{С}^{-1}$, (b) – $0,1 \text{ Г} \cdot \text{М}^{-2} \cdot \text{С}^{-1}$

На рис. 3 видно, что после участка убывания концентрация выходит на минимальное значение $C_{\min}$. В случае $\gamma \neq 0$ при $\sqrt{\ell u / (4D)} \rightarrow \infty$ для этого минимального значения получена асимптотика

$$C_{\min} / C_0 \sim \exp \left[-\frac{\alpha \mu}{2 \gamma u} \left\{ 2 - \frac{\sqrt{1 + \beta^2} + 1}{\sqrt{1 + \beta^2}} e^{-\frac{\ell u}{2D} (\sqrt{1 + \beta^2} - 1)} \right\} \right], \quad (12)$$

где $\beta = 2\sqrt{\gamma D} / u$. Используя численное интегрирование, установлено: при $p = \sqrt{\frac{\ell u}{4D}} > 10^{-6}$ относительная погрешность этого выражения убывает с убыванием значений β , и не превосходит 10^{-3} для значений β , лежащих в диапазоне от 0,5 до 0,005.

В случае $\gamma = 0$ при $\sqrt{\ell u / (4D)} \rightarrow \infty$, для горизонтальной асимптоты построена асимптотика

$$C(\infty) / C_0 \sim \exp \left(-\alpha \mu \left[\frac{3}{u^2} \ell + \frac{4D}{u^3} \frac{\sqrt{\ell u / D}}{\sqrt{\pi}} \right] \right). \quad (13)$$

Вывод указанных асимптотик приведен в приложении.

Отметим, что и в случае $\gamma = 0$, и в случае $\gamma \neq 0$ с увеличением ℓ растет не только величина, на которую уменьшается концентрации хлорофилла, но и длительность перехода от $C = C_0$ до значения $C_{\min}$.

2. Случай внесения токсиканта в начальный момент времени. Значение σ для построения иллюстраций в случае гауссовского распределения начальной плотности полагалось равным 50. Замена точечного начального распределения на распределение Гаусса не приводит к заметному изменению распределения токсиканта для достаточно больших значений времени (рис. 4).

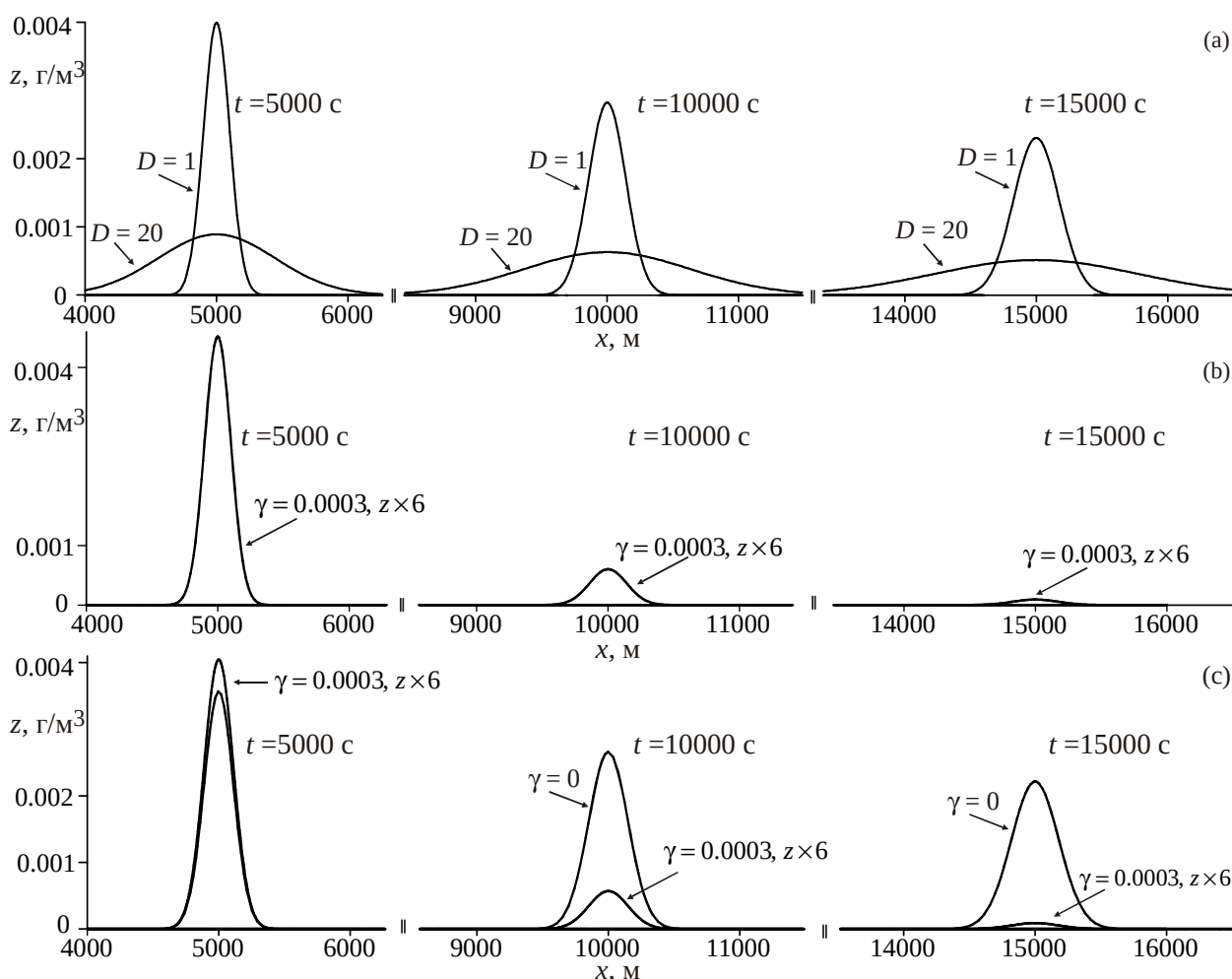


Рис. 4. Концентрации токсиканта для трех различных моментов времени: (а) и (б) – при точечном начальном распределении, (а) – без учета связывания, (б) – с учетом связывания; (с) – с начальным распределением в виде кривой Гаусса; без учета связывания ($\gamma = 0$) и с учетом связывания ($\gamma = 0,0003$)

На рис. 5 приведены зависимости концентрации хлорофилла, $C(t)$, от времени с момента внесения токсиканта. Как и на предыдущих рисунках не показаны малоинформативные участки.

Подставив выражение для концентрации (8) в (7), выполнив замену $\lambda = \sqrt{\sigma^2 + 2D\tau}$ и найдя интеграл, для $\sigma > 0$ получим

$$\ln \frac{C(t)}{C_0} = -\frac{\alpha m}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{D} \psi(t), \quad (14)$$

где

$$\psi = \begin{cases} e^{\frac{\gamma \sigma^2}{2D}} e^{2\beta \frac{\ell-ut}{\sqrt{2}}} \left[\operatorname{erf}\left(\frac{\ell-ut}{\sqrt{2\Sigma}} + \beta\Sigma\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{\ell-ut}{\sqrt{2\sigma}} + \beta\sigma\right) \right] - e^{-2\beta \frac{\ell-ut}{\sqrt{2}}} \left[\operatorname{erf}\left(\frac{\ell-ut}{\sqrt{2\Sigma}} - \beta\Sigma\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{\ell-ut}{\sqrt{2\sigma}} + \beta\sigma\right) \right], & \gamma \neq 0; \\ \Sigma e^{-\frac{(\ell-ut)^2}{2\Sigma^2}} + \frac{\ell-ut}{\sqrt{2}} \sqrt{\pi} \operatorname{erf}\left(\frac{\ell-ut}{\sqrt{2\Sigma}}\right) - \sigma e^{-\frac{(\ell-ut)^2}{2\sigma^2}} - \frac{\ell-ut}{\sqrt{2}} \sqrt{\pi} \operatorname{erf}\left(\frac{\ell-ut}{\sqrt{2\sigma}}\right), & \gamma = 0. \end{cases}$$

Здесь для компактности записи введены обозначения $\Sigma = \sqrt{\sigma^2 + 2Dt}$, $\beta^2 = \frac{\gamma}{2D}$.

Минимум концентрации хлорофилла достигается в моменты времени близкие к ℓ/u . Продифференцировав $\psi(t)$ по t , подставив $t = \ell/u + \tau$, разложив полученное выражение по τ до первой степени, приравняв нулю, найдя решение уравнения и удерживая наиболее значимые члены, получим, что концентрация достигает минимума в моменты

$$\tau_{\min} \underset{\ell \rightarrow \infty, \gamma \rightarrow 0}{\sim} \frac{\sqrt{D\sigma}}{\sqrt{2}\sqrt{\ell}u^{3/2}} e^{-\gamma \frac{\ell}{u}}, \quad (15)$$

или, возвращаясь к переменной t ,

$$t_{\min} \underset{\ell \rightarrow \infty, \gamma \rightarrow 0}{\sim} \frac{\ell}{u} + \frac{\sqrt{D\sigma}}{\sqrt{2}\sqrt{\ell}u^{3/2}} e^{-\gamma \frac{\ell}{u}}.$$

Таким образом, с увеличением ℓ моменты времени достижения минимума стремятся к ℓ/u . С увеличением значения σ численно рассчитанное значение $\tau_{\min}$ медленней приближается к асимптотическому (рис. 6).

Считая, что минимум концентрации хлорофилла достигается в моменты времени ℓ/u , из (14) следует асимптотическое выражение

$$\frac{C_{\min}}{C_0} \sim \begin{cases} \exp\left[-\frac{\alpha m}{\sqrt{2\pi}D} \left(\sqrt{\sigma^2 + 2D\ell/u} - \sigma\right)\right], & \gamma = 0 \\ \exp\left[-\frac{\sqrt{2}\alpha m}{4D} e^{\frac{\gamma \sigma^2}{2D}} \frac{\operatorname{erf}\left(\sqrt{\frac{\gamma}{2D}} \sqrt{\sigma^2 + 2D\ell/u}\right) - \operatorname{erf}\left(\sqrt{\frac{\gamma}{2D}} \sigma\right)}{\sqrt{\frac{\gamma}{2D}}}\right], & \gamma \neq 0. \end{cases} \quad (16)$$

В случае отсутствия связывания при неограниченном увеличении ℓ минимальное значение концентрации хлорофилла стремится к нулю, а в случае учета связывания – к отличному от нуля значению

$$\frac{C_{\min}(\infty)}{C_0} = \exp\left[-\frac{\sqrt{2}\alpha m}{4D} e^{\frac{\gamma \sigma^2}{2D}} \frac{1 - \operatorname{erf}\left(\sqrt{\frac{\gamma}{2D}} \sigma\right)}{\sqrt{\frac{\gamma}{2D}}}\right]. \quad (17)$$

Увеличение коэффициента диффузии в 20 раз приводит к ожидаемому более быстрому уширению профиля токсиканта со временем (см. рис. 4 (а)).

Как отмечалось выше, изменение величины σ не приводит к качественному изменению профилей концентрации токсиканта, однако на зависимость концентрации хлорофилла от времени с момента внесения токсиканта величина σ оказывает заметное влияние: с увеличением σ увеличивается расстояние между точками перегиба. На рис. 7 приведены зависимости $C(t)$ в точке измерения удаленной на расстояние $\ell = 10000$ м от начала

координат, остальные значения параметров те же, что и при построении графиков выше: $D=1$, $\alpha=0,001$, $u=1$, $\gamma=\alpha/3$. После нормировки, зависимости для случая с $\gamma=0$ и с $\gamma\neq 0$ при одинаковых значениях σ оказываются очень близкими. При $\sigma=1$ точки перегиба отодвинуты от начала координат по разные стороны приблизительно на 2 с (поэтому на рисунке они не показаны). Однако с увеличением значения σ точки перегиба удаляются от начала координат ($t=\ell/u$) все дальше. В случае точечного начального распределения ($\sigma=0$) точки перегиба соединяются в вершине.

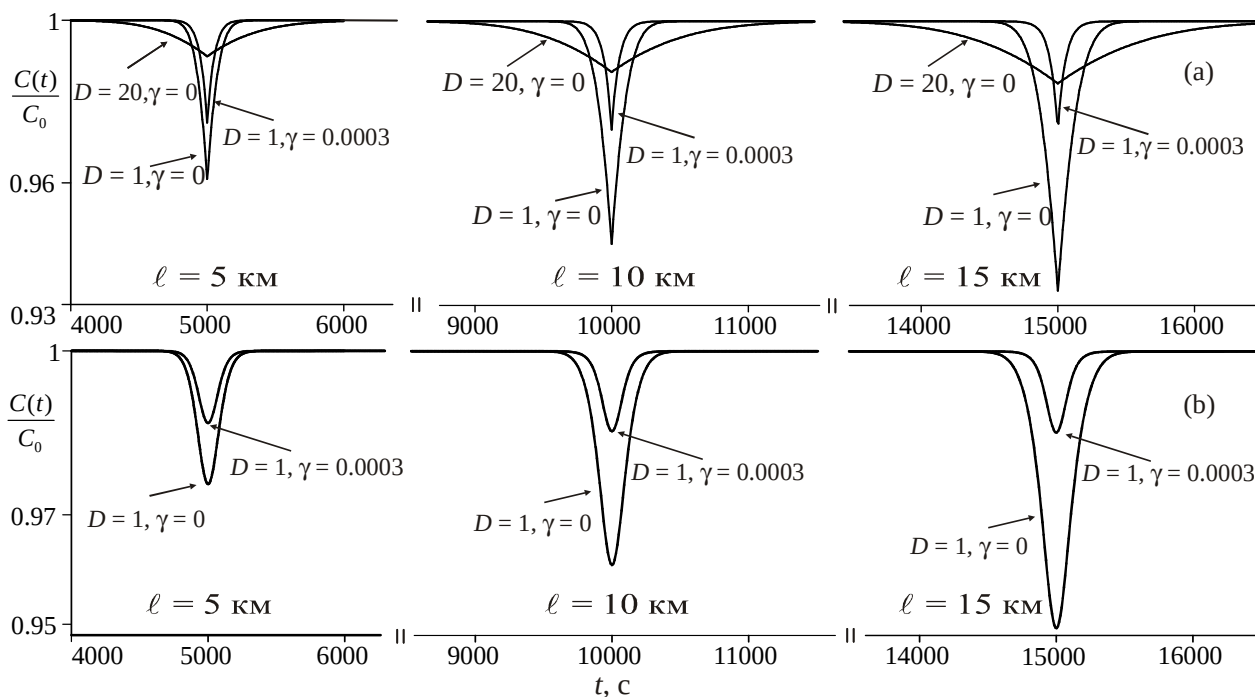


Рис. 5. Относительная концентрация хлорофилла для трех точек измерения и различных модификаций расчета: (а) – для точечного начального распределения; (б) – для начального распределения в форме Гаусса

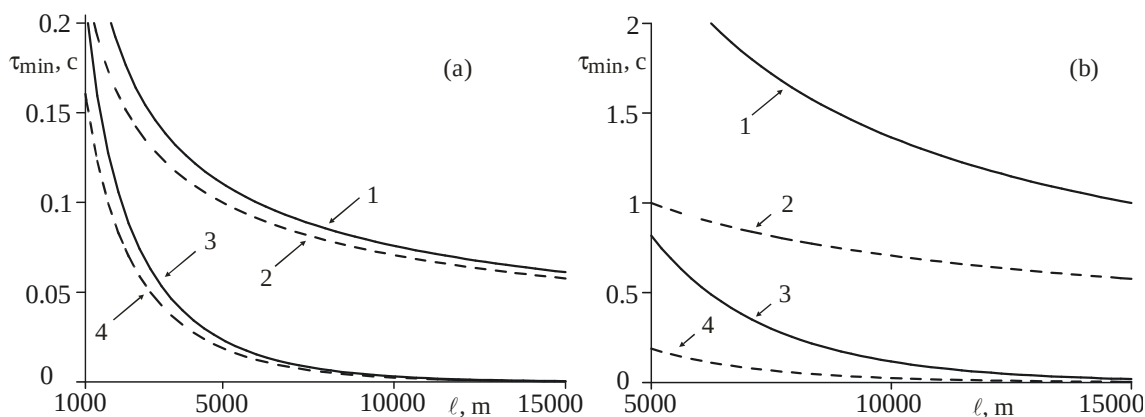


Рис. 6. Зависимость отклонения от ℓ/u момента времени достижения минимума концентрации хлорофилла ($\tau_{\min}$) для двух значений σ : (а) – 10, (б) – 100; 1, 2 – $\gamma=0$; 3, 4 – $\gamma=0,00033$; сплошные линии – численный расчет, пунктирные линии – асимптотики, формула (14)

С изменением коэффициента диффузии или скорости течения характерная особенность точек перегиба сохраняется (однако, учитывая (15), нужно с увеличением D брать большие значения ℓ , чтобы минимум $C(t)$ наступал приблизительно в момент времени ℓ/u).

Так как концентрация хлорофилла с ростом времени плавно изменяется от C_0 до минимума, то для введения характерного времени изменения концентрации введем малую величину $\varepsilon > 0$. Временем уменьшения концентрации от C_0 до $C_{\min}$ будем называть время изменения концентрации от величины $1-\varepsilon(C_0-C_{\min})$ до $C_{\min}$ и обозначать τ_ε . Для

фиксированных значений параметров, τ_ε может быть найдено численно при помощи (14). При этом для достаточно больших значений ℓ можно считать, что минимум концентрации хлорофилла наступает в момент времени $t = \ell/u$. На рис. 8 (а) приведен типичный вид зависимости τ_ε , рассчитанный со значением $\varepsilon = 0,001$. Даже при достаточно больших значениях ℓ , когда, в соответствии с (16) уменьшение концентрации хлорофилла с ростом ℓ практически не происходит, продолжается рост τ_ε .

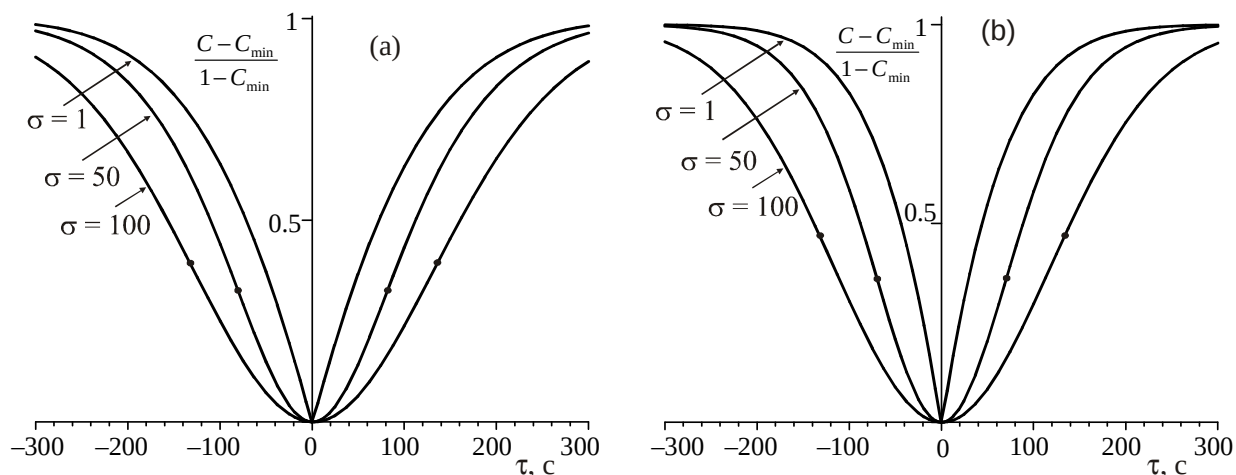


Рис. 7. Зависимость выпуклости кривой концентрации хлорофилла от параметра σ начального распределения: (а) – $\gamma = 0$; (б) – $\gamma = 0,00033$ (кружками на графиках указаны точки перегиба)

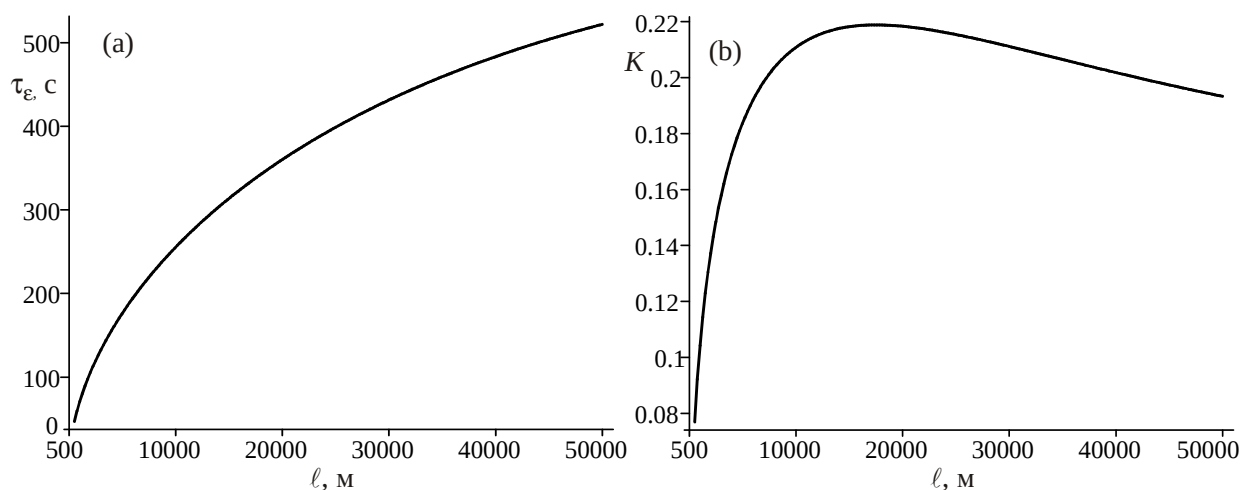


Рис. 8. Зависимость характерного времени изменения концентрации от ℓ , рис. (а), и зависимость целевой функции K от ℓ , рис (б)

Изменение концентрации хлорофилла в природном водоеме может происходить не только под действием токсиканта, но и в результате изменения состава фитопланктона, его количества, а также в результате суточного изменения активности фотосинтеза [4, 6]. Изменение состава и количества фитопланктона на значительную величину в нормальных условиях происходит за длительный промежуток времени (более суток), тогда как изменение активности фитопланктона может происходить в течение часов.

Если в качестве показателя поступления в среду токсиканта принять уменьшение величины концентрации хлорофилла, $\Delta C(\ell) = 1 - C_{\min}(\ell)/C_0$, то при малых концентрациях токсиканта эта величина будет сравнима с величиной изменений в результате суточной активности фотосинтеза. Для облегчения отделения изменения концентрации хлорофилла под действием токсиканта от изменений в результате суточного изменения фотоактивности, желательно чтобы первое происходило за заметно меньший промежуток времени.

Обозначим через T характерное время изменения суточной активности фотосинтеза. Оптимальная величина ℓ должна быть такой, чтобы, с одной стороны увеличение ℓ приводило бы к малому увеличению $\Delta C(\ell)$, а с другой стороны не приводило бы к достижению $\tau_\epsilon(\ell)$ величины близкой к T . Целевая функция, максимум которой удовлетворяет этим требованиям, может иметь вид

$$K = \Delta C(1 - a\tau_\epsilon/T)^b.$$

На рис. 8 (b) приведен вид зависимости $K(\ell)$ для рассматриваемых в работе параметров и $a=1$, $b=2$, $T=30$ минутам. Оптимальное значение ℓ соответствует максимуму и в данном случае приблизительно равно 18 км.

Другим подходом может быть следующий. Используя формулы (13) и (14) можно построить выражение

$$F(\ell) = \frac{1 - C_{\min}(\ell)/C_0}{1 - C_{\min}(\infty)/C_0}. \quad (18)$$

Значение этого выражения возрастает от нуля до единицы при изменении величины ℓ от нуля до бесконечности. По заданному значению δ , $0 < \delta < 1$, например $\delta = 0,9$, можно найти значение ℓ , удовлетворяющее условию $F(\ell_{\max}) = \delta$. При расположении флуориметра на расстоянии ℓ большем $\ell_{\max}$ можно получить увеличение сигнала не более, чем на $(1 - \delta) \cdot 100\%$ для начальных распределений, имеющих заданную или меньшую пространственную полуширину.

Например, для $\beta = 0,9$ и рассматриваемых в работе значений параметров $D=1$, $\alpha = 0,001$, $\gamma = \alpha/3$, $u=1$ и $\sigma=0$ (точечное начальное распределение токсиканта) получим значение $\ell_{\max} \approx 4$ км, а для начального распределения токсиканта с $\sigma = 50$ м – значение $\ell_{\max} \approx 5,3$ км. Для такого $\ell_{\max}$ значение τ_ϵ около 3 минут. Если это значение не превышает значения для успешного отделения влияния токсиканта на изменение концентрации хлорофилла от суточного изменения, то это значение можно принять. Если τ_ϵ велико, то придется пожертвовать частью диапазона изменения концентрации хлорофилла, уменьшив величину β для уменьшения τ_ϵ .

Фитопланктон естественного проточного водоема состоит из разных видов водорослей, которые имеют различную чувствительность к токсиканту. В модели этому будут соответствовать разные значения параметра α для разных видов. Так как в модели связывание токсиканта не зависит явно от количества фитопланктона, то качественно поведение зависимости $C(t)$ не изменится: минимумы будут наблюдаться в моменты времени равные ℓ/u , а сам минимум будет выражен меньше пропорционально доле более устойчивого к токсиканту вида. Последнее следует из того, что общая концентрация хлорофилла будет суммой концентраций каждого вида $C(t) = \sum_i C_i(t)$ и (14), примененной к каждой C_i со своим значением α_i . Однако, при проведении реальных биомониторинговых измерений использовать в расчете все возможные виды фитопланктона затруднительно, поскольку численность отдельных видов может быть крайне мала. Следовательно, при выполнении вычислений удобно учитывать только доминантные формы фитопланктона, которые и будут основным источником регистрируемого сигнала флуоресценции, и предварительно экспериментально определять параметры α_i для них.

Заключение

Построенная в работе модель позволила получить асимптотические выражения для максимального изменения концентрации хлорофилла.

В случае известного места возможного загрязнения, полученные выражения для максимального изменения концентрации хлорофилла позволяют определить расстояние до такого места расположения флуориметра, что дальнейшее увеличение расстояния не приведет к заметному изменению сигнала флуоресценции. На основании этого наблюдения предложена схема подбора оптимального выбора указанного расстояния.

В случае, когда расположение возможного источника загрязнения неизвестно, по данным непрерывного мониторинга можно определить тип поступления токсиканта: длительное по времени (4), либо поступление в некоторый фиксированный момент времени (5)–(6). Во втором случае, по характеру зависимости концентрации хлорофилла от времени можно судить о полуширине пространственного распределения токсиканта в момент его поступления. Этот результат облегчит определение возможного источника загрязнения.

В дальнейшем планируется получение экспериментальных данных об изменении содержания хлорофилла под действием токсиканта в пространственно-однородном случае, что позволит проверить основополагающие предположения модели. Также планируется изучение суточной активности природного фитопланктона, что даст возможность сформулировать более точный критерий для размещения погружного флуориметра.

Список литературы

1. Далакян Г. А. Исследование влияния различных токсикантов на популяции микроводорослей и инактивация этих соединений // Вопросы современной альгологии. 2016. № 1 (11). URL : <http://algology.ru/964>
2. Линник П. Н., Набиванец Б. И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. Л. : Гидрометеиздат, 1988. 270 с.
3. Майстренко В. Н., Хамитов Р. З., Будников Г. К. Эколого-аналитический мониторинг супертоксикантов. М. : Химия, 1996. 319 с.
4. Маторин Д. Н., Погосян С. И., Осипов В. А., Хантер Р., Рубин А. Б. Исследование состояния фотосинтетического аппарата фитопланктона Балтийского моря флуоресцентными методами // Вестн. Московского ун-та. Сер. 16. Биол. 2006. № 1. С. 61–66.
5. Мур Д., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах : контроль и оценка влияния. М. : Мир, 1987. 288 с.
6. Рубин А. Б. Биофизика фотосинтеза и методы экологического мониторинга // Технология живых систем. 2005. Т. 2. С. 47–68.
7. Тодоренко Д. А., Маторин Д. Н., Алексеев А. А., Тунгатарова Д. И., Орлова В. С. Изучение токсичности сульфата меди и наночастиц серебра с использованием флуоресценции микроводорослей *Scenedesmus quadricauda* // Вестник РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. 2014. № 1. С. 25–31.
8. Joshi M. K., Mohanty P. Chlorophyll fluorescence as a probe of heavy metal ion toxicity in plants / Chlorophyll fluorescence : a signature of photosynthesis. Dordrecht, The Netherlands : Springer / G. Papageorgiou and Govindjee (eds.) 2004. P. 637–661.
9. Juneau P., El Berdey A., Popovic R. PAM fluorometry in the determination of the sensitivity of *Chlorella vulgaris*, *Selenastrum capricornutum*, and *Chlamydomonas reinhardtii* to copper // Arch. Environ. Contam. Toxicol. 2002. Vol. 42. P. 155–164.
10. Wen-Xiong W., Dei R. C. H. Metal stoichiometry in predicting Cd and Cu toxicity to a freshwater green alga *Chlamydomonas reinhardtii* // Environmental Pollution. 2005. Vol. 142 (2). P. 303–312.

Gubarev A. A., Chufitskiy S. V., Romanchuk N. V. Modeling changes in phytoplankton chlorophyll concentration in a flowing water body under the influence of a toxicant. – Within the framework of the spatially one-dimensional model, the asymptotics of the maximum change in the phytoplankton chlorophyll concentration were constructed. It is assumed that the concentration of chlorophyll can be recorded at different distances from the point of entry of the pollutant into the water body. Two cases for the introduction of a toxicant were considered: a permanent point source and a one-time pollution at a certain point in time.

Key words: fluorimetry, biomonitoring, phytoplankton, exposure to toxicants, modeling.

Приложение. Построение асимптотики минимальной концентрации хлорофилла в задаче с источником

1 Построение асимптотики для случая отсутствия связывания

Выражение для концентрации хлорофилла (11) для случая $t > \ell/u$ после выполнения замены $\tau = t - \tau'$ запишем в виде

$$C(t)/C_0 = \exp\left(-\frac{\alpha\mu}{\sqrt{\pi D}} \psi(t)\right),$$

где

$$\psi(t) = \underbrace{\int_0^t \sqrt{\tau} e^{-\left(\frac{\ell-u\tau}{2\sqrt{D}\sqrt{\tau}}\right)^2} d\tau}_{I_1(t)} + \underbrace{\sqrt{\pi} \int_{\ell/u}^t \frac{\ell-u\tau}{2\sqrt{D}} \left[\operatorname{erf}\left(\frac{\ell-u\tau}{2\sqrt{D}\sqrt{\tau}}\right) + 1 \right] d\tau}_{I_2(t)} + \underbrace{\sqrt{\pi} \int_0^{\ell/u} \left\{ \frac{\ell-u\tau}{2\sqrt{D}} \left[\operatorname{erf}\left(\frac{\ell-u\tau}{2\sqrt{D}\sqrt{\tau}}\right) - 1 \right] \right\} d\tau}_{I_3(t)}.$$

Задача состоит в получении асимптотики предела $\lim_{t \rightarrow +\infty} \psi(t)$ для больших значений ℓ .

Первый несобственный интеграл вычисляется в элементарных функциях

$$I_1(+\infty) = \int_0^{+\infty} \tau e^{-\frac{(\ell-u\tau)^2}{4D\tau}} d\tau = 2 \frac{\sqrt{\pi D}}{u^2} \left(\frac{2D}{u} + \ell \right).$$

Во втором и третьем интеграле можно выполнить замену $z = \tau/(\ell/u)$, делающую пределы интегрирования независимыми от параметров, ввести параметр $p = \frac{1}{2} \sqrt{\ell u/D} \rightarrow +\infty$ и интегрированием по частям свести к интегралу Лапласа

$$I_2 = \frac{\ell^2}{2u\sqrt{D}} \int_1^{+\infty} (1-z) \left[\operatorname{erf}\left(p \frac{1-z}{\sqrt{z}}\right) + 1 \right] dz = -\frac{\ell^2}{2u\sqrt{D}} \left[-\frac{1}{2} + \frac{p}{\sqrt{\pi}} \int_1^{\infty} e^{-p^2 \frac{(z-1)^2}{z}} \frac{(z-z^2/2)(1+z)}{z^{3/2}} dz \right],$$

$$I_3 = \frac{\ell^2}{2u\sqrt{D}} \int_0^1 (1-z) \left[\operatorname{erf}\left(p \frac{1-z}{\sqrt{z}}\right) - 1 \right] dz = -\frac{\ell^2}{2u\sqrt{D}} \left[-\frac{1}{2} + \frac{p}{\sqrt{\pi}} \int_0^1 e^{-p^2 \frac{(z-1)^2}{z}} \frac{(z-z^2/2)(1+z)}{z^{3/2}} dz \right],$$

$$I_2 + I_3 = -\frac{\ell^2}{2u\sqrt{D}} I, \quad I = -1 + \underbrace{\frac{p}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\infty} e^{-p^2 \frac{(z-1)^2}{z}} \frac{(z-z^2/2)(1+z)}{z^{3/2}} dz}_J.$$

Главный член асимптотики интеграл Лапласа J равен $\sqrt{\pi}/p$. Если учитывать только главный член, то значение I будет равно нулю. Поэтому были найдены следующие члены асимптотического разложения J . В результате получены первые члены разложения I

$$I \sim -\frac{1}{2p^2} - \frac{1}{\sqrt{\pi}p^3} - \frac{3}{8p^4}.$$

Если ограничиться только первыми двумя членами асимптотики I , то

$$\psi \sim 3 \frac{\sqrt{\pi D}}{u^2} \ell + 4 \frac{\sqrt{\pi D}}{u^3} D \left(1 + \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\ell u/D} \right).$$

Следовательно

$$C(\infty)/C_0 \sim \exp\left(-\alpha\mu \left\{ \frac{3}{u^2} \ell + \frac{4D}{u^3} \left[1 + \frac{\sqrt{\ell u/D}}{\sqrt{\pi}} \right] \right\}\right).$$

Значения u и D порядка единицы, а значения ℓ рассматриваются большие. Поэтому окончательно можно пренебречь 1 по сравнению со слагаемым содержащим $\sqrt{\ell}$. Это и дает формулу (13).

2 Построение асимптотики для случая учета связывания

Выражение для концентрации хлорофилла (10) для случая $t > \ell/u$ после выполнения замены $\tau = t - \tau'$ примет вид

$$C(t)/C_0 = \exp\left(-\frac{\alpha\mu}{\sqrt{\pi D}}\psi\right),$$

где

$$\psi(t) = \frac{\sqrt{\pi}}{4\sqrt{\gamma}} \left\{ \underbrace{\int_{\ell/u}^t e^{\sqrt{\gamma}\frac{\ell-u\tau}{\sqrt{D}}} \left[\operatorname{erf}\left(\frac{\ell-u\tau}{2\sqrt{D}\sqrt{\tau}} + \sqrt{\gamma}\sqrt{\tau}\right) + 1 \right] d\tau}_{I_1(t)} - \underbrace{\int_{\ell/u}^t e^{-\sqrt{\gamma}\frac{\ell-u\tau}{\sqrt{D}}} \left[\operatorname{erf}\left(\frac{\ell-u\tau}{2\sqrt{D}\sqrt{\tau}} - \sqrt{\gamma}\sqrt{\tau}\right) + 1 \right] d\tau}_{I_2(t)} + \right. \\ \left. + \underbrace{\int_0^{\ell/u} e^{\sqrt{\gamma}\frac{\ell-u\tau}{\sqrt{D}}} \left[\operatorname{erf}\left(\frac{\ell-u\tau}{2\sqrt{D}\sqrt{\tau}} + \sqrt{\gamma}\sqrt{\tau}\right) - 1 \right] d\tau}_{I_3(t)} - \underbrace{\int_0^{\ell/u} e^{-\sqrt{\gamma}\frac{\ell-u\tau}{\sqrt{D}}} \left[\operatorname{erf}\left(\frac{\ell-u\tau}{2\sqrt{D}\sqrt{\tau}} - \sqrt{\gamma}\sqrt{\tau}\right) - 1 \right] d\tau}_{I_4(t)} \right\}.$$

Задача состоит в получении асимптотики предела $\lim_{t \rightarrow +\infty} \psi(t)$ для больших значений ℓ .

Аналогично предыдущему случаю, в интегралах можно выполнить замену, делающую пределы интегрирования независимыми от параметров, ввести большой параметр p и интегрированием по частям свести к интегралу Лапласа. Однако теперь, кроме параметра $p = \frac{1}{2}\sqrt{\ell u/D} \rightarrow +\infty$, интеграл Лапласа будет содержать и второй параметр $\beta = 2\sqrt{\gamma D}/u$, который не стремится к бесконечности.

$$I_1 + I_3 = \frac{\ell}{u} \int_1^\infty e^{\frac{\sqrt{\gamma}\ell}{\sqrt{D}}(1-z)} \left[\operatorname{erf} p \frac{1-(1-\beta)z}{\sqrt{z}} + 1 \right] dz + \frac{\ell}{u} \int_0^1 e^{\frac{\sqrt{\gamma}\ell}{\sqrt{D}}(1-z)} \left[\operatorname{erf} p \frac{1-(1-\beta)z}{\sqrt{z}} - 1 \right] dz = \\ = -\frac{\sqrt{D}}{\sqrt{\gamma}u} \left\{ -2 + \frac{p}{\sqrt{\pi}} \int_0^\infty e^{-p^2 \left[\frac{((1-\beta)z-1)^2}{z} + 2\beta(z-1) \right]} \frac{(1-\beta)z+1}{z^{3/2}} dz \right\}, \\ I_2 + I_4 = \frac{\ell}{u} \int_1^\infty e^{-\frac{\sqrt{\gamma}\ell}{\sqrt{D}}(1-z)} \left[\operatorname{erf} p \frac{1-(1+\beta)z}{\sqrt{z}} + 1 \right] dz + \frac{\ell}{u} \int_0^1 e^{\frac{\sqrt{\gamma}\ell}{\sqrt{D}}(z-1)} \left[\operatorname{erf} \left(p \frac{1-(1+\beta)z}{\sqrt{z}} \right) - 1 \right] dz \\ = \frac{\sqrt{D}}{\sqrt{\gamma}u} \left\{ -2 + \frac{p}{\sqrt{\pi}} \int_0^\infty e^{-p^2 \left[\frac{((1+\beta)z-1)^2}{z} - 2\beta(z-1) \right]} \frac{(1+\beta)z+1}{z^{3/2}} dz \right\}, \\ I_4 = \frac{\ell}{u} \int_0^1 e^{\frac{\sqrt{\gamma}\ell}{\sqrt{D}}(z-1)} \left[\operatorname{erf} \left(p \frac{1-(1+\beta)z}{\sqrt{z}} \right) - 1 \right] dz = \frac{\sqrt{D}}{\sqrt{\gamma}u} \left[-\operatorname{erf} \sqrt{\frac{\ell\gamma}{u}} - 1 + \frac{p}{\sqrt{\pi}} \int_0^1 e^{-p^2 \left[\frac{((1+\beta)z-1)^2}{z} - 2\beta(z-1) \right]} \frac{(1+\beta)z+1}{z^{3/2}} dz \right], \\ (I_1 + I_3) - (I_2 + I_4) = \\ \frac{\sqrt{D}}{\sqrt{\gamma}u} \left\{ \underbrace{2 - \frac{p}{\sqrt{\pi}} \int_0^\infty e^{-p^2 \left[\frac{((1-\beta)z-1)^2}{z} + 2\beta(z-1) \right]} \frac{(1-\beta)z+1}{z^{3/2}} dz}_{J_1} + \underbrace{2 - \frac{p}{\sqrt{\pi}} \int_0^\infty e^{-p^2 \left[\frac{((1+\beta)z-1)^2}{z} - 2\beta(z-1) \right]} \frac{(1+\beta)z+1}{z^{3/2}} dz}_{J_2} \right\}.$$

Главные члены асимптотических разложений J_1 и J_2 имеют вид

$$J_{1a} = \frac{\sqrt{\pi}}{p} \frac{\sqrt{1+\beta^2} + 1 - \beta}{\sqrt{1+\beta^2}} e^{-2p^2(\sqrt{1+\beta^2}-1)}, \quad J_{2a} = \frac{\sqrt{\pi}}{p} \frac{\sqrt{1+\beta^2} + 1 + \beta}{\sqrt{1+\beta^2}} e^{-2p^2(\sqrt{1+\beta^2}+1)}.$$

Объединяя результаты, получаем формулу (12).

УДК 591.5 : 612.821.4 : 615.214.2

© Г. А. Балакирева

**ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЭФФЕКТОВ ДВУХНЕДЕЛЬНОЙ
АЛКОГОЛИЗАЦИИ НА ПОВЕДЕНЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ САМЦОВ БЕЛЫХ
КРЫС В ОТКРЫТОМ ПОЛЕ***ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
283050, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: g.frolova@donnu.ru*

Балакирева Г. А. Возрастные особенности эффектов двухнедельной алкоголизации на поведенческую активность самцов белых крыс в открытом поле. — Исследовались поведенческие корреляты индивидуальной чувствительности к хронической алкоголизации у самцов белых крыс разного возраста. Установлено, что двухнедельное введение этанола приводит к развитию депрессивно-подобного состояния у старых самцов с исходно высоким уровнем активности, угнетает поведенческую активность исходно средне- и высокоактивных самцов в разной степени и стимулирует активность молодых низкоактивных крыс.

Ключевые слова: этанол, исследовательская активность, двигательная активность.

Введение

Пристрастие к этанолсодержащим веществам является общемировой проблемой. Патогенез этого заболевания весьма сложен и до конца остается невыясненным. Этанол оказывает свое пагубное влияние на организм не только как вещество, нарушающее функционирование висцеральных систем [2, 5, 6, 8], но и как агент, весьма грубо вмешивающийся в химизм нейрофизиологических процессов, лежащих в основе формирования психоэмоционального состояния животного организма. Последнее находит отражение в изменении функционирования нейромедиаторных моноаминергических систем мозга [7, 9, 11], что способствует развитию двигательных, тревожных и депрессивных расстройств. Иначе говоря, в реализации эффектов этанола оказываются задействованы эмоциогенные зоны головного мозга, что, в конечном итоге, отражается на психоэмоциональном состоянии организма в целом, поскольку патофизиологической основой развития указанных расстройств является нарушение моноаминовой медиации в головном мозге.

В связи с этим, целью представленного фрагмента комплексной работы является установление поведенческих коррелятов индивидуальной чувствительности к хронической алкоголизации у самцов белых крыс разного возраста.

Материал и методы исследования

Эксперимент был выполнен на 50 белых половозрелых лабораторных крысах-самцах (25 – молодых, массой 180–220 г и 25 – старых, массой 380–420 г).

Для определения уровня поведенческой активности использовали продырявленное поле (норковая камера), которое считается модификацией открытого поля, в варианте, предложенном А. В. Калугиным [4].

Норковая камера представляет собой открытый пластиковый ящик с линейными размерами 60×60×40 см, пол которого – квадрат из пластика, покрашенный изнутри зелено-голубой краской и приподнят над дном ящика на высоту 3 см. Пол разделен тонкими белыми линиями на 9 равных квадратов (20×20 см); по периметру квадратов просверлены отверстия-норки диаметром 3 см. Наличие таких отверстий позволяет изучать специфический вид исследовательской активности – заглядывания в отверстия-норки.

При тестировании крысы плавно опускались в центр норковой камеры, где визуальное течение 5 минут регистрировалось их поведение. После каждого животного камера протиралась изнутри мокрыми и сухими салфетками. В ходе эксперимента фиксировались следующие поведенческие показатели: число пересеченных квадратов, что отражает уровень двигательной активности; частоту заглядываний в отверстия-норки и количество

вертикальных стоек, что в сумме составляет исследовательскую активность животных; частоту актов груминга, что характеризует тревожность крыс в условиях данного теста и количество фекальных болюсов, отражающее эмоциональность экспериментальных животных.

Квадратик считался пересеченным, если животное пересекало своим туловищем какую-либо из его границ. Под обследованием «норки» подразумевалось опускание какой-либо части мордочки животного в отверстие в полу камеры.

Уровень активности (УА) экспериментальных животных определяли путем подсчета исследовательской активности (ИА), которая представляла собой суммарное количество вертикальных стоек и заглядываний в отверстия-норки.

Моделирование состояния алкоголизации на экспериментальных животных является весьма сложной задачей. Для ее реализации используются разнообразные методы, предполагающие как введение раствора этанола беременным самкам белых крыс (пренатальная алкоголизация), так и инъекции раствора этанола внутрибрюшинно в течение разных промежутков времени.

Алкоголизацию проводили путем внутрибрюшинного введения 10%-го раствора этилового спирта из расчета 2 мл раствора на 1 кг массы тела [3] на протяжении 14 дней, после чего крысы проходили повторное тестирование в условиях описанного выше теста. Такая концентрация этанола является оптимальной для создания модели хронического алкоголизма и, в то же время, не оказывает токсического действия на функцию органов и систем.

Первичные экспериментальные данные обрабатывались с помощью общепринятых методов математической статистики и пакетов программ STATISTICA 6.0 и MS Office Excel 2003. Разделение исследуемой популяции животных на группы с различными индивидуально-типологическими особенностями проводилось согласно сигмального отклонения ($\pm 0,67\delta$) [16]. Для оценки достоверности различий между результатами контрольных исследований и для оценки достоверности отличий между опытными и контрольными данными использовался U-критерий Манна-Уитни.

Результаты исследования

По итогам контрольного тестирования, обе группы животных (молодые и старые) были разделены на 3 подгруппы в соответствии с различной выраженностью маркерного показателя данного теста – уровня исследовательской активности. Поведенческий профиль представлен в табл. 1. Как видно из данных табл. 1, уровень ИА у старых и молодых животных достоверно не отличается внутри выделенных подгрупп. Однако в подгруппе среднеактивных самцов имеются различия по компонентам данного вида активности: у молодых больше вертикальных стоек, а у старых самцов – заглядываний в отверстия-норки. Вместе с тем, среднеактивные старые животные проявляют и меньшую ДА, но большую эмоциональность. Среди молодых животных, различающихся по уровню активности, не выявлено отличий по эмоциональности, а у старых данный показатель отличался только у среднеактивных самцов.

После 14-дневной алкоголизации проведено повторное тестирование животных. Выявлено, что у старых самцов степень чувствительности к этанолу зависит от исходного уровня их активности: чем большую активность крысы показали в контроле, тем в большей степени наблюдалось у них сокращение ИА в результате алкоголизации (см. табл. 1). Так, у низкоактивных старых самцов этот показатель сократился в 1,7 ($p < 0,05$) раза, у средне- и высокоактивных – в 4 ($p < 0,05$) и 5 ($p < 0,05$) раз соответственно. Согласно такой же закономерности у самцов этой возрастной группы изменялся такой компонент исследовательской активности как вертикальные стойки, в то время как частота заглядываний в отверстия-норки у животных с исходно низким уровнем активности достоверно не изменилась, а у средне- и высокоактивных сократилась в 3,8 ($p < 0,05$) и 3 ($p < 0,05$) раза соответственно.

Таблица 1

**Характер влияния двухнедельной алкоголизации на показатели поведения
исследуемых животных ($X \pm m$) в продырявленном поле**

Показатели поведения	Группа животных	Уровни активности					
		низкий		средний		высокий	
		контроль	алкоголизация	контроль	алкоголизация	контроль	алкоголизация
Исследовательская активность	молодые	3,0±0,58 ^{#*}	10,7±1,19 [•]	11,5±0,93	3,1±0,67 [•]	21,5±2,15 [#]	7,5±0,58 [•]
	старые	4,0±0,60 ^{#*}	2,3±0,35 [•]	9,3±0,86	2,3±0,21 [•]	22,5±3,43 [#]	4,5±0,87 [•]
Двигательная активность	молодые	3,7±1,21 ^{#*}	16,3±2,51 [•]	16,7±1,94	7,2±0,93 [•]	23,3±2,25 [#]	17,5±2,31 [•]
	старые	2,3±0,92 ^{#*}	4,3±1,11	8,5±1,10 [▲]	3,2±0,47 [•]	27,5±4,38 [#]	6,0±0,94 [•]
Количество вертикальных стоек	молодые	1,7±0,67 ^{#*}	7,0±1,67 [•]	8,9±0,75	2,4±0,54 ^{••}	16,0±2,04 [#]	5,3±1,36 [•]
	старые	2,3±0,92 [*]	0,0 [•]	4,8±0,64 [▲]	1,2±0,16 [•]	15,0±3,96 [#]	2,0±0,00 [•]
Количество заглядываний в отверстия-норки	молодые	1,3±0,34 ^{#*}	3,0±0,61 [•]	2,6±0,37	0,7±0,29 [•]	5,5±0,65 [#]	2,3±0,25 [•]
	старые	1,7±0,69 ^{#*}	2,3±0,35	4,5±1,01 [▲]	1,2±0,16 [•]	7,5±1,47 [#]	2,5±0,67 [•]
Количество актов груминга	молодые	0,0 ^{#*}	0,0	1,4±0,41	0,0 [•]	2,5±0,71	1,8±0,48
	старые	0,0 ^{#*}	0,0	2,5±0,71	0,7±0,38 [•]	2,5±0,48	1,0±0,00 [•]
Количество фекальных болюсов	молодые	0,0	0,0	0,7±0,29	0,0	0,0	0,0
	старые	0,0 [#]	0,0	1,7±0,46 [▲]	2,8±0,78	0,0 [#]	0,5±0,37

Примечания:

1. # – различия статистически значимы ($p < 0,05$) при сравнении показателей условного контроля (средний уровень активности) с группами высокого и низкого уровня активности;
2. * – различия статистически значимы ($p < 0,05$) при сравнении показателей групп с крайними уровнями активности;
3. ▲ – различия статистически значимы ($p < 0,05$) при сравнении показателей у старых и молодых крыс в соответствующих подгруппах;
4. • – различия статистически значимы ($p < 0,05$) при сравнении исходных показателей с показателями, полученными после алкоголизации.

У молодых животных эффекты алкоголизации на ИА и ее компоненты несколько отличались. Так, у низкоактивных самцов наблюдалось увеличение количества обоих компонентов исследовательской активности (в 4,2 раза ($p < 0,05$) возросло количество вертикальных стоек и в 2,3 раза ($p < 0,05$) – заглядываний в отверстия-норки), что привело к увеличению ИА в 3,6 раза ($p < 0,05$). У среднеактивных самцов ИА и ее компоненты сокращались в большей степени (в 3,5–3,9 раз ($p < 0,05$)), чем у высокоактивных (в 2,9–3,1 раз ($p < 0,05$)) молодых самцов.

Что касается влияния алкоголизации на ДА разновозрастных самцов, то установлено, что характер ее изменения зависел в большей степени от исходного уровня активности, чем от возраста: у низкоактивных самцов количество пересеченных квадратов увеличивалось, в то время как у средне- и высокоактивных крыс – сокращалось. Степень угнетения как ИА, так и ДА у старых высокоактивных в контроле животных (в 5 раз ($p < 0,01$) и 4,6 раза ($p < 0,01$) соответственно) указывает на развитие у них депрессивно-подобного состояния вследствие двухнедельной алкоголизации.

Старые животные оказались наиболее чувствительными к действию этанола по такому показателю неспецифической активности как груминг: частота проявлений груминга в результате алкоголизации сокращалась у самцов двух подгрупп.

На показатели эмоциональности алкоголизация влияния не оказала.

Полученные в эксперименте результаты могут быть объяснены тем, что этанол оказывает влияние не только на содержание нейропептида Y, но и антагонистическое воздействие на NMDA-рецепторы, что, в свою очередь, приводит к блокировке функции ионов магния. Это приводит к уменьшению концентрации внутриклеточного магния и ослаблению его блокирующего действия на рецепторы глутамата. Кроме того, недостаток магния внутри клетки может приводить к развитию депрессивного состояния [1, 12, 15].

Основной механизм реализации полученных эффектов заключается в действии этанола и его метаболитов на рецепторы нейромедиаторных моноаминов и систему эндогенных опиоидов. Результатом такого воздействия является изменение как синтеза, так и высвобождения дофамина (и норадреналина) в прилежащем ядре, вентральной области покрышки, амигдале, медиальной префронтальной коре [9, 10, 13, 14].

Длительное введение этанола, как показали некоторые исследования, приводят к угнетению активности нейронов мезокортиколимбической системы. Это проявляется в морфологических изменениях в нервных и глиальных клетках и в поведенческих изменениях, указывающих на гиподинамию дофаминергической системы (снижение вертикальной активности, самостимуляции гипоталамуса и др.) [1, 3, 7].

Причинами полученных изменений поведенческих реакций, отражающих психоэмоциональный статус животных алкоголизированных крыс, являются резкое падение уровня высвобождения дофамина в прилежащем ядре и замедление его оборота [1, 7]. Отсутствие чувствительности у некоторых подгрупп самцов к этанолу может указывать на разную степень активности у этих животных ферментных систем, обеспечивающих метаболизм этанола, а также на индивидуальные особенности функционирования нейромедиаторных систем, ответственных за формирование данной поведенческой реакции.

Вместе с тем, нарушение функциональной активности моноаминергических систем мозга (ускорение синтеза дофамина и норадреналина, снижение уровня серотонина) объясняет и нарушение функции гипоталамической системы: введение этанола оказывает определенные влияния и на гипоталамо-гипофизарно-адреналовую систему, что в свою очередь приводит к модуляции выделения АКТГ и повышению уровня кортикостерона [8].

Выводы

Двухнедельное введение этанола приводит к развитию депрессивно-подобного состояния у старых самцов с исходно высоким уровнем активности, угнетает поведенческую активность исходно средне- и высокоактивных самцов в разной степени и стимулирует активность молодых низкоактивных крыс.

Список литературы

1. Гуров Д. Ю., Туманов В. П., Смирнов А. В., Быхалов Л. С., Сидоров Д. Н., Седых А. Д., Финагеев С. А. Морфологические изменения нейронов супраоптических ядер гипоталамуса крыс, предрасположенных к алкогольной зависимости // Современные проблемы науки и образования. 2019. № 2. URL : <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=28750> (дата обращения: 13.05.2021).
2. Ерпылов А. А. Алкоголизм как социальная проблема российского общества // Теория и практика сервиса : экономика, социальная сфера, технологии. 2015. № 4 (26). С. 31–34.
3. Индутьный А. В. Метаболические предпосылки интолерантности к алкоголю в условиях стресса : Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Омск, 1997. 22 с.
4. Калусев А. В. Стресс, тревожность и поведение : актуальные проблемы моделирования тревожного поведения у животных. К. : CSF, 1998. 98 с.

5. Кнышова Л. П., Поройский С. В., Яковлев А. Т., Морковин Е. И. Влияние экспериментальной хронической эндогенной алкогольной интоксикации на микрофлору кишечника // Вестник Волгоградского гос. мед. ун-та. 2016. № 4 (60). С. 40–44.
6. Кулагина Т. П., Грицына Ю. В., Ариповский А. В., Жалимов В. К., Вихлянцева И. М. Содержание жирных кислот в поперечно-полосатых мышцах хронически-алкоголизированных крыс // Биофизика. 2018. Т. 63, № 5. С. 1004–1013.
7. Лебедев А. А., Дробленков А. В., Шабанов П. Д. Реакция клеток мезокортиколимбической дофаминергической системы мозга на длительную алкоголизацию у крыс // Психофармакология и биологическая наркология. 2008. Т. 8, № 3–4. С. 2453–2456.
8. Лелевич В. В., Леднева И. О., Лелевич С. В. Метаболические эффекты хронической алкогольной интоксикации // Журн. Гродненского гос. мед. ун-та. 2017. Т. 15, № 3. С. 310–314.
9. Мамедгасанов Т. С., Асметов В. Я., Ганиев М. М. Влияние мексидола и пирацетама на уровень моноаминов в различных структурах головного мозга крыс при алкогольной интоксикации // Евразийский союз ученых. 2019. № 5–3 (62). С. 31–33.
10. Смирнов А. В., Замлетов А. А., Синельщикова А. В., Багметова В. В., Ганзикова Н. С., Малюженко И. В., Кириченко Л. Н., Тюренков И. Н. Патоморфологические особенности в зоне СА1 гиппокампа крыс при принудительной хронической алкоголизации // Волгоградский науч.-мед. журн. 2019. № 1. С. 28–32.
11. Тригуб М. М., Богданова Н. Г., Колпаков А. А. Влияние агонистов опиоидных рецепторов периферического действия на депрессивный эффект этанола // Бюлл. экспериментальной биологии и медицины. 2013. Т. 156, № 12. С. 741–744.
12. Тюренков И. Н., Воронков А. В., Бородкина Л. Е. Влияние фенибута на поведение животных в условиях добровольной хронической алкоголизации // Экспериментальная и клиническая фармакология. 2005. Т. 68, № 3. С. 42–45.
13. Фисенко В. П. Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ. М. : Ремедиум, 2000. 398 с.
14. Фролова Г. А. Поведенческие эффекты блокирования D2/D3-рецепторов дофамина у алкоголизированных самцов белых крыс с разным уровнем поведенческой активности // Крымский журнал экспериментальной и клинической медицины. 2017. Т. 7, № 4. С. 75–84.
15. Фролова Г. А., Балакирева Е. А. Модификации тревожного поведения у хронически алкоголизированных самцов белых крыс с учетом индивидуальных особенностей // Актуальные проблемы естественнонаучного образования, защиты окружающей среды и здоровья человека. 2016. Т. 2, № 2. С. 398–405.
16. Шаляпина В. Г., Веришнина А. Н., Ракицкая В. В. Изменение приспособительного поведения активных и пассивных крыс вистар в водно-иммерсионной модели депрессии // Журн. ВНД. 2006. Т. 56, № 4. С. 543–547.

Balakireva G. A. Age-related features of the effects of two-week alcoholization on the behavioral activity of male white rats in open field. – Studied behavioral correlates of individual sensitivity to chronic alcoholism in males of white rats of different ages. It is established that two-week administration of ethanol leads to the development of depressive-like states in old males with high initial level of activity, inhibits behavioral activity source of medium- and high-level males to varying degrees and stimulates the activity of low activity of young rats.

Key words: ethanol, exploratory activity, locomotor activity.

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И ОХРАНЫ ПРИРОДЫ ТЕХНОГЕННОГО РЕГИОНА

2021

№ 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, 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>