

ISSN 2077-3366

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

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCES OF DPR
DONETSK NATIONAL UNIVERSITY

**ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И ОХРАНЫ ПРИРОДЫ
ТЕХНОГЕННОГО РЕГИОНА**

Научно-практический журнал

№ 3–4

Основан в 1999 г.

**PROBLEMS OF ECOLOGY AND NATURE PROTECTION
OF TECHNOGENIC REGION**

Scientific and practical journal

№ 3–4

Founded in 1999

2018

Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2018. – № 3–4

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

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

Редакционная коллегия

Беспалова С. В. , проф., д-р физ.-мат. наук (<i>главный редактор</i>)	ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
Горецкий О. С. , проф., д-р биол. наук (<i>зам. главного редактора</i>)	ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
Алемасова А. С. , проф., д-р хим. наук	ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
Глухов А. З. , проф., д-р биол. наук	ГУ «Донецкий ботанический сад»
Демченко С. И. , доц., канд. биол. наук	ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет» НИИ травматологии и ортопедии
Калинкин О. Г. , проф., д-р мед. наук	ГОО ВПО «Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького» ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет» (Россия)
Мацюра А. В. , проф., д-р биол. наук	ГУ «Донецкий ботанический сад»
Остапко В. М. , проф., д-р биол. наук	ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
Сафонов А. И. , доц., канд. биол. наук	Гуманитарно-педагогическая академия ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского» (Россия)
Соболев В. И. , проф., д-р биол. наук	ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
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 № 10 от 27.12.2018 г.*

Problems of ecology and nature protection of technogenic region, 2018, № 3–4

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

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

Editorial Board

Bespalova S. V. (Editor-in-Chief)	Donetsk National University
Goretsky O. S. (Associate Editor)	Donetsk National University
Alemasova A. S.	Donetsk National University
Glukhov A. Z.	Donetsk Botanical Garden
Demchenko S. I.	Donetsk National University
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
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

e-mail: eco-1999@mail.ru

Web-site of journal: <http://donnu.ru/ecolog>

*Printed by decision of Donetsk National University Scientific Council
proc № 10 dated 27.12.2018*

СОДЕРЖАНИЕ

ФЛОРА, ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА

<i>Демьяненко Т. В., Наумова Е. М.</i> Варьирование морфометрических показателей у некоторых видов рода <i>Centaurea</i> L. в зависимости от условий местопроизрастания	6
<i>Ибатулина Ю. В.</i> Характеристика степной и луговой растительности участка в окрестностях села Цупки (Харьковский горсовет)	15
<i>Калинина А. В., Гермонова Е. А.</i> Геостратегическая визуализация фитоценозов породных отвалов угольных шахт г. Макеевки в условиях самозарастания и рекультивации	28
<i>Мирненко Н. С., Садовская В. В.</i> Особенности формирования фитопланктона прудов Амвросиевского района	35
<i>Мирненко Э. И., Макуха А. О.</i> Фитопланктон как показатель экологического состояния прудов г. Донецка	44
<i>Мудрецова К. В., Тарабарова А. Г., Гурина А. В., Сафронов А. И.</i> Применимость флуктуирующей асимметрии листьев <i>Betula pendula</i> Roth для индикации качества среды урбанизированных территорий (на примере г. Донецка)	50
<i>Павлова М. А., Усманова Н. В.</i> Результаты первичной интродукции <i>Carex bohemica</i> Schreb. в Донецком ботаническом саду	62
<i>Сафонов А. И.</i> Чек-лист индикаторных признаков сорно-рудеральной фракции урбанофлоры г. Донецка (1998-2018 гг.)	67
<i>Штирц Ю. А.</i> Рекомендуемые объёмы выборок для информативного сравнения размерных показателей листовой пластинки <i>Populus nigra</i> L. s.l. в условиях городских экосистем	73

ФАУНА, ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ЖИВОТНОГО МИРА

<i>Амолин А. В.</i> Пчелы-опылители (Hymenoptera: Apoidea) энтомофильных сельскохозяйственных культур Донбасса	78
<i>Чайка М. А., Суханова О. Г.</i> Фауна и население птиц отделения «Хомутовская степь БООПТРЗ «Хомутовская степь – Меотида» в гнездовой период 2016-2017 гг.	90
<i>Штирц А. Д., Колосова Ю. Е.</i> Экологическая структура населения панцирных клещей отделения «Меотида» БООПТРЗ «Хомутовская степь – Меотида» в осенний период	102

ФИЗИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ, МИКОЛОГИЯ

<i>Гладков Е. А., Гладкова О. В.</i> Оценка фитотоксичности кадмия и повышение устойчивости газонной травы <i>Agrostis stolonifera</i> L. к этому тяжелому металлу	110
<i>Демченко С. И., Дейнеко О. И., Швиндина Е. С.</i> Лакказная и плодообразовательная активность гибридных штаммов гриба <i>Pleurotus ostreatus</i> (Jacq.: Fr.) Kumm.	114
<i>Сыщикова О. В., Сыщиков Д. В., Жадинский Н. В.</i> Влияние загрязнения почв тяжелыми металлами на количественный состав актиномицетов	122
<i>Ташлиева И. И., Гладков Е. А.</i> Влияние тяжелого металла меди на газонную траву райграс многолетний	128
<i>Фрунзе О. В., Конопленко М. Н.</i> Содержание кобальта и марганца в проростках декоративных травянистых растений в условиях контролируемого загрязнения	132
<i>Чайка А. В., Молодцова Ю. А.</i> Реакция прооксидантно-антиоксидантной системы как критерий отбора устойчивых к гипертермии штаммов <i>Pleurotus ostreatus</i>	137
<i>Чемерис О. В.</i> Оптимизация условий культивирования штамма <i>Irpex lacteus</i> 2426 – продуцента молокосвертывающего фермента	146

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ

БИОФИЗИКИ И ФИЗИОЛОГИИ

<i>Беспалова С. В., Чуфицкий С. В., Романчук Н. В., Саакян О. Н.</i> Воздействие сточных вод угольных шахт на качество воды реки Ольховая	152
<i>Губарев А. А., Чуфицкий С. В., Перебейнос В. В., Готин Б. А.</i> Аппроксимация кривой переменной флуоресценции линейной комбинацией экспонент	160
<i>Труш В. В., Попов В. Ф., Труш В. И.</i> Оценка в модельных экспериментах на животных характера влияния длительно вводимого таурина на функциональное состояние скелетной мышцы	167
Правила для авторов	177

CONTENTS

FLORA, ECOLOGY AND PROTECTION OF THE PLANT KINGDOM

<i>Demyanenko T. V., Naumova E. M.</i> Variation of morphometric parameters in some species of the genus <i>Centaurea</i> L. depending on the conditions of growth	6
<i>Ibatulina Yu. V.</i> The characteristics of steppe and grassland plant cover of the field site near Tsupki village (Khartsyzsk city council)	15
<i>Kalinina A. V., Germonova K. A.</i> Geostrategic visualization of waste rock dumps phytocenoses of coal mines in Makeevka under self-overgrowth and recultivation	28
<i>Mirnenko N. S., Sadlovskaya V. V.</i> Features of the formation of phytoplankton of the ponds of the Amvrosievsky district	35
<i>Mirnenko E. I., Makuha A. O.</i> Phytoplankton as an indicator of the ecological status of ponds in Donetsk	44
<i>Mudretsova K. V., Tarabarova A. G., Gurina A. V., Safronov A. I.</i> The applicability of the fluctuating asymmetry of <i>Betula pendula</i> Roth leaves to indicate the quality of the urban environment (by the example of the Donetsk city)	50
<i>Pavlova M. A., Usmanova N. V.</i> The results of primary introduction of <i>Carex bohemica</i> Schreb. in the Donetsk Botanical Garden	62
<i>Safonov A. I.</i> Check list of indicative indices of weedy and ruderal fraction of urban flora of Donetsk (1998-2018)	67
<i>Shtirts Yu. A.</i> Recommended sample sizes for informative comparison of dimensional indicators of the <i>Populus nigra</i> L. s.l. leaf blade in urban ecosystems	73

FAUNA, ECOLOGY AND PROTECTION OF THE ANIMAL KINGDOM

<i>Amolin A. V.</i> Bees-pollinators (Hymenoptera: Apoidea) of entomophilic agricultural crops of Donbass	78
<i>Chaika M. A., Sukhanova O. G.</i> Birds fauna and population of the «Khomutovskaya steppe» department of biosphere specially protected natural territory of republican importance «Khomutovskaya steppe – Meotida» in the 2016-2017 breeding period	90
<i>Shtirts A. D., Kolosova Yu. E.</i> Ecological structure of oribatid mites communities of branch «Meotida» of biosphere reserve «Khomutovskaya Steppe – Meotida» in the autumn	102

PHYSIOLOGY AND ECOLOGY OF THE PLANT, MYCOLOGY

<i>Gladkov E. A., Gladkova O. V.</i> The estimation of cadmium phytotoxicity and increasing sustainability of lawn grass <i>Agrostis stolonifera</i> L. to this heavy metal	110
<i>Demchenko S. I., Deineko O. I., Shvindina K. S.</i> The laccase and fruit formation activity of fungus <i>Pleurotus ostreatus</i> (Jacq.: Fr.) Kumm. hybridous strains	114
<i>Syshchykova O. V., Syshchykov D. V., Zhadinsky N. V.</i> Influence of soils contamination by heavy metals on quantitative composition of actinomycetes	122
<i>Tashlieva I. I., Gladkov E. A.</i> Effect of heavy metal copper on the lawn grass <i>Lolium perenne</i>	128
<i>Frunze O. V., Konoplenko M. H.</i> Cobalt and manganese content in seedlings of ornamental herbaceous plants under controlled pollution	132
<i>Chaika A. V., Molodtsova Yu. A.</i> Reaction of prooxidant-antioxidant system as a criterion for <i>Pleurotus ostreatus</i> strains hyperthermia resistant	137
<i>Chemeris O. V.</i> Optimization of cultivation conditions of the strain <i>Irpex lacteus</i> 2426 a producer of the milk-clotting enzyme	146

FUNDAMENTAL AND APPLIED PROBLEMS OF BIOPHYSICS AND PHYSIOLOGY

<i>Bespalova S. V., Chufitskyi S. V., Romanchuk N. V., Saakyan O. N.</i> Effect of coal mines wastewaters on the quality of water of the Olkhovaya river	152
<i>Gubarev A. A., Chufitskyi S. V., Perebeinis V. V., Gotin B. A.</i> Approximation of a variable fluorescence curve by a linear combination of exponentials	160
<i>Trush V. V., Popov V. F., Trush V. I.</i> Evaluation in the model experiments on animals of the effect of long-administrating taurine on the functional state of the skeletal muscle	167
Rules for authors	177

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

УДК 581.7 : 582.929.4

© Т. В. Демьяненко, Е. М. Наумова

**ВАРЬИРОВАНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ У НЕКОТОРЫХ
ВИДОВ РОДА *CENTAUREA L.* В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ
МЕСТОПРОИЗРАСТАНИЯ**

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

283050, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: tatjana.demjanenko.2014@mail.ru

Демьяненко Т. В., Наумова Е. М. Варьирование морфометрических показателей у некоторых видов рода *Centaurea L.* в зависимости от условий местопроизрастания. – Представлены результаты изучения основных морфометрических показателей у многолетних видов васильков, собранных в различных фитоценозах (лес, луг, поле). Установлены варьирование и консервативность признаков, определена их достоверность. В результате выявлено, что приспособление видов к произрастанию в новых, не характерных для них условиях, происходит именно за счет неустойчивости признаков. Наиболее консервативными признаками являются длина разветвления и диаметр корзинки.

Ключевые слова: морфометрические признаки, лабильность, консервативность, устойчивость параметров.

Введение

Анализ эколого-биологических особенностей растений является неотъемлемой составной частью исследования растительного покрова, необходимым звеном познания закономерностей его изменений и развития. Приспособление растений к экологическим условиям различных местопроизрастаний имеет длительную историю. Произрастая в природных фитоценозах, которые формировались на протяжении длительного времени, виды выработали приспособления к совместному существованию, где взаимоотношения между ними сводятся не столько к жестокой конкуренции, сколько к взаимопомощи за счет коллективного усиления синузий в фитоценозах.

Влияние фитоценоза на изменчивость морфометрических признаков изучено ещё недостаточно. До конца не выяснено, является ли среда нивелирующим фоном, способствующим сглаживанию изменчивости, или наоборот, изменчивость проявляется в сообществе в ещё большей степени [7].

Основной целью проводимой работы является определение степени варьирования некоторых морфометрических признаков у растений в различных условиях произрастания. В качестве модельного образца изучали представителей рода *Centaurea L.*

Материал и методика исследования

Представители названного рода являются одно-, дву- и многолетними травянистыми растениями, высотой от 40 до 120 см в зависимости от вида. Стебель прямостоячий, либо ветвистый. Нижние листья перисто-лопастные, на черешках, ко времени цветения отмирают. Листья средней и верхней формации линейные, цельнокрайние, сидячие. Цветочные корзинки крупные, одиночные, сидячие на верхушке стебля и ветвей. Корзинки гетерогамные, многоцветковые, от мелких до довольно крупных. На нижней части оси цветка помещаются сближенные верховые листья, в совокупности образующие обертку. Цветки желтые, розовые, розово-фиолетовые, пурпурные, темно-красные, синие, голубые, редко беловатые или белые, разнородные, обычно срединные обоопольные, краевые беспольные. Цветки, содержащие гинецей, имеют всегда нижнюю вторично одногнездную завязь, образованную двумя медианными плодолистиками, с одной семяпочкой. Столбик один, у его основания расположен нектарный диск, наверху столбика всегда двураздельное рыльце. Андроцей пятичленный, тычиночные нити, прикрепляющиеся к трубке венчика, свободные.

Пыльники наоборот, соединены друг с другом в трубочку и раскрываются внутрь её. Плод – серая или желтовато-серая, слегка опушенная семянка, с многорядным хохолком [8].

Измерения проводили только на гербарном материале из коллекции ГУ «Донецкий ботанический сад» и кафедры ботаники и экологии биологического факультета ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет».

Основными морфометрическими признаками васильков, зависящими от местопроизрастания, являются: длина генеративного побега, длина разветвления и диаметр корзинки. В настоящей работе исследовали только многолетние травянистые виды васильков в различных условиях местопроизрастания: степь, луг, лес, каменистые обнажения, гранитные обнажения, поля, пески, меловые обнажения. Все полученные данные обработали первичными статистическими методами и методами корреляционного анализа [1].

Характеристика условий исследуемых фитоценозов

Для лугов характерны растительные сообщества, образованные, в основном, многолетними мезофильными травами, растущими в течение всего вегетационного периода без летнего перерыва. Основной формой взаимоотношения между отдельными растениями является борьба за существование. Основу травостоя составляют луговые злаки, они образуют настолько мощную, тесно сплоченную растительную массу, что внедриться в неё и устоять в борьбе с нею другим растениям – дело трудное. Злаки стесняют другие растения прежде всего территориально, притом не только над почвой, но и в почве, где их корни образуют также сплоченную подземную массу. К этому присоединяется стеснение в питательных минеральных веществах: злаки, создавая массу органического вещества, истощают почву, в особенности в отношении азота, которого в почве имеется мало. На лугах, помимо злаковых растений, обычно встречаются бобовые, и уже на третьем месте стоят сложноцветные и сельдерейные. Это связано с тем, что растения обычно имеют мощный стержневой, глубоко идущий корень, благодаря которому они обеспечивают себе устойчивость и добычу питательного материала из почвы. Характерны сезонные изменения массы надземных органов, вызванные ростом трав в высоту и увеличением листовой поверхности. Высокорослые травы приспособлены к устойчивой освещённости, уменьшение интенсивности света ведет к увеличению высоты луговых растений, но при этом снижается образование побегов (ветвление) [5, 6].

Агроэкосистемы отличаются от природных комплексов своеобразием формирования водного режима, водной эрозии, дефляции, почвообразования, а также биологического и геохимического круговорота веществ. Разнообразие экологического состава фитоценоза обеспечивает устойчивость продукционного процесса при колебании погодных условий в различные годы. Угнетение одних растений приводит к повышению продуктивности других вследствие ослабления конкуренции. В результате фитоценоз сохраняет способность к созданию определенного уровня продукции в разные годы. Природные экологические системы используют единственный источник энергии – Солнце. Агроценозы наряду с солнечной энергией получают дополнительное количество энергии, которое вносит человек в виде гербицидов, минеральных удобрений и др. Агроценоз полевых культур – сообщество монодоминантное. Действие неблагоприятных факторов одинаково отражается на всех растениях агроценоза. Угнетение роста и развития основной культуры не может быть компенсировано усилением роста других видов растений. В результате устойчивость продуктивности агроценозов ниже, чем в естественных.

Степи представляют собой пространства с растительным покровом из более или менее ксерофильных травянистых растений. Типичные настоящие степи – сухие дерновинно-злаковые, поскольку эдификаторные синузиды крупно- и мелкоплотнoderновинных злаков в их составе явно подавляют развитие остальных синузидов. Основу травостоя богаторазнотравно-дерновиннозлаковых степей на водоразделах и пологих склонах на суглинистых черноземах образуют эвксерофильные, эвриксерофильные и некоторые мезоксерофильные плотнoderновинные злаки, преимущественно ковыли. Большая часть

надземной массы ежегодно осенью отмирает; вся она не успевает разложиться и постепенно, из года в год, накапливается, заметно снижая испарение и улучшая водный режим верхних горизонтов почвы. Степной войлок угнетает развитие дерновинных злаков и в то же время способствует поселению и росту злаков корневищных. В условиях ослабленной конкуренции со стороны дерновинных злаков появляется возможность для развития растений других групп [3].

Результаты и обсуждение

Среди исследованных видов рода *Centaurea* 15 видов являются многолетними травянистыми растениями, согласно гербарным этикеткам собраны в различных условиях произрастания. В табл. 1 приведены данные встречаемости васильков в различных местопроизрастаниях.

Таблица 1

Места сбора многолетних травянистых растений рода *Centaurea* L.

Вид	Условия произрастания							
	степь	луг	песок	лес	каменистые обнажения	гранитные обнажения	меловые отложения	поле
1. <i>Centaurea adpressa</i> Ledeb. – василек прижаточешуйчатый	+	+					+	
2. <i>C. carbonata</i> Klokov – василек угольный	+	+			+		+	+
3. <i>C. jacea</i> L. – василек луговой	+	+						+
4. <i>C. marschalliana</i> Spreng. – василек Маршалла	+	+		+	+		+	+
5. <i>C. orientalis</i> L. – василек восточный	+	+						+
6. <i>C. pannonica</i> (Heuff.) Simonk. – василек паннонский		+	+					+
7. <i>C. pseudocoriacea</i> Dobrocz. – василек ложнокожистый	+	+		+				+
8. <i>C. pseudophrygia</i> C. A. Mey. – василек ложнофригийский		+		+				+
9. <i>C. ruthenica</i> Lam. – василек русский	+	+			+		+	
10. <i>C. salicifolia</i> M. Bieb. – василек иволистный		+	+					+
11. <i>C. salonitana</i> Vis. – василек салонинский		+						+
12. <i>C. sumensis</i> Kalen. – василек сумской			+		+		+	
13. <i>C. taliewii</i> Kleorow – василек Талиева	+				+			
14. <i>C. trichocephala</i> M. Bieb. – василек волосистоголовый	+	+	+				+	
15. <i>C. trinervia</i> Stephan – василек трехжилковый		+			+			+

Таким образом, установили, что наибольшее количество видов многолетних васильков собрано в степи, на лугах и полях, наименьшее количество видов – на лесных полянах и опушках.

Далее мы исследовали виды, которые произрастают в степи, на лугах и полях (табл. 2).

Таблица 2

Морфометрические показатели многолетних видов рода *Centaurea* L. в различных условиях произрастания

Вид	Место-произрастания	Высота растения, см	Длина разветвления, см	Диаметр корзинки, см	σ	CV (%)
1. <i>Centaurea adpressa</i> Ledeb.	степь	81,09±5,45	26,07±3,32	1,20±0,06	12,22	0,27
	луг	93,50±2,24	33,50±2,15	1,37±0,12	8,38	0,16
	поле	-	-	-	-	-
2. <i>Centaurea carbonata</i> Klokov	степь	18,55±2,52	8,20±1,17	1,10±0,10	2,54	0,25
	луг	23,50±1,02	5,30±1,13	1,30±0,05	1,77	0,03
	поле	13,70±3,68	3,80±1,04	1,20±0,06	6,37	0,18
3. <i>Centaurea jacea</i> L.	степь	67,18±4,30	17,08±3,03	0,98±0,07	7,76	0,27
	луг	47,38±3,18	16,39±2,76	1,04±0,08	7,25	0,39
	поле	73,50±3,91	18,70±2,07	0,60±0,03	11,95	0,17
4. <i>Centaurea marschalliana</i> Spreng.	степь	17,80±1,48	11,07±0,95	0,65±0,06	1,67	0,19
	луг	16,50±4,96	14,50±2,03	0,70±0,09	8,60	0,17
	поле	17,90±2,04	13,80±1,05	0,70±0,03	0,26	0,17
5. <i>Centaurea orientalis</i> L.	степь	57,39±3,22	19,49±1,80	1,61±0,45	8,12	0,28
	луг	64,92±4,01	24,66±2,61	1,79±0,05	9,20	0,28
	поле	66,72±3,64	21,03±3,17	1,59±0,08	6,88	0,22
6. <i>Centaurea pannonica</i> (Heuff.) Simonk.	степь	-	-	-	-	-
	луг	71,63±3,10	18,13±1,15	1,03±0,07	4,08	0,16
	поле	70,77±4,38	18,57±3,73	1,13±0,04	6,68	0,10
7. <i>Centaurea pseudocoriacea</i> Dobrocz.	степь	55,96±5,54	15,56±1,43	1,32±0,04	5,99	0,18
	луг	64,48±5,78	16,03±2,81	1,15±0,10	5,86	0,24
	поле	53,25±1,28	15,55±1,42	1,00±0,08	1,04	0,18
8. <i>Centaurea pseudophrygia</i> C. A. Mey.	степь	-	-	-	-	-
	луг	58,03±3,09	22,15±1,30	1,05±0,05	2,96	0,11
	поле	54,65±3,05	28,15±1,25	1,25±0,05	3,94	0,12
9. <i>Centaurea ruthenica</i> Lam.	степь	50,10±3,52	15,58±2,45	1,80±0,12	6,67	0,33
	луг	63,72±5,25	14,36±3,83	1,90±0,06	6,83	0,29
	поле	-	-	-	-	-
10. <i>Centaurea salicifolia</i> M. Bieb.	степь	-	-	-	-	-
	луг	84,60±4,92	32,03±2,51	0,77±0,06	9,53	0,22
	поле	87,30±5,09	35,30±3,90	0,80±0,04	5,11	0,14
11. <i>Centaurea salonitana</i> Vis.	степь	78,40±2,47	34,50±3,38	0,70±0,03	4,60	0,24
	луг	77,27±2,75	31,00±3,17	0,80±0,03	3,44	0,10
	поле	-	-	-	-	-
12. <i>Centaurea taliewii</i> Kleopow	степь	111,55±2,92	24,75±2,03	1,73±0,06	4,33	0,13
	луг	-	-	-	-	-
	поле	-	-	-	-	-
13. <i>Centaurea trichocephala</i> M. Bieb.	степь	43,73±2,37	19,70±1,84	0,75±0,03	5,51	0,26
	луг	42,37±4,56	10,80±3,01	0,70±0,12	3,63	0,26

Вид	Место-произрастания	Высота растения, см	Длина разветвления, см	Диаметр корзинки, см	σ	CV (%)
		M \pm m				
	поле	43,35 \pm 2,95	11,50 \pm 1,03	0,75 \pm 0,05	3,77	0,10
14. <i>Centaurea trinervia</i> Stephan	степь	-	-	-	-	-
	луг	54,53 \pm 4,00	28,55 \pm 1,26	0,70 \pm 0,04	3,54	0,12
	поле	55,60 \pm 3,80	30,50 \pm 2,11	0,65 \pm 0,05	2,80	0,10

Примечание. M – среднее арифметическое значение, m – ошибка среднего арифметического значения, σ – среднее квадратичное отклонение, CV – коэффициент вариации.

В результате, значительные отличия по высоте растений в различных условиях произрастания не выявлены. Исключением является *C. jacea*, который в условиях луга имеет минимальную высоту, но коэффициент вариации наибольший, а в условиях поля высота максимальная, но коэффициент вариации наименьший. По длине разветвления довольно значительных отличий не обнаружено, за исключением *C. pseudophrygia* и *C. trichocephala*, у которых колебания названного показателя могут достигать до 9 см. Касательно диаметра корзинки, проявляется его относительная устойчивость. Для определения степени варьирования признака, рассчитывали среднее арифметическое отклонение, высокие значения показателя свидетельствуют о неустойчивости признака, а низкие – о консервативности. Таким образом, установленное наибольшее значение среднего квадратического отклонения у *C. adpressa* в условиях степи свидетельствует о неустойчивости исследованных признаков, по сравнению с луговым фитоценозом. Хотя в литературе указывается, что естественным местопроизрастанием вида являются степь и пески [2, 4]. По-видимому, благодаря такой вариабельности признаков названный вид и произрастает в жестких условиях степи.

У *C. jacea* также установлено высокое значение среднего арифметического отклонения у растений, собранных в поле. Причем, именно в поле растения имеют наибольшую высоту и длину разветвления, но наименьший диаметр корзинок. В литературе указывается, что названный вид произрастает на лугах, лесных полянах, опушках и кустарниках [2, 4]. Из этого следует, что произрастание названного вида в агрофитоценозах не характерно и значительное варьирование признаков, по сравнению с лугом, способствует таковому.

Наибольшая устойчивость признаков наблюдается у *C. carbonata* в условиях луга, причем естественно вид произрастает на меловых и известняковых обнажениях; *C. marschalliana* – в условиях степи и поля, хотя естественно встречается в степи и на меловых обнажениях, причем высота растения и длина разветвления являются наиболее вариабельными признаками; *C. pseudocoriacea* – в условиях поля, хотя естественно произрастает в степи и по опушкам, причем значения признаков в условиях поля наиболее близки к значениям в условиях степи, по сравнению с лугом. Для остальных видов характерно варьирование признаков в различной степени.

С целью выявления степени взаимозависимости основных изученных показателей провели корреляционный анализ. Полученные результаты представлены в табл. 3.

В результате установлена наибольшая достоверная положительная по направлению взаимосвязь между высотой растения и длиной разветвления в условиях луга у *C. adpressa*, *C. jacea*, *C. ruthenica*, *C. salicifolia*, *C. salonitana* и *C. trinervia*, т.е. с увеличением высоты растения увеличивается и длина разветвления, что, как указывалось выше, и свойственно луговым растениям. Подобная взаимосвязь, но в агрофитоценозе наблюдается у *C. salicifolia* и *C. salonitana*, а у *C. trichocephala* в условиях степи. У *C. trinervia* выявлена названная выше взаимосвязь, но по направлению отрицательная, т. е. с увеличением высоты растения уменьшается длина разветвления.

**Степень взаимосвязи морфометрических показателей у видов рода *Centaurea* L.
в различных условиях местопроизрастания**

Вид		Высота растения (1)	Длина разветвления (2)	Диаметр корзинки (3)	Критерий стандартный (4)
<i>Centaurea adpressa</i> Ledeb.	Высота растения	- - -	<u>0,61*</u> <u>0,83**</u> _***	<u>-0,03</u> <u>0,50</u>	0,05 – 0,55 0,01 – 0,73
	Длина разветвления	- - -	- - -	<u>0,38</u> <u>0,89</u> -	
	Диаметр корзинки	- - -	- - -	- - -	
<i>Centaurea carbonata</i> Klokov		1	2	3	4
	Высота растения	- - -	<u>-0,05</u> <u>0,61</u> 0,52	<u>-0,91</u> <u>0,57</u> -0,46	0,05 – 0,55 0,01 – 0,73
	Длина разветвления	- - -	- - -	<u>0,31</u> <u>-0,38</u> -0,31	
	Диаметр корзинки	- - -	- - -	- - -	
	1	2	3	4	
<i>Centaurea jacea</i> L.	Высота растения	- - -	<u>0,53</u> <u>0,73</u> 0,68	<u>-0,66</u> <u>0,64</u> 0,53	0,05 – 0,55 0,01 – 0,73
	Длина разветвления	- - -	- - -	<u>-0,26</u> <u>0,18</u> 0,49	
	Диаметр корзинки	- - -	- - -	- - -	
		1	2	3	
<i>Centaurea marschalliana</i> Spreng.	Высота растения	- - -	<u>0,42</u> <u>0,59</u> -0,65	<u>0,88</u> <u>0,68</u> -0,76	0,05 – 0,55 0,01 – 0,73
	Длина разветвления	- - -	- - -	<u>0,54</u> <u>0,40</u> -0,97	
	Диаметр корзинки	- - -	- - -	- - -	
		1	2	3	
<i>Centaurea orientalis</i> L.	Высота растения	- - -	<u>0,07</u> <u>0,33</u> 0,39	<u>0,10</u> <u>0,16</u> 0,01	0,05 – 0,55 0,01 – 0,73
	Длина разветвления	- - -	- - -	<u>0,41</u> <u>0,44</u> 0,60	

Вид		Высота растения (1)	Длина разветвления (2)	Диаметр корзинки (3)	Критерий стандартный (4)
	Диаметр корзинки	- - -	- - -	- - -	
<i>Centaurea pannonica</i> (Heuff.) Simonk.		1	2	3	4
	Высота растения	- - -	= <u>0,60</u> 0,68	= <u>0,09</u> 0,85	0,05 – 0,55 0,01 – 0,73
	Длина разветвления	- - -	- - -	= <u>0,76</u> 0,96	
	Диаметр корзинки	- - -	- - -	- - -	
<i>Centaurea pseudocoriacea</i> Dobroc.		1	2	3	4
	Высота растения	- - -	<u>0,84</u> <u>0,46</u> 0,21	<u>-0,14</u> <u>-0,24</u> <u>-0,85</u>	0,05 – 0,55 0,01 – 0,73
	Длина разветвления	- - -	- - -	<u>0,24</u> <u>-0,79</u> <u>-0,69</u>	
	Диаметр корзинки	- - -	- - -	- - -	
<i>Centaurea pseudophrygia</i> С. А. Мей.		1	2	3	4
	Высота растения	- - -	<u>0,60</u> <u>0,62</u>	<u>-0,59</u> <u>-0,82</u>	0,05 – 0,55 0,01 – 0,73
	Длина разветвления	- - -	- - -	<u>-0,63</u> <u>-0,95</u>	
	Диаметр корзинки	- - -	- - -	- - -	
<i>Centaurea ruthenica</i> Lam.		1	2	3	4
	Высота растения	- - -	<u>-0,31</u> <u>0,95</u>	<u>-0,05</u> <u>-0,88</u>	0,05 – 0,55 0,01 – 0,73
	Длина разветвления	- - -	- - -	<u>0,38</u> <u>-0,96</u>	
	Диаметр корзинки	- - -	- - -	- - -	
<i>Centaurea salicifolia</i> M. Bieb.		1	2	3	4
	Высота растения	- - -	= <u>0,99</u> 0,93	= <u>-0,68</u> <u>-0,13</u>	0,05 – 0,55 0,01 – 0,73
	Длина разветвления	- - -	- - -	= <u>-0,67</u>	

разветвления

Вид		Высота растения (1)	Длина разветвления (2)	Диаметр корзинки (3)	Критерий стандартный (4)
		-	-	0,22	
	Диаметр корзинки	-	-	-	
		-	-	-	
<i>Centaurea salonitana</i> Vis.		1	2	3	4
	Высота растения	-	=	=	0,05 – 0,55 0,01 – 0,73
		-	0,90	-0,98	
		-	0,98	-0,45	
Длина разветвления	-	-	=		
		-	-	-0,95	0,01 – 0,73
		-	-	-0,60	
	Диаметр корзинки	-	-	-	
		-	-	-	
<i>Centaurea taliewii</i> Клеоров		1	2	3	4
	Высота растения	-	0,74	0,43	0,05 – 0,55 0,01 – 0,73
		-	=	=	
		-	-	-0,41	
Длина разветвления	-	-	=		
		-	-	=	0,01 – 0,73
		-	-	=	
	Диаметр корзинки	-	-	-	
		-	-	-	
<i>Centaurea trichocephala</i> M. Bieb.		1	2	3	4
	Высота растения	-	0,91	0,62	0,05 – 0,55 0,01 – 0,73
		-	0,32	0,85	
		-	-	-	
Длина разветвления	-	-	0,27		
		-	-	-0,22	0,01 – 0,73
		-	-	=	
	Диаметр корзинки	-	-	-	
		-	-	-	
<i>Centaurea trinervia</i> Stephan		1	2	3	4
	Высота растения	-	=	=	0,05 – 0,55 0,01 – 0,73
		-	0,83	-0,60	
		-	-0,97	-0,40	
Длина разветвления	-	-	=		
		-	-	-0,87	0,01 – 0,73
		-	-	0,17	
	Диаметр корзинки	-	-	-	
		-	-	-	

Примечание. * – степной фитоценоз, ** – луговой фитоценоз, *** – агрофитоценоз (поле).

Взаимосвязь между длиной разветвления и диаметром корзинки достоверна и положительна по направлению в условиях луга выявлена у *C. adpressa* и *C. pannonica*, т. е. при увеличении длины разветвления увеличивается и диаметр корзинки. Достоверная и положительная по направлению взаимосвязь между высотой корзинки и диаметром корзинки характерна для *C. marschalliana* в условиях степи, для *C. pannonica* – в условиях луга и поля, для *C. trichocephala* – в условиях луга, т. е. у названных видов увеличение высоты способствует увеличению диаметра корзинки.

Выводы

Установленное значительное варьирование высоты растения и длины разветвления у *C. adpressa* в условиях степи достоверно только на 95% уровне, а для диаметра корзинки оказалось не достоверным. Варьирование высоты растения и длины разветвления у *C. jacea* в условиях луга оказалось достоверным только на 95% уровне, варьирование остальных показателей не достоверно. Устойчивость всех исследуемых показателей у *C. carbonata* в условиях степи является достоверной только на 95% уровне. Установленная наибольшая консервативность всех исследуемых признаков у *C. marschalliana* в условиях поля оказалась не достоверной, а устойчивость высоты растения и диаметра корзинки в условиях степи достоверна на 99% уровне.

Проведенный анализ полученных данных по морфометрическим показателям многолетних видов васильков показал, что относительная вариабельность признаков способствует произрастанию видов в новых для них фитоценозах и проявляется в значительном увеличении варьирования.

Список литературы

1. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика / А. И. Кобзарь. – М. : Физматлит, 2006. – 816 с.
2. Кондратюк Е. Н. Конспект флоры юго-востока Украины / Е. Н. Кондратюк, Р. И. Бурда, В. М. Остапко. – К. : Наук. думка, 1985. – 371 с.
3. Лавренко Е. М. Степи Евразии / Е. М. Лавренко, З. В. Карамышева, Р. И. Никулина. – Л. : Наука, 1991. – 146 с.
4. Остапко В. М. Сосудистые растения юго-востока Украины / В. М. Остапко, А. В. Бойко, С. Л. Мосякин. – Донецк : Ноулидж, 2010. – 247 с.
5. Прокопьева Л. В. Фитоценология : уч. пос. / Л. В. Прокопьева. – Йошкар-Ола : Изд-во Мар. гос. ун-та, 2009. – 128 с.
6. Рассел Э. Дж. Почвенные условия и рост растений / Э. Дж. Рассел. – М. : Изд-во иностр. лит-ры, 1985. – 624 с.
7. Серафимович Н. Б. Морфологические изменения райграса высокого в зависимости от условий произрастания / Н. Б. Серафимович // Вопросы сравнительной морфологии семенных растений. – Л. : Наука, 1975. – С. 139-164.
8. Черепанов С. К. Род *Centaurea* L. / С. К. Черепанов // Флора Европейской части СССР. – СПб. : Наука, 1994. – Т. 7. – С. 260-288.

*Demyanenko T. V., Naumova E. M. Variation of morphometric parameters in some species of the genus *Centaurea* L. depending on the conditions of growth.* – The results of the study of the main morphometric parameters of perennial species of cornflowers collected in different phytocenoses (forest, meadow, field). The variation and conservatism of signs are established, their reliability is defined. As a result, it is revealed that the adaptation of species to growth in new conditions not typical for them, is due to non-stability of features. The most conservative signs are the length of the branching and the diameter of the basket.

Key words: morphometric features, lability, conservatism, stability of parameters.

© Ю. В. Ибатулина

ОЦЕНКА СИНТАКСОНОМИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ СТЕПНОЙ И ЛУГОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ УЧАСТКА В ОКРЕСТНОСТЯХ СЕЛА ЦУПКИ (ХАРЦЫЗКИЙ ГОРСОВЕТ)

ГУ «Донецкий ботанический сад»

283059, г. Донецк, пр. Ильича, 110; e-mail: j.ibatulina@yandex.ru

Ибатулина Ю. В. Характеристика степной и луговой растительности участка в окрестностях села Цупки (Харцызский горсовет). – Дана характеристика степной, луговой растительности участка, фитосозологическая ценность которого определяется наличием слабо антропогенно трансформированных фитоценозов разнотравно-типчаково-ковыльной степи. Объект ботанического обследования характеризуется фитоценотическим разнообразием, которое представлено неморальнолесным, степным, луговым, гидрофитным типами; имеются также смешанные: опушки, заросли лесных кустарников в степи, вторичные фитоценозы. Слабо выражена синантропная растительность. Основной тип растительности – степной. Наиболее фитоценотически разнообразной является типичная (класс – *Steppa genuina*) степь: 19 формаций, из которых наиболее ассоциативно богатыми являются *Achilleeta leptophyllae* (4 ассоциации), *Achilleeta pannonicae* (7), *Festuceta valesiacaе* (17), *Salvieta nutantis* (4), *Stipeta capillatae* (6), *Stipeta grafianaе* (6), *Stipeta tirsae* (5); каменистая (*Steppa petrophyta*) – 11 формаций, из которых наиболее представленными являются *Achilleeta leptophyllae* (8 ассоциаций), *Agropyreta pectinati* (5), *Festuceta valesiacaе* (8), *Teucrieta polii* (4), *Thymeta dimorphi* (6). В целом по доминантному принципу: на новом участке с остатками природной растительности в окрестностях с. Цупки выявлено 210 ассоциаций из 51 формации. Для внесения в Зелёную книгу рекомендованы 34 ассоциации из формаций *Amygdaleta nanae*, *Stipeta capillatae*, *Stipeta grafianaе*, *Stipeta tirsae* (5).

Ключевые слова: степь, растительность, фитоценотическое разнообразие.

Введение

Одним из путей решения проблемы сохранения биологического разнообразия является включение в систему особо охраняемых природных территорий (ООПТ) всех выявленных участков, занимаемых раритетными фитоценозами, с хорошо сохранившейся природной растительностью в целом. С этой целью проводятся систематические обследования фитосозологически ценных участков с естественным растительным покровом топографически близких к охраняемым объектам в границах Донбасса [11, 17, 23, 25, 27]. Сохранение фитоценотического разнообразия и установление биотической репрезентативности экосистем тесно связаны с оценкой состояния растительности, выявлением новых местообитаний редких и типичных естественных растительных сообществ, изучением их структурно-функциональной организации, разработкой схемы мониторинговых наблюдений [9, 10, 17, 21, 22].

Цель нашего исследования – оценка синтаксономического разнообразия степной и луговой растительности участка в окрестностях с. Цупки (Харцызский горсовет), которая подверглась различной степени антропогенной трансформации.

Материал и методы исследования

Исследования остатков природной растительности проводили в 2017 г. маршрутным методом (представлена характеристика наименее антропогенно трансформированных редких и наиболее представленных (занимающих наибольшие участки) сообществ). Геоботанические исследования проводили методами закладки трансект и пробных площадей, материалы исследований документированы гербарными сборами, полевыми дневниками. Фитоценотическое разнообразие исследовали на уровне ассоциаций как наименьших единиц дифференциации растительности, для которых свойственна наибольшая степень гомогенности и устойчивости состава и структуры фитоценозов. Описания ассоциаций даны в соответствии с принципами доминантной классификации, отображающей ценотическую роль видов в фитоценозах: выделены типы растительности, классы формаций,

формации и ассоциации. Формации установлены по главным доминантам, а ассоциации – по соотношениям доминанта и субдоминанта [1, 4, 7, 14, 19, 20, 26]. Данные по проективному покрытию видов представлены в процентах. В группу постоянных видов, характеризующиеся высокой степенью встречаемости, выделены растения, отмеченные не менее чем в 70-80% общего количества пробных геоботанических площадок [3]. Названия растений приведены в соответствии с современной номенклатурой [18].

Участок, перспективный для включения в состав Республиканского ландшафтного парка «Зуевский», выявлен в 2 км на восток от г. Зугрес (Харцызский горсовет).

Исследованная территория относится к Крынскому подрайону в составе Крынско-Нагольчанского района Донецкого округа; согласно геоботаническому районированию – к Донецкому лесостепному округу дубовых лесов, луговых и разнотравно-злаковых и петрофитных степей Черноморско-Азовской степной подпровинции [6, 13, 15, 16], находится в зоне степи с преобладанием чернозёмов обыкновенных, в условиях умеренно континентального климата с отчётливо выраженными засушливо-суховейными явлениями, в том числе весной [2, 5, 12, 24]. Рельеф местности овражно-балочного типа. Объект ботанического исследования характеризуется наличием хорошо сохранившегося комплекса природных экосистем в окружении антропогенно преобразованного ландшафта, что делает его соэкологически ценным.

Результаты и обсуждение

Выявлено по доминантному принципу 210 ассоциаций растительности из 51 формации, в том числе внесённые в Зелёную книгу Украины [8]: сообщества с доминированием видов из родов *Stipa* L., *Amygdalus* L., *Caragana* Lam. Разнообразие представлено неморальнолесным, степным, луговым, гигро-гидрофитным типами; имеются также смешанные: опушки, заросли лесных кустарников в степи, вторичные фитоценозы. Слабо выражена синантропная растительность.

Разнообразие степной и луговой растительности представлено в кадастре, приведённом по доминантной классификационной схеме, с указанием рекомендованных для включения в Зелёную книгу Донбасса сообществ (*) и их синфитосоэкологической ценности (соэкологическая характеристика представлена в скобках). Для внесения в Зелёную книгу рекомендованы 34 ассоциации.

Кадастр природной степной и луговой растительности:

ТИП РАСТИТЕЛЬНОСТИ: СТЕПНОЙ – STEPPA. КЛАСС ФОРМАЦИЙ: ТИПИЧНАЯ СТЕПЬ – STEPPA GENUINA.

Формация: *Achilleeta leptophyllae*. **Ассоциация:** *Achilleetum (leptophyllae) festucosum (valesiacaе), A. stiposum (grafianaе), A. stiposum (zalesskii)*. **Формация:** *Achilleeta nobilis*. **Ассоциация:** *Achilleetum (nobilis) bromopsiosum (ripariaе), A. festucosum (valesiacaе)*. **Формация:** *Achilleeta pannonicaе*. **Ассоциация:** *Achilleetum (pannonicaе) bromopsiosum (ripariaе), A. elytrigiosum (repentis), A. festucosum (valesiacaе), A. poosum (angustifoliaе), A. stiposum (grafianaе), A. stiposum (grafianaе), A. stiposum (zalesskii)*. **Формация:** *Agropyreta pectinati*. **Ассоциация:** *Agropyretum (pectinati) festucosum (valesiacaе)*. **Формация:** *Artemisieta absinthii*. **Ассоциация:** *Artemisietum (absinthii) achilleosum (nobilis), A. cardariosum (drabaе)*. **Формация:** *Artemisieta austriacaе*. **Ассоциация:** *Artemisietum (austriacaе) festucosum (valesiacaе)*. **Формация:** *Bromopsieta ripariaе*. **Ассоциация:** *Bromopsietum (ripariaе) achilleosum (nobilis), B. festucosum (valesiacaе)*. **Формация:** *Euphorbieta seguieranaе*. **Ассоциация:** *Euphorbietum (seguieranaе) festucosum (valesiacaе)*. **Формация:** *Euphorbieta stepposaе*. **Ассоциация:** *Euphorbietum (stepposaе) artemisiosum (austriacaе), E. achilleosum (nobilis), E. eryngiosum (campestris), E. festucosum (valesiacaе)*. **Формация:** *Festuceta valesiacaе*. **Ассоциация:** *Festucetum (valesiacaе) achilleosum (pannonicaе), F. artemisiosum (austriacaе), F. artemisiosum (absinthii), F. caraganosum (fruticis), F. bromopsiosum (ripariaе), F. eryngiosum (campestris), F. filipendulosum (vulgaris), F. galiosum (ruthenicis), F. inulosum (brittanicaе), F. koeleriosum (cristataе), F. medicaginosum (romanicaе), F. poosum (angustifoliaе),*

F. purum, *F. stiposum* (*capillatae*), *F. stiposum* (*grafianae*), *F. stiposum* (*zalesskii*), *F. thalictrosus* (*mini*). **Формация:** *Galatellata dracunculis*. **Ассоциация:** *Galatellatum* (*dracunculis*) *festucosum* (*valesiaca*). **Формация:** *Galieta ruthenica*. **Ассоциация:** *Galiatum* (*ruthenica*) *festucosum* (*valesiaca*), *G. stiposum* (*tirsae*). **Формация:** *Koelerieta cristatae*. **Ассоциация:** *Koelerietum* (*cristatae*) *agropyrosus* (*pectinati*), *K. festucosum* (*valesiaca*), *K. stiposum* (*grafianae*). **Формация:** *Plantagineta lanceolatae*. **Ассоциация:** *Plantaginetum* (*lanceolatae*) *achilleosum* (*nobilis*), *P. filipendulosum* (*vulgaris*). **Формация:** *Poeta angustifoliae*. **Ассоциация:** *Poetum* (*angustifoliae*) *achilleosum* (*pannonica*), *P. bromopsiosum* (*ripariae*). **Формация:** *Salvieta nutantis*. **Ассоциация:** *Salvietum* (*nutantis*) *galiosum* (*ruthenici*), *S. festucosum* (*valesiaca*), *S. stiposum* (*tirsae*), *S. stiposum* (*grafianae*). **Формация*:** *Stipeta capillatae* (типичные, подверженные антропогенной дигрессии). **Ассоциация:** *Stipetum* (*capillatae*) *achilliosum* (*pannonica*), *S. bromopsiosum* (*ripariae*), *S. festucosum* (*valesiaca*), *S. galiosum* (*ruthenica*), *S. koelerosum* (*cristatae*), *S. salviosum* (*nutantis*). **Формация*:** *Stipeta grafianae* (типичные, под угрозой сокращения). **Ассоциация:** *Stipetum* (*grafianae*) *festucosum* (*valesiaca*), *S. bromopsiosum* (*inermis*), *S. galiosum* (*ruthenici*), *S. koelerosum* (*cristatae*), *S. salviosum* (*nutantis*), *S. stiposum* (*tirsae*). **Формация*:** *Stipeta tirsae*. **Ассоциация:** *Stipetum* (*tirsae*) *bromopsiosum* (*inermis*), *S. festucosum* (*valesiaca*), *S. poosum* (*angustifoliae*), *S. stiposum* (*capillatae*), *S. stiposum* (*grafianae*).

КЛАСС ФОРМАЦИЙ: КУСТАРНИКОВАЯ СТЕПЬ – СТЕППА FRUTICOSA.

Формация*: *Amygdaleta nanae* (типичные, под угрозой сокращения). **Ассоциация:** *Amygdaletum* (*nanae*) *ephedrosus* (*distachyae*), *A. bromopsiosum* (*inermis*), *A. elytrigiosum* (*repentis*), *A. festucosum* (*valesiaca*), *A. poosum* (*angustifoliae*), *A. stiposum* (*grafianae*), *A. purum*, *A. thymosum* (*dimorphi*), *A. viciosum* (*tenutifoliae*), *Caraganeta* (*fruticis*) – *A. stiposum* (*capillatae*). **Формация:** *Caraganeta fruticis*. **Ассоциация:** *Caraganetum* (*fruticis*) *achilleosum* (*pannonica*), *C. achilleosum* (*nobilis*), *C. amygdalosum* (*nanae*), *C. bromopsiosum* (*inermis*), *C. elytrigiosum* (*repentis*), *C. ephedrosus* (*distachyae*), *C. festucosum* (*valesiaca*), *C. filipendulosum* (*vulgaris*), *C. fragariosum* (*viridis*), *C. purum*, *C. spiraeosum* (*hypericifoliae*), *C. stiposum* (*capillatae*), *C. stiposum* (*grafianae*), *C. stiposum* (*tirsae*), *C. thalictrosus* (*mini*). **Формация:** *Pruneta stepposae*. **Ассоциация:** *Prunetum* (*stepposae*) *inulosum* (*britannica*), *P. elytrigiosum* (*repentis*). **Формация:** *Spiraeeta hypericifoliae*. **Ассоциация:** *Spiraeetum* (*hypericifoliae*) *agropyrosus* (*pectinati*), *S. festucosum* (*valesiaca*).

КЛАСС ФОРМАЦИЙ: КАМЕНИСТАЯ СТЕПЬ – СТЕППА PETROPHYLLA.

Формация: *Achilleeta leptophyllae*. **Ассоциация:** *Achilleetum* (*leptophyllae*) *festucosum* (*valesiaca*), *A. agropyrosus* (*pectinati*), *A. centareosum* (*marschalliana*), *A. diantheosum* (*andrzejowskii*), *A. galatellosum* (*villosae*), *A. tanacetosum* (*millefolii*), *A. teucriosum* (*polii*), *A. thymosum* (*dimorphi*). **Формация:** *Agropyreta pectinati*. **Ассоциация:** *Agropyretum* (*pectinati*) *bromopsiosum* (*ripariae*), *A. festucosum* (*valesiaca*), *A. stiposum* (*capillatae*), *A. tanacetosum* (*millefolii*), *A. teucriosum* (*polii*). **Формация:** *Artemisieteta austriaca*. **Ассоциация:** *Artemisietum* (*austriaca*) *agropyrosus* (*pectinati*), *A. festucosum* (*valesiaca*), *A. thymosum* (*dimorphi*). **Формация:** *Bromopsieta ripariae*. **Ассоциация:** *Bromopsietum* (*ripariae*) *teucriosum* (*polii*), *B. thymosum* (*dimorphi*). **Формация:** *Galatellata villosae*. **Ассоциация:** *Galatellatum* (*villosae*) *achilleosum* (*leptophyllae*), *G. teucriosum* (*polii*), *G. thymosum* (*dimorphi*). **Формация:** *Festuceta valesiaca*. **Ассоциация:** *Festucetum* (*valesiaca*) *achilleosum* (*leptophyllae*), *F. centareosum* (*marschalliana*), *F. diantheosum* (*andrzejowskii*), *F. galatellosum* (*villosae*), *F. stiposum* (*grafianae*), *F. tanacetosum* (*millefolii*), *F. teucriosum* (*polii*), *F. thymosum* (*dimorphi*). **Формация*:** *Stipeta capillatae* (типичные, подверженные антропогенной дигрессии). **Ассоциация:** *Stipetum* (*capillatae*) *achilleosum* (*leptophyllae*), *S. thymosum* (*dimorphi*), *S. tanacetosum* (*millefolium*). **Формация*:** *Stipeta grafianae* (редкие, под угрозой сокращения). **Ассоциация:** *Stipetum* (*grafianae*) *purum*, *S. galatellosum* (*villosae*), *S. teucriosum* (*polii*), *S. thymosum* (*dimorphi*). **Формация:** *Tanaceteta millefolii*. **Ассоциация:** *Tanacetetum* (*millefolii*) *achilleosum* (*leptophyllae*), *T. festucosum* (*valesiaca*), *T. thymosum* (*dimorphi*). **Формация:** *Teucrieta polii*. **Ассоциация:** *Teucrietum*

(polii) agropyrosus (pectinati), *T. diantheosus* (andrzejowskii), *T. galatellosum* (villosae), *T. thymosus* (dimorphi). **Формация:** *Thymeta dimorphi*. **Ассоциация:** *Thymetum* (dimorphi) *achilleosum* (leptophyllae), *T. galatellosum* (villosae), *T. festucosum* (valesiacaе), *T. stiposum* (grafianaе), *T. tanacetosum* (millefolii), *T. teucrosus* (polii).

КЛАСС ФОРМАЦИЙ: ЛУГОВАЯ СТЕПЬ – STEPPA PRATENSIS.

Формация: *Bromopsieta ripariae*. **Ассоциация:** *Bromopsietum* (ripariae) *bromopsiosum* (inermis), *B. festucosum* (valesiacaе), *B. elytrigosum* (repentis), *B. filipendulosum* (vulgaris), *B. fragariosum* (viridis), *B. poosum* (angustifoliae), *B. thalictrosus* (mini). **Формация:** *Bromopsieta inermis*. **Ассоциация:** *Bromopsietum* (inermis) *achilleosum* (pannonicae), *B. achilleosum* (nobilis), *B. artemisiosum* (austriacaе), *B. astragalosum* (onobrychis), *B. festucosum* (valesiacaе), *B. galatellosum* (dracunculis), *B. filipendulosum* (vulgaris), *B. fragariosum* (viridis), *B. inulosum* (britannicae). **Формация:** *Elytrigietum* (repentis). **Ассоциация:** *Elytrigietum* (repentis) *galatellosum* (dracunculis), *E. festucosum* (valesiacaе), *E. inulosum* (britannicae), *E. phlomosum* (tuberosi). **Формация:** *Festuceta valesiacaе*. **Ассоциация:** *Festucetum* (valesiacaе) *bromopsiosum* (inermis), *F. elytrigosum* (repentis), *F. poosum* (angustifoliae), *F. tanacetosum* (vulgaris), *F. trifoliosum* (medii). **Формация:** *Fragarieta viridis*. **Ассоциация:** *Fragarietum* (viridis) *bromopsiosum* (ripariae), *F. festucosum* (valesiacaе). **Формация:** *Poeta angustifoliae*. **Ассоциация:** *Poetum* (angustifoliae) *bromopsiosum* (inermis), *P. elytrigosum* (repentis), *P. festucosum* (valesiacaе), *P. filipendulosum* (vulgaris), *P. thymosus* (dimorphi).

ТИП РАСТИТЕЛЬНОСТИ: ПЕТРОФИТНЫЙ – RETROPHYTA. КЛАСС ФОРМАЦИЙ: КАЛЬЦЕФИТНАЯ – CALCIPHYTA.

Формация: *Achilleeta leptophyllae*. **Ассоциация:** *Achilleetum* (leptophyllae) *diantheosum* (andrzejowskii). **Формация:** *Thymeta dimorphi*. **Ассоциация:** *Thymetum* (dimorphi) *diantheosum* (andrzejowskii), *T. diantheosum* (pseudoarmeriae).

ТИП РАСТИТЕЛЬНОСТИ: ЛУГОВОЙ – PRATA. КЛАСС ФОРМАЦИЙ: НАСТОЯЩИЕ ЛУГА – PRATA GENUINA.

Формация: *Bromopsieta inermis*. **Ассоциация:** *Bromopsietum* (inermis) *elytrigosum* (repentis), *B. purum*, *B. tanacetosum* (vulgaris), *B. viciosum* (tenuifoliae). **Формация:** *Calamagrostieta epieioris*. **Ассоциация:** *Calamagrostietum* (epieioris) *bromopsiosum* (inermis), *C. elytrigosum* (repentis), *C. festucosum* (valesiacaе), *C. tanacetosum* (vulgaris), *C. viciosum* (tenuifoliae). **Формация:** *Elytrigietum* (repentis). **Ассоциация:** *Elytrigietum* (repentis) *bromopsiosum* (inermis), *E. fragariosum* (viridis), *E. poosum* (angustifoliae), *E. purum*, *E. tanacetosum* (vulgaris), *E. viciosum* (tenuifoliae). **Формация:** *Poeta angustifoliae*. **Ассоциация:** *Poetum* (angustifoliae) *purum*, *P. bromopsiosum* (inermis), *P. elytrigosum* (repentis). **Формация:** *Poeta pratensis*. **Ассоциация:** *Poetum* (pratensis) *bromopsiosum* (inermis), *P. purum*. **Формация:** *Vicieta tenuifoliae*. **Ассоциация:** *Vicietum* (tenuifoliae) *bromopsiosum* (inermis), *V. elytrigosum* (repentis), *V. purum*.

КЛАСС ФОРМАЦИЙ: ОСТЕПНЁННЫЕ ЛУГА – PRATA SUBSTEPPOSA.

Формация: *Galieta ruthenici*. **Ассоциация:** *Galietum* (ruthenici) *tanacetosum* (vulgaris). **Формация:** *Poeta angustifoliae*. **Ассоциация:** *Poetum* (angustifoliae) *bromopsiosum* (ripariae), *P. festucosum* (valesiacaе). **Формация:** *Tanaceteta vulgaris*. **Ассоциация:** *Tanacetetum* (vulgaris) *elytrigosum* (repentis), *T. galatellosum* (dracunculis), *T. viciosum* (tenuifoliae).

Основной тип растительности – степной: фитоценологически разнообразной является типичная (класс – *Steppa genuina*) степь: 19 формаций, из которых наиболее ассоциативно богатыми являются *Achilleeta leptophyllae* (4 ассоциации), *Achilleeta pannonicae* (7), *Festuceta valesiacaе* (17), *Salvieta nutantis* (4), *Stipeta capillatae* (6), *Stipeta grafianaе* (6), *Stipeta tirsae* (5); каменистая (*Steppa retrophyta*) – 11 формаций, из которых наиболее представленными являются *Achilleeta leptophyllae* (8 ассоциаций), *Agropyreta pectinati* (5), *Festuceta valesiacaе* (8), *Teucrieta polii* (4), *Thymeta dimorphi* (6).

Хорошо сохранившиеся ковыльники, характеризующиеся сомкнутостью растительного покрова, относятся к формациям *Stipeta capillatae*, *Stipeta grafianaе*, *Stipeta tirsae*. Наряду с

дерновинными узколиственными злаками в формировании их травостоя большое участие принимают представители разнотравья, из которых наиболее постоянными являются *Salvia nutans* L., *Pseudolysimachion barrelieri* (Schott) Holub, *Veronica sclerophylla* Dubovik, *Medicago romanica* Prodá, *Scabiosa ochroleuca* L., *Plantago urvillei* Opiz, *Artemisia austriaca* Jacq., *Thalictrum minus* L., *Filipendula vulgaris* Moench, *Euphorbia stepposa* Zoz, *Achillea nobilis* L., *A. pannonica* Scheele, *A. stepposa* Klokov & Krytzka, *Galatella villosa* (L.) Rchb. f., *Galium rythenicum* Willd., *Thymus dimorphus* Klokov & Des.-Shost., *Hyacinthella pallasiana* (Steven) Losinsk. и др. К постоянным видам в сообществах, в которых начинают проявляться процессы мезофитизации растительного покрова, относятся *Vicia tenuifolia* Roth., *Poa angustifolia* L., *Amygdalus nana* L., *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub, *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *E. intermedia* (Host) Nevski, *E. trichophora* (Link) Nevski и др. (их проективное покрытие не превышает 1-3%).

Волосистоковыльники в основном сохранились в верхней части склонов (перегибах или «лбах») на маломощных или смытых чернозёмах с близким залеганием песчаника. Ассоциации этой формации характеризуются достаточно высокой устойчивостью по отношению к воздействиям антропогенного характера, часто встречаются и на других участках в регионе исследования, на которых сохранились остатки природной растительности.

Из ассоциаций формации *Stipeta capillatae* наиболее распространённой и занимающей обширные участки является ассоциация *Stipetum (capillatae) festucosum (valesiaca)*. Характерным является доминирование дерновинных злаков – *Agropyron pectinatum* (M. Bieb) P. Beauv – 5-10%, *Stipa capillata* 5-15%, *S. tirsia* Steven (до 5-10%), *S. grafiana* Klokov – 5-7%, *S. zaleskii* Wilensky (до 1-2%), *Festuca valesiaca* Gaudin – 10-20%, *Koeleria cristata* (L.) Pers. – 3-7%, которые образуют хорошо выраженную злаковую основу и в различных количественных соотношениях ассоциируют с *Bromopsis riparia* (Rehmann) Holub – 5-15%, *Thymus dimorphus* – 5-15%, *Plantago urvillei* Opiz, *Euphorbia stepposa*, *E. seguierana* Neck., *Falcaria vulgaris* Bernh., *Filipendula vulgaris*, *Securigera varia* (L.) Lassen, *Gonolimon tataricum* (L.) Boiss., *Salvia tesquicola* Klokov & Pobed., *Jurinea arachnoidea* Bunge и другими постоянными степными видами, которые не отличаются большим обилием (не более 3-5%). На границе с фитоценозами каменистой степи возрастает обилие *Teucrium polium* L. и *G. villosa* (до 7%), *Achillea leptophylla* M. Bieb., видов из рода *Thymus* L., *Cleistogenes bulgarica* (Bornm.) Keng., *Astragalus ucrainicus* M. Pop. & Klokov, и других индикаторов петрофитизации условий местообитания. Здесь также довольно часто встречаются, в обилии не превышающем 1-3%, такие петрофиты, как *Linum czernjaevii* Klokov, *Pimpinella titanophila* Woronow, *Dianthus andrezejowskianus* (Zapal.) Kulcz., *Tanacetum millefolium* (L.) Tzvelev и др. Чаще всего длиннокорневищные злаки представлены слабо. В микродепрессиях рельефа среди длиннокорневищных злаков встречаются мезофитные лугово-степные и луговые виды: *P. angustifolia* (1-15%), *E. repens*, *E. intermedia*, *B. inermis*, проективное покрытие последних не превышает 3%, за редким исключением – 5%. Повышение их обилия связано с улучшением условий произрастания благодаря увеличению мощности почвенного покрова. Ярусное строение травостоев чётко выражено: в первом подъярусе (40-70 см) преобладают дерновинные злаки и некоторые виды степного разнотравья; основу второго (высота 30-60 см) составляют *S. tirsia*, *P. angustifolia*, *M. romanica*, *B. riparia*; в третьем (высота до 30 см) господствуют *F. valesiaca*, виды рода *Thymus*. Видовая насыщенность травостоев сообществ варьирует от 24 до 46 видов на 100 м², 9-12 видов на 1 м². Общее проективное покрытие может колебаться в пределах 65-85%. На поверхности почвы подстилка отсутствует или слабо развита.

Фитоценозы формации *Stipeta grafiana* занимают преимущественно склоновые местопроизрастания со смытыми почвами, частично приурочены к пограничной полосе с обнажением песчаника. В составе фитоценозов основное место занимают ксерофитные и мезоксерофитные плотнодерновинные злаки, в небольшом количестве обычные виды степного разнотравья с примесью петрофитов. На *S. grafiana* приходится 15-35%, *F. valesiaca*

10-20%, *S. nutans* – 5-10%, *G. ruthenicus* – до 7% и т.д. В формировании травостоя заметное участие принимает также *S. nutans* (3-10%), *Phlomis pungens* Willd. (до 5%), *A. nobilis* (3-5%), *Thymus marschallianus* Willd. (1-3%), *Carex supina* Willd. ex Wahlenb. (1-3%). Нередко в виде компактных скоплений (покрытие до 10%) встречается *Inula germanica* L. Общее проективное покрытие колеблется от 50-65% на границе с участками выхода материнской породы (петрофитные варианты) до 70-95% на сравнительно хорошо развитых карбонатных почвах. На границе с выходами песчаника в фитоценозах появляются петрофитные виды растений или возрастает их обилие: *T. dimorphus* (до 5%), *Centaurea marschalliana* Spreng. (2-3%), *Cephalaria uralensis* (Murray) Roem. & Schult., *P. titanophila* (1-3%) и др. В вертикальной структуре почти всегда достаточно хорошо выражены два-три высотных подъяруса, из которых основным является второй (высота до 60 см), образуемый *S. grafiana*, *P. angustifolia*, *P. pungens* и др. Моховый покров отсутствует. Видовая насыщенность – 39-45 видов на 100 м², 17-25 видов на 1 м².

Ассоциация *Stipetum (grafianae) bromopsiosum (inermis)* встречается в виде небольших территориально и физиономически чётко очерченных фитоценозов, главным образом в пределах микродепрессий рельефа и в нижней части склонов вдоль днищ неглубоких оврагов. Проективное покрытие составляет 65-100%. Кроме *S. grafiana* – 10-20%, *B. inermis* – 7-10% в формировании фитоценозов заметное участие принимают *P. angustifolia* (3-7%), *B. riparia* (до 7%), *E. trichophora* (1-3%), *F. valesiaca* (5-7%), *Achillea nobilis* (3-7%), *F. vulgaris* (7-10%), *F. viridis* (до 5%) и др. Постоянны, но представлены в малом обилии (до 1-3%) *S. tesquicola*, *S. nutans*, *Falcaria vulgaris*, *S. varia*, *Phlomoides tuberosa* (L.) Moench, *A. austriaca*, *A. stepposa*, *T. millefolium* и др. Местами в виде доминанта с проективным покрытием до 10% выступает *Ephedra distachya* L., который образует обширные плотные пятна. Травостой чётко дифференцирован на два подъяруса, из которых основным также является второй, образуемый *P. angustifolia*, *E. trichophora*, *S. tesquicola*, *M. romanica* и др. Видовая насыщенность достигает 45-50 видов на 100 м² и 14-18 – на 1 м².

Фитоценозы с доминированием *Stipa tirsae* преимущественно встречаются на понижениях и пологих склонах восточной экспозиции. Сформированы на среднеразвитых чернозёмах.

Ассоциации формации *Stipeta tirsae* отличаются слабой вертикальной дифференциацией. Первый подъярус (50-80 см) формируют виды из родов *Stipa*, *Salvia* L., *Phlomis* L., *Elytrigia* Desv. и ряд других лугово-степных растений: *F. vulgaris*, *B. inermis* и др. Второй подъярус (25-50 см) насыщен многочисленными видами разнотравья и злаками: *A. pectinatum*, *B. riparia*, *F. valesiaca*, *Trifolium alpestre* L., *E. seguieriana*, *Bupleurum falcatum*, *P. urvillei*, *I. germanica*, *Thalictrum minus*, *Securigera varia*, *Medicago romanica*, *Nepeta parviflora* M. Bieb., *S. nutans* и др. В третьем подъярусе (высотой до 25 см) преобладают виды из рода *Thymus*, *T. polium*, *G. villosa*, *F. viridis* и др. Перечисленные растительные сообщества отличаются по составу и соотношению субдоминирующих видов: *S. tirsae* – 7-20%, *S. grafiana* – 3-7%, *S. capillata* – 1-5%, *F. valesiaca* – 10-15 %, *K. cristata* – 5-10%, *A. stepposa*, *A. pannonica*, *A. nobilis* – 5-7%. На границе с «серой каменистой степью» (переход от сообществ разнотравно-типчачково-ковыльной степи к её петрофитным вариантам) увеличивается обилие ксерофитов, в том числе *V. sclerophylla*, *T. millefolium*, *A. leptophylla*, *D. andrezejowskianus*, *C. marschalliana*, видов из рода *Thymus* и др., проективное покрытие которых не превышает 5%. В микропонижениях рельефа и в нижней части склонов на границе с сообществами луговой степи и лугов (формации *Galatella dracunculis*, *Vicieta tenuifoliae* и др.) из-за более мезофитных условий произрастания в растительных сообществах сокращается обилие ксерофитных плотнодерновинных злаков. Более заметную роль начинают играть такие виды как *B. inermis* – 5-10%, *P. angustifolia* – 10%, *E. repens* и *E. intermedia* – 5%. Увеличивается видовое разнообразие разнотравья и обилие мезоксерофитных лугово-степных и степных видов, среди которых доминируют *T. minus*, *P. urvillei*, *P. pungens*, *Scabiosa ucrainica* L., *F. vulgaris*, *Galatella dracunculoides* (Lam.) Ness, *I. germanica*, *V. tenuifolia* и др., проективное покрытие которых увеличивается до 5%,

встречаемость составляет 80-100%. Последние три вида могут образовывать компактные пятна. В сообществах этой формации на плакоре в малом обилии отмечены также *Amygdalus nana* L., *Caragana frutex* (L.) K. Koch и *E. distachya*. Общее проективное покрытие колеблется от 65 до 100%. Видовая насыщенность – 47-60 видов на 100 м², 19-27 – на 1 м².

Одними из наиболее распространённых являются фитоценозы настоящей степи, принадлежащие к формации *Festuceta valesiaca*, в которых фитоценотическая роль видов рода *Stipa* является менее выраженной. Наименее нарушенными и приближенными к коренным степным фитоценозам являются *Festucetum (valesiaca) agropygosum (pectinati)*, *F. galiosum (ruthenici)*, *F. koeleriosum (cristatae)*, *F. stiposum (grafiana)*, *F. stiposum (tirsae)*. Отмечены на плакорных участках и склонах на маломощных чернозёмах с близким залеганием песчаника. Здесь преобладают плотнодерновинные степные злаки: *A. pectinatum* – до 5%, *F. valesiaca* – 15-25%, *K. cristata* – 5-10%, *S. capillata* – 1-3%, *S. frafiana* – 5-7%, *S. tirsae* – 5-15%. В формировании травостоя в заметном обилии принимают участие *Medicago romanica* (до 10%), *Salvia nutans* (до 10%), *Achillea pannonica* (до 5%), *Plantago urvillei* (до 5%), *Phlomis pungens* (1-2%); местами (с уменьшением мощности почвенного слоя и повышением его щебнистости) довольно много *T. dimorphus*, *A. leptophylla* (5-7%). В небольшом количестве принимают участие такие петрофиты как *T. polium*, *Alyssum tortuosum* Steven и др. Ярусное расчленение травостоя нечёткое. Первый подъярус обычно изрежен, слабо выражен (свыше 60 см), в составе которого наиболее обильны *S. capillata*, *S. nutans*, *Phlomoides tuberosa*, *Centaurea orientalis* L.; во втором преобладают *M. romanica*, *N. parviflora*, *P. pungens*, виды из рода *Stipa*, *T. minus* и др. Наиболее плотным является третий подъярус, в котором доминируют *F. valesiaca* и *G. villosa*. Мохово-лишайниковый покров развит слабо или отсутствует. Видовая насыщенность достигает 44-60 видов на 100 м², 15-27 – на 1 м². Общее проективное покрытие – 65-80%.

Из климатических и эдафических вариантов типичной степи наиболее представленными являются фитоценозы формаций *Bromopsieta ripariae* (7 ассоциаций), *Bromopsieta inermis* (9), *Festuceta valesiaca* (5), *Poeta angustifoliae* (5). Чаще всего на исследуемом участке растительные сообщества луговой степи формируются по склонам восточной и северной экспозиции, у подножий склонов.

Фитоценозы с преобладанием *P. angustifolia* занимают небольшие участки на самых различных элементах рельефа. В подзоне разнотравно-типчачково-ковыльных степей *P. angustifolia* проявляет заметное тяготение к различного рода депрессиям. Вид отличается широкой экологической амплитудой, позволяющей ему принимать участие в формировании как луговых, так и степных фитоценозов.

Сообщества с доминированием *P. angustifolia* рассматривают как начальное звено резерватогенной сукцессии, тенденции которой при отсутствии умеренной антропогенной нагрузки (умеренного выпаса, сенокосения) будут углубляться. Орографические и грунтово-почвенные условия приобретают значение одного из ведущих факторов, обуславливающих интенсивность сукцессии. Вид довольно быстро завоёвывает положение одного из господствующих видов не только по депрессиям, но и в составе фитоценозов водоразделов [16, 27]. На плакорных участках и в микродепрессиях, с повышением мощности гумусового горизонта, улучшением условий увлажнения в результате накопления ветоши сукцессионный процесс может ускориться и, господствующие здесь в настоящем, типчатники и ковыльники трансформируются в лугово-степные или луговые растительные сообщества. В связи с этим и желательное включение этого участка в состав особо охраняемой природной территории Регионального ландшафтного парка «Зуевский» и установление режимов природопользования (РЛП), обеспечивающих длительное функционирование степных экосистем, в том числе, включающих и отторжение наземной фитомассы. Это способствует предотвращению усилению ценоценотической мощности длиннокорневищных злаков, луговых представителей разнотравья: *E. intermedia*, *E. repens*, *E. trichophora*, *B. inermis*, *V. tenuifolia*, *Tanacetum vulgare* L. и др. Проективное покрытие данных видов в выявленных сообществах луговой степи местами может достигать 10%.

Одной из характерных черт таких ассоциаций формации *Poeta angustifoliae* является невысокая видовая насыщенность (20-29 видов на 100 м², 8-13 – на 1 м²). Общее проективное покрытие достигает 85-100%. В формировании травостоя кроме *S. capillata*, *S. tirsia*, *S. grafiana* (до 5%) и *P. angustifolia* (13-25%), принимают участие *F. valesiaca* (до 7%), *Onobrychis tanaitica* Spreng. (до 5%), *S. nutans* (до 5%), *A. nobilis* (до 5-10%) и др. Ярусное деление травостоя нечёткое, однако возможно выделение трёх подъярусов с господством видов рода *Stipa* в первом, *P. angustifolia* и *O. tanaitica* во втором, видов из рода *Festuca*, *Potentilla schurii* Fuss ex Zimmerter и видов из рода *Carex* L. в третьем.

На небольших участках (обнажения в верхней части склонов и узкие полосы выходов мелкощербнистой породы на границе перехода плакора в склон) часто встречаются разреженные сообщества каменистой степи (*Steppa petrophita*), реже злаково-ковыльные степные сообщества, которые характеризуются меньшим обилием степного разнотравья (типчакowo-ковыльная степь). Распространены маломощные или смытые почвы. Флористический состав свидетельствует о повышении ксерофитности условий местообитания: преобладают ксерофитные короткокорневищные злаки, виды разнотравья представлены в небольшом обилии и немногочисленны. Небольшие площади занимают фитоценозы петрофитного варианта типчакowo-ковыльной степи (формации *Stipeta capillatae*, *Stipeta grafianae*). Часть растительных сообществ относится к формации *Festuceta valesiacaе*, которые не являются серийными сообществами демулационной или дигрессивной сукцессий. Распространены ковыльники и типчатники, в которых субдоминантами выступают виды из рода *Thymus*, *G. villosa*, *T. polium*, *C. bulgarica*, *V. sclerophylla*, *T. millefolium*, *A. leptophylla*, *D. andrezejowskianus*, *C. marschalliana*, *Eremogone biebersteinii* (Schlecht.) Holub и другие виды растений, характерные для «петрофитной степи».

Ковыльники каменистой степи, в образовании растительного покрова которых принимают участие не только петрофиты, но и представители зональной растительности с широким адаптивным потенциалом (главным образом виды из рода *Stipa*, *Festuca valesiaca* и некоторые их ксероморфные спутники), занимают верхнюю часть склонов и узкую полосу вдоль места-перехода в склон возле выходов материнской породы. Общее проективное покрытие фитоценозов – 45-60%, из которых на виды-субдоминанты приходится: *S. capillata* – 5-7%, *S. grafiana* – 5-10%, *D. andrezejowskianus* – до 5%, *T. millefolium* – до 5%, *A. leptophylla* – до 7%, *C. marschalliana* – 3-5% и *F. valesiaca* – до 10%, *G. villosa* – до 10%, *C. supina* – 1-3%, *T. dimorphus* – 5-10%. Остальные растения малообильны, их покрытие невелико. Ярусное строение травостоев чётко выражено: в первом подъярусе (40-70 см) преобладают дерновинные злаки и некоторые виды степного разнотравья, а основу второго подъяруса формируют *T. dimorphus*, *T. marschallianus* и другие петрофитные полукустарнички, а также типчак. Местами значительной бывает роль лишайников. Видовая насыщенность варьирует от 13-15 до 25-37 видов на 100 м².

В верхней и средней частях склонов, с увеличением щербнистости почвы, усиливается и ксерофитность сообществ. На недоразвитых или сильносмытых щербнистых почвах отмечены фитоценозы, распространение которых преимущественно ограничено особенностями эдафического фактора. В их составе преобладают петрофитные кустарнички, полукустарнички и травянистые виды, многие из которых имеют сероватый оттенок, благодаря чему полосу петрофитно-степных фитоценозов называют «серой каменистой степью». С увеличением щербнистости почвенного покрова (средне- и сильносмытые чернозёмы) первыми теряют эдификаторное значение виды из рода *Stipa* и представители степного разнотравья с глубокопроникающими стержнекорневыми корнями. Возрастает обилие петрофитно-степных и петрофитных видов растений: *Asperula rumelica* Boiss., *P. titanophila*, *Gypsophila olygosperma* A. Krasnova, *A. ucrainicus*, *C. uralensis*, *G. villosa*, *Potentilla argentea*, *Teucrium polium*, *Tanacetum millefolium* и др. Растительные сообщества в основном приурочены к выходам песчаников и относятся к формациям *Achilleeta leptophyllae* (кадастр), *Galatellata villosae*, *Thymeta dimorphi*.

Небольшие участки занимают тимьянники, которые имеют выразительную, хорошо сформированную злаковую основу, в состав которой входят *S. tirsia*, *S. frafiana*, *S. capillata*, *F. valesiaca*, *K. cristata*, *A. pectinatum*, *C. bulgarica* в различных количественных соотношениях (в целом обилие каждого из плотнoderновинных ценозообразователей не превышает 5%), ассоциирующихся с *T. dimorphus* (7-15%). Образованные при этом сообщества относятся к «тимьянниковым степям», характеризующиеся невысоким общим проективным покрытием (40-60%). Видовая насыщенность травостоев варьирует от 15 до 37 видов на 100 м². Ярусное строение чётко выражено: в первом подъярусе (40-70 см) преобладают дерновинные злаки и некоторые виды степного разнотравья; во втором подъярусе – *T. dimorphus* и другие петрофитные полукустарнички, а также *F. valesiaca*. На поверхности почвы подстилка отсутствует или слабо развита. Местами значительной бывает роль лишайников. Здесь заметную роль из степного разнотравья играют *G. ruthenicum*, *Pulsatilla bogemica* (Scalický) Tzvelev, *V. sclerophylla*, *S. nutans*, *Plantago lanceolata* L., *P. barrelieri*, *D. andrzejowskianus*, *E. seguieriana* и др. Травостой разреженный, в его составе отсутствуют или представлены в крайне малом обилии длиннокорневищные злаки и осоки. В микропонижениях встречаются некоторые более влаголюбивые виды растений, постоянными из которых являются *P. angustifolia*, *P. tuberosa*, *Salvia verticillata* L., *Centaurea jacea* L., *T. minus*, *T. alpestre*, *T. montanum* L. и др., из-за того, что к микродепрессиям рельефа приурочен более развитый почвенный слой, а соответственно формируются и условия лучшего увлажнения – проективное покрытие возрастает до 70-90%.

На открытых эродированных почвах сформированы ассоциации формации *Galatellata villosae*. Отличаются одноярусностью и небольшой сомкнутостью травостоя, который сильно разрежен, почти не содержит злаков, низкой видовой насыщенностью (в среднем 22 вида на 100 м²). Общее проективное покрытие достигает 40%, из которых 20% приходится на *G. villosa*, 10-15% – на *T. dimorphus*. В значительном обилии представлены петрофитные виды, которые являются постоянными: *T. polium*, *Dianthus pseudoarmeria* M. Bieb., *P. argentea*, *T. millefolium*, *P. titanophila* (проективное покрытие колеблется в пределах 5-7%). Иногда в травостоях встречаются *F. valesiaca*, *S. grafiana* и *S. tirsia* (обилие до 1%), но в целом их роль незначительна и они почти незаметны на фоне петрофитного разнотравья.

Формация *Achilleeta leptophyllae* характеризуется абсолютным преобладанием таких видов как *A. leptophylla* (7-25%), *T. dimorphus* (до 10%), *Potentilla argentea* L. (до 10%) и др. На долю *A. pectinatum*, *D. andrzejowskianus*, *E. distachya*, *T. millefolium* приходится не более 1-5% от общего покрытия 35-65%. Первый подъярус (55-60 см) образован *G. ruthenicum* (до 5%), *S. capillata* (до 2%), *B. riparia* (до 1%), *K. cristata* и *S. nutans* (2-3%), *S. ochroleuca* и *E. distachya* (1-2%). Главная роль в этой ассоциации принадлежит второму подъярусу (30-40 см), куда входят как доминирующий вид (*A. leptophylla*), так и преобладающие в сообществах ксерофиты: *F. valesiaca* (3-5%), *S. grafiana* (1-3%), *K. cristata*, *C. bulgarica* (до 5%) и *G. villosa* (до 7%), дополняемые *Anthemis subtinctoria* Dobrocz, *M. romanica* (1-2%). В третьем подъярусе преобладают *Alyssum desertorum* Stapf, *A. austriaca*, *T. marschallianus*, *T. polium* др., обилие которых не превышает 5%. Видовая насыщенность травостоев варьирует от 19 до 33 видов на 100 м², 9-13 видов на 1 м².

Слабо выражен кальцефитный комплекс (Calcephyta) петрофитона (Petrophyta) (кадастр). На обнажениях песчаника, скоплениях сланцев (количество мелкозёма незначительно), на уступах склонов распространены разреженные группировки (покрытие 30-40%). Петрофитная растительность представлена немногочисленными, занимающими небольшие площади, пёстрыми своеобразными полу-агломеративными фитоценозами с преобладанием в их составе облигатно-петрофитных (кальцефитных) видов (формации *Achilleeta leptophyllae*, *Thymeta dimorphi*).

Небольшие участки вдоль ручья, на днище балки занимает интразональная луговая растительность (формации *Bromopsieta inermis* (4), *Calamagrostieta epigeioris* (5), *Elytrigietia repentis* (6), *Poeta angustifoliae* (3), *Poeta pratensis* (2), *Vicieta tenuifoliae* (3)) и фитоценозы остепнённых лугов (*Galieta ruthenici* (1), *Poeta angustifoliae* (2), *Tanaceteta vulgaris* (3)).

Выявленные ассоциации характеризуются малым флористическим и фитоценотическим разнообразием, слабо выраженным ярусным разделением и плотным проективным покрытием (90-100%). В ложбинах стоков на пологих склонах и днищах балок, оврагов отмечены сообщества редко встречающейся формации *Poa pratensis*. Это одноярусные фитоценозы с общим проективным покрытием до 100% и с доминированием *Poa pratensis* L. (до 60%), *Festuca pratensis* (до 20%). В малом обилии отмечены такие постоянные виды как *Allium waldsteinii* G. Don, *Festuca rupicola* Heuff., *Hylotelephium decumbens* (Lucé) V. Byalt, *Leontodon pratensis* (Link.) Rchb., *F. vulgaris*, *Convolvulus arvensis* L. и др. (покрытие которых не превышает 1-3%).

Кустарниковые степи представлены несколькими формациями, из которых наиболее распространёнными являются растительные сообщества *Amygdaleta panae* (10 ассоциаций) и *Caraganeta fruticis* (15) (см. кадастр).

Сообщества кустарниковой степи занимают участки в основном по склонам и в местах перегибов в склон. Здесь встречаются подлежащие охране кустарниково-степные фитоценозы формаций *Amygdaleta panae* и сообщества с субдоминированием видов из рода *Stipa*, относящиеся к формации *Caraganeta fruticis*, занимающие небольшие участки. Интерес представляют и фитоценозы, в которых на позиции субдоминанта выходит *E. distachya*. Растительные сообщества, в которых обилие этого вида может достигать 15-20% при общем проективном покрытии 100%, в регионе исследования встречаются нечасто. Прослеживается определённая приуроченность к слабо- и среднеразвитым каменистым почвам [24]. В таких кустарниковых сообществах травянистые виды принимают небольшое участие: *Thalictrum simplex* L., *T. minus*, *T. vulgare*, *Asparagus onobrychis* L., *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth., *Origanum puberulum* (Beck.) Klokov, *Glechoma hederacea* L. и др. Видовая насыщенность колеблется в пределах 9-15 видов на 1 м².

Ассоциации кустарниковой степи формации *Amygdaleta panae* встречаются на плакорной части склонов в микродепрессиях, местами в верхней части склонов (возле обнажений материнской породы). Фитоценозы с господством *Amygdalus nana* L. занимают ограниченные площади, не более 100-200 м², среди корневищно-злаковых группировок. Видовая насыщенность – 35-40 видов на 100 м². Общее проективное покрытие – 70-80(100)%. В травостое наибольшим обилием, кроме *A. nana* (20-35%), характеризуются чаще всего *P. angustifolia* (15-20%) и *F. valesiaca* (до 10%), *E. trichophora* (5%), *E. repens* (5-10%), *B. inermis* (5-10%); вблизи обнажений *A. nana* ассоциирует большей частью с *F. valesiaca* (15%). Менее обильными, но достаточно постоянными являются *F. vulgaris*, *F. viridis*, *V. tenuifolia*, *T. minus*, *Inula britannica* L., *Securigera varia* (L.) Lassen, виды из рода *Achillea* L., *P. pungens*, *M. romanica*, *F. vulgaris*, *Dianthus elongatus* С.М. Mey., *Galium verum* L., *N. parviflora* и др. Вертикальная дифференциация нечёткая, выделяется кустарниковый ярус (60-80 см) с примесью степного высокотравья и травянистый ярус с двумя-тремя подъярусами. На границе с фитоценозами настоящей и каменистой степи на слабо развитых щебнистых чернозёмах, отмечено повышение обилия петрофитов.

Формация *Pruneta stepposae* представлена распространёнными в регионе ассоциациями (см. кадастр). Это в большинстве случаев монодоминантные фитоценозы, в составе которых только изредка отмечены единичные кусты *A. nana*, *C. frutex*, изредка виды из рода *Rosa* L., встречающиеся и в других ассоциациях формаций кустарниковой степи в небольшом обилии, что не позволяет эти сообщества выделить в самостоятельные синтаксоны. Покрытие травянистого яруса варьирует от 15 до 45%. В его составе наиболее обычны *Galium aparine* L. (1-3%), *E. repens* и *E. intermedia* (3-10%), *T. minus* (до 5%), также встречаются *Melandrium album* (Mill.) Carcke, *P. tuberosa*, *I. germanica*, *K. cristata*, *F. valesiaca* и др. Также произрастает много мезоморфных растений, обилие которых не превышает 1-3%. Видовая насыщенность в целом невысокая и составляет 15-19 видов на 100 м², 5-9 – на 1 м².

Выступы склонов, или узкие полосы вдоль границы перехода плакорной части в склон занимает очень ограниченные площади формация *Spiraeeta hypericifoliae*. В составе из

разнотравья доминируют *T. minus*, *T. simplex*, *T. vulgare*, *Asparagus polyphyllus* Steven, *C. epigeios*, *Betonica officinalis* L., *G. hederacea* и др.

Фитоценозы на территории объекта исследования в той или иной мере несут на себе следы антропогенного воздействия. Большая часть типчатников приурочена к склонам различной крутизны. Часть выявленных типчатников являются звеньями демулационной сукцессии с довольно обеднённым флористическим составом (19-25 видов на 100 м²).

В целом дигрессивные степные сообщества настоящей и «петрофитной степи» относятся к таким распространённым ассоциациям, как *Achilleetum (nobilis) bromopsiosum (ripariae)*, *A. festucosum (valesiacaе)*, *Achilleetum (pannonicae) elytrigiosum (repentis)*, *A. festucosum (valesiacaе)*, *Artemisietum (absinthii) achilleosum (nobilis)*, *A. cardariosum (drabae)*, *Artemisietum (austriacaе) festucosum (valesiacaе)*, *Euphorbietum (seguieranae) festucosum (valesiacaе)*, *Euphorbietum (stepposae) artemisiosum (austriacaе)*, *E. achilleosum (nobilis)*, *E. eryngiosum (campestris)*, *E. festucosum (valesiacaе)*, *Festucetum (valesiacaе) artemisiosum (austriacaе)*, *F. artemisiosum (absinthii)*, *F. eryngiosum (campestris)*, *F. medicaginosum (romanicae)*, *Stipetum (capillatae) festucosum (valesiacaе)*, *Caraginetum (fruticis) achilleosum (pannonicae)*, *C. festucosum (valesiacaе)*, *Bromopsietum (ripariae) bromopsiosum (inermis)*, *B. festucosum (valesiacaе)*, *Bromopsietum (inermis) achilleosum (pannonicae)*, *B. achilleosum (nobilis)*, *B. artemisiosum (austriacaе)*, *B. festucosum (valesiacaе)*, *B. galatellosum (dracunculis)*, *Elytrigietum (repentis) galatellosum (dracunculis)*, *E. festucosum (valesiacaе)*, *E. phlomosum (tuberosi)* и др. В составе таких фитоценозов незначительно участие бобовых (до 1%), травостой сильно засорён: велика в этих фитоценозах роль *E. seguierana* – до 10-15%, *Artemisia austriaca* (5%), *Cardaria draba* (L.) Desv. (5%), *Marrubium praecox* Janka (3%), *Securigera varia* (10%), *Convolvulus arvensis* L. (5%), *Melilotus officinalis* (L.) Pall. и *M. albus* Medik. (5-10%), *Centaurea adpressa* Ledeb. (до 7%). Среди сорных однолетников и двулетников преобладают *Polygonum aviculare* L., *Artiplex patula* L., *Anchusa azurea* Mill., *Berteroa incana* (L.) DC. Чрезмерная антропогенная нагрузка в прошлом на некоторые плакорные участки привела к тому, что в составе этих растительных сообществ в существенном обилии представлены устойчивые к вытаптыванию мало- и непоедаемые виды: *E. stepposa*, *E. seguierana*, *Centaurea diffusa* Lam., *Eryngium campestre* L., *G. villosa*, *Stachys transsylvanica* Schur, *M. praecox*, *S. verticillata*, *S. tesquicola*, *T. dimorphus*, *T. marschallianus*, *T. polium*, виды из рода *Achillea*, *A. austriaca*, *Poa bulbosa* L. и др., проективное покрытие которых варьирует в пределах 5-10%. Общее проективное покрытие в пределах 65-100%, а количество видов на 100 м² – 19-45.

Обследованный участок в окрестностях с. Цупки, перспективный для присоединения к парку, характеризуется наличием хорошо сохранившихся сообществ степной растительности, хотя в большинстве своём довольно типичных для региона, но в состав которых входят раритетные компоненты, нуждающихся в особой охране. Учитывая то, что площадь обследованного участка, рекомендованного к заповеданию, составляет около 130 га, что значительно меньше, чем площади РЛП «Зуевский» (1214 га) или РЛП «Донецкий кряж» (7463 га), он характеризуется значительным фитоценообразнообразием. Природоохранная ценность этого участка в фитоценологическом отношении достаточно высока. В слабо трансформированных фитоценозах сохранились редкие виды, ценопопуляции которых нуждаются в охране: *A. nana*, *P. bogemica*, *E. distachya*, *S. capillata*, *Stipa dasyphylla*, *S. grafiana*, *S. lessingiana*, *S. tirsia*, *D. elongatus*, *Tulipa ophiophylla*, *Hyacinthella pallasiana* (Steven) Losinsk, *Vincetoxicum intermedium* Taliev, *V. maoticum* (Клеоров) Barbar. и др.

Выводы

Степная и луговая растительность в окрестностях с. Цупки достаточно разнообразна: насчитывает 210 ассоциаций, относящихся к 51 формации и 7 классам формаций. В урочище выявлены как типичные, так и редкие сообщества, включающие в свой состав ценопопуляции раритетных видов растений, и тем самым имеющие синфитосозологическую

ценність – 34 асоціації з 6 формацій. Також внаслідок впливу антропогенного фактора сформувалися сукцесійні ряди рослинності, збільшують різноманітність рослинних спільнот. Включення досліджуваного ділянки до складу РЛП «Зуєвський» стане гарантією збереження решток природної рослинності в цілому, рідкісних видів рослин, значно зменшили свою чисельність та ступінь поширення на Донеччині.

Список літератури

1. *Александрова В. Д.* Класифікація рослинності / В. Д. Александрова. – Л. : Наука, 1969. – 275 с.
2. *Бурда Р. И.* Антропогенна трансформація флори / Р. И. Бурда. – К. : Наук. думка, 1991. – 168 с.
3. *Василевич В. И.* Статистическі методи в геоботаніці / В. И. Василевич. – Л. : Наука, 1969. – 232 с.
4. *Василевич В. И.* Домінантно-флористическі підхід до виділення рослинних асоціацій / В. И. Василевич // Ботан. журн. – 1995. – Т. 80, № 6. – С. 28-39.
5. *Глухов О. З.* Наукові основи відновлення трав'яних фітоценозів в степовій зоні України / О. З. Глухов, О. М. Шевчук, Т. П. Кохан. – Донецьк : «Вебер» (Донецька філія), 2008. – 198 с.
6. *Дідух Я. П.* Геоботанічне районування України та суміжних територій / Я. П. Дідух, Ю. Р. Шелях-Сосонко // Укр. ботан. журн. – 2003. – Т. 60, № 1. – С. 6-17.
7. *Дідух Я. П.* Методологічні підходи до створення класифікації екосистем / Я. П. Дідух // Укр. ботан. журн. – 2004. – Т. 61, № 1. – С. 12-23.
8. Зелена книга України / Під заг. ред. Я. П. Дідуха. – К. : Альтерпрес, 2009. – 448 с.
9. *Ибатулина Ю. В.* Состояние популяций модельного вида *Thalictrum minus* L. как индикатор динамики искусственных и природных степных фитоценозов / Ю. В. Ибатулина // Бюллетень ботанического сада-института ДВО РАН. – 2016. – № 2. – С. 7-15.
10. *Ибатулина Ю. В.* Оценка состояния ценопопуляций *Helichrysum arenarium* (L.) Moench. в слабо антропогенно трансформированных степных фитоценозах в условиях Донбасса / Ю. В. Ибатулина // Самарская Лука : проблемы региональной и глобальной экологии. – 2017. – Т. 26, № 3. – С. 214-220.
11. *Ибатулина Ю. В.* Синфитосозологическая оценка степной и петрофитной растительности участков перспективных для расширения республиканского ландшафтного парка «Зуевский» / Ю. В. Ибатулина, Е. Г. Муленкова // Самарская Лука : проблемы региональной и глобальной экологии. – 2018. – Т. 27, № 4 (1). – С. 60-68.
12. *Кондратюк Е. Н.* Редкие, эндемичные и реликтовые растения юго-востока Украины в природе и культуре / Е. Н. Кондратюк, В. М. Остапко. – К. : Наук. думка, 1990. – 152 с.
13. *Лавренко Е. М.* Эдафические варианты степной растительности Причерноморской степной провинции / Е. М. Лавренко // Растительность Европейской части СССР. – Л. : Наука, 1980. – С. 249-254.
14. *Миркин Б. М.* Критерии доминантов и детерминантов при классификации фитоценозов / Б. М. Миркин // Ботан. журн. – 1968. – Т. 53, № 6. – С. 767-776.
15. *Національний атлас України* / Під ред. Л. Г. Руденко. – К. : ДНВП «Картографія», 2007. – 435 с.
16. *Осичнюк В. В.* Зміни рослинного покриву степу / Рослинність УРСР. Степи, кам'яністі відслонення, піски / В. В. Осичнюк. – К. : Наук. думка, 1973. – С. 249-315.
17. *Остапко В. М.* Загальна схема моніторингу фітобіоти на південному сході України / В. М. Остапко, С. А. Приходько // Інтродукція рослин, збереження та збагачення біорізноманіття в ботанічних садах і дендропарках : матер. Міжнар. наук. конф., присв. 75-річчю заснування Нац. бот. саду ім. М. М. Гришка НАН України. – К. : Фітосоціоцентр, 2010. – С. 257-259.

18. Остапко В. М. Сосудистые растения юго-востока Украины / В. М. Остапко, А. В. Бойко, С. Л. Мосякин. – Донецк : Ноулидж, 2010. – 247 с.
19. Остапко В. М. Продромус естественной растительности юго-востока Украины / В. М. Остапко. – Донецк : Б.и., 1995. – 142 с.
20. Остапко В. М. К вопросу классификации экосистем юго-востока Украины / В. М. Остапко, О. М. Шевчук, С. А. Приходько // Самарский научный вестник. – 2016. – № 1 (14). – С. 41-47.
21. Остапко В. М. Синтаксономическое разнообразие растительности пастбищных экосистем юго-востока Украины / В. М. Остапко, О. М. Шевчук, С. А. Приходько // Самарский научный вестник. – 2016. – № 3 (16). – С. 43-48.
22. Остапко В. М. Синфитосозологическая оценка растительности пастбищных экосистем юго-востока Украины / В. М. Остапко, О. М. Шевчук, С. А. Приходько // Самарский научный вестник. – 2016. – № 4 (17). – С. 35-44.
23. Остапко В. М. Новые участки для расширения территории республиканского ландшафтного парка «Зуевский» / В. М. Остапко, С. А. Приходько, Е. Г. Муленкова и др. // Проблемы современной биологии : матер. VI Междунар. науч.-практ. конф., посв. 130-летию Н. И. Вавилова. – Луганск, 2017. – С. 93-95.
24. Почвенно-биогеоценологические исследования в Приазовье / Отв. ред. А. Н. Тюрюканов. – М. : Наука, 1976. – Вып. 2. – 209 с.
25. Приходько С. А. Новые участки для расширения территории республиканского ландшафтного парка «Донецкий кряж» / С. А. Приходько, В. М. Остапко, Е. Г. Муленкова, Ю.В. Ибатулина // Современные экологические проблемы и пути их решения : сб. тр. I Междунар. науч.-практ. конф., посв. юбилею Луганского нац. агр. ун-та. – Луганск, 2016. – С. 125-131.
26. Продромус растительности Украины / Отв. ред. К. А. Малиновский. – К. : Наук. думка, 1991. – 272 с.
27. Ткаченко В. С. Фітоценотичний моніторинг резерватних сукцесій в Українському степовому природному заповіднику / В. С. Ткаченко. – К. : Фітосоціоцентр, 2004. – 184 с.

Ibatulina Yu. V. The characteristics of steppe and grassland plant cover of the field site near Tsupki village (Khartsyzsk city council). – The paper gives characteristics of steppe and grassland plant cover of the site valuable in terms of phytosozology due to the presence of the insignificantly anthropogenously transformed phytocenoses of mixed grasses-fescue-feather grass steppe. The object of botanical examination is characterized by phytocenotic diversity, which is represented by nemoral forest, steppe, meadow, hygro-hydrophytic types; there are also mixed forests, thickets of forest shrubs in the steppe, secondary phytocenoses. Synanthropic component is weakly expressed. The main type of vegetation is steppe. The most typical phytocenotically diverse are the typical (class – *Steppa genuina*) steppe: 19 formations, of these the most rich in associations are: *Achilleeta leptophyllae* (4 associations), *Achilleeta pannonicae* (7), *Festuceta valesiacaе* (17), *Salvieta nutantis* (4), *Stipeta capillatae* (6), *Stipeta grafianaе* (6), *Stipeta tirsae* (5); rocky (*Steppa petrophyta*) – 11 formations, among them: *Achilleeta leptophyllae* (8 associations), *Agropyreta pectinati* (5), *Festuceta valesiacaе* (8), *Teucrieta polii* (4), *Thymeta dimorphi* (6) are the most fully represented. In general, according to the dominant principle: in a new site with remnants of natural vegetation in the vicinity of Tsupki we revealed 210 associations from 51 formations. 34 associations from such formations as: *Amygdaleta nanae*, *Stipeta capillatae*, *Stipeta grafianaе*, *Stipeta tirsae* (5) are recommended for inclusion in the Green Book.

Key words: steppe, vegetation, phytocenotic diversity.

УДК 581.55 : 712.423 : 547.4 : 504.05

© А. В. Калинина¹, Е. А. Гермонова²

ГЕОСТРАТЕГИЧЕСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ФИТОЦЕНОЗОВ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ Г. МАКЕЕВКИ В УСЛОВИЯХ САМОЗАРАСТАНИЯ И РЕКУЛЬТИВАЦИИ

¹ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

283050, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: kalinina.angela91@mail.ru

²ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет»

283050, г. Донецк, ул. Артёма, 58; e-mail: Germonova@mail.ru

Калинина А. В., Гермонова Е. А. Геостратегическая визуализация фитоценозов породных отвалов угольных шахт г. Макеевки в условиях самозарастания и рекультивации. – Приведены результаты исследования породных отвалов некоторых угольных шахт г. Макеевки, выявлены особенности растительного покрова выбранных техногенных образований, а также закономерности самозарастания и результаты рекультивации.

Ключевые слова: отвал угольной шахты, фитоценоз, самозарастание, фиторекультивация.

Введение

Породные отвалы угольных шахт являются гетерогенными образованиями. Определённые участки отвала отличаются свойствами эдафотопы, что напрямую связано с их месторасположениями [1]. Этот факт прослеживается на процессах формирования растительности отвалов, встречаются участки, лишённые какого-либо растительного покрова, с начальным зарастанием, а также со сложными растительными группировками.

Фитоценозы породных отвалов угольных шахт, формирующиеся в процессе самозарастания, – результат сложного взаимодействия зонально-климатических и экологических условий [1, 13]. Этот процесс довольно длительный, его оптимизации способствует рекультивация.

Техногенные земли характеризуются неблагоприятными эколого-эдафотопными условиями, которые оказывают негативное влияние на жизнеспособность растений и на окружающую среду в целом. Значительную территорию Донбасса занимают нарушенные земли, которые отведены под складирование промышленных отходов, отработанных земель, формирование различных видов отвалов [3, 7, 11]. Такие техногенные образования нуждаются в обеспечении устойчивого экологического развития территорий, снижении нагрузки на окружающую среду, восстановлении деградированных природных ресурсов [10]. Породные отвалы угольных шахт являются типичным примером таких образований, они характеризуются восстановленными растительным и почвенным покровами как при самозарастании, так и при биологической рекультивации.

Гетерогенность отвалов объясняется технологией их формирования, что обеспечивает неравномерное распределение кислотности и засоленности субстрата. Высота отвала играет значительную роль в перераспределении осадков, интенсивности ветра, заносе диаспор растений [1]. От экспозиции отвала зависит интенсивность солнечной радиации и воздействие ветра. Характер породы, её состав, разделение на фракции – немаловажные причины гетерогенности отвалов [11]. На формирование растительных сообществ влияют такие факторы, как расположение отвала, климатические условия, близость к природной растительности, зональность почвенного покрова и др. [1, 4].

Ранее нами были изучены некоторые особенности формирования растительного покрова отвалов угольных шахт [7, 8].

Цель работы – установить особенности формирования растительного покрова некоторых породных отвалов шахт г. Макеевки в условиях самозарастания и рекультивации.

Материал и методы исследования

В научной литературе встречаются разные понятия и трактовки определения фитоценоза, но теоретической основой данного исследования является понимание «фитоценоза как участка, выдела, контура растительного покрова, в пределах которого состав и обилие видов варьируют по определённому закону, отличному от примыкающих участков» [6, С. 5]. Фитоценоз выступает информативным и доступным показателем для изучения [13].

В качестве объектов исследования были выбраны типичные для Донбасса породные отвалы некоторых угольных шахт Советского района г. Макеевки.

Исследованные отвалы относятся к негорящим, по типу отходов – неорганическим, по возрастному показателю – к средневозрастным. Окончание эксплуатации отвалов осуществлено 45-50 лет назад, соответственно с этим периодом и связывали начало формирования растительных сообществ. Выбранные техногенные объекты отличаются по проведению рекультивационных мероприятий: отвал № 1 озеленён, породный отвал № 2 не был озеленён, отвал № 3 был частично озеленён (фрагментарная фиторекультивация).

Для выполнения поставленной цели пользовались стандартными методиками геоботанического исследования [2, 6, 9], в том числе маршрутными и стационарными методами. Для пространственного представления материалов исследований и дальнейшего мониторинга была применена геоинформационная система ArcMAP 10.4, содержащая все необходимые функции и инструменты для хранения, анализа и визуализации результатов [12]. В качестве исходной картографической информации были применены космические снимки и топографические планы масштаба 1:10 000. Созданный проект с материалами обследований породных отвалов был настроен на систему координат WGS_1984_Web_Mercator_Auxiliary_Sphere, которая также используется ArcGIS Online, Google Maps и Bing Maps.

В ходе исследования установлены границы (контуры) растительных сообществ на породных отвалах. Выделены доминанты с оценкой обилия видов по пятибалльной шкале Браун-Бланке. Для визуализации результатов анализа состояния растительных покровов по каждому из выбранных техногенных объектов были сделаны извлечения графических материалов из ГИС.

Результаты и обсуждение

Выделены фитоценозы, изучение которых позволяет проследить особенности процессов естественного формирования биогеоценозов и в результате рекультивации, а также взаимосвязь этих процессов.

На рис. 1 представлены фрагменты графических материалов из ГИС по отвалам, на которых прослеживается размещение спонтанно развивающихся ценозов и культурфитоценозов с указанием их общего проективного покрытия.

Проведенное исследование отвала № 1 показывает и подтверждает важность и значимость рекультивации в процессах ценозообразования, интенсификации формирования растительного покрова техногенных земель. Всего выделено 17 растительных сообществ, из них 13 образовались в результате рекультивационных мероприятий, а также в процессе взаимодействия искусственно созданных и естественно сформированных растительных группировок. Выделено 4 спонтанно развивающихся фитоценоза. Растительные сообщества характеризуются различным флористическим составом и уровнем сформированности, наблюдается смена одноярусных ценозов двух- и трехъярусными, что в большей степени характерно для склонов северной экспозиции и уплощенной вершины отвала. Так, например, сообщество № 5 характеризуется формированием более сложной структуры. В приземном ярусе встречаются мохообразные, такие как *Brachythecium mildeanum* Schimp., в травянистом ярусе: *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Fragaria vesca* L., *Convolvulus arvensis* L., *Fallopia convolvulus* (L.) Á. Löve, *Saponaria officinalis* L. и др. [10]. Кустарниковый ярус представлен подлеском, видами – *Robinia pseudoacacia* L., *Juglans regia* L., *Sorbus aucuparia* L., в древесном ярусе – 6 видов, доминантом выступает *R. pseudoacacia*.

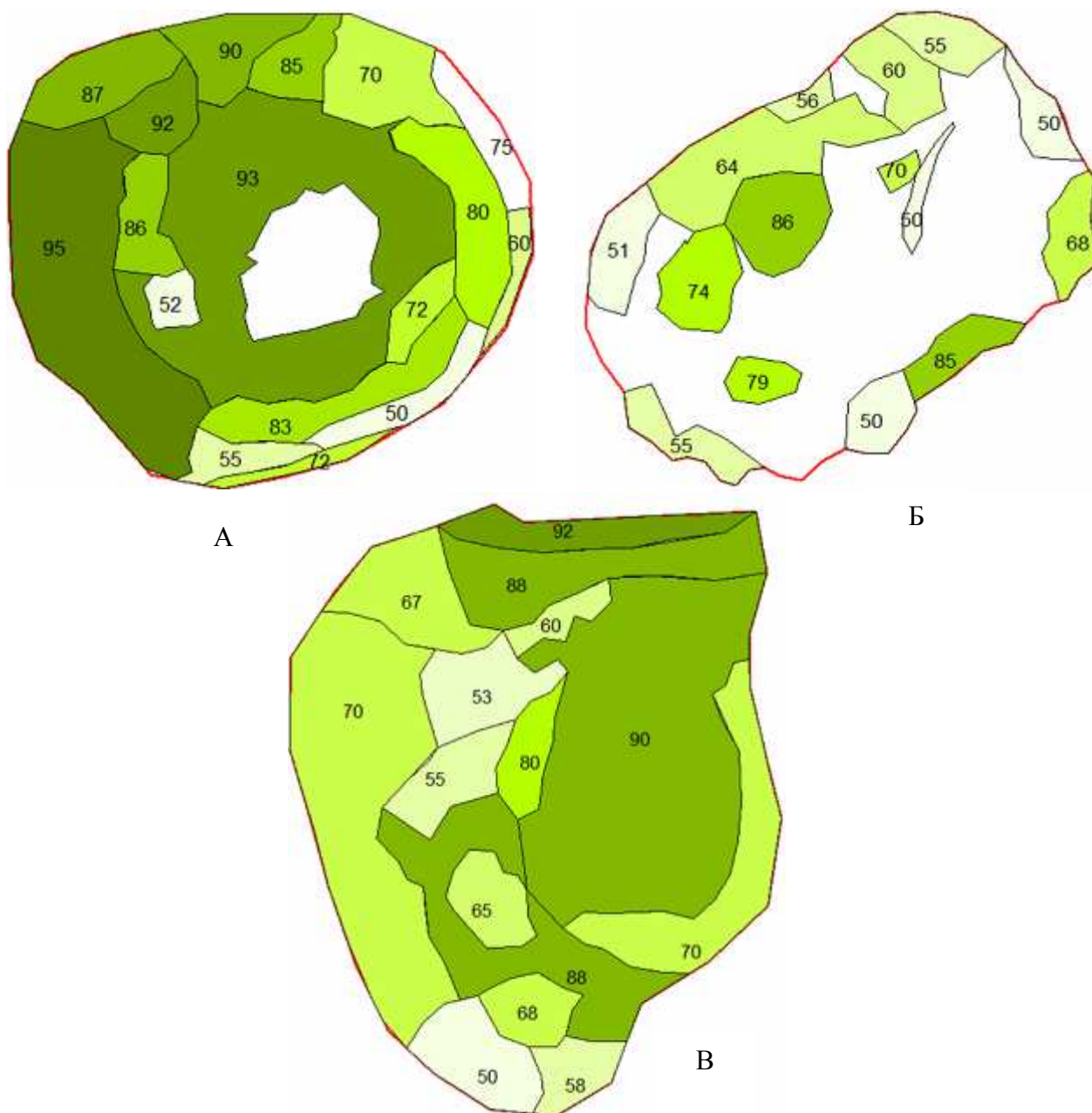


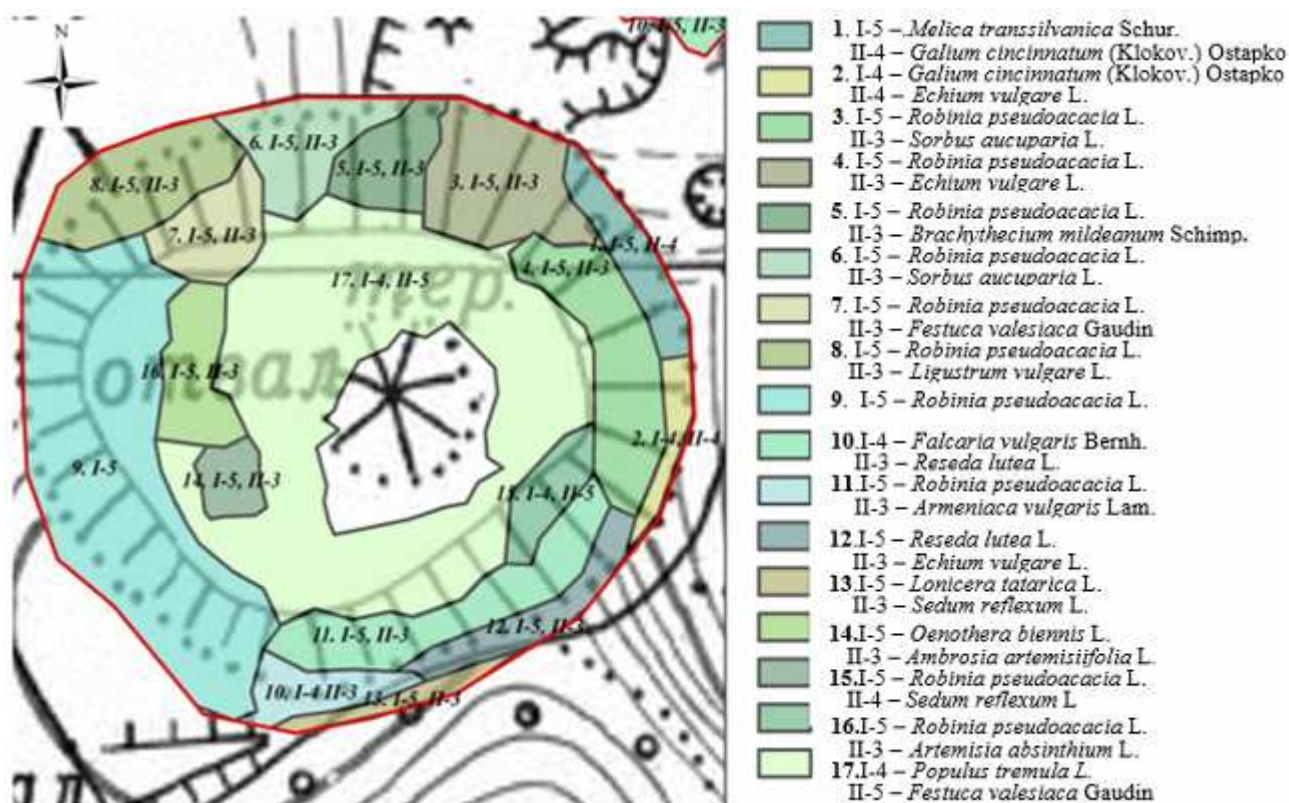
Рис. 1. Проективное покрытие в пределах различных фитоценозов некоторых породных отвалов г. Макеевки, %:

А – породный отвал № 1 шахты «Калиновская-Восточная»; Б – породный отвал № 2 шахты «Калиновская-Восточная»; В – породный отвал № 3 шахты «Капитальная»

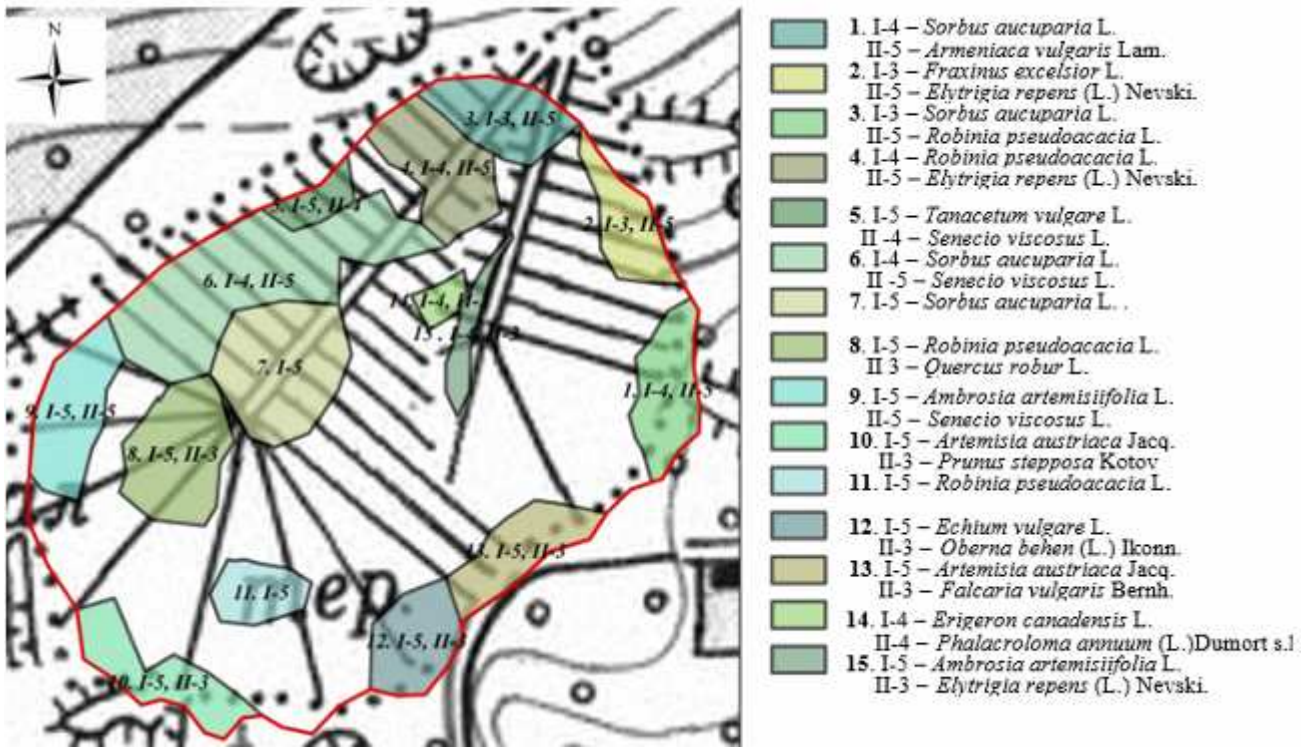
В паспорте отвала № 2 отсутствуют указания о проведении озеленения. Об этом свидетельствует и состояние растительного покрова техногенного объекта. Растительные сообщества характеризуются упрощённостью структуры, ограниченным видовым составом, в сравнении с отвалом № 1 ценозы представлены в большей степени травянистыми растениями. Выделено 14 фитоценозов. Лишь в 6 сообществах в качестве доминантов выступают представители древостоя, такие как *Armeniaca vulgaris* Lam., *Fraxinus excelsior* L., *Sorbus aucuparia* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Quercus robur* L. Заращение этого породного отвала идет естественным способом, что проявляется в более низких показателях проективного покрытия и состояния компактизации растительного покрова в целом.

На породном отвале № 3 отмечены результаты частичной рекультивации, это даёт возможность в большей степени наблюдать процессы взаимодействия нерекультивированных участков и территорий с искусственным растительным покровом. На техногенном объекте сосредоточены разнообразные растительные сообщества и наглядно прослеживаются усложнения фитоценозов в направлении к озелененным участкам. Выделено 14 ценозов. По сравнению с неозеленённым отвалом, сообщества характеризуются более сложной организацией растительности.

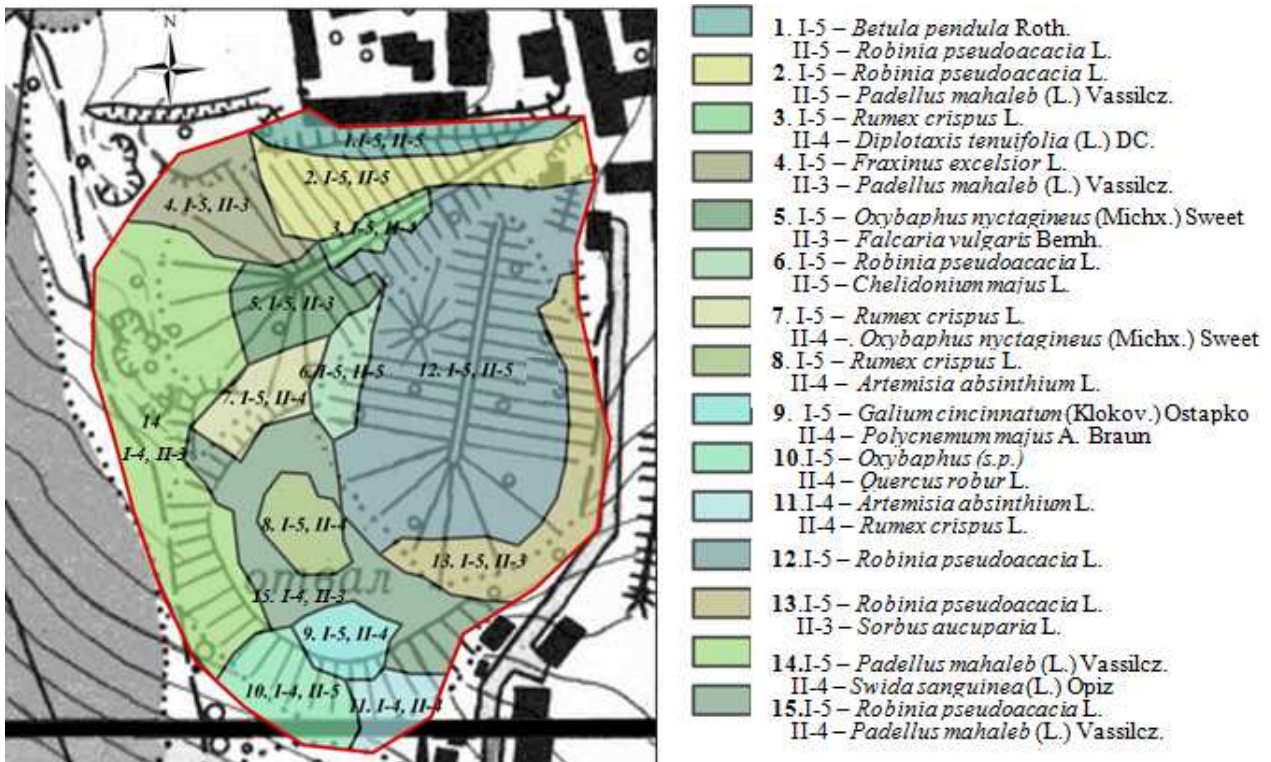
На рис. 2 приведены выкопировки топографических карт. Выделены ценозы различной степени формирования, пронумерованы. Для каждого сообщества определены доминанты (I, II), оценка обилия видов доминантов по пятибалльной шкале Браун-Бланке. Доминанты сообществ в большинстве случаев являются представителями различных ярусов.



А



Б



В

Рис. 2. Выкопировки с топографических карт, с представлением обилия видов доминантов растительных сообществ:

А – породный отвал № 1 шахты «Калиновская-Восточная»; Б – породный отвал № 2 шахты «Калиновская-Восточная»; В – породный отвал № 3 шахты «Капитальная»

Выводы

Установлено, что фитоценозы в специфических условиях произрастания на породных отвалах являются динамичными биологическими системами. Целенаправленно искусственно создаваемые сообщества опережают по своему развитию и степени сформированности естественные ценозы, формирующиеся путём самозарастания, находящихся в сходных условиях обитания, что соответствует выявленным тенденциям в этой научной области [1, 4, 5, 8, 13]. Растительность отвалов, подверженных рекультивации, отмечается проявлением выраженного распределения по ярусам, сопровождается увеличением показателей проективного покрытия, обилия видов, увеличения и разнообразия флористического состава; наблюдается большее количество видов семейства Роасеае, которые постепенно разрастаются и вытесняют сорно-полевую и рудеральную растительность.

Исследуемые отвалы практически сходны по показателю возраста, при этом наблюдаются значительные отличия в особенностях зарастания. По результатам работы установлено, что отличия в состояниях растительных сообществ на отвалах связаны с проведением или отсутствием целенаправленной процедуры работ по рекультивации (озеленению), а также гетерогенностью техногенных объектов.

Благодарности

Авторы выражают благодарность к.б.н. С. П. Жукову (ГУ «Донецкий ботанический сад») и к.б.н. А. И. Сафонову (ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет») за оказанную помощь в проведении исследования.

Список литературы

1. Агурова И. В. Особенности развития эдофатопа в условиях отвалов угольных шахт Донбасса / И. В. Агурова // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2009. – № 1 (9). – С. 150-157.
2. Жуков С. П. До вибору методики вивчення динаміки рослинності в умовах териконів / С. П. Жуков // Проблеми ботаніки і мікології на порозі третього тисячоліття : матер. Х з'їзду УБТ (Полтава, 22–23 травня 1997 р.). – К., 1997. – С. 197-198.
3. Жуков С. П. Сукцессионный статус видов в растительных сообществах и его использование в целях фитоиндикации / С. П. Жуков // Промышленная ботаника : состояние и перспективы развития : матер. III Междунар. науч. конф. (Донецк, 3–5 сентября 1998 г.). – Донецк : Мультипресс, 1998. – С. 36-40.
4. Жуков С. П. К методике определения организации и устойчивости фитоценозов в ходе их развития на отвалах угольных шахт / С. П. Жуков // Промышленная ботаника : сб. науч. тр. – Донецк, 2012. – Вып. 12. – С. 19-24.
5. Жуков С. П. Растительность отвалов угольных шахт Донбасса / С. П. Жуков // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2016. – № 1-2. – С. 13-17.
6. Ипатов В. С. Описание фитоценоза : Методические рекомендации – учебно-методическое пособие / В. С. Ипатов. – СПб. : Би, 2008. – 71 с.
7. Калинина А. В. Фитоценопопуляционный анализ отвалов угольных шахт г. Макеевки / А. В. Калинина, А. И. Сафонов // Вестник студенческого научного общества ДонНУ. – Донецк, 2017. – Вып. 9. – С. 35-41.
8. Калинина А. В. Состояние некоторых фитоценозов породных отвалов шахт г. Макеевки / А. В. Калинина // Донецкие чтения 2018 : образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : матер. III Междунар. науч. конф. (Донецк, 25 октября 2018 г.). – Донецк : ДонНУ, 2018. – С. 180-183.
9. Миркин Б. М. Фитоценология. Принципы и методы / Б. М. Миркин, Г. С. Розенберг. – М. : Наука, 1978. – 212 с.
10. Остапко В. М. Сосудистые растения юго-востока Украины / В. М. Остапко, А. В. Бойко, С. Л. Мосякин. – Донецк : Ноулидж, 2010. – 210 с.

11. *Торохова О. Н.* Оценка пригодности пород промышленных отвалов Донбасса для произрастания растений / О. Н. Торохова, И. В. Агурова // Промышленная ботаника : сб. науч. тр. – Донецк, 2008. – Вып. 8. – С. 12-17.

12. *Чепелев О. А.* Применение ГИС для автоматизированного выделения элементарных участков при организации ландшафтно-экологического мониторинга / О. А. Чепелев, О. М. Ломиворотова. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://ggf.bsu.edu.ru/Conferences/Conf_2011/Materials/Chepelev.htm

13. *Чибрик Т. С.* Изучение фитоценозов техногенных ландшафтов : учебное пособие / Т. С. Чибрик, М. А. Глазырина. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 166 с.

Kalinina A. V., Germonova K. A. Geostrategic visualization of waste rock dumps phytocenoses of coal mines in Makeevka under self-overgrowth and recultivation. – The results of the studies of some coal mines waste rock dumps in Makeevka are provided. The vegetation cover features of selected technogenic formations, patterns of self-overgrowth and the results of recultivation are identified.

Key words: waste dumps coal mines, phytocenosis, self-overgrowth, phytoremediation.

© Н. С. Мирненко, В. В. Садловская
**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ФИТОПЛАНКТОНА ПРУДОВ
АМВРОСИЕВСКОГО РАЙОНА**

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

Мирненко Н. С., Садловская В. В. Особенности формирования фитопланктона прудов Амвросиевского района. – Установлено видовое разнообразие фитопланктона прудов Амвросиевского района и выявлено 70 видов, 36 родов, 20 семейств, 11 порядков и 10 классов водорослей. Описаны доминирующие виды и определена систематическая структура сообществ фитопланктона. Составлен систематический список видов водорослей прудов Амвросиевского района. Проведены гидрохимические анализы прудов Амвросиевского района. Выявлены превышения показателей щелочности, жесткости и сухого остатка во всех исследуемых прудах.

Ключевые слова: «цветение», планктон, Амвросиевский район, пруд, водоросли, видовое разнообразие.

Введение

Проблема использования водных ресурсов в Донбассе привлекает всё большее внимание. Это объясняется тем, что имеющиеся запасы пресной воды рек, озёр, водохранилищ и других водоисточников уничтожаются, или настолько загрязняются, что она становится непригодной для употребления [19].

Фитопланктон первым реагирует на изменение химического состава воды угнетением жизненных процессов либо бурным развитием. Процесс быстрого развития водорослей с выходом на доминантное положение получил название «цветение» [21]. Как правило, только один или небольшое число видов фитопланктона доминируют в конкретном «цветении». Окраска воде придаётся в связи с высокой концентрацией пигментированных клеток [14].

Для гидрографии Амвросиевского района характерна маловодность и естественный природный речной сток малого объема. Такая ситуация обусловлена принадлежностью этого района к степной зоне с малым коэффициентом увлажнения. Построение прудов и водохранилищ сельскохозяйственного назначения были необходимы для регулирования и перераспределения внутригодового стока [11].

Водоёмы в этой зоне решают комплексно большое количество задач: повышение надежности водоснабжения населения, сельского хозяйства (орошаемое земледелие); снижение концентрации загрязняющих веществ в реках; защита от наводнения; улучшение условий для возможной рекреации и ведения рыбного хозяйства. Водоёмы отличаются мелководьем (глубина до 2 м) и могут использоваться для выращивания гидрофитов, птицеразведения, охотничьих и звероводческих нужд, рекреации. Поэтому актуальность данной работы обусловлена тем, что «цветение», как фактор, определяющий наличие жизни в водоёме, влияет на все остальные живые организмы, находящиеся в нём. Гидробиологический мониторинг водоёмов является необходимостью для нормального функционирования всего Амвросиевского района.

Цель работы – установление особенностей «цветения» прудов Амвросиевского района на основе состояния водорослей как индикаторов состояния всей гидроэкосистемы.

Материал и методы исследования

Альгологический и гидрохимический анализ проб прудов Амвросиевского района проводили с 01.08.2018 г. по 15.09.2018 г. включительно.

Материалом для проведения работы послужили пробы воды, отобранные в 7 прудах Амвросиевского района:

- пруд № 1, площадью водного зеркала 6,97 га, объемом 75,55 тыс. м³, расположенный в балке Осыкова, бассейн р. Кальмиус, на территории Многопольской сельской администрации, административно относящейся к Амвросиевскому району;

– пруд № 2, площадью водного зеркала 10,2 га, объемом 413,14 тыс. м³, расположенный в балке Калиновая, бассейн р. Крынка, на территории Успенской сельской администрации, административно относящейся к Амвросиевскому району;

– пруд № 3, площадью водного зеркала 5,6 га, объемом 87,09 тыс. м³, расположенный в балке Калиновая, бассейн р. Крынка, на территории Успенской сельской администрации, административно относящейся к Амвросиевскому району;

– пруд № 4, площадью водного зеркала 2,4 га, объемом 27,56 тыс. м³, расположенный в балке Калиновая, бассейн р. Крынка, на территории Успенской сельской администрации, административно относящейся к Амвросиевскому району;

– пруд № 5, площадью водного зеркала 40,8 га, объемом 898,0 тыс. м³, расположенный в балке Сухой Еланчик, бассейн р. Мокрый Еланчик, на территории Новоивановской сельской администрации, административно относящейся к Амвросиевскому району;

– пруд № 6, площадью водного зеркала 11,12 га, расположенный в балке Осыковая, бассейн реки Кальмиус, на территории Многопольского городского совета, административно относящейся к Амвросиевскому району;

– пруд № 7, площадью водного зеркала 12,76 га, объемом 229,33 тыс. м³, расположенный в балке Кошарная, бассейн р. Сухой Еланчик, на территории Новоивановской сельской администрации, административно относящейся к Амвросиевскому району.

Для изучения видового состава фитопланктона были использованы сгущенные пробы, которые были получены с помощью насоса Камовского. При отборе проб использовали 1,5 литра воды, которые попускали через насос. Фиксацию проводили 4%-м раствором формальдегида.

Изучение качественного состава фитопланктона проводили в препаратах раздавленной капли с помощью световых микроскопов МБИ-3 и Primo Star Zeiss с соблюдением правил микрофотографирования [28].

В работе были проанализированы литературные источники по вопросу изученности водорослей прудов. Основой аналитических исследований стали следующие источники: Определитель пресноводных водорослей ... [2, 3, 12, 13, 18, 24]. На основании анализа составлен список наиболее типичных видов планктона, в основу которого положена классификационная схема [29, 30].

Для изучения прозрачности воды использовался метод количественного определения по шрифту с помощью цилиндра высотой 60 см, диаметром 3 см и черного шрифта высотой 3,5 мм и шириной линии 0,35 мм [25].

Определение цветности проводили фотометрическим методом с помощью фотоколориметра КФК-2. Для этого готовили раствор серной кислоты и растворы хром-кобальтовой шкалы, измеряли оптическую плотность проб относительно дистиллированной воды при длине волны 380 нм [4].

При электрометрическом определении рН использовали лабораторный рН-метр (потенциометр) со стеклянным электродом и хлорсеребряным электродом сравнения. Измеряемую величину потенциала получали непосредственно в единицах рН. Результаты округляли до 0,1 единиц рН.

Количество ионов аммония устанавливали фотометрическим методом с помощью фотоколориметра КФК-2: измеряли оптическую плотность градуировочных растворов и холостой пробы при длине волны 400 нм. Для каждого градуировочного раствора и холостой пробы рассчитывали среднеарифметическое значение, измеряли оптическую плотность исследуемых проб с холостой пробой при той же длине волны [5].

Количество нитрат-ионов определяли фотометрическим методом на фотоколориметре КФК-2, основанного на взаимодействии нитрат-ионов с салициловой кислотой с образованием желтого комплексного соединения. Оптическую плотность раствора измеряли при длине волны 410 нм [6].

Определение нитрит-ионов проводили с использованием фотоколориметра КФК-2. Метод основан на реакции нитритов и фенолдисульфоновой кислоты с образованием

нитропроизводных с фенолом, которые со щелочами образуют соединения, окрашенные в желтый цвет [7].

Измерение растворенного кислорода определяли титриметрическим методом. Этот метод определения массовой концентрации растворенного кислорода основан на его реакции с гидроксидом марганца (II) в щелочной среде. Последний количественно связывает кислород, переходя при этом в соединение марганца (IV). При подкислении пробы в присутствии избытка иодида калия образуется йод, количество которого эквивалентно содержанию растворенного кислорода, определяли титрованием раствором тиосульфата натрия [22].

Щелочность определяли титриметрическим методом. В ёмкость для титрования пипеткой вносили 5,00 см³ раствора углекислого натрия и добавляли 40 см³ дистиллированной воды. Титровали раствором соляной кислоты молярной концентрации 0,05 моль/дм³, фиксируя конечную точку титрования потенциметрически при значении рН 4,5 [8].

Титрование проводили дважды и регистрировали объемы соляной кислоты, израсходованные на титрование.

Измерение жесткости проводили комплексометрическим методом. Он основан на образовании комплексных соединений трилона Б с ионами щелочноземельных элементов. Определение проводили титрованием пробы раствором трилона Б при рН = 10 в присутствии индикатора [9].

Измерение сероводорода (сульфидов) проводили фотометрическим методом на фотоколориметре КФК-2. Этот метод определения массовой концентрации сероводорода и сульфидов основан на способности их в кислой среде образовывать с продуктами окисления N,N-диметил-п-фенилендиамина солью железа (III) метиленовую синь, интенсивность окраски которой пропорциональна содержанию сероводорода и сульфидов. Измерение оптической плотности водного раствора проводили при 667 нм [23].

Для измерения сухого остатка брали 250-500 см³ профильтрованной воды, выпаривали в предварительно высушенной до постоянной массы фарфоровой чашке. Выпаривание вели на водяной бане с дистиллированной водой. Затем чашку с сухим остатком помещали в термостат при 110°C и сушили до постоянной массы [10].

Определение массовой концентрации взвешенных веществ проводили гравиметрическим методом. Он основан на фильтровании пробы воды через фильтр с диаметром пор 0,45 мкм и взвешивании полученного осадка после высушивания его до постоянной массы. Гравиметрический метод определения суммарной массовой концентрации растворенных и взвешенных веществ основан на выпаривании известного объёма нефильтрованной анализируемой воды на водяной бане, высушивании остатка при 105°C до постоянной массы и взвешивании. Массовую концентрацию растворенных веществ (сухой остаток) определяли расчетным методом [26].

Результаты и обсуждение

Результаты гидрохимического анализа прудов Амвросиевского района, представленные в табл. 1, показали, что все пруды имеют превышение допустимой концентрации (ПДК) по нескольким показателям.

Пруд № 1 характеризовался превышением ПДК по цветности на 10%, щелочности на 43%, жесткости на 60%, сухому остатку на 354%.

Пруд №2 характеризовался превышением ПДК по щелочности на 20%, жесткости на 83%, сухому остатку на 345% и обнаружением сульфидов в пробе.

Пруд № 3 характеризовался превышением ПДК по цветности на 8%, щелочности на 33%, жесткости на 99%, сухому остатку на 443% и обнаружением сульфидов в пробе.

Пруд № 4 характеризовался превышением ПДК по цветности на 66%, щелочности на 43%, жесткости на 85%, сухому остатку на 486% и обнаружением сульфидов в пробе.

Гидрохимический анализ прудов Амвросиевского района

Наименование показателя	Номер пруда							Предельно допустимая концентрация (ПДК)**
	1	2	3	4	5	6	7	
Прозрачность, см	15	21	15	10	> 30	13	10	50±20
Цветность, град.	55	37	54	83	< 5	65	63	50
Водородный показатель рН, ед. рН	7,09	8,42	8,37	8,37	7,09	8,37	8,42	6,5-8,5
Аммоний-ион, мг/дм ³	0,47	0,31	0,64	1,17	0,28	2,23	0,53	2,5
Нитрит-ионы, мг/дм ³	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,11	<0,03	0,3
Нитрат-ионы, мг/дм ³	<0,5	2,35	1,75	<0,5	4,2	5,0	<0,5	3
Растворенный кислород, мгО ₂ /дм ³	11,70	11,10	9,89	12,70	7,94	14,0	12,51	не ниже 4
Щелочность, ммоль/дм ³	4,3	3,6	4,0	4,3	4,0	7,1	5,2	3
Жесткость, ммоль/дм ³	11,7	12,8	13,9	12,9	10,6	14,0	13,2	7
Сероводород (сульфиды), мг/дм ³	н.о.*	<0,05	<0,05	<0,05	н.о.*	н.о.*	н.о.*	отсутствие
Сухой остаток, мг/дм ³	3540	3450	4430	4860	3645	5348	4150	1000
Взвешенные вещества, мг/дм ³	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	25

Примечание. н.о.* – не определено, ** – ПДК установлены в соответствии с СанПиН 4630-88 [27].

Пруд № 5 характеризовался превышением ПДК по количеству нитрат-ионов на 40%, щелочности на 33%, жесткости на 51%, сухому остатку на 365%.

Пруд № 6 характеризовался превышением ПДК по цветности на 30%, количеству нитрат-ионов на 67%, щелочности на 137%, жесткости на 100%, сухому остатку на 535%.

Пруд № 7 характеризовался превышением ПДК по цветности на 26%, щелочности на 73%, жесткости на 89%, сухому остатку на 415%.

Превышение ПДК по щелочности, жесткости и сухому остатку во всех исследуемых прудах предположительно связано со смешанным характером питания прудов и доминированием в структуре стока минерализованных грунтовых вод. Обнаружение сероводорода в прудах № 2, 3 и 4 указывает на их сильную загрязненность органическими веществами, что интенсифицирует рост численности водорослей «цветения» и является причиной их усиленного размножения. Превышение ПДК по цветности в прудах № 1, 3, 4, 6 и 7 констатирует присутствие в них повышенного количества окрашенного органического вещества (гуминовых и фульвовых кислот). Превышение ПДК по количеству нитрат-ионов в пруду № 5 может быть связано с поступлением в водоем хозяйственно-бытовых, промышленных или сельскохозяйственных стоков.

Анализ альгологического состава планктона показал, что в прудах Амвросиевского района насчитывается 6 отделов водорослей: Cyanoprocarvota, Bacillariophyta, Chlorophyta, Euglenophyta, Xantophyta, Charophyta, из которых 3 доминирующие: Cyanoprocarvota, Bacillariophyta, Chlorophyta.

Систематическая структура фитопланктона прудов Амвросиевского района на уровне отделов приведена в табл. 2.

В прудах Амвросиевского района было выделено 10 классов, 11 порядков, 20 семейств, 36 родов и 70 видов. Из них максимальное количество видов установили для отделов Bacillariophyta – 29 и Chlorophyta – 25 видов.

**Систематическая структура фитопланктона прудов Амвросиевского района
на уровне отделов**

Отделы	Количество				
	классов	порядков	семейств	родов	видов
Cyanoprocarota	2	2	3	5	10
Bacillariophyta	2	3	6	15	29
Chlorophyta	3	3	8	11	25
Euglenophyta	1	1	1	3	4
Xanthophyta	1	1	1	1	1
Charophyta	1	1	1	1	1
Всего	10	11	20	36	70

Ниже приведен полный список видового состава фитопланктона прудов Амвросиевского района:

Отдел Cyanoprocarota: класс Cyanophyceae Sachs, порядок Synechococcaceae Komárek et Anagn., семейство Merismopediaceae Elenkin, род *Synechocystis* Sauv., *S. sallensis* Skuja, род *Merismopedia* F. J. F. Meyen, *M. punctate* Meyen in Wiegmann, *M. glauca* (Ehrenb.) Kutz., семейство Microcystaceae Elenkin, род *Microcystis* Kütz. ex Lemmerm., *M. aeruginosa* (Kutz.) Kutz., *M. pulvereae* (Woodw.) Forti emend. Elenkin; класс Hormogoniophyceae Starmach, порядок Oscillatoriales Elenkin, семейство Oscillatoriaceae (Kirch.) Elenkin s. str., род *Oscillatoria* Vaucher ex Gomont, *O. agardhii* Gomont f. agardhii, *O. limosa* J. Agardh ex Gomont, *O. sancta* (Kütz.) Gomont, *O. formosa* Bory ex Gomont, род *Spirulina* (Chose) Geitler, *S. spirulinoides* (Chose) Geitler

Отдел Euglenophyta: класс Euglenophyceae Schoenichen, порядок Euglenales Bütschli, семейство Euglenaceae G. A. Klebs., род *Euglena* Ehrenb., *E. viridis* Ehrenb., *E. proxima* P. A. Dang., род *Trachelomonas* Ehrenb., *T. volvocina* Ehrenb., род *Phacus* Dujard., *P. ellipsoideus* Dedus.-Scheg.

Отдел Xanthophyta: класс Xanthophyceae P. Allorge, порядок Tribonematales Pascher, семейство Tribonemataceae Pascher, род *Tribonema* Derbés et Solier, *T. viride* Pascher.

Отдел Bacillariophyta: класс Centricae, порядок Discoidales, семейство Coscinodiscaceae Kutz., род *Cyclotella* Kutz., *C. meneghiniana* Kutz.; класс Pennatae, порядок Araphinales, семейство Tabellariaceae Pant., род *Tabellaria* Her., *T. fenestrata* (Lyngb.) Kutz., семейство Fragilariaceae Grev., род *Diatoma* D. C., *D. elongatum* (Lyngb.) C. Agardh, *D. tenue* C. Agardh, *D. vulgare* Bory, род *Fragilaria* Lyngb., *F. crotonensis* Kitton, род *Synedra* Ehr., *S. capitata* Ehrenberg, порядок Raphinales, семейство Achnanthaceae Kützing, род *Cocconeis* Ehrenberg, *C. placentula* Ehrenberg, семейство Naviculaceae Kutz., род *Frustulia* Rabenhorst, *F. vulgaris* (Thwaites) De Toni, род *Navicula* Bory, *N. capitatoradiata* H. Germ., *N. gregaria* Donkin, *N. radiosa* Kutz., *N. rhynchotella* Lange-Bert., *N. pupula* Kützing, род *Pinnularia* Ehrenberg, *P. viridis* Nitzsch, род *Caloneis* Cl., *C. amphibaena* (Bory) Cleve, род *Pleurosigma* W. Sm., *P. elongatum* W. Sm., род *Gyrosigma* Hass., *G. acuminatum* (Kutz.) Rabenh., *G. atternatum* (Kutz.) Rabenh., род *Cymbella* Agardh, *C. ehrenbergii* Kutz., *C. affinis* Kutz., *C. cymbiformis* C. Agardh, *C. lanceolata* (C. Agardh) Ehrenb., *C. tumida* (Breb.) Van Heurck, семейство Nitzschiaceae, род *Nitzschia* Hass., *N. acicularis* (Kutz.) W. Sm., *N. linearis* W. Sm., *N. sigmoidea* (Nitzsch.) W. Sm., род *Cylindrotheca* Kutz., *C. closterium* (Ehrenb.) Reimer et F. W. Lewis, *C. gracilis* (Breb.) Grunow in Van Heurck.

Отдел Chlorophyta: класс Ulvophyceae (Lamour.) Stewart et Mattox, порядок Ulotrichales Borzi, семейство Ulotrichaceae Kutz. emend. Borzi, род *Ulothrix* Kutz., *U. variabilis* Kutz.; класс Chlorophyceae T. A. Chr., порядок Chlamydomonadales F. E. Fritsch, семейство Chlorococcaceae Blackman et Tansley, род *Chlorococcum* Fries., *C. infusionum* (Schrank) Menegh., семейство Radiococcaceae Fott ex Komarek, род *Coenochloris* Korshikov,

C. pyrenoidosa Korschikov, *C. polycoccus* (Korschikov) Hindak, семейство Characiaceae (Nageli) Wille in Warming, род *Schroederia*, *S. setigera* (Schrod.) Lemmerm., семейство Hydrodictyaceae (S. W. Gray) Dumort., род *Tetraedron*, *T. minimum* (A. Braun) Hansg., *T. triangulare* Korschikov, *T. regulare* Kutz., семейство Selenastraceae (Blackman et Tansley) F. E. Fritsch, род *Monoraphidium*, *M. contortum* (Thur.) Komark.-Legn., *M. irregulare* (G. Sm.) Komark.-Legn. in Fott, *M. arcuatum* (Korschikov) Hindak, *M. minutum* (Nageli) Komark.-Legn., род *Hyaloraphidium*, *H. contortum* Korschikov, семейство Scenedesmaceae Oltm., род *Crucigenia*, *C. tetrapedia* (Kirchn.) West et G. S. West Morren, род *Scenedesmus*, *S. hystrix* var. *armatus* Chodat, *S. acutus* Meyen, *S. acuminatus* (Lagerheim) Chodat, *S. communis* E. Hegewald, *S. denticulatus* var. *pseudogranulatus* Péterfi, *S. intermedius* Chodat, *S. opoliensis* P. G. Richter, *S. quadricauda* (Turpin) Brébisson, *S. spinosus* var. *bicaudatus* Hortobágyi; класс Trebouxiophyceae Friedl, порядок Chlorellales Bold & M. J. Wynne семейство Chlorellaceae Brunth., род *Chlorella*, *C. vulgaris* Beij., род *Closteriopsis*, *C. longissima* (Lemmerm.) Lemmerm.

Отдел Charophyta: класс Conjugatophyceae, семейство Zygnemataceae Kützing, род *Zygnema* C. Agardh, *Z. pectinatum* (Vaucher) C. Agardh.

Синезеленые водоросли прудов Амвросиевского района представлены 10 видами, которые относятся к 5 родам, 3 семействам, 2 порядкам и 2 классам. Класс Суанорфусеае насчитывает 9 видов из 3 семейств, среди которых наиболее богатым по количеству видов являются семейства Merismopediaceae и Oscillatoriaceae.

Диатомовые водоросли в прудах Амвросиевского района представлены 29 видами, которые относятся к 15 родам, 6 семействам, 3 порядкам и 2 классам. Класс Pennatae насчитывает 27 видов из 6 семейств, среди которых наиболее богатым по количеству видов является семейство Naviculaceae.

Зеленые водоросли в прудах Амвросиевского района представлены 25 видами, которые относятся к 11 родам, 8 семействам, 3 порядкам и 3 классам. Наиболее богатым по количеству видов является класс Chlorophyceae, который насчитывает 23 вида и представлен 6 семействами, среди которых наиболее богатым по количеству видов является семейство Scenedesmaceae.

Эвгленовые водоросли в прудах Амвросиевского района представлены 4 видами, которые относятся к 3 родам, 1 семейству, 1 порядку и 1 классу (Euglenophyceae).

Желто-зеленые водоросли в прудах Амвросиевского района представлены 1 видом, который относится к 1 роду, 1 семейству, 1 порядку и 1 классу (Xanthophyceae).

Харовые водоросли в прудах Амвросиевского района представлены 1 видом, который относится к 1 роду, 1 семейству, 1 порядку и 1 классу (Conjugatophyceae).

Среди водорослей отдела Суанороскариота в прудах Амвросиевского района чаще встречаются *Synechocystis sallensis*, *Microcystis pulverea* и *Merismopedia punctata*. Из отдела Bacillariophyta чаще в пробах определены виды: *Pinnularia viridis*, *Navicula pupula* и *Diatoma vulgare*. В отделе Chlorophyta наибольшей частотой встречаемости характеризуются виды *Tetraedron regulare*, *Chlorella vulgaris*, *Monoraphidium contortum*, *Scenedesmus intermedius*, *Crucigenia tetrapedia*. Среди представителей отдела Euglenophyta наиболее часто в пробах зафиксирована *Euglena viridis*. Представители отделов Xanthophyta и Charophyta – наименее встречаемые и характеризуются малым количеством видов.

По литературным источникам [15-17] установлено, что *Euglena viridis*, *Microcystis pulverea*, *Scenedesmus intermedius*, *Microcystis aeruginosa*, *Tribonema viride*, *Scenedesmus acutus*, *Scenedesmus acuminatus*, *Scenedesmus quadricauda* и *Scenedesmus opoliensis* являются источниками «цветения» водоемов. Эти виды принадлежат к отделам Суанороскариота, Euglenophyta, Chlorophyta. При отборе проб в прудах Амвросиевского района на период активного «цветения» данные виды имели наибольший коэффициент встречаемости, что доказывает существенный вклад в развитие «цветения» водоемов.

Выводы

Превышение ПДК по щелочности, жесткости и сухому остатку во всех исследуемых прудах Амвросиевского района, вероятнее всего, связано со смешанным характером питания прудов и доминированием в структуре стока минерализованных грунтовых вод. Обнаружение сероводорода в прудах № 2, 3 и 4 указывает на их сильную загрязненность органическими веществами, что обуславливает наличие водорослей «цветения». Превышение ПДК по цветности в прудах № 1, 3, 4, 6 и 7 связано с повышенным количеством окрашенного органического вещества (гуминовых и фульвовых кислот). Превышение ПДК по количеству нитрат-ионов в пруду № 5 может быть связано с поступлением в водоём хозяйственно-бытовых, промышленных или сельскохозяйственных стоков.

Таким образом, формирование фитопланктона прудов Амвросиевского района обусловлено наличием представителей отделов Cyanoprocarota, Bacillariophyta и Chlorophyta. Всего в прудах Амвросиевского района определено 70 видов. По видовой и родовой представленности наибольшим количеством характеризуется семейство Naviculaceae.

В изучаемых водоёмах обнаружены водоросли, вызывающие «цветение» водоемов: *Euglena viridis*, *Microcystis pulverea*, *Scenedesmus intermedius*, *Microcystis aeruginosa*, *Tribonema viride*, *Scenedesmus acutus*, *Scenedesmus acuminatus*, *Scenedesmus quadricauda* и *Scenedesmus opoliensis*.

Работа выполнена в рамках государственной научной тематики кафедры ботаники и экологии ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет» № 0118 D 000017.

Список литературы

1. *Беспамятнов Г. П.* Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде // Г. П. Беспамятнов, Ю. А. Кротов. – Л. : Химия, 1987. – 328 с.
2. *Голлербах М. М.* Синезеленые водоросли / М. М. Голлербах, Е. К. Косинская, В. И. Полянский // Определитель пресноводных водорослей СССР. – М. : Сов. наука, 1953. – Вып. 2. – 652 с.
3. *Голлербах М. М.* Харовые водоросли. Определитель пресноводных водорослей СССР / М. М. Голлербах, Л. К. Красавина. – Л. : Наука, 1983. – Вып. 14. – 190 с.
4. ГОСТ Р 52769-2007 Вода. Методы определения цветности. – Введ. 2009-01-01. – М. : Минздрав России, 2001. – С. 3-4 .
5. ГОСТ 4192-82 Вода питьевая. Методы определения минеральных азотсодержащих веществ. – Введ. 1983-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1972. – С. 3-4 .
6. ГОСТ 33045-2014 Вода. Методы определения азотсодержащих веществ. – Введ. 2016-01-01. – М. : Стандартинформ, 2015. – С. 3-4.
7. ГОСТ 18826-73 Вода питьевая. Методы определения содержания нитратов. – Введ. 1974-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1973. – С. 3-4 .
8. ГОСТ 31957-2012 Вода. Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов. – Введ. 2014-01-01. – М. : Стандартинформ, 2013. – С. 3-4 .
9. ГОСТ 31954-2012 Вода питьевая. Методы определения жесткости. – Введ. 2014-01-01. – М. : Стандартинформ, 2013. – С. 3-4 .
10. ГОСТ 18164-72 Вода питьевая. Метод определения содержания сухого остатка. – Введ. 1974-01-01. – М. : Стандартинформ, 2010. – С. 3-4 .
11. Государственный комитет водного и рыбного хозяйства Донецкой Народной Республики. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://gkvrh.ugletele.com>
12. *Дедусенко-Щеголева И. Т.* Желтозеленые водоросли / И. Т. Дедусенко-Щеголева, М. М. Голлербах // Определитель пресноводных водорослей СССР. – М., Л. : Изд-во АН СССР, 1962. – Вып. 5. – 272 с.

13. *Забелина М. М.* Диатомовые водоросли / М. М. Забелина, И. А. Киселев, А. И. Прошкина-Лавренко, В. С. Шешукова // Определитель пресноводных водорослей СССР. – М. : Сов. наука, 1951. – Вып. 4. – 620 с.
14. КиберПедия. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberpedia.su>
15. *Лялюк Н. М.* Особенности формирования сообществ фитопланктона канала Северский–Донец-Донбасс / Н. М. Лялюк // Охрана навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів : тези доп. V Міжнар. наук. конф. студ. і асп. – Донецьк, 2006. – С. 211-213.
16. *Лялюк Н. М.* Особенности формирования фитопланктона Волынцевского водохранилища г. Енакиево / Н. М. Лялюк, А. Н. Истомин // Экология промышленного региона : тез. докл. Междунар. экол. форум. – Донецк, 2011. – С. 211-213.
17. *Мирненко Э. И.* Особенности «цветения» водоемов в городе Донецке / Э. И. Мирненко. – Saarbrücken : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 93 с.
18. *Мошкова И. А.* Зеленые водоросли. Класс улотриксые (1) / И. А. Мошкова, М. М. Голлербах // Определитель пресноводных водорослей СССР. – Л. : Наука, 1986. – Вып. 10. – 360 с.
19. Национальная экологическая политика. Государственный экологический контроль : достижения и задачи // Наш край. – 2009. – № 10. – С. 45-50.
20. *Паламарь-Мордвинцева Г. М.* Зеленые водоросли. Класс Конъюгаты. Порядок Десмидиевые (2). Chlorophyta : Conjugatophyceae. Desmidiaceae (2) / Г. М. Паламарь-Мордвинцева // Определитель пресноводных водорослей СССР. – Л. : Наука, 1982. – Вып. 11 (2). – 620 с.
21. *Показеев К. В.* Океанология. Оптика океана : уч. пос. / К. В. Показеев, Т. О. Чаплина. – М. : Изд-во Юрайт, 2018. – 270 с.
22. ПНД Ф 14.1:2.101-97. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации растворенного кислорода в пробах природных и очищенных сточных вод йодометрическим методом. – Введ. 2017.01.06. – М., 1997. – С. 3-4.
23. ПНД Ф 14.1:2.109-97. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовых концентраций сероводорода и сульфидов в пробах природных и очищенных сточных вод фотометрическим методом с N,N-диметил-п-фенилендиамином. – Введ. 1997.21.03. – М., 1997. – С. 3-4.
24. *Попова Т. Г.* Эвгленовые водоросли. Определитель пресноводных водорослей СССР / Т. Г. Попова. – М. : Сов. наука, 1955. – Вып. 7. – 282 с.
25. РД 52.24.496-2005. Температура, прозрачность и запах поверхностных вод суши. Методика выполнения измерений. – Введ. 1983-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1972. – С. 3-4.
26. РД 52.24.468-2005. Взвешенные вещества и общее содержание примесей в водах. Методика выполнения измерений массовой концентрации гравиметрическим методом. – Введ. 1983-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1972. – С. 3-4 .
27. СанПиН 4630-88. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения.
28. Учебно-методическое пособие курсу «Гидробиология. Водные биоценозы и экосистемы. Ч. 1» / М. В. Борисюк, Э. И. Мирненко, Н. С. Захаренкова. – Донецк : ГОУ ВПО ДонНУ, 2016. – 95 с.
29. Algae of Ukraine : diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. Vol. 1. Cyanoprocarota, Euglenophyta, Chrysophyta, Xanthophyta, Raphidophyta, Phaeophyta, Dinophyta, Cryptophyta, Glaucocystophyta and Rhodophyta / Eds. : P. M. Tsarenko, S. P. Vasser, Eviatar Nevo. – Ruggell : A. R. G. Gantner Verlag, 2006. – 713 p.
30. Algae of Ukraine : diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. Vol. 2. Bacillariophyta / Eds. : P. M. Tsarenko, S. P. Vasser, Eviatar Nevo. – Ruggell : A. R. G. Gantner Verlag, 2009. – 413 p.

Mirnenko N. S., Sadlovskaya V. V. Features of the formation of phytoplankton of the ponds of the Amvrosievsky district. – The species diversity of phytoplankton of the ponds of the Amvrosievsky region was studied and 70 species, 36 genera, 20 families, 11 orders and 10 classes of algae were identified. The dominant species are described and the systematic structure of phytoplankton communities is determined. A systematic list of algae species of the ponds of the Amvrosievsky district has been compiled. The hydrochemical analyzes of the ponds of the Amvrosievsky district were carried out. Revealed excess alkalinity, hardness and dry residue in all the studied ponds.

Key words: «bloom», plankton, Amvrosievsky district, pond, algae, species diversity.

УДК 574.522

© Э. И. Мирненко, А. О. Макуха

ФИТОПЛАНКТОН КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРУДОВ Г. ДОНЕЦКА

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

Мирненко Э. И., Макуха А. О. Фитопланктон как показатель экологического состояния прудов г. Донецка. – В работе проведен подсчет численности и биомассы фитопланктона, представлены данные о первичной продукции водоёма и окисляемости органического вещества в прудах Донецкого ботанического сада и р. Кальмиус в летне-осенний период 2018 г.

Ключевые слова: пруды, биомасса, фитопланктон, г. Донецк.

Введение

Ведущая роль в функционировании пресноводных экосистем принадлежит микроводорослям, за счет фотосинтеза которых в водоемах создается фонд органического вещества, составляющий энергетическую основу для всех последующих этапов продукционного процесса в водоёме [8].

Фитопланктон относится к основным продуцентам кислорода и органического вещества в водоеме. Благодаря высокой скорости воспроизводства, фитопланктон оперативно реагирует на изменение состояния водной среды, и является основным индикатором загрязнения водных объектов [4].

В настоящее время в связи с увеличением антропогенной нагрузки на окружающую среду городские водоёмы вызывают повышенный научный интерес. Ухудшение качества их вод является актуальной экологической проблемой. Наряду с природными процессами, изменяющими химический состав вод, немаловажную роль играет и антропогенное воздействие, приводящее к изменению геохимических процессов в системе «водосбор – водоём», появлению токсинов в водной среде, эвтрофированию, закислению и, как следствие, ухудшению качества воды [5, 8].

Пруды являются биологически сбалансированными системами, настроенными на самовосстановление, но это состояние может быть нарушено следствием избытков в водоёме органического вещества и питательных элементов, поступивших в него антропогенным или естественным путем. Одним из последствий загрязнённости водоёма является неконтролируемое развитие фитопланктона, приводящее к «цветению» воды, тем самым ухудшая респираторные условия в водоёме, происходит накопление токсинов и повышение концентрации питательных элементов, приводящее к новой вспышке «цветения».

Важным показателем загрязнения водоёма является количество растворенного органического вещества – это условная величина, характеризующая загрязнение воды легко окисляемым водным гумусом органического происхождения, а также легко окисляющимися неорганическими примесями (H_2S , Fe^{2+} , сульфитов, нитритов и др.). Мерой содержания в воде растворенного органического вещества является его окисляемость перманганатом калия. Степень окисления перманганатом калия зависит от химической природы окисляемого вещества и может колебаться в широких пределах [7].

Важный фактор, характеризующий степень загрязнения водоёмов, – концентрация растворенного кислорода в воде. Она зависит от ряда факторов, таких как атмосферное давление, температуры воды, содержание растворенных солей. Растворенный в воде кислород играет особую роль в формировании сообществ фитопланктона в природных водах, благодаря непосредственной связи с процессами жизнедеятельности, протекающими в водоёмах [6, 9].

Содержание растворенного кислорода в воде водоемов питьевого и культурно-бытового назначения должно быть не менее $6 \text{ мг } O_2/\text{дм}^3$ в летний период и не менее

4 мг O_2 /дм³ в зимний. Обычно растворенный в воде кислород непосредственно не определяют. О его концентрации судят по количеству выделяющегося йода в исследуемой пробе. По содержанию растворенного кислорода водоёмы можно классифицировать на очень чистые – содержание кислорода 9 мгО/дм³; чистые – 8 мгО/дм³, умеренно загрязненные – 7-8 мгО/дм³, загрязненные – 4-5 мгО/дм³, грязные – 2-3 мгО/дм³, очень грязные – 0 мгО/дм³ [2].

В пределах города водные объекты могут рассматриваться как градообразующий фактор, они обладают эстетической значимостью, используются для рекреации, поэтому их качество должно соответствовать экологическим нормам. Для оценки экологического состояния водоёмов широко используют показатели развития фитопланктона, что обусловлено его положением в основании экологической пирамиды как автотрофного продуцента [1, 8].

Научные работы по этой тематике имеют практическую значимость, поскольку позволяют не только установить экологическое состояние водоёмов, но и разработать методические рекомендации по его улучшению и стабилизации. Сведения о показателях развития фитопланктона на территории Донбасса представлены фрагментарно.

Цель работы – установить состояние водных объектов г. Донецка на основании развития фитопланктона.

Материал и методы исследования

Материалом для исследования послужили пробы фитопланктона, которые отбирали в прудах № 4, 5, 6 Донецкого ботанического сада (далее – пруд ДБС) и на р. Кальмиус, а именно в Нижнекальмиусском водохранилище в августе и сентябре 2018 г.

Пробы отбирали на расстоянии 1 м и более от береговой линии на глубине 40 см от поверхности в пластиковые бутылки ёмкостью 2,5-3 литра, снабженными прикрепленными к горлышку грузом [3, 10].

Стушение проб осуществляли методом фильтрации под вакуумом в специальной воронке, укрепленной на колбе Бунзена, которая соединяется с насосом Камовского с использованием мембранного фильтра [3, 8].

Камерную обработку фитопланктона проводили с помощью прямого микроскопирования с использованием светового микроскопа Primo Star (Zeiss).

Первичную продуктивность фитопланктона (содержание растворенного кислорода) определяли методом йодометрического титрования – методом Винклера, широко используемым и общепринятым при санитарно-химическом и экологическом контроле. Метод определения концентрации растворенного кислорода основан на способности гидроксида марганца окисляться в щелочной среде, количественно связывая при этом кислород [11].

Количество органического вещества определяли с помощью перманганатной окисляемости. Сущность метода заключается в использовании перманганата калия в качестве сильного окислителя для разложения органических загрязнителей в исследуемой воде: проба воды кипятится с заданным, заведомо избыточным объемом $KMnO_4$, после чего его избыток оттитровывается щавелевой кислотой [2].

Определение численности и биомассы фитопланктона проводили с помощью камеры Горяева. Перед наполнением камеры Горяева пробу тщательно перемешивали продуванием воздуха через капилляр с входным отверстием не менее 2 мм. Этим же капилляром вносили одну каплю фильтрата, и камеру быстро закрывали покровным стеклом [11].

Результаты и обсуждение

Исследования, проведенные в августе и сентябре 2018 г., показали, что фитопланктон прудов № 4, 5 и 6 Донецкого ботанического сада и р. Кальмиус имеет четкую месячную динамику. Результаты расчетов численности и биомассы фитопланктона представлены на рис. 1 и 2.

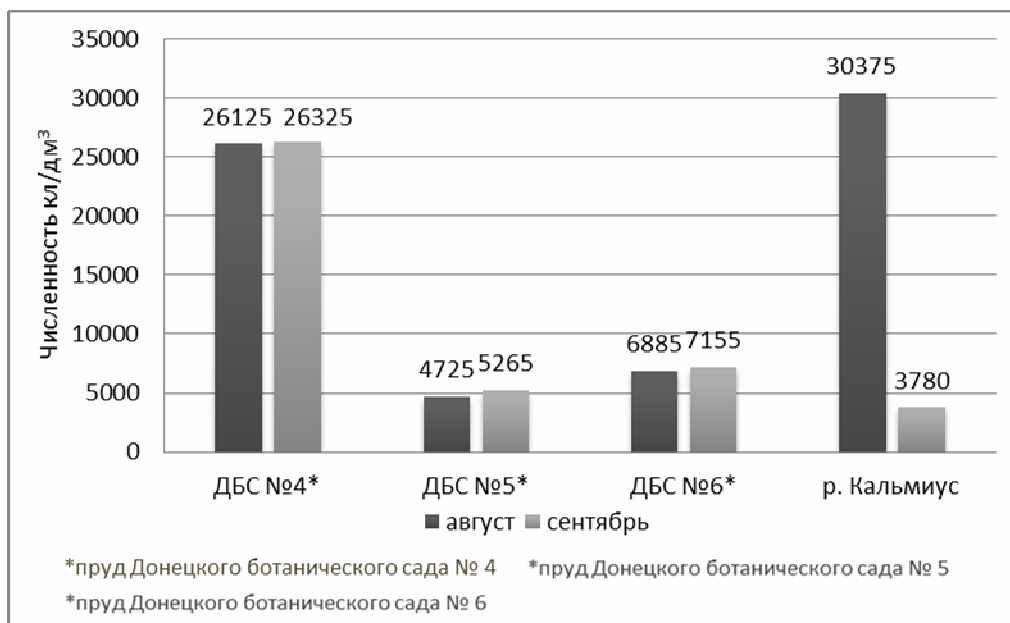


Рис. 1. Численность фитопланктона в исследуемых водоёмах г. Донецка

Как видно на рис. 1, суммарная численность фитопланктона в прудах ДБС имеет однопиковый характер, значения численности для каждого пруда варьируют около 1000 кл./дм³. Максимальная численность в августе – сентябре была определена в пруду № 4. Нижнекальмиусское водохранилище отличается от прудов ДБС, максимальные значения численности фитопланктона здесь были отмечены в августе (30375 кл./дм³), однако в сентябре происходит резкое падение численности, почти в 10 раз. Несмотря на высокую численность видов, в пробах Нижнекальмиусского водохранилища доминируют 3 вида отдела Cyanophyta: *Microcystis aeruginosa* Kütz., *Aphanizomenon flosaquae* Ralfs ex Bornet & Flahault, *Anabaena spiroides* f. *spiroides* Kleb.

Анализ полученных данных биомассы фитопланктона показал, что пруды ДБС характеризуются «скачкообразным» изменением количества биомассы: для пруда № 5 с августа по сентябрь наблюдается увеличение количества биомассы в 2,5 раза, пруд № 6 имеет более чем 10-тикратное падение биомассы – с 335,19 мг/дм³ в августе до 33,41 мг/дм³ в сентябре.

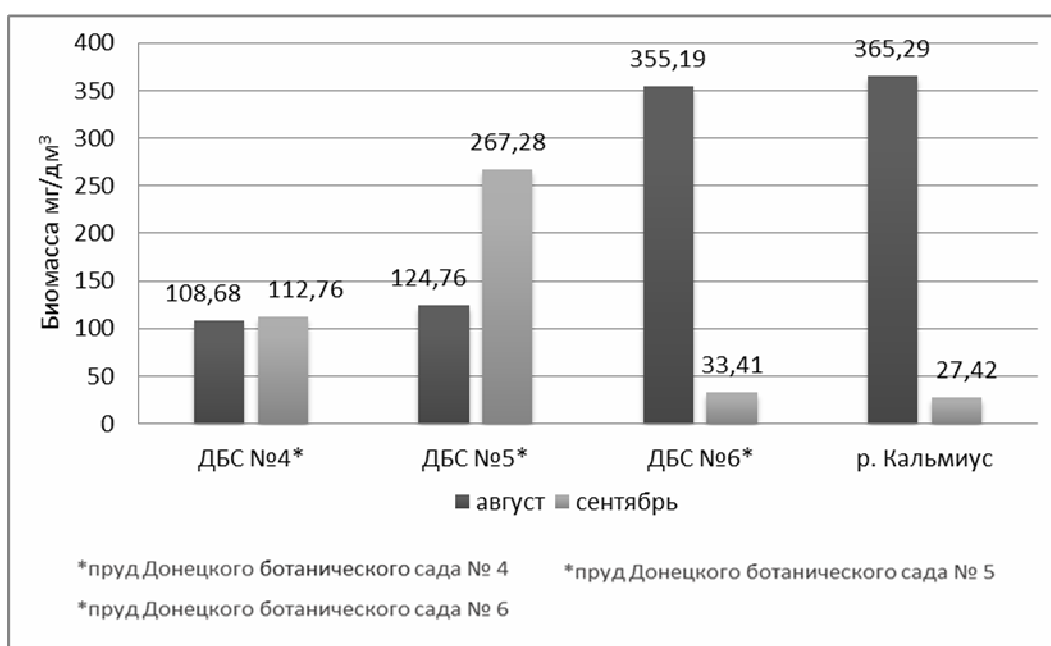


Рис. 2. Биомасса фитопланктона в исследуемых водоёмах г. Донецка

Пруд № 4 характеризуется стабильно низким показателем биомассы (относительно остальных водоёмов). Нижнекальмиусское водохранилище имеет максимальные показатели биомассы среди исследуемых водных объектов, но в сентябре, по сравнению с августом, происходит значительное падение количества биомассы с 365,29 до 27,42 мг/дм³.

Наличие органических веществ в прудах ДБС и Нижнекальмиусском водохранилище за летне-осенний период 2018 г. оценивали по величине окисляемости органического вещества в присутствии перманганата калия (рис. 3). Максимальное значение концентрации органического вещества было определено в пруду № 4 в сентябре, максимальная концентрация достигла 2,51 мгС/дм³. Для остальных водоёмов наблюдается картина спада концентрации органического вещества в августе – сентябре.

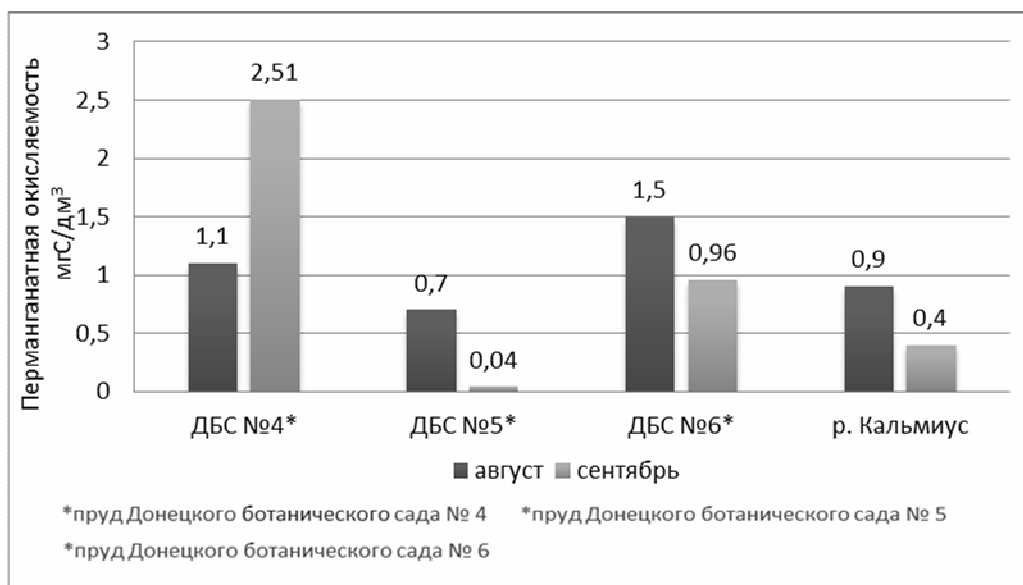


Рис. 3. Количество органического вещества в исследуемых водоёмах г. Донецка

Как видно из рис. 4, во всех исследуемых водоёмах концентрация растворенного кислорода имеет максимальное значение в сентябре, при этом август характеризуется критически низкими показателями, а такие водоёмы как пруд № 6 ДБС и Нижнекальмиусское водохранилище имеют содержание растворенного кислорода на уровне 3 мгО₂/дм³.

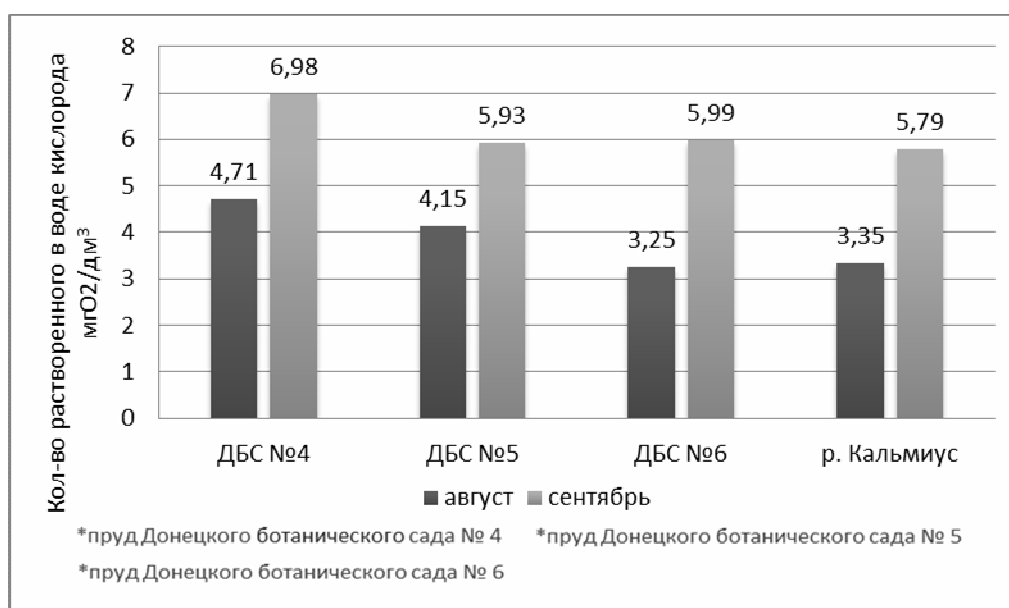


Рис. 4. Количество растворенного кислорода в исследуемых водоёмах г. Донецка

Выводы

Пруды Донецкого ботанического сада имеют стабильные значения численности фитопланктона. Нижнекальмиусское водохранилище имеет флуктуирующее отклонение, которое проявляется в 10-кратном падении численности фитопланктона в сентябре, в это же время происходит и падение уровня биомассы фитопланктона. В Нижнекальмиусском водохранилище идентификация видов показала полное доминирование отдела Cyanophyta. Отмечено «цветение» в пруду № 4 ДБС и в Нижнекальмиусском водохранилище. В прудах ДБС при «цветении» доминировал отдел Chlorophyta.

Суммарная концентрация органического вещества в исследуемых водоёмах варьирует в пределах от 0,04 до 2,51 мгС/дм³, что является нормальным значением для континентальных водоёмов. При этом в большинстве исследуемых водоёмов наблюдается спад количества органического вещества. В период повышенной численности и биомассы водорослей фитопланктона происходит понижение концентрации растворенного органического вещества.

Содержание растворенного кислорода в исследуемых водоёмах варьирует в пределах 3,25-6,98 мгО₂/дм³. Критически низкими показателями концентрации растворенного кислорода характеризуется пруд № 6 ДБС и Нижнекальмиусское водохранилище, имеющие концентрацию около 3 мгО₂/дм³, что по классификации относит их к сильно загрязненным водоёмам.

По показателям развития фитопланктона установлены периоды «цветения» водоёмов, подтвержденные гидрохимическими анализами. По-видимому, все исследуемые водоёмы в летние месяцы испытывают антропогенную эвтрофикацию из-за неконтролируемого стока минеральных и органических веществ, приводящую к скачкообразному росту, а затем падению численности и критически низкого уровня растворенного кислорода, приводящий к заморам рыб и нарушениям в трофической цепи гидробионтов.

Список литературы

1. *Абакумов В. А.* Контроль качества вод по гидробиологическим показателям в системе гидрометеорологической службы СССР / В. А. Абакумов // Тр. Советско-Английского семинара. – Л. : Гидрометеиздат, 1977. – С. 93-99.
2. *Борисюк М. В.* Лабораторный практикум по курсу «Гидробиология» / М. В. Борисюк, Э. И. Мирненко, Н. С. Мирненко. – Донецк : ГОУ ВПО ДонНУ, 2017. – 34 с.
3. *Вассер С. П.* Водоросли : справочник / С. П. Вассер, Н. В. Кондратьева, Н. П. Масюк и др. – К. : Наук, думка, 1989. – 608 с.
4. *Воденеева Е. Л.* Оценка состояния экосистемы р. Пьяны (Нижегородская область) по фитопланктону / Е. Л. Воденеева, А. Г. Охапкин, М. В. Лебедева // Вестник Нижегородского университета им Н. И. Лобачевского. – 2010. – № 2 (2). – С. 388-395.
5. *Зилов Е. А.* Гидробиология и водная экология (организация, функционирование и загрязнение водных экосистем) : уч. пос. / Е. А. Зилов. – Иркутск : Изд-во Иркут. гос. ун - та, 2009. – 147 с.
6. *Итигилова М. Ц.* Экология городского водоема / М. Ц. Итигилова, А. П. Чечель, Л. В. Замана и др. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 1998. – 260 с.
7. *Константинов А. С.* Общая гидробиология / А. С. Константинов. – М. : Высш. шк., 1986. – 472 с.
8. *Коновалова О. А.* Фитопланктон как индикатор состояния водных экосистем городских ландшафтов (на примере г. Омска) : Автореф. дис. ... канд. биол. наук / О. А. Коновалова. – Омск, 2011. – 19 с.
9. *Кузьмин Г. В.* Фитопланктон / Г. В. Кузьмин // Методика изучения биогеоценоза внутренних водоемов. – М. : Наука, 1975. – С. 73-87.
10. *Мирненко Э. И.* Особенности «цветения» водоемов в городе Донецке / Э. И. Мирненко. – Saarbrücken : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 93 с.

11. *Петин А. Н.* Анализ и оценка качества поверхностных вод : уч. пос. / А. Н. Петин, М. Г. Лебедева, О. В. Крымская. – Белгород : Изд-во БелГУ, 2006. – 252 с.

Mirnenko E. I., Makuha A. O. Phytoplankton as an indicator of the ecological status of ponds in Donetsk. – The paper presents data on the amount of dissolved oxygen in the water, permanganate in ponds Donetsk Botanical garden and the river Kalmius in the summer-autumn period in 2018, we also calculated the abundance and biomass of phytoplankton.

Key words: ponds, Donetsk, biomass, phytoplankton.

УДК 58.087

© К. В. Мудрецова, А. Г. Тарабарова, А. В. Гурина, А. И. Сафронов
**ПРИМЕНИМОСТЬ ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИИ ЛИСТЬЕВ *BETULA
 PENDULA* ROTH ДЛЯ ИНДИКАЦИИ КАЧЕСТВА СРЕДЫ УРБАНИЗИРОВАННЫХ
 ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ Г. ДОНЕЦКА)**

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
 283050, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: oks.mudretsova@gmail.com

Мудрецова К. В., Тарабарова А. Г., Гурина А. В., Сафронов А. И. Применимость флуктуирующей асимметрии листьев *Betula pendula* Roth для индикации качества среды урбанизированных территорий (на примере г. Донецка). – Флуктуирующая асимметрия (ФА) является популярным индикатором состояния среды, хотя рядом работ показана спорность её применимости. В частности, вызывает вопросы использование ФА для оценки урбанизированных территорий малой площади. В работе проведена оценка ФА, рассчитанной на основе разности длин гомологичных жилок листьев березы повислой, собранных с 25 точек в центральном районе г. Донецка (площадь участка 3,4 км²). Проанализирована связь ФА с плотностью застройки, параметрами дорожной сети и плотностью зеленых насаждений. Только последний фактор продемонстрировал некоторое влияние на ФА, но величина эффекта была крайне низкой, а статистическая значимость маргинальной. На основе анализа сделан вывод о низкой информативности показателя ФА для индикации качества городской среды при малом пространственном охвате или низкой вариабельности стрессовых условий.

Ключевые слова: биоиндикация, флуктуирующая асимметрия, *Betula pendula*, плотность дорожной сети, плотность застройки, NDVI.

Введение

Симметрия является универсальным признаком, свойственным большинству живых организмов. Хотя симметрия практически идеальна при усреднении больших выборок, на индивидуальном уровне почти всегда наблюдаются некоторые отклонения. Ненаправленную, случайную компоненту таких отклонений принято называть флуктуирующей асимметрией (ФА) [12]. Иными словами, ФА – это накопленные в процессе развития отклонения от идеальной «генетической модели» организма.

В теоретическом плане ненаправленная асимметрия рассматривается как отклонение от стабильного развития. Причинами таких отклонений могут выступать как факторы окружающей среды, например: изменения климатического режима, недостаток питательных веществ, антропогенное загрязнение, так и эндогенные по отношению к организму факторы, например: инбридинг, гибридизация, мутации [6, 21]. Если стабильность развития является механизмом, позволяющим организму противостоять негативному действию различных факторов, то проявления нестабильного развития, в частности ФА, могут быть отображением уровня стресса [13]. В связи с этим ФА приобрела широкую популярность у исследователей, как универсальный индикатор состояния окружающей среды [9]. При этом в качестве модельных организмов особый интерес представляют растения. Поскольку растения – это неподвижные организмы, они неизбежно подвергаются всему спектру условий в данном месте. Кроме того, известно, что листовой аппарат растений, будучи основным синтезирующим органом, крайне чувствителен к изменениям в окружающей среде, как на анатомическом [2, 3], так и на морфологическом [1, 11] уровнях. Рядом исследований показана достоверная связь величины ФА листовых пластинок различных растений с такими факторами как загрязнение тяжелыми металлами [16, 17], ионизирующее излучение [14], климатические факторы, высотный градиент [20, 30] и прочие. В последнее время можно наблюдать активизацию исследований в области применения ФА для индикации качества городской среды [15, 31]. Такие подходы могут иметь несколько преимуществ: легкость получения данных, простота обработки, индикация комплекса действующих факторов.

Однако универсальность ФА в качестве индикатора состояния окружающей среды остаётся спорной. Например, J.H. Graham в своем обзоре [12] приводит данные о 40 исследованиях асимметрии у животных и растений под действием различных факторов.

Значимые связи обнаружены лишь в 16 из них. Более новые работы также подтверждают низкую информативность этого признака. Так, в детальных экспериментах не удалось обнаружить связь между величиной ФА листьев с концентрациями тяжелых металлов [29], недостатком влаги [33] и недостатком питательных веществ [7]. Следует отметить, что две последние работы являются лабораторными экспериментами, с фиксированными условиями и контролируемым уровнем действующего фактора. Ключевым в этом вопросе можно назвать результат работы Т.М. Sandner с соавторами [26]. В своем эксперименте они проанализировали влияние 6 факторов окружающей среды и 2 генетических фактора (инбридинг и гибридизация) на ФА листьев и цветков *Silene vulgaris* (Moench) Garcke. В итоге было обнаружено, что асимметрия хотя и изменяется в разных условиях, но амплитуда и направление этих изменений непостоянны, что значительно затрудняет выявление и интерпретацию эффектов при совместном действии нескольких факторов. Учитывая это, возникает вопрос о применимости ФА для индикации качества городской среды, которая является суммой большого количества действующих факторов.

В связи с вышесказанным целью работы стала оценка информативности показателя флуктуирующей асимметрии листовых пластинок березы повислой (*Betula pendula* Roth) при индикации качества городской среды.

Для достижения цели поставлена задача проверить гипотезы о наличии связей между величиной ФА с такими характеристиками городской территории, как плотность и расстояние до автодорог с разной транспортной нагрузкой, плотность застройки и плотность растительных насаждений.

Материал и методы исследования

Для проведения исследования в центральной части г. Донецка были выбраны 25 точек произрастания березы повислой. Территория исследования была представлена прямоугольной областью с площадью 3,371 км², простирающейся от 48°1'11" с.ш. до 47°59'52" с.ш. и от 37°47'45,7" в.д. до 37°48'52,4" в.д. Точки выбирали таким образом, чтобы они покрывали целевую область максимально равномерно, а растения в этих точках были близкими по возрасту и находились в генеративной стадии развития. Схема расположения точек представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема расположения точек сбора материала

В каждой точке собирали не менее 20 листьев с одного или более растений, с веток южной экспозиции на высоте 1,5–2 м. Сбор материала проводили в период с 11.06.2018 по 24.06.2018. Далее листья сканировали при разрешении 300 dpi. Обработку цифровых изображений проводили с помощью программного комплекса FIJI [27]. Асимметрию листовых пластинок устанавливали по разнице длин второй пары жилок от основания листа. Под длиной жилки подразумевали расстояние от места прикрепления жилки к рахису до пересечения воображаемого продолжения жилки и края листовой пластинки. Длины рассчитывали в пикселях на изображении. Коэффициент флуктуирующей асимметрии листа (FA) рассчитывали по формуле [13, 24]:

$$FA = |\ln(L) - \ln(R)| \quad (1)$$

где FA – показатель флуктуирующей асимметрии, L и R – длины левой и правой жилок, соответственно.

Для приведения полученных выборок показателей FA к нормальному распределению использовали трансформацию Бокса-Кокса [12], по формуле:

$$FA' = (FA + 0.00005)^{0.33} \quad (2)$$

Очистку данных проводили путем поиска и удаления выбросов. В данном случае под выбросом подразумевали слишком большое значение FA , которое выбивались из популяционного распределения. Критерием служили расстояния Кука в однофакторном дисперсионном анализе (зависимая величина – FA , предиктор – точка сбора). Наблюдение считали выбросом, если определенное для него расстояние Кука превышало среднее значение расстояний всех наблюдений в 6 раз. Таким образом, изъяли 15 из 641 наблюдения исходной выборки.

Пространственные характеристики дорожной сети, расположение строений и плотность зеленых насаждений подготавливали и анализировали методами географических информационных систем. Исходный граф дорог и полигональные объекты, соответствующие строениям, получали из базы данных проекта OpenStreetMap [23].

В исходных векторных данных все дороги разделены по пропускной способности и типам использования на соответствующие категории. Для дальнейшей работы отобрали только категории Secondary, Tertiary и Residential, которые в дальнейшем будут именоваться, как дороги 1, 2 и 3 класса, в порядке убывания их величины. Далее создали 4 растровые карты с покрытием на всю территорию исследования, отображающие минимальные дистанции до ближайшей дороги каждого из классов по отдельности и всех вместе. Дискретизация карт – 1 м, значение каждого пикселя равно дистанции от его центра до соответствующей дороги. Аналогичным образом подготовили три растровые карты плотности дорог каждого из классов. Для этого применили расчет ядерной оценки плотности с Гауссовым ядром со стандартным отклонением в 100 м (реализация алгоритма плотности линейных объектов из пакета spatstat [4]). Кроме того, создали карту суммарной плотности всех классов дорог.

Плотность застройки в каждой точке карты определяли как сумму площадей строений в радиусе 50 м от этой точки. Такой радиус оценки был выбран, чтобы на карте присутствовали как высокие значения около 300 м² (почти сплошная застройка), так и нулевые значения (в радиусе оценки нет зданий). В результате подготовили растровую карту с дискретизацией 1 м, значение каждого пикселя равно плотности застройки относительно его центра.

Плотность зеленых насаждений оценивали по нормализованному относительному индексу растительности (NDVI) с применением программного комплекса GRASS GIS [22]. Исходными данными служили спутниковые снимки проекта Sentinel 2 Европейского космического агентства. Дата съемки – 29.05.2018 г. Предварительно провели атмосферную коррекцию спутниковых снимков с помощью программы Sen2Cor 02.05.05. Расчет NDVI производили по формуле [25, 28]:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (3)$$

где *NIR* – ближнее инфракрасное излучение, *Red* – красный участок спектра; в наименовании каналов Sentinel 2 – это каналы B08 и B04, соответственно.

Индекс принимает значения от -1 (отсутствие растительности) до 1 (сплошное покрытие хлорофилл-содержащей фитомассой).

Карту индекса передискретизировали до разрешения 1 м на пиксель. Для дальнейшего анализа нас интересовала не собственно плотность растительности в каждой точке, а её среднее значение в окрестностях точки. Для этого применили скользящее усреднение круглым окном с радиусом 100, 150, 200 и 250 м. Таким образом, получили 4 карты плотности зеленых насаждений. Из всех полученных карт установили характеристики городской среды в каждой из 25-ти точек произрастания березы повислой.

Если не указано прочего, обработку данных и статистический анализ проводили в среде языка программирования R 3.4.4. Для проверки гипотез о связи между ФА и параметрами среды использовали классическую регрессию и регрессию с контролем пространственной автокорреляции в варианте модели с пространственным лагом (пакет *spdep* для языка программирования R [5]). Выбранный уровень значимости $\alpha = 0,05$.

Результаты и их обсуждение

На первом этапе протестировали гипотезу о присутствии различий между проявляемыми уровнями асимметрии в разных точках сбора. Согласно выводам А. Р. Palmer с соавторами [24], наилучшей дискриминационной способностью при выявлении различий в уровнях ФА обладает показатель вариации разности логарифмов правой и левой части органа. Основываясь на этом, провели многовыборочный тест на гомогенность дисперсии (критерий Бартлетта) для показателя $\ln(R) - \ln(L)$ (графическое отображение распределения параметра представлено на рис. 2).

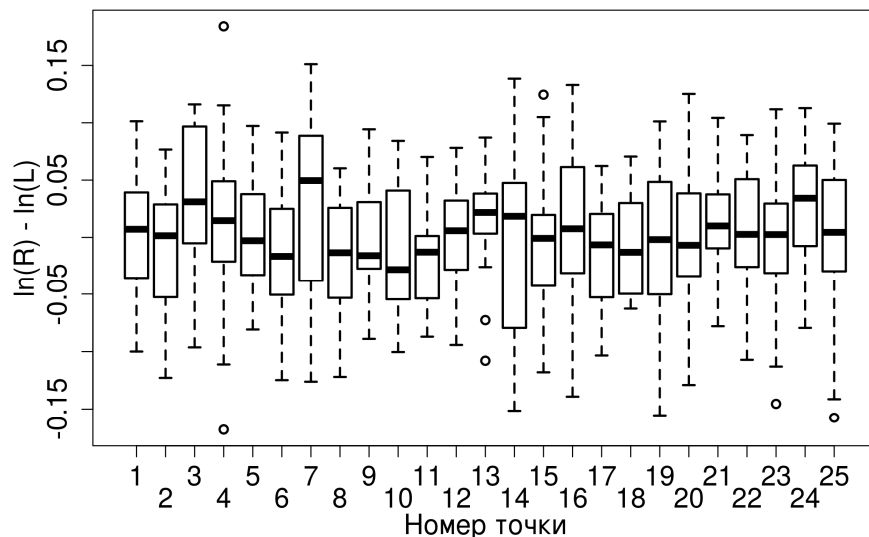


Рис. 2. Распределение разности логарифмов длин правой и левой жилок в зависимости от точки сбора материала

Согласно результатам теста, вариации, а, следовательно, и величины ФА статистически значимо отличаются в разных точках сбора (K -квадрат Бартлетта = 39,324, степени свободы = 24, p -значение = 0,025).

Далее проверили данные на присутствие направленной асимметрии и антисимметрии. Оба эти проявления хотя и являются асимметрией, но в отличие от ФА не могут рассматриваться как проявления нестабильности развития. Направленная асимметрия – генетически закрепленные диспропорции в развитии правой и левой частей организма или

отдельного органа, свойственные виду. При билатеральной симметрии, направленная асимметрия выражается в превалировании размеров одной из сторон у большинства особей вида. Антисимметрия – также генетически закрепленное отклонение от симметрии, не имеющее доминирующего направления. В таком варианте антисимметрия выражается в бимодальном распределении разностей правой и левой (L - R) частей органа со снижением плотности вблизи среднего значения (обычно около 0). В качестве примера можно привести самцов крабов рода *Uca* Leach, у которых одна клешня (равновероятно правая или левая) обычно больше другой. В отличие от указанных проявлений, ФА является продуктом случайных ненаправленных отклонений, поэтому имеет нормальное распределение показателя (L - R) со средним значением равным нулю [24].

На практике прочие формы асимметрии неизбежно вносят ошибки в оценку ФА, поэтому для информативного анализа крайне важно подтвердить их отсутствие. Для этого проанализировали длины правой и левой жилок методами двухфакторного дисперсионного анализа [12, 18]. Использовали следующую комбинацию факторов: сторона + точка сбора + взаимодействие обоих факторов. Результат анализа приведен в табл. 1.

Таблица 1

Результаты дисперсионного анализа показателей длины жилок

	С. С.	Сум. кв.	Ср. кв.	F значение	P-значение
Сторона	1	4,675	4,675	0,002	0,965
Точка	24	9209871,749	383744,656	158,588	$2,2 * 10^{-12}$
Сторона : точка	24	9273,338	386,389	0,16	1
Остатки	1202	2908556,704	2419,764		

Примечание. С. С. – степени свободы, Сум. кв. – сумма квадратов, Ср. кв. – средний квадрат.

В выбранном варианте анализа значение факторных переменных может быть интерпретировано следующим образом: сторона – общая, популяционная разница между длинами правой и левой жилок (отображение видовой направленной асимметрии); точка – различия между длинами жилок в разных точках (разница размеров листьев); взаимодействие сторон: точка – проявления направленной асимметрии на отдельных точках (возможная направленная асимметрия у отдельных генотипов или в конкретных условиях). Как видно из результатов анализа, значимым может быть признано только влияние точки сбора, что говорит о существенных различиях в размерах листовых пластинок у деревьев из разных мест произрастания.

В данном случае, разница размеров листьев может иметь эффект в виде размер-зависимой величины ФА. При активном росте, когда отклонения уже сформировавшихся участков органов оказывают влияние на вновь формирующиеся ткани, «ошибки» развития приобретают мультипликативный характер. В результате у больших по размеру объектов отклонения могут казаться диспропорционально большими по сравнению с малыми объектами. В таком случае может быть сделан ошибочный вывод о более высокой нестабильности развития крупных объектов. Для предотвращения этого была выбрана размер-независимая метрика ФА, основанная на разности логарифмов длин – формула (1). Из результатов дисперсионного анализа также можно заключить, что в популяции и на отдельных точках отсутствуют проявления направленной асимметрии.

Для дополнительной проверки с помощью теста Стьюдента оценили отклонения средних значений разности длин правой и левой жилок (L - R) от нуля в каждой из точек. При обнаружении значимого отклонения можно констатировать присутствие направленной асимметрии. Кроме того, провели проверку на проявления антисимметрии в каждой из точек. Для этого протестировали распределения (L - R) на нормальность с помощью критерия Шапиро-Уилка (антисимметрия характеризуется отклонением от нормальности). Результаты тестов приведены в табл. 2.

Показатели критерия Шапиро-Уилка и теста Стьюдента

Точка	W	p_shap	T	df	p_tt
1	0,985	0,980	0,398	19	0,695
2	0,962	0,595	-0,703	19	0,491
3	0,939	0,228	2,207	19	0,040
4	0,969	0,536	0,984	28	0,334
5	0,937	0,151	0,373	22	0,713
6	0,981	0,690	-1,763	41	0,085
7	0,952	0,463	1,624	17	0,123
8	0,939	0,255	-1,270	18	0,220
9	0,972	0,796	-0,346	19	0,733
10	0,943	0,304	-1,005	18	0,328
11	0,952	0,424	-1,714	18	0,104
12	0,983	0,963	0,230	19	0,820
13	0,921	0,072	1,815	22	0,083
14	0,959	0,404	-0,474	24	0,640
15	0,972	0,741	-0,480	22	0,636
16	0,970	0,665	0,598	23	0,556
17	0,959	0,479	-1,455	21	0,161
18	0,923	0,086	-0,562	21	0,580
19	0,974	0,791	-0,519	22	0,609
20	0,975	0,672	-0,390	29	0,699
21	0,979	0,649	1,613	38	0,115
22	0,973	0,579	0,743	31	0,463
23	0,970	0,510	-0,120	31	0,905
24	0,963	0,419	2,968	27	0,006
25	0,946	0,095	-0,155	33	0,878

Примечание. W и p_shap – значение статистики и p-значение критерия Шапиро-Уилка; T, df и p_tt – значение статистики, количество степеней свободы и p-значение теста Стьюдента.

Из результатов тестов следует, что во всех точках распределение неотлично от нормального, т. е. присутствие антисимметрии маловероятно. Тест Стьюдента обнаружил отклонения средних от нуля в точках 3 и 24. Учитывая, что такой тип исследования подпадает под определение множественного сравнения, p-значения должны быть дополнительно скорректированы. После применения поправки Бонферони, различия ни в одной из точек не могут быть приняты значимыми, что ещё раз отрицает наличие направленной асимметрии.

Далее проверяли гипотезы о наличии связей между ФА и параметрами среды. В большинстве случаев, если не указано иного, использовали средние значения ФА для каждой

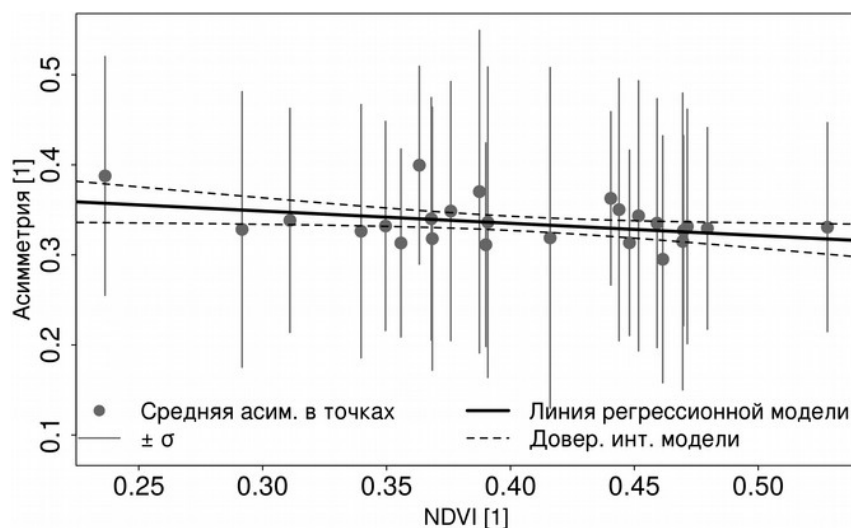
токи сбора. Сначала проверили показатели ФА на присутствие пространственной автокорреляции. Данная гипотеза основана на предположении о том, что факторы окружающей среды являются основной предпосылкой величины асимметрии. При этом уровни действия факторов формируют более или менее плавный градиент. Иными словами в близлежащих точках пространства высока вероятность встретить схожие интенсивности факторов. При увеличении расстояния между замерами, возрастает ожидание обнаружить различающиеся уровни действия [32]. Следовательно, можно ожидать, что и показатели ФА должны быть более похожи, чем ближе расположены точки сбора материала.

Гипотезу проверяли с использованием I статистики Морана на основе Монте-Карло симуляции [8]. Матрицу пространственных весов рассчитывали на основе обратных квадратов евклидовых расстояний. Для каждой точки оценивали дистанцию до 8 ближайших соседей. Число 8 выбрано, как треть от общего количества точек. Согласно результатам теста показатели ФА не проявляют пространственную автокорреляцию ($I = -0,031$, количество рангов = 5643, р-значение = 0,436). Само по себе отсутствие корреляции не может быть достаточным свидетельством для отклонения общей гипотезы о связи между факторами среды и асимметрией. С одной стороны, можно предположить, что в условиях плотной застройки условия среды действительно приобретают признаки дискретности, с другой стороны, гетерогенность и разнонаправленность действия факторов также может снижать пространственную связность отклика. Всё же, тот факт, что в данных отсутствуют признаки автокорреляции, может свидетельствовать против наличия выраженных связей между ФА и условиями среды.

Для дальнейшей детализации этих предположений протестировали зависимости между ФА и факторами городской среды методами регрессии.

Прежде всего, провели отбор оптимального показателя плотности зеленых насаждений (индекса NDVI, усредненного скользящим окном). При этом подразумевали, что присутствие растения в определенной точке пространства позитивно влияет на качество среды в некотором радиусе вокруг этой точки. Указанный радиус изначально неизвестен, поэтому его требовалось определить эмпирически. Для этого, в процессе подготовки данных, было создано 4 варианта усреднения показателя NDVI с радиусами скользящего окна 100, 150, 200 и 250 м. Для каждого из них построили регрессионную модель относительно ФА. Использовали показатели асимметрии отдельных листьев, без усреднения по точкам сбора. В результате установили, что значимые связи обнаруживаются для показателей с усреднением 150 и 200 м ($NDVI_{150}$, $NDVI_{200}$, соответственно). Характеристики моделей: $NDVI_{150}$ (пересечение = 0,389, влияние предиктора = -0,136, р-значение = 0,026, доля объясненной дисперсии = 0,008); $NDVI_{200}$ (пересечение = 0,393, влияние предиктора = -0,143, р-значение = 0,026, доля объясненной дисперсии = 0,008). Графическое отображение модели для $NDVI_{150}$ приведено на рис. 3. Следует отметить очень низкую долю объясненной дисперсии в обеих моделях. Фактически, через показатель плотности зеленых насаждений, возможно объяснить меньше одного процента наблюдаемых различий в значениях флуктуирующей асимметрии отдельных листьев во всех точках сбора. Всё же эта связь является статистически значимой, поэтому оба показателя NDVI были включены в финальную модель.

Помимо плотности зеленых насаждений в финальную оценку включили характеристики отношения транспортной сети (плотность дорог и расстояние до ближайшей дороги) и плотность застройки. Близость точек сбора к дорогам и плотность дорог вокруг точек подразумевались как факторы, косвенно отображающие негативное влияния автотранспорта. При этом ожидали, что с приближением к транспортным путям и при увеличении общей плотности дорожного покрытия негативное влияние на растения возрастает, что, при прочих равных, должно проявляться в увеличении ФА. Принадлежность дороги к одному из трех классов отображает различия в их пропускной способности и напряженности транспортного потока. Следовательно, ожидаемое влияние 1-го класс дорог должно быть самым высоким, а 3-го самым низким.

Рис. 3. Графическое отображение регрессионной модели соотношения ФА и $NDVI_{150}$

Плотность застройки введена в модель, исходя из предположения о том, что строения могут препятствовать свободному перемещению воздуха. В данном случае, предполагали, что с ростом плотности увеличивается вероятность возникновения непроветриваемых участков, следовательно, возрастает вероятность ухудшения качества воздушной среды. Таким образом, предполагали положительную связь между плотностью застройки и ФА.

В результате, исходная регрессионная модель для финальной проверки влияния факторов имела следующий вид: зависимость среднего показателя ФА в точках от дистанции до ближайшей дороги одного из 3-х классов (3 предиктора), от плотности транспортных путей (1 предиктор), от плотности застройки (1 предиктор) и от плотности зеленых насаждений в радиусе 100 и 150 м (2 предиктора). Тип модели: регрессионная модель со смешанными эффектами с учетом пространственного лага и автокорреляционной структуры ошибок. Для обеспечения сравнимости эффектов все независимые переменные предварительно стандартизировали (вычитали среднее значение и делили на стандартное отклонение). Затем исключили из модели малозначимые предикторы. При этом опирались на показатели информационного критерия Акаике (AIC) и критерия хи-квадрат. Таким образом, удаляли из модели независимые переменные, если их удаление не снижало информативность или не приводило к статистически значимому росту среднеквадратичной ошибки. В результате получили модель, которая оптимальным образом отображает связь между ФА и факторами городской среды.

Итоговая модель содержала всего 2 предиктора: плотность дорог и $NDVI_{200}$. Визуальное отображение пространственного распределения этих параметров, а также интерполяция параметра ФА, полученная методами кригинга с обратными взвешенными расстояниями (IDW) представлено на рис. 4. Параметры модели приведены в табл. 3.

Таблица 3

Параметры оптимальной модели, отображающей связь ФА с факторами окружающей среды

Параметр	Значение	Станд. ошибка	z значение	p-значение
Пересечение	0,350	0,01	33,857	$< 2,2 * 10^{-16}$
$NDVI_{200}$	-0,012	0,005	-2,380	0,017
Плотность дорог	-0,011	0,004	-2,692	0,007
Лаг пересечения	1165,140	1070,02	1,089	0,276
Лаг $NDVI_{200}$	6,401	99,65	0,064	0,949
Лаг плотности дорог	141,017	159,075	0,886	0,375

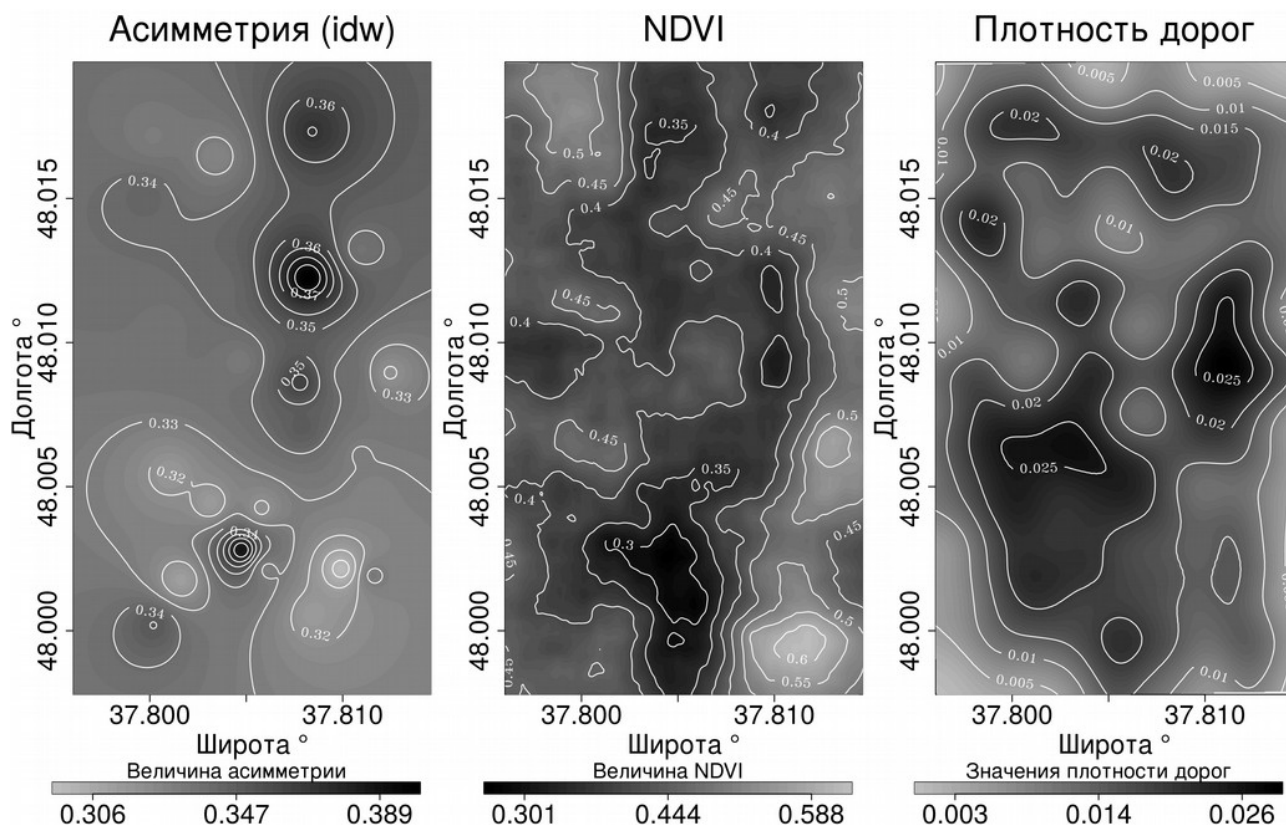


Рис. 4. Пространственное распределение значений ФА, $NDVI_{200}$ и плотности дорожной сети

Выявленные эффекты факторов достаточно слабые, хотя и являются значимыми. Так, изменение показателя $NDVI_{200}$ и плотности дорог в пределах единицы стандартного отклонения, вызывают изменения ФА на 0,012 и 0,011 единиц, что составляет около 11% от её полной амплитуды. Также следует отметить, что пространственные лаги предикторов не являются статистически значимыми, что ещё раз подтверждает отсутствие пространственной корреляции в значениях ФА, даже с учетом внешних факторов.

Важной деталью полученных результатов является направление связей между ФА и факторами среды. В обоих случаях зависимости являются обратно пропорциональными. Для $NDVI_{200}$ такая закономерность является ожидаемой (рост плотности насаждений = улучшение качества среды = уменьшение ФА). Для плотности дорог выявленная обратная связь (снижение ФА с ростом плотности) противоречит теоретическому ожиданию. Исходя из этого, результаты регрессионного анализа можно считать сомнительными, так как в противном случае, нужно признать, что с увеличением плотности дорожной сети качество окружающей среды улучшается, а, следовательно, снижается и величина ФА. При исключении же плотности дорог из состава предикторов информативность модели снижается, кроме того влияние показателя $NDVI_{200}$ теряет статистическую значимость.

Указанные сложности в интерпретации результатов могут быть объяснены низкой связью использованных параметров с актуальным состоянием среды. Так, отсутствие связи между ФА и плотностью застройки может быть следствием того, что рядом стоящие здания не обязательно формируют зоны застоя воздуха, а в некоторых случаях могут создавать эффект аэродинамической трубы, что наоборот улучшает проветривание. Плотность дорожной сети, сама по себе, не является абсолютным показателем неблагоприятного воздействия автотранспорта. Очевидно, что интенсивность движения не обязательно коррелирует с величиной или статусом дороги. Кроме того, большое значение имеет характер движения транспорта на данном участке дороги. Аналогично расстояние до ближайшей дороги не обязательно влияет на действительное качество воздуха или загрязненность почвы. Все же, при прочих равных, плотность транспортных путей обычно

коррелирует с качеством среды [10, 19]. И тот факт, что в проведенном анализе ФА слабо связана с характеристиками дорожной сети, может свидетельствовать о потенциально низкой информативности этого признака в качестве индикатора состояния городской среды.

В итоге, из всех проверенных факторов, только плотность зеленых насаждений демонстрирует некоторую непротиворечивую связь с показателем ФА. Но даже если признать эту зависимость значимой, величина эффекта остается достаточно низкой.

Выводы

Анализ разности длин жилок листовых пластинок *Betula pendula* с 25 точек сбора подтвердил, что наблюдаемые различия действительно являются флуктуирующей асимметрией (ФА) без присутствия направленной асимметрии или антисимметрии.

Проверка гипотезы о детерминации ФА параметрами городской среды дала спорные результаты. Связи асимметрии с расстоянием до ближайшей дороги и плотностью застройки не обнаружены. Максимальную информативность имела модель, связывающая ФА с плотностью дорожной сети и плотностью зеленых насаждений (нормализованный относительный индекс растительности NDVI). Влияние обоих параметров было статистически значимым, но общий вывод противоречил теоретическим ожиданиям, а именно, результаты модели предполагали уменьшение ФА с ростом плотности дорог. Связь с NDVI выглядела теоретически правдоподобной, но влияние этого фактора было крайне низким и лишь маргинально значимым. Связь обнаружена только при учете ФА отдельных листьев, но не средних значений в точках сбора. Кроме того, показатели ФА не проявляли пространственной автокорреляции, что также было признано косвенным свидетельством низкой связи асимметрии с условиями среды.

В результате можно констатировать, что флуктуирующая асимметрия листьев, рассчитанная по разности длин гомологичных жилок, является малоинформативным индикатором состояния городской среды в малых пространственных масштабах (около 3 км²) и/или при невысокой вариации уровня стресса.

Список литературы

1. Глухов А. З. Изменчивость формы листовой пластинки видов рода *Ficus* L. в разных экологических условиях / А. З. Глухов, И. И. Стрельников // Сибирский экологический журнал. – 2014. – Т. 21, № 2. – С. 259-272.
2. Стрельников И. И. Связь потенциала акклиматизации видов рода *Ficus* L. с пластичностью анатомического строения листовых пластинок / И. И. Стрельников // Вісник Донецького національного університету. Сер. А. Природ. науки. – 2014. – № 2. – С. 145-151.
3. Стрельников И. И. Адаптивная функция изменчивости в жилковании листовых пластинок / И. И. Стрельников, А. З. Глухов // Вестник ВГУ. Сер. Хим., биол. Фармація. – 2017. – № 1. – С. 102-110.
4. Baddeley A. Spatstat : an R package for analyzing spatial point patterns / A. Baddeley, R. Turner // Journal of statistical software. – 2005. – Vol. 12, № 6. – P. 1-42.
5. Bivand R. S. Comparing implementations of global and local indicators of spatial association / R. S. Bivand, D. W. S. Wong // TEST. – 2018. – Vol. 27, № 3. – P. 716-748.
6. Bjorksten T. Fluctuating asymmetry of sexual and nonsexual traits in stalk-eyed flies : A poor indicator of developmental stress and genetic quality / T. Bjorksten, P. David, A. Pomiankowski et al. // Journal of Evolutionary Biology. – 2000. – Vol. 13, № 1. – P. 89-97.
7. Black-Samuelsson S. The effect of nutrient stress on developmental instability in leaves of *Acer platanoides* (Aceraceae) and *Betula pendula* (Betulaceae) / S. Black-Samuelsson, S. Andersson // American Journal of Botany. – 2003. – Vol. 90, № 8. – P. 1107-1112.
8. Borcard D. Numerical Ecology with R / D. Borcard, F. Gillet, P. Legendre // Cham : Springer International Publishing. – 2018. – P. 32.

9. Cárcamo H. A. Developmental instability in a stem-mining sawfly : Can fluctuating asymmetry detect plant host stress in a model system? / H. A. Cárcamo, K. D. Floate, B. L. Lee et al. // *Oecologia*. – 2008. – Vol. 156, № 3. – P. 505-513.
10. Forman R. T. T. Roads and their major ecological effects / R. T. T. Forman, L. E. Alexander // *Annual review of ecology and systematics*. – 1998. – Vol. 29, № 1. – P. 207-231.
11. Glukhov A. Z. Lamina shape variability in species of the genus *Ficus* L. in different ecological conditions / A. Z. Glukhov, I. I. Strelnikov // *Contemporary problems of ecology*. – 2014. – Vol. 7, № 2. – P. 210-220.
12. Graham J. H. Fluctuating asymmetry : methods, theory, and applications / J. H. Graham, S. Raz, H. Hel-Or et al. // *Symmetry*. – 2010. – Vol. 2, № 2. – P. 466-540.
13. Hochwender C. G. Fluctuating asymmetry in a salix hybrid system : the importance of genetic versus environmental causes / C. G. Hochwender, R. S. Fritz // *Evolution*. – 1999. – Vol. 53, № 2. – P. 408-416.
14. Ivanov V. P. Application of fluctuating asymmetry indexes of silver birch leaves for diagnostics of plant communities under technogenic pollution / V. P. Ivanov, Y. V. Ivanov, S. I. Marchenko et al. // *Russian journal of plant physiology*. – 2015. – Vol. 62, № 3. – P. 340-348.
15. Klisarić N. B. Fluctuating asymmetry in *Robinia pseudoacacia* leaves – possible in situ biomarker? / N. B. Klisarić, D. Miljković, S. Avramov et al. // *Environmental science and pollution research*. – 2014. – Vol. 21, № 22. – P. 12928-12940.
16. Kozlov M. V. Fluctuating asymmetry of birch leaves increase under pollution impact / M. V. Kozlov, B. J. Wilsey, J. Koricheva et al. // *Journal of Applied Ecology*. – 1996. – Vol. 33, № 6. – P. 1489-1495.
17. Kozlov M. V. Difference in needle length – a new and objective indicator of pollution impact on Scots Pine (*Pinus sylvestris*) / M. V. Kozlov, P. Niemelä // *Water, Air, and Soil Pollution*. – 1999. – Vol. 116, № 1. – P. 365-370.
18. Leamy L. Morphometric studies in inbred and hybrid house mice. V. Directional and fluctuating asymmetry / L. Leamy // *The American Naturalist*. – 1984. – Vol. 123, № 5. – P. 579-593.
19. Lipfert F. W. Traffic density as a surrogate measure of environmental exposures in studies of air pollution health effects : Long-term mortality in a cohort of US veterans / F. W. Lipfert, R. E. Wyzga, J. D. Baty et al. // *Atmospheric Environment*. – 2006. – Vol. 40, № 1. – P. 154-169.
20. Lobregat G. Fluctuating asymmetry, leaf thickness and herbivory in *Tibouchina granulosa* : an altitudinal gradient analysis / G. Lobregat, M. L. L. Perilli, F. de Siqueira Neves et al. // *Arthropod-Plant Interactions*. – 2018. – Vol. 12, № 2. – P. 277-282.
21. Møller A. P. Developmental stability and fitness : a review / A. P. Møller // *The American Naturalist*. – 1997. – Vol. 149, № 5. – P. 916-932.
22. Neteler M. GRASS GIS: A multi-purpose open source GIS / M. Neteler, M. H. Bowman, M. Landa et al. // *Environmental Modelling & Software*. – 2012. – Vol. 31. – P. 124-130.
23. OpenStreetMap contributors. Planet dump retrieved from <https://planet.osm.org>. 2018.
24. Palmer A. R. Fluctuating asymmetry : measurement, analysis, patterns / A. R. Palmer, C. Strobeck // *Annual review of Ecology and Systematics*. – 1986. – Vol. 17, № 1. – P. 391-421.
25. Pettorelli N. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) : unforeseen successes in animal ecology / N. Pettorelli, S. Ryan, T. Mueller et al. // *Climate Research*. – 2011. – Vol. 46, № 1. – P. 15-27.
26. Sandner T. M. Fluctuating asymmetry of leaves is a poor indicator of environmental stress and genetic stress by inbreeding in *Silene vulgaris* / T. M. Sandner, D. Matthies // *Ecological Indicators*. – 2017. – Vol. 79. – P. 247-253.
27. Schindelin J. Fiji : an open-source platform for biological-image analysis / J. Schindelin, I. Arganda-Carreras, E. Frise et al. // *Nature methods*. – 2012. – Vol. 9, № 7. – P. 676-682.
28. Torbick N. Monitoring rice agriculture across myanmar using time series Sentinel-1 assisted by Landsat-8 and Palsar-2 / N. Torbick, D. Chowdhury, W. Salas et al. // *Remote Sensing*. – 2017. – Vol. 9, № 2. – P. 119.

29. *Wadhwa S.* Exposure to heavy metal stress does not increase fluctuating asymmetry in populations of isopod and hardwood trees / S. Wadhwa, F. J. Gallagher, C. Rodriguez-Saona et al. // *Ecological indicators*. – 2017. – Vol. 76. – P. 42-51.

30. *Wilsey B. J.* Leaf fluctuating asymmetry increases with hybridization and elevation in tree-line birches / B. J. Wilsey, E. Haukioja, J. Koricheva et al. // *Ecology*. – 1998. – Vol. 79, № 6. – P. 2092-2099.

31. *Zhang H.* Leaf developmental stability of *Platanus acerifolia* under urban environmental stress and its implication as an environmental indicator / H. Zhang, X. Wang // *Frontiers of Biology in China*. – 2006. – Vol. 1, № 4. – P. 411-417.

32. *Zuur A. F.* GLM and GAM for count data. Mixed effects models and extensions in ecology with R / A. F. Zuur, E. N. Ieno, N. J. Walker et al. // Springer. – 2009. – P. 672.

33. *Zverev V.* Fluctuating asymmetry of birch leaves did not increase with pollution and drought stress in a controlled experiment / V. Zverev, A. D. Lama, M. V. Kozlov // *Ecological indicators*. – 2018. – Vol. 84. – P. 283-289.

***Mudretsova K. V., Tarabarova A. G., Gurina A. V., Safronov A. I.* The applicability of the fluctuating asymmetry of *Betula pendula* Roth leaves to indicate the quality of the urban environment (by the example of the Donetsk city).** – Fluctuating asymmetry (FA) is a popular indicator of the environmental conditions, but many experiments show the controversy of its usage. Especially in of the FA application for assessment of small urban areas. In this work, the FA, calculated on the difference in the lengths of homologous veins of birch leaves collected from 25 points in the central region of Donetsk city (spatial extent 3.4 km²) was evaluated. Also, the relationships of FA with the density of the buildings, the parameters of the road network, and the density of street vegetation were analyzed. Only the last factor showed some influence on FA, but the effect was extremely low with marginal statistical significance. Based on the analysis, it can be concluded that the FA index has a low informativeness for assessing city environment conditions in a small area or with low variability of stressful factors.

Key words: bioindication, fluctuating asymmetry, *Betula pendula*, roads network density, buildings density, NDVI.

© М. А. Павлова, Н. В. Усманова

**РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕРВИЧНОЙ ИНТРОДУКЦИИ *CAREX BOHEMICA* SCHREB.
В ДОНЕЦКОМ БОТАНИЧЕСКОМ САДУ**

ГУ «Донецкий ботанический сад»

283059, г. Донецк, пр. Ильича, 110; e-mail: usmanova_n@mail.ru

Павлова М. А., Усманова Н. В. Результаты первичной интродукции *Carex bohemica* Schreb. в Донецком ботаническом саду. – Изложены результаты интродукционного эксперимента относительно *Carex bohemica* Schreb. в Донецком ботаническом саду. Установлено, что в засушливых условиях Донбасса вид, являющийся гигромезофитом, характеризуется достаточно высоким уровнем адаптации, что проявляется в завершении малого жизненного цикла, прохождении всех фаз сезонного ритма развития и образовании полноценных семян в условиях интродукционного пункта. Выявлены такие особенности роста и развития вида в новых условиях, как ускоренное прохождение прегенеративного периода онтогенеза и формирование двух генераций цветоносов в течение одного вегетационного периода.

Ключевые слова: интродукция, *Carex bohemica* Schreb., онтогенез, сезонный ритм развития, адаптация.

Введение

Интродукция растений мировой и отечественной флоры – один из эффективных путей расширения ассортимента декоративных видов, используемых в озеленении населенных пунктов региона. Одновременно введение в культуру малораспространенных многолетников позволяет решить задачу сохранения биоразнообразия в природе [1-4]. Таким своеобразным и декоративным растением природной флоры, заслуживающим внимания в качестве компонента экспозиций ландшафтного типа и требующим охраны в природных местообитаниях, является *Carex bohemica* Schreb. (*C. cyperoides* Murr.) – осока богемская, или сытевидная, занесенная в Красную книгу Украины [5].

Целью наших исследований была оценка адаптационных возможностей *C. bohemica* в условиях культуры в Донбассе и определение перспективности использования вида в озеленении.

Материал и методы исследования

C. bohemica растет в таежной и теплоумеренной зонах Средней Европы, европейской части России, Армении, Казахстана, Сибири, юга Дальнего Востока по песчаным и иловатым берегам озер и рек, болотистым и сыроватым лугам [6]. Это многолетний летнезелёный травянистый короткочерешно-кистекопной дерновинный симподиально нарастающий поликарпик с розеточным приподнимающимся или с полурозеточным прямостоячим побегом [7]. Аридные условия степной зоны Донбасса предъявляют определенные требования к интродуцентам, среди которых на первом месте стоит их засухоустойчивость, а потому наиболее успешно в Донецком ботаническом саду (ДБС), расположенном в этой зоне, осуществляется интродукция ксерофитов и ксеромезофитов. Тем не менее, наш многолетний опыт свидетельствует о возможности успешного введения в культуру региона наряду с растениями этих гидротипов также мезофитов и даже гигрофитов, и результаты первичных интродукционных испытаний *C. bohemica* также подтверждают эту возможность.

Изучение морфологических особенностей и сезонного ритма развития проводили по общепринятой методике с учетом основных этапов вегетации [8], онтогенетическое развитие – в соответствии с классификацией Т. А. Работнова [9], дополненной А. А. Урановым [10], с использованием методики И. И. Игнатьевой [11]. Для изучения формирования морфологических структур в онтогенезе растения выращивали из семян, высеянных в отапливаемой теплице в первой половине марта. Время выкапывания сеянцев было приурочено к каждому возрастному состоянию. В конце мая растения высажены в открытый грунт на постоянное место. Семенную продуктивность генеративных особей определяли по И. В. Вайнагию [12].

Результаты и обсуждение

В ДБС *C. bohemica* интродуцирована семенами, полученными в 2011 г. из Германии. В начале марта семена были высеяны в теплице, всходы появились через 38 дней, и в течение лета растения прошли все стадии прегенеративного периода онтогенеза, достигнув молодого генеративного возрастного состояния (рис. 1).

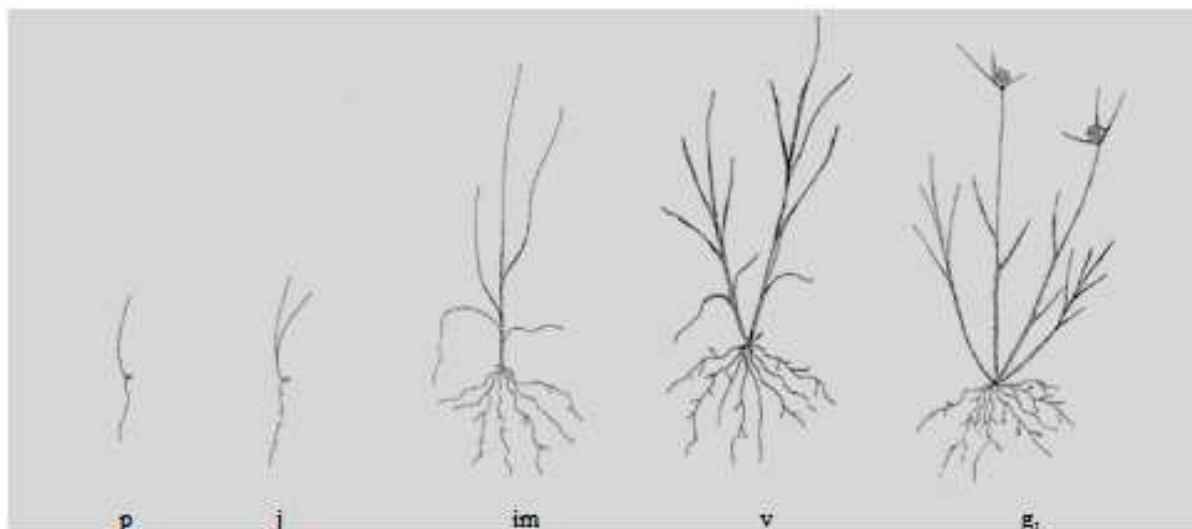


Рис. 1. Возрастные состояния *Carex bohemica* Schreb. в первый год развития:
 p – проросток, j – ювенильное, im – имматурное, v – виргинильное, g₁ – молодое генеративное

Прорастание гипогеальное. Сначала появляется главный корень, достигая 1,5-2,0 см длины, затем начинает расти почка зародыша, прикрытая пленчатым колеоптилем (влагалищным листом), его разрывает первый ассимилирующий лист нитевидной формы. Проросток в возрасте 7 дней состоит из главного корня длиной 1,5-2,0 см, мешочка с плодом, колеоптиля и ассимилирующего листа длиной 2,0-2,5 см. Затем развивается второй и третий листья, формируются 2-4 боковых корешка около 1 мм длиной – растение переходит в ювенильное возрастное состояние. В дальнейшем из зародышевой почки развивается побег с 4-5 ассимилирующими листьями, но нижние 2 вскоре засыхают. Главный корень замедляет рост, образуются 5-7 придаточных корней длиной от 2,0 до 3,3 см, по мере роста они начинают ветвиться до второго порядка – и в начале июня растения переходят в имматурное возрастное состояние. Через 1-2 недели начинается переход от моноподиального к симподиальному нарастанию (виргинильное возрастное состояние), в результате чего происходит кущение. В базальной части стебля закладываются 1-2 почки возобновления, из которых развиваются вегетативные побеги. Они начинают рост плагиотропно, но вскоре точка роста становится ортотропной, вследствие чего побеги приобретают вертикальное положение, и формирующаяся виргинильная особь становится плотнодерновинной. К началу августа более 50% растений формируют генеративные побеги высотой 15-20 см и зацветают. Высота молодых генеративных особей достигает 30 см, длина листьев 17-23 см, ширина 0,25-0,30 см. Высота головчатого соцветия 1,5 см, диаметр 1,9 см. К концу сентября соцветия из светло-зеленых становятся коричневатыми, но полноценные семена очень немногочисленны. Вегетация прекращается с наступлением устойчивых отрицательных температур. Главный корень сохраняется до конца вегетации растений, а мешочек – только у проростков и ювенильных особей.

В следующем году молодые генеративные особи переходят в средневозрастное генеративное состояние. Они представляют собой компактные кусты диаметром 7-10 см, высотой 35-38 см, состоящие из вегетативных и генеративных побегов. Листья узколинейные, длиной 10-23 см, шириной 0,15-0,30 см. В середине мая растения зацветают: высота цветоносов от 15 до 36 см, головчатые соцветия 1,5 см высотой, 2,1 см диаметром; прицветные листья от 3 до 21 см длиной, 0,1-0,3 см шириной (рис. 2, А). Цветение

продолжается в течение 3-х недель, после чего генеративные побеги по мере созревания семян полегают, образуя круг. Таким образом, очевидно, осуществляется распространение семян осоки богемской за пределы материнского растения, а разная высота генеративных побегов обеспечивает большую площадь их распространения. Кроме того, полегание побегов в период засухи и экстремальных температур воздуха, характерных для июня – июля, способствуют смягчению термического режима: при дневной температуре верхнего слоя почвы 32,9°C температура почвы под лежащими побегами меньше на 5,8°C.

В начале августа вегетация возобновляется: происходит отрастание новых побегов, как вегетативных, так и генеративных (рис. 2, Б), отмечено повторное цветение. При этом цветоносы второй генерации ниже (19-24 см), а их листья крупнее (40-46 см длиной и 0,3 см шириной).

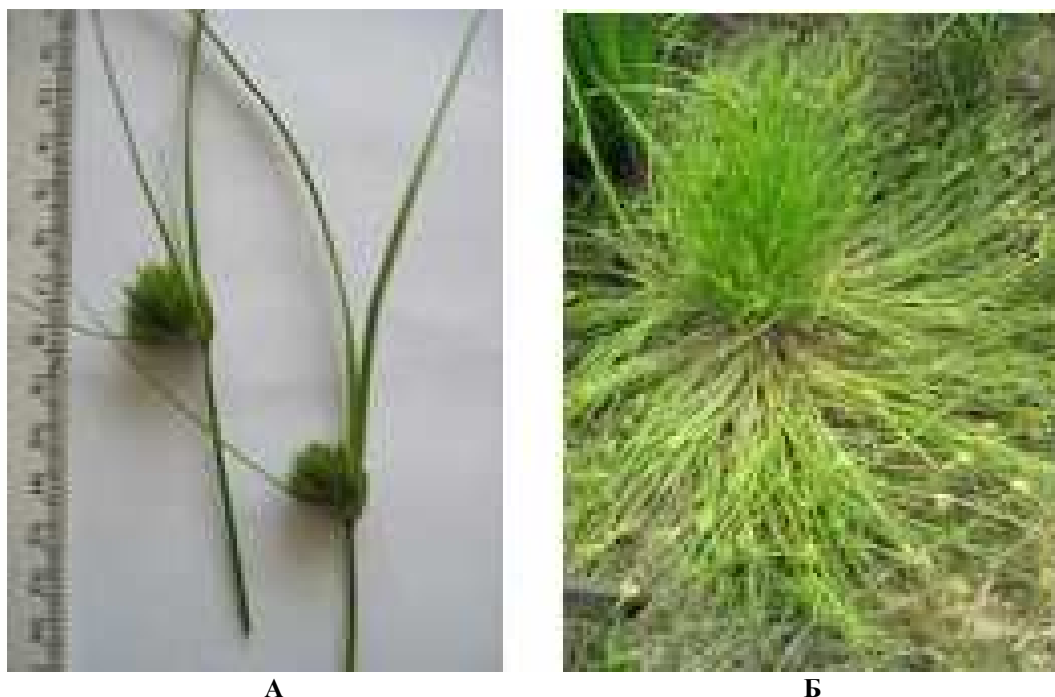


Рис. 2. Генеративные особи *Carex bohemica* Schreb.:

А – соцветия, Б – две генерации побегов

На третий год развития все растения находятся в средневозрастном генеративном состоянии. От молодых генеративных особей прошлого года они отличаются несколько большими размерами вегетативных и генеративных побегов и большим их количеством. Длина листьев 40-46 см, ширина – 0,3 см, высота цветоносов до 45 см, головчатые соцветия 1,5 см высотой, 2,1 см диаметром; прицветные листья от 4 до 23 см длиной, 0,1-0,3 см шириной. Цветение продолжается в течение 3-х недель, а в начале августа снова следует повторное цветение растений. Причиной такого явления, возможно, является ежегодное возобновление благоприятных для вегетации условий после вынужденного периода покоя за время летней засухи [13].

Зрелые генеративные особи образуют полноценные семена, семенная продуктивность соцветия составляет $391,22 \pm 9,91$, коэффициент вариации очень низкий – 7,60, что свидетельствует о стабильности генеративной сферы особей, подтверждая их принадлежность к зрелому генеративному возрастному состоянию. Плод – орешек, размещается в оболочке, называемой мешочком (*ultriculus*) и представляющей собой видоизмененный лист. Мешочек тонкокожистый, гладкий, серо-коричневый, с длинным носиком, удлинено-ланцетный, 0,85-1,0 см длиной, до 1 мм толщиной (рис. 3). Орешек светло-коричневый, 1,6-1,9 мм длиной, 0,6 мм толщиной.



Рис. 3. Мешочки с плодами *Carex bohemica* Schreb.

Во многих литературных источниках утверждается, что переход в генеративное состояние у осок наступает не раньше 3-4-го года жизни, даже в условиях культуры [14-16]. *C. bohemica* при интродукции семенами в условия ДБС проходит прегенеративный период уже в первый год развития. Предположительно, в данном случае сокращению прегенеративного периода онтогенеза вида способствуют более благоприятные условия культуры по сравнению с условиями его природных местообитаний, а именно:

- более высокие температуры воздуха в весенне-летне-осенний период при наличии регулярного полива;
- продолжительный вегетационный период, искусственно увеличенный в первый год развития посевом семян в теплице;
- благоприятные эдафические условия (по сравнению с бедными почвами естественных местообитаний) – черноземы, обеспечивающие полноценное питание;
- агротехнические мероприятия, устраняющие внутривидовую и межвидовую конкуренцию.

Исходя из полученных данных, для использования *C. bohemica* в озеленении можно рекомендовать семенной способ размножения, позволяющий получить большое количество однородного полноценного посадочного материала уже в первый год после посева. В условиях Донбасса этот вид желательно использовать как однолетник, т. к. ведет себя он как малолетник, периодически выпадая. Растения рекомендуется использовать в экспозициях ландшафтного типа: возле водоемов, в гравийных садах, рокариях.

Выводы

В засушливых условиях Донбасса *C. bohemica* характеризуется достаточно высоким уровнем адаптации, что проявляется в завершении малого жизненного цикла, прохождении всех фаз сезонного ритма, в частности, цветении и плодоношении, образовании полноценных семян.

По итогам проведенных первичных интродукционных исследований можно выделить следующие адаптационные стратегии вида, способствующие его выживанию в новых условиях:

- длительный период прорастания семян (не менее месяца), препятствующий появлению всходов в случае несвоевременного краткосрочного повышения температуры и влажности;
- ускоренное прохождение прегенеративного периода, позволяющее максимально быстро миновать наиболее уязвимые ювенильное и имматурное возрастные состояния;

- две генерации цветоносов, обеспечивающие увеличение реальной семенной продуктивности;
- полегание генеративных побегов по мере созревания семян, способствующее равномерному их распространению, а также сохранению влаги и смягчению действия термических факторов в период засухи.

Список литературы

1. Павлова М. А. *Carex grayi* J. Carey в Донецком ботаническом саду / М.А. Павлова // Пром. ботаника. – 2016. – Вып. 15–16. – С. 139-146.
2. Павлова М. А. *Carex muskingumensis* Schwein. в культуре открытого грунта на юго-востоке Украины / М. А. Павлова // Hortus botanicus. – 2014. – N 9. doi: 10.15393/j4.journal.
3. Волкова В. В. Интродукция видов рода *Carex* L. (Cyperaceae Juss.) из природной флоры в Ставропольском ботаническом саду / В. В. Волкова // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2014. – № 50. – С. 50-53.
4. Волкова В. В. Фенологические наблюдения за коллекцией видов рода *Carex* L. в Ставропольском ботаническом саду / В. В. Волкова, Н. Г. Лиховид, В. И. Кожевников // Плодоводство и ягодоводство России. – 2016. – Т. 46. – С. 59-62.
5. Червона книга України : Рослинний світ. [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://www.plantarium.ru/page/redbook/id/18.html>
6. Егорова Т. В. Осоки (*Carex* L.) России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР) / Т. В. Егорова. – СПб., Сент-Луис : Санкт-Петербургская ГХФА и Миссурийский ботанический сад, 1999. – 772 с.
7. Безделев А. Б. Жизненные формы семенных растений российского Дальнего Востока / А. Б. Безделев, Т. А. Безделева. – Владивосток : Дальнаука, 2006. – 296 с.
8. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР. – М., 1975. – 136 с.
9. Работнов Т. А. Жизненный цикл многолетних травянистых растений в луговых ценозах // Тр. БИН АН СССР. Сер. 3. – М., Л. : АН СССР, 1950. – Вып. 6. – С. 7-204.
10. Уранов А. А. Жизненные состояния вида в растительном сообществе / А. А. Уранов // Бюл. МОИП. Сер. биол. – 1960. – 67, вып. 3. – С. 77-92.
11. Игнатъева И. П. Методика изучения морфогенеза вегетативных органов травянистых поликарпиков / И. П. Игнатъева // Докл. ТСХА. – 1964. – № 98. – С. 47-57.
12. Вайнагий И. В. О методике изучения семенной продуктивности растений / И. В. Вайнагий // Ботан. журн. – 1974. – С. 826-831.
13. Нечаева Н. Т. Пастбища Кара-Кумов и их использование / Н. Т. Нечаева, Н. А. Мордвинов, И. А. Мосолов. – Ашхабад : ТуркменФАН, 1943. – 163 с.
14. Алексеев Ю. Е. Осоки (морфология, биология, онтогенез, эволюция) / Ю. Е. Алексеев. – М : Аргус, 1996. – 252 с.
15. Смирнова О. В. Осока лесная / О. В. Смирнова // Биологическая флора Московской области. – М., 1980. – Вып. 6. – С. 58-62.
16. Филатова И. О. Биоморфология и онтогенез дерновинных видов рода *Carex* L. : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.05 «Ботаника» / И. О. Филатова. – М., 2004. – 20 с.

Pavlova M. A., Usmanova N. V. The results of primary introduction of *Carex bohemica* Schreb. in the Donetsk Botanical Garden. – The results of introduction trial concerning *Carex bohemica* Schreb. in the Donetsk Botanical Garden are given in this work. The study has shown that high adaptation level is characteristic of the named hygromesophitic species in the arid conditions of Donbass. The manifestations of successful adaptation are plant completing small life cycle, passing through all seasonal development phenologic phases and full seeding in the introduction site. The following specific growth and development features are revealed for the species in new conditions: accelerated flow of pregenerative period of onthogeny and formation of two flower stalk generations during one growing season.

Key words: introduction, *Carex bohemica* Schreb., onthogeny, seasonal rhythm of development, adaptation.

© А. И. Сафонов

ЧЕК-ЛИСТ ИНДИКАТОРНЫХ ПРИЗНАКОВ СОРНО-РУДЕРАЛЬНОЙ ФРАКЦИИ УРБАНОФЛОРЫ Г. ДОНЕЦКА (1998-2018 ГГ.)

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

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

Сафонов А. И. Чек-лист индикаторных признаков сорно-рудеральной фракции урбанофлоры г. Донецка (1998-2018 гг.). – Представлены результаты экологического фитомониторинга в г. Донецке в период с 1998 по 2018 гг. Выделены группы перспективных и достоверных индикаторных признаков видов растений для проведения диагностических мероприятий состояния урбанизированных экотопов. Полученные списки признаков сорно-рудеральных видов рассматриваются как результат инвентаризационных работ в центральных районах г. Донецка.

Ключевые слова: фитоиндикация, экологический мониторинг, г. Донецк, ботаническая экспертиза.

Введение

Накопление информации об индикаторной значимости растений в промышленном регионе и городской среде формирует условие и необходимость проведения классификационных и инвентаризационных мероприятий, что позволяет определенным образом: 1) унифицировать терминологию; 2) обозначить региональную специфику варьирования признаков; 3) выделить диагностическую важность этих индикаторов для внедрения в программы экологического мониторинга и частных случаев экспертиз состояния экотопов. Индикационная ботаника (прикладное её направление – фитоиндикация) является приоритетным направлением экологических исследований в Донбассе [1, 4, 5, 9, 19, 20]. Обзорные публикации [10, 12, 14, 15, 17, 18] и эксперименты локального характера [2, 11, 13, 16] подтверждают необходимость развития фитомониторинговых исследований как фундаментального содержания [12, 18], так и практического назначения [10, 11, 13, 14, 17].

Тематика фитоиндикационных работ, проводимых на кафедре ботаники и экологии Донецкого национального университета, была различной в зависимости от материала анализа: 1) пыльцевые зерна [3]; 2) элементы диссеминации [5]; 3) эмбриональные структуры индикаторных видов [6, 7]; 4) показатели разнокачественности строения вегетативных органов растений [1, 4, 8, 9, 19, 20], а также в соответствии с функциональными целевыми программами: 1) состояние атмосферного воздуха [3, 8]; 2) загрязнение корнеобитаемых горизонтов почвогрунтов [1, 9]; комплексная диагностика экотопов в целом [5, 7, 8, 19, 20], информационно-ресурсное обеспечение в системе принятия решений эколого-управленческого характера [4, 9].

Имеющийся спектр образцов диагностических признаков состояния растений и методические навыки информативного индикационного шкалообразования являются обоснованием для формулирования цели работы – составить чек-лист индикаторных признаков сорно-рудеральной фракции урбанофлоры г. Донецка (1998-2018 гг.).

Материал и методы исследования

В основу формирования чек-листа индикаторных признаков состояния растений положен принцип составления ранжированного инвентаризационного перечня с учетом достоверности по тесноте связи в системе «индикатор – индикат» каждого отдельного раздела структурно-функциональных трансформаций растений в условиях всех экотопов г. Донецка по данным за последний 21 вегетационный сезон. Методологическая основа работы с материалом индикационного использования представлена в соответствующих публикациях [1, 4, 7, 19, 20]. Чек-лист содержит название группы, конформационный перечень признаков внутри группы, обозначение каждого признака, индивидуальный принцип индикации и наиболее информативные виды-индикаторы за 1998-2018 гг.

Результаты

Указаны признаки и их диапазоны значений в индикаторных шкалах, эмпирически установленных в центральных районах г. Донецка за указанный период времени.

1 Габитуальная разнокачественность (дифференциация побегообразования по общим архитектурным моделям (наглядные образцы), морфологическое тератообразование.

1.1 Морфотипическая разнокачественность общего габитуса *Cichorium intybus* L. – *MDG_{Gi}* – (2) [2-3] [3-5] [5-6] [6-7] [7-8] [8-9] [9-10] [10-11] [11].

1.2 Морфотипическая разнокачественность общего габитуса *Tragopogon major* Jacq. – *MDG_{Tm}* – (1) [1-2] [2-3] [3-4] [4].

1.3 Морфотипическая разнокачественность общего габитуса *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip. – *MDG_{Ti}* – (2) [2-4] [4-6] [6-8] [8-9] [9-10] [10-11] [11-12] [12-13] [13].

1.4 Морфотипическая разнокачественность общего габитуса *Tanacetum vulgare* L. – *MDG_{Tv}* – (1) [1-2] [2-3] [3-4] [4-5] [5].

1.5 Морфотипическая разнокачественность общего габитуса *Reseda lutea* L. – *MDG_{Rl}* – (1) [1-2] [2-3] [3-4] [4-5] [5-6] [6-7] [7-8] [8-9] [9].

1.6 Морфотипическая разнокачественность общего габитуса *Plantago major* L. – *MDG_{Pm}* – (3) [3-4] [4-5] [5-6] [6].

1.7 Морфотипическая разнокачественность общего габитуса *Berteroa incana* (L.) DC. – *MDG_{Bi}* – (1) [1-3] [3-4] [4-5] [5-6] [6-7] [7].

1.8 Морфотипическая разнокачественность общего габитуса *Echium vulgare* L. – *MDG_{Ev}* – (2) [2-3] [3-4] [4-5] [5].

1.9 Морфотипическая разнокачественность общего габитуса *Daucus carota* L. – *MDG_{Dc}* – (1) [1-2] [2-3] [3].

2 Проявление онтогенетических жизненных стратегий в аутофитоиндикационном аспекте (произведение показателей семяобразования, созревания и жизнеспособности, периодов плодоношения и генеративного побегообразования).

2.1 Коэффициент генеративной активности *Berteroa incana* (L.) DC. – *GAB_i* – (3,00) [3,00-4,99] [5,00-6,99] [7,00-8,99] [9,00-10,99] [11,00-12,99] [13,00-14,99] [15,00-16,99] [17,00-18,99] [19,00].

2.2 Коэффициент генеративной активности *Cichorium intybus* L. – *GAC_i* – (1,00) [1,00-1,49] [1,50-1,99] [2,00-2,49] [2,50].

2.3 Коэффициент генеративной активности *Echium vulgare* L. – *GAE_v* – (1,75) [1,75-1,50] [1,50-1,25] [1,25-1,00] [1,00-0,75] [0,75].

2.4 Коэффициент генеративной активности *Tanacetum vulgare* L. – *GAT_v* – (1,50) [1,50-1,25] [1,25-1,00] [1,00].

2.5 Коэффициент генеративной активности *Plantago major* L. – *GAP_m* – (2,00) [2,00-2,49] [2,50-2,99] [3,00-3,49] [3,50-3,99] [4,00-4,49] [4,50-4,99] [5,00-5,49] [5,50-5,99] [6,00].

2.6 Коэффициент генеративной активности *Reseda lutea* L. – *GAR_l* – (2,00) [2,00-2,24] [2,25-2,49] [2,50-2,74] [2,75-2,99] [3,00-3,24] [3,25-2,49] [3,50-3,74] [3,75-3,99] [4,00].

2.7 Коэффициент генеративной активности *Tragopogon major* Jacq. – *GAT_m* – (0,25) [0,25-0,49] [0,50-0,74] [0,75-0,99] [1,00-1,24] [1,25-1,49] [1,50].

2.8 Коэффициент генеративной активности *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip. – *GAT_i* – (1,00) [1,00-1,49] [1,50-1,99] [2,00-2,49] [2,50-2,99] [3,00-3,49] [3,50-3,99] [4,00-4,49] [4,50-4,99] [5,00].

3 Признаки структурной организации вегетативной сферы растений.

3.1 Индекс трихоморазнообразия (типификация трихом) *Cichorium intybus* L. – *ITRC_i* – (2) [2-4] [4-6] [6-8] [8-9] [9-10] [10-11] [11-12] [12-13] [13].

3.2 Индекс трихоморазнообразия *Echium vulgare* L. – *ITRE_v* – (2) [2-3] [3-5] [5-6] [6-7] [7-8] [8-9] [9-10] [10-11] [11].

3.3 Индекс трихоморазнообразия *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip. – *ITRTi* – (1) [1-2] [2-3] [3-4] [4-5] [5].

3.4 Индекс аномальности анастомозной сетки *Cichorium intybus* L. – *AANCi* – (2,00) [2,00-2,49) [2,50-2,99) [3,00-3,49) [3,50-3,99) [4,00-4,49) [4,50-4,99) [5,00-5,49) [5,50-5,99) [6,00).

3.5 Индекс аномальности анастомозной сетки *Plantago major* L. – *AANPm* – (2,00) [2,00-2,24) [2,25-2,49) [2,50-2,74) [2,75-2,99) [3,00-3,24) [3,25-2,49) [3,50-3,74) [3,75-3,99) [4,00).

3.6 Индекс общей специализации трихом (нитчатого, ретортообразного типа и сферической формы) *Cichorium intybus* L. – *ITSCi* – (1) [1-2] [2-3] [3-4] [4-5] [5-6] [6-7] [7-8] [8-9] [9].

3.7 Индекс общей специализации трихом (нитчатого, ретортообразного типа и сферической формы) *Echium vulgare* L. – *ITSEv* – (2) [2-4] [4-6] [6-8] [8-9] [9-10] [10-11] [11-12] [12-13] [13].

3.8 Индекс общей специализации трихом (нитчатого, ретортообразного типа и сферической формы) *Tragopogon major* Jacq. – *ITSPm* – (1) [1-2] [2-3] [3-4] [4-5] [5].

3.9 Индекс атипичного строения устьичного аппарата *Cichorium intybus* L. – *IAStaci* – (1) [1-3] [3-4] [4-5] [5-6] [6-7] [7].

3.10 Индекс атипичного строения устьичного аппарата *Plantago major* L. – *IAStPm* – (1) [1-3] [3-4] [4-5] [5].

4. Признаки структурной организации генеративной сферы растений.

4.1 – частота встречаемости (ч. в.) пыльцевых зерен *Cichorium intybus* L. с атипичным строением лакун – *KPCi* – (1,00) [1,00-2,49) [2,50-4,99) [5,00-7,49) [7,50-9,99) [10,00-12,49) [12,50-14,99) [15,00-17,49) [17,50-19,99) [20,00).

4.2 – ч. в. четырехгранных пыльцевых зерен *Reseda lutea* L. – *KKPRI* – (1,0) [1,0-2,9) [3,0-4,9) [5,0-6,9) [7,0-8,9) [9,0-10,9) [11,0-12,9) [13,0-14,9) [15,0-16,9) [17,0).

4.3 – вариабельность скульптуры пыльцевых зерен *Plantago major* L. – *VsPPm* – (1) [1-2] [2-3] [3-4] [4-5] [5-6] [6-7] [7-8] [8-9] [9].

4.4 – вариабельность скульптуры пыльцевых зерен *Reseda lutea* L. – *VsPRI* – (1) [1-2] [2-3] [3-4] [4-5] [5-6] [6-8] [8-10] [10-12] [12].

4.5 – степень дефектности пыльцевых зерен *Cichorium intybus* L. при окрашивании метиленовым синим – *SDPmsCi* – (2,50) [2,50-4,99) [5,00-7,49) [7,50-9,99) [10,00-12,49) [12,50-14,99) [15,00-17,49) [17,50-19,99) [20,00-29,99) [30,00).

4.6 – степень дефектности пыльцевых зерен *Cichorium intybus* L. при окрашивании ацетокармином – *SDPacCi* – (2,50) [2,50-4,99) [5,00-7,49) [7,50-9,99) [10,00-12,49) [12,50-14,99) [15,00-16,99) [17,00-18,99) [19,00-20,99) [21,00).

4.7 – степень дефектности пыльцевых зерен *Cichorium intybus* L. при окрашивании орсеином – *SDPosCi* – (2,50) [2,50-4,99) [5,00-6,99) [7,00-8,99) [9,00-10,99) [11,00-12,99) [13,00-14,99) [15,00-16,99) [17,00-18,99) [19,00).

4.8 – степень дефектности пыльцевых зерен *Cichorium intybus* L. при окрашивании гематоксилином – *SDPgtCi* – (2,50) [2,50-4,99) [5,00-7,49) [7,50-9,99) [10,00-12,49) [12,50-14,99) [15,00-17,49) [17,50-19,99) [20,00-24,99) [25,00).

4.9 – степень дефектности пыльцевых зерен *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip. при окрашивании метиленовым синим – *SDPmsTi* – (2,00) [2,00-3,99) [4,00-5,99) [6,00-7,99) [8,00-9,99) [10,00-12,99) [13,00-14,99) [15,00-16,99) [17,00-18,99) [19,00).

4.10 – степень дефектности пыльцевых зерен *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip. при окрашивании ацетокармином – *SDPacTi* – (2,50) [2,50-4,99) [5,00-7,49) [7,50-9,99) [10,00-12,49) [12,50-14,99) [15,00-16,99) [17,00-18,99) [19,00-21,99) [22,00).

4.11 – степень дефектности пыльцевых зерен *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip. при окрашивании орсеином – *SDPosTi* – (2,50) [2,50-4,99) [5,00-6,99) [7,00-8,99) [9,00-10,99) [11,00-12,99) [13,00-14,99) [15,00-16,99) [17,00-18,99) [19,00).

4.12 – степень дефектности пыльцевых зерен *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip. при окрашивании гематоксилином – *SDPgtTi* – (2,50) [2,50-4,99] [5,00-7,49] [7,50-9,99] [10,00-12,49] [12,50-14,99] [15,00-17,49] [17,50-19,99] [20,00-24,99] [25,00).

4.13 – вариабельность пыльцевых зерен *Cichorium intybus* L. по форме (наглядно-сравнительные характеристики) – *VPFCi* – (1) [1-2] [2-3] [3-4] [4-5] [5-6] [6-7] [7-8] [8-9] [9].

4.14 – вариабельность пыльцевых зерен *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip. по форме (наглядно-сравнительные характеристики) – *VPFTi* – (1) [1-2] [2-3] [3-4] [4-6] [6-8] [8-10] [10-11] [11-12] [12].

4.15 – вариабельность пыльцевых зерен *Reseda lutea* L. по форме (наглядно-сравнительные характеристики) – *VPFRL* – (1) [1-2] [2-3] [3-4] [4].

4.16 – вариабельность пыльцевых зерен *Plantago major* L. по форме (наглядно-сравнительные характеристики) – *VPFPm* – (1) [1-2] [2-3] [3-4] [4-5] [5].

4.17 – ч. в. деформированного или несформированного зародыша *Cichorium intybus* L. – *KDNECi* – (1,0) [1,0-1,9] [2,0-2,9] [3,0-3,9] [4,0-4,9] [5,0-5,9] [6,0-6,9] [7,0-7,9] [8,0-8,9] [9,0].

4.18 – ч. в. деформированного или несформированного зародыша *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip. – *KDNETi* – (1,0) [1,0-2,9] [3,0-4,9] [5,0-6,9] [7,0-8,9] [9,0-9,9] [10,0-10,9] [11,0-11,9] [12,0-12,9] [13,0].

4.19 – ч. в. деформированного или несформированного зародыша *Tanacetum vulgare* L. – *KDNETv* – (1,0) [1,0-1,9] [2,0-2,9] [3,0-3,9] [4,0-4,9] [5,0-5,9] [6,0-7,9] [8,0-9,9] [10,0-11,9] [12,0].

4.20 – ч. в. деформированного или несформированного зародыша *Reseda lutea* L. – *KDNERL* – (1,0) [1,0-1,9] [2,0-2,9] [3,0-3,9] [4,0-4,9] [5,0-5,9] [6,0-6,9] [7,0-7,9] [8,0-8,9] [9,0].

4.21 – ч. в. деформированного или несформированного зародыша *Plantago major* L. – *KDNEPm* – (2,0) [2,0-2,9] [3,0-3,9] [4,0-4,9] [5,0-5,9] [6,0-6,9] [7,0-7,9] [8,0-8,9] [9,0-9,9] [10,0].

4.22 – проявление тератологической синкотилии *Cichorium intybus* L. – *TrSCi* – (1,00) [1,00-2,49] [2,50-3,99] [4,00-5,49] [5,50-6,99] [7,00-8,49] [8,50-9,99] [10,00-11,49] [11,50-12,99] [13,00).

4.23 – проявление тератологической синкотилии *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip. – *TrSTi* – (1,0) [1,0-1,9] [2,0-2,9] [3,0-3,9] [4,0-4,9] [5,0-5,9] [6,0-6,9] [7,0-7,9] [8,0-8,9] [9,0].

4.24 – проявление тератологической синкотилии *Tanacetum vulgare* L. – *TrSTv* – (1,0) [1,0-1,9] [2,0-2,9] [3,0-3,9] [4,0-4,9] [5,0-5,9] [6,0-7,9] [8,0-9,9] [10,0-11,9] [12,0].

4.25 – проявление тератологической схизокотилии *Cichorium intybus* L. – *TrShCi* – (2,0) [2,0-3,9] [4,0-5,9] [6,0-7,9] [8,0-9,9] [10,0-14,9] [15,0-19,9] [20,0-24,9] [25,0-29,9] [30,0].

4.26 – проявление тератологической схизокотилии *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip. – *TrShTi* – (2,0) [2,0-3,9] [4,0-5,9] [6,0-7,9] [8,0-9,9] [10,0-12,9] [13,0-15,9] [16,0-18,9] [19,0-21,9] [22,0].

4.27 – проявление тератологической схизокотилии *Tanacetum vulgare* L. – *TrShTv* – (1,00) [1,00-2,49] [2,50-4,99] [5,00-7,49] [7,50-9,99] [10,00-12,49] [12,50-14,99] [15,00-17,49] [17,50-19,99] [20,00].

4.28 – индекс матрикальной гетерокарпии в широком понимании *Cichorium intybus* L. и *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip. – *MGCCi* и *MGCTi* – (5,00) [5,00-7,49] [7,50-9,99] [10,00-12,49] [12,50-14,99] [15,00-19,99] [20,00-24,99] [25,00-29,99] [30,00-34,99] [35,00].

4.29 – индекс матрикальной гетерокарпии в узком понимании *Cichorium intybus* L. и *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip. – *GCCi* и *GCTi* – (2,00) [2,00-2,99] [3,00-3,99] [4,00-4,99] [5,00-5,99] [6,00-6,99] [7,00-7,99] [8,00-8,99] [9,00-9,99] [10,00].

4.30 – индекс матрикальной гетероспермии в широком понимании *Cichorium intybus* L. и *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip. – *MGSCi* и *MGSTi* – (5,00) [5,00-7,49] [7,50-9,99] [10,00-12,49] [12,50-14,99] [15,00-19,99] [20,00-29,99] [30,00-39,99] [40,00-49,99] [50,00].

4.31 – индекс матрикальной гетероспермии в узком понимании *Cichorium intybus* L. и *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip. – *GSCi* и *GSTi* – (2,50) [2,50-4,99] [5,00-7,49] [7,50-9,99] [10,00-12,49] [12,50-14,99] [15,00-17,49] [17,50-19,99] [20,00-22,49] [22,50].

4.32 – индекс матрикальной гетерокарпии в широком понимании *Tanacetum vulgare* L. – *MGCTv* – (5,00) [5,00-7,49) [7,50-9,99) [10,00-12,49) [12,50-14,99) [15,00-17,49) [17,50-19,99) [20,00-22,49) [22,50-24,99) [25,00).

4.33 – индекс матрикальной гетерокарпии в узком понимании *Tanacetum vulgare* L. – *GCTv* – (2,00) [2,00-2,49) [2,50-2,99) [3,00-3,49) [3,50-3,99) [4,00-4,49) [4,50-4,99) [5,00-5,49) [5,50-5,99) [6,00).

4.34 – индекс матрикальной гетероспермии в широком понимании *Tanacetum vulgare* L. – *MGSTv* – (5,00) [5,00-7,49) [7,50-9,99) [10,00-12,49) [12,50-14,99) [15,00-17,49) [17,50-19,99) [20,00-29,99) [30,00-39,99) [40,00).

4.35 – индекс матрикальной гетероспермии в узком понимании *Tanacetum vulgare* L. – *GSTv* – (1,50) [1,50-2,49) [2,50-3,49) [3,50-4,49) [4,50-5,49) [5,50-6,49) [6,50-7,49) [7,50-8,49) [8,50-9,49) [9,50).

Выводы

1. Всего чек-лист состоит из 62 показателей; большинство признаков и индексов, имеющих индикаторное значение, дискретно аддитивны под 10-балльную шкалу, в которой показатели выше 8-го интервала значений указывают на критическое состояние растительного организма, следовательно, неблагоприятную экотопическую трансформацию.

2. Наиболее информативно для индикации состояния экотопов в г. Донецке изучены показатели строения *Cichorium intybus* L., *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip., *Reseda lutea* L., *Tanacetum vulgare* L. и *Plantago major* L.

3. Составленный чек-лист рассматривается как результат инвентаризационной работы при формировании общей базы данных индикаторно-мониторингового назначения в промышленном городе – предусмотрен для возможной экстраполяции.

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы: «Функциональная ботаника: экологический мониторинг, ресурсные технологии, фитодизайн» № 0117D000192 и инициативной темы «Диагностика природных и трансформированных экотопов по состоянию фитокомпонентов» с государственной регистрацией № 0118D000017.

Список литературы

1. Глухов О. З. Фітоіндикація металопресингу в антропогенно трансформованому середовищі / О. З. Глухов, А. І. Сафонов, Н. А. Хижняк. – Донецьк : Норд-Прес, 2006. – 360 с.

2. Поспелова А. О. Оценка экологического состояния окружающей среды городских территорий методами биоиндикации и биотестирования / О. А. Поспелова, Ю. А. Мардра, Т. Г. Зеленская, О. Ю. Гудиев. – Ставрополь : Ставропольский гос. агр. ун-т, 2017. – 161 с.

3. Сафонов А. И. Диагностика воздуха в г. Донецке по спектру скульптур поверхности пыльцы сорно-рудеральных видов растений / А. И. Сафонов, Н. С. Захаренкова // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2016. – № 1–2. – С. 18-24.

4. Сафонов А. И. Индикаторная роль растений в системе управления городом в промышленном регионе / А. И. Сафонов // Экологическая ситуация в Донбассе : проблемы безопасности и рекультивации повреждённых территорий для их экономического возрождения. – М. : Изд-во МНЭПУ, 2016. – С. 288-294.

5. Сафонов А. И. Скрининг элементов диссеминации фитоиндикаторов техногенных нагрузок на эдафотопы Донбасса / А. И. Сафонов, А. З. Глухов // Материалы Междунар. конф., посвященной 90-летию со дня основания заповедника «Хомутовская степь». – Донецк : «Ноулидж» (Донецкое отделение), 2016. – С. 55-57.

6. Сафонов А. И. Структурная разнокачественность эмбриональных структур фитоиндикаторов в Донбассе / А. И. Сафонов // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2016. – № 3–4. – С. 23-29.

7. Сафонов А. И. Фитоэмбриональный скрининг в экологическом мониторинге Донбасса / А. И. Сафонов // Зеленый журнал – бюллетень ботанического сада Тверского государственного университета. – 2017. – Вып. 3. – С. 6-14.

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

9. Сафонов А. И. Экологический фитомониторинг в Донбассе / А. И. Сафонов // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов : сб. докл. XI Междунар. науч. конф. (Донецк, 11–13 апреля 2017 г.). – Донецк : ГОУ ВПО «ДОННТУ»; Ростов-на-Дону : Изд-во ЮФУ, 2017. – С. 4-7.

10. Фардеева М. Б. Экология растений и методы фитоиндикации / М. Б. Фардеева, Н. Р. Шафигуллина. – Казань : Казанский фед. ун-т, 2018. – 150 с.

11. Cruz J. M. Phytotoxicity of soil contaminated with petroleum derivatives and biodiesel / J. M. Cruz, P. R. M. Lopes, R. N. Montagnoli, I. S. Tamada // Ecotoxicology. Environmental. Contamination. – 2013. – Vol. 8, N 1. – P. 49-54.

12. Gibson D. J. Grasses and grassland ecology / D. J. Gibson. – Oxford, New York : Oxford University Press, 2009. – 306 p.

13. Greguskova E. Phytoindication of the ecogenotoxic effects of the vehicle emissions using pollen abortion test with native flora / E. Greguskova, K. Micieta // Polish Journal of Environmental Studies. – 2013. – Vol. 22, N 4. – P. 1069-1076. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.09.048>

14. Iqbal M. *Vicia faba* bioassay for environmental toxicity monitoring : a review / M. Iqbal // Chemosphere. – 2016. – Vol. 144. – P. 785-802. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.09.048>

15. Kumar R. A review of phylogeography : biotic and abiotic factors / R. Kumar, V. Kumar // Geology, Ecology, Landscapes. – 2018. – Vol. 2, N 4. – P. 268-274. <https://doi.org/10.1080/24749508.2018.1452486>

16. Maslikova P. E. Phytoindication spatio-temporal structures tehnozemoв and endogenous mechanisms of sustainable functioning of anthropogenic soil-like bodies / P. E. Maslikova // Agrology. – 2018. – N 1. – P. 273-280. <http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2018.04.005>

17. Panidi E. Application of phyto-indication and radiocesium indicative methods for microrelief mapping / E. Panidi, L. Trofimetz, J. Sokolova // IOP Conf. Series : Earth and Environmental Science. – 2016. – N 34. – P. 12-29. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/34/1/012024/meta>

18. Parmar T. K. Bioindicators : the natural indicator of environmental pollution / T. K. Parmar, D. Rawtani, Y. K. Agrawal // Frontiers in Life Science. – 2016. – Vol. 9, N 2. – P. 110-118. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/21553769.2016.1162753>

19. Safonov A. I. Phytoindicational monitoring in Donetsk / A. I. Safonov // A science. Thought : Scientific journal. – 2016. – N 4. – P. 59-71.

20. Safonov A. I. Phyto-qualimetry of toxic pressure and the degree of ecotopes transformation in Donetsk region / A. I. Safonov // Problems of ecology and nature protection of technogenic region. – 2013. – N 1 (13). – P. 52-59.

Safonov A. I. Check list of indicative indices of weedy and ruderal fraction of urban flora of Donetsk (1998-2018). – The results of ecological phytomonitoring in Donetsk in the period between 1998 and 2018 have been presented. Groups of promising and reliable indices of plant species for diagnostic measures of the state of urbanized ecotopes have been worked out. The obtained lists of indices of weedy and ruderal species are considered as the result of inventory work in the central districts of the city of Donetsk.

Key words: phytoindication, environmental monitoring, Donetsk, botanical expertise.

© Ю. А. Штирц

**РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ОБЪЁМЫ ВЫБОРОК ДЛЯ ИНФОРМАТИВНОГО
СРАВНЕНИЯ РАЗМЕРНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛИСТОВОЙ ПЛАСТИНКИ
POPULUS NIGRA L. S.L. В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКИХ ЭКОСИСТЕМ**

ГУ «Донецкий ботанический сад»

283059, г. Донецк, пр. Ильича, 110; e-mail:strelkova@i.ua

Штирц Ю. А. Рекомендуемые объёмы выборок для информативного сравнения размерных показателей листовой пластинки *Populus nigra* L. s.l. в условиях городских экосистем. – Проведено определение минимальных объёмов выборок, необходимых для информативного сравнения размерных показателей листовой пластинки *P. nigra* в условиях городских экосистем. Минимальные рекомендуемые объёмы выборок, необходимые как для определения средних, так и для сравнения размерных показателей листовой пластинки *P. nigra* в условиях городских экосистем, возрастают в ряду: длина – периметр – максимальная ширина – ширина в середине длины листовой пластинки – площадь. Значения коэффициентов вариации анализируемых размерных показателей листовой пластинки *P. nigra* находятся в пределах от 16,04% (длина) до 30,38% (площадь).

Ключевые слова: *Populus nigra*, листовая пластинка, городские экосистемы, длина, ширина, периметр, площадь, объём выборки, статистическая мощность, коэффициент вариации, биоиндикация.

Введение

Древесные растения выполняют важнейшие средообразующие и средозащитные функции, связанные с выделением кислорода и фитонцидов, ионизацией воздуха, формированием своеобразного микроклимата, а также играют санитарно-гигиеническую роль, поглощая токсичные газы и накапливая вредные вещества. Зеленые насаждения, произрастающие в условиях техногенных территорий, испытывают на себе постоянное влияние неблагоприятных факторов среды. В этих условиях важным свойством растений становится их способность сохранять устойчивость и адаптироваться через изменение строения и функций к изменяющимся условиям среды, что даёт им возможность выживать при нарастающем антропогенном экологическом стрессе. Листья растений являются наиболее чувствительными к условиям окружающей среды органами растений, под влиянием различных факторов в них происходят морфологические изменения [16]. По мнению многих авторов, изменение морфологии листьев одного и того же вида связано со сменой условий его произрастания [1, 3-7, 11, 12, 17, 19, 22, 23]. Факторы внешней среды, воздействуя на развивающиеся листья, оказывают существенное влияние на становление особенностей их окончательной структуры и формы [11, 20, 21]. Определение влияния условий произрастания растений на форму их листьев крайне трудно поддаётся непосредственному экспериментальному исследованию, но может быть учтено косвенным путём, посредством сбора материала в местах с различными условиями [7].

Для характеристики достаточно больших территорий в качестве биоиндикаторов состояния окружающей среды информативнее использовать древесные растения: травянистые растения в большей степени по сравнению с древесными могут отражать микробиотопические условия [6]. Также древесные биоиндикаторные виды представляют особый интерес для исследователей ввиду способности к многолетней реакции на стресс, например, вызванной биоаккумуляцией токсинов [2]. К настоящему времени накопилось довольно много информации об индикаторной роли древесных растений [1, 6, 11, 12, 15, 17], однако, эта информация является далеко не полной.

К числу наиболее распространенных статистических морфометрических параметров, которые позволяют оценивать состояние фитопопуляций (и косвенно – их биотопов), традиционно относят размеры листьев растений [14]. Редукция размеров листа в неблагоприятных условиях обусловлена короткой стадией деления клеток и быстрой дифференциацией тканей в процессе онтогенеза [13].

Для достоверной оценки изменчивости листовой пластинки следует учитывать минимальные объёмы выборок, необходимые для информативного сравнения показателей.

Целью исследований являлось определение минимальных объёмов выборок, необходимых для информативного сравнения размерных показателей листовой пластинки *Populus nigra* L. s.l. с учётом статистической мощности в условиях городских экосистем.

Материал и методы исследования

P. nigra встречается в биотопах различных типов, что, с одной стороны, даёт возможность исследовать морфологическую изменчивость листовой пластинки в условиях различных экологических факторов, с другой стороны, предоставляет возможность широкого применения в последующем полученных результатов исследований в целях биоиндикации и биомониторинга окружающей среды, что послужило основанием для выбора данного вида в качестве объекта исследования.

Анализировались следующие размерные показатели листовой пластинки *P. nigra*: длина, ширина в середине длины листовой пластинки, максимальная ширина, периметр, площадь.

Материал собран в периоды листопада в 2012-2018 гг. на территории г. Донецка с древесных растений зрелой стадии генеративного периода, произрастающих на территории городских парков, в условиях придорожных насаждений города с различной интенсивностью движения автотранспорта, на придомовых территориях многоэтажных домов. Периоды листопада выбраны с целью рандомизации выборки. Определение возрастного состояния деревьев проводилось по системе О. В. Смирновой и др. [9]. Листья были отсканированы с разрешением 300 пикселей на дюйм.

Длину листовой пластинки определяли как расстояние между верхушкой листа и местом прикрепления черешка. Под показателями ширины понимали длины отрезков, проведенных перпендикулярно средней жилке листа. Длину и оба показателя ширины измеряли с использованием программы TPSDig Version 2.10. Для измерения периметра и площади листовой пластинки использовалась программа Biological Pseudosymmetry (BioPS).

Расчёт значений коэффициента вариации проводили по формуле, приведенной в работе Г. Ф. Лакина [10]. Минимальные объёмы выборок для определения информативных средних показателей рассчитывали согласно рекомендациям, приведенным в работе М. В. Козлова [8], в частности, с использованием формулы вычисления объёма выборки из бесконечной генеральной совокупности. Минимальные объёмы выборок для проведения информативного сравнения с учётом статистической мощности осуществлены по формулам, приведенным в работе М. Bland [18].

Результаты и обсуждение

Средние значения анализируемых размерных показателей листовой пластинки *P. nigra* и коэффициенты их вариации в условиях городских экосистем отражены в табл. 1.

Таблица 1

Средние значения анализируемых размерных показателей листовой пластинки *Populus nigra* L. s.l. и коэффициенты их вариации в условиях городских экосистем

Размерные показатели листовой пластинки	Среднее значение (указан доверительный интервал для $P = 0,05$)	Коэффициент вариации, %
Длина, мм	84,23 ± 2,584	16,04
Ширина в середине длины листовой пластинки, мм	52,23 ± 2,065	20,67
Максимальная ширина, мм	68,75 ± 2,489	18,93
Периметр, мм	303,95 ± 8,937	17,43
Площадь, мм ²	3183,11 ± 163,160	30,38

Согласно расчётам, проведенным в соответствии с рекомендациями М. В. Козлова [8], минимальный объём выборки для определения информативных средних показателей длины составляет 50 листьев, ширины в середине длины – 111, максимальной ширины – 92, периметра – 85, площади листовой пластинки – 234 листа.

Минимальные рекомендуемые объёмы выборок, необходимые для информативного сравнения размерных показателей листовой пластинки с использованием t-критерия Стьюдента с учётом статистической мощности, отражены в табл. 2.

Таблица 2

Минимальные рекомендуемые объёмы выборок, необходимые для информативного сравнения размерных показателей листовой пластинки *Populus nigra* L. s.l. с учётом статистической мощности

Размерные показатели листовой пластинки	Статистическая мощность, %					
	80%		90%		95%	
	P = 0,05	P = 0,01	P = 0,05	P = 0,01	P = 0,05	P = 0,01
Длина, мм	161,31	240,66	215,99	306,56	266,65	366,41
Ширина в середине длины листовой пластинки, мм	267,86	399,62	358,67	509,07	442,79	608,45
Максимальная ширина, мм	224,68	335,19	300,84	426,99	371,41	510,36
Периметр, мм	190,56	284,30	255,16	362,16	315,01	432,86
Площадь, мм ²	579,10	863,95	775,40	1100,56	957,29	1315,42

Исходя из данных табл. 2, для информативного сравнения различных размерных показателей листовой пластинки *P. nigra* требуются различные объёмы выборок.

Наименьшие значения минимальных объёмов выборок для пяти анализируемых размерных показателей требуются при сравнении длины, наибольшие – при сравнении площади листовой пластинки. Так, с целью сравнения значений длины с использованием t-критерия Стьюдента с 95% мощностью на 5% уровне значимости рекомендуемый минимальный объём выборки составляет 267 листовых пластинок, на 1% уровне значимости – 367 листовых пластинок, для сравнения значений площади с 95% мощностью на 5% уровне значимости рекомендуемый минимальный объём выборки составляет 958 листовых пластинок, на 1% уровне значимости – 1316 листовых пластинок.

Минимальные рекомендуемые объёмы выборок, необходимые как для определения средних, так и для сравнения размерных показателей листовой пластинки *P. nigra* с учётом статистической мощности, возрастают в ряду: длина – периметр – максимальная ширина – ширина в середине длины листовой пластинки – площадь.

Выводы

Значения коэффициентов вариации анализируемых размерных показателей листовой пластинки *P. nigra* в условиях городских экосистем находятся в пределах от 16,04% (длина) до 30,38% (площадь).

С целью сравнения значений размерных показателей листовой пластинки *P. nigra* с использованием t-критерия Стьюдента с 95% мощностью на 5% уровне значимости рекомендуемые минимальные объёмы выборок составляют: для показателей длины – 267 листьев, ширины в середине длины – 443, максимальной ширины – 371, периметра – 315, площади листовой пластинки – 957 листьев.

Минимальные рекомендуемые объёмы выборок, необходимые как для определения средних, так и для сравнения размерных показателей листовой пластинки *P. nigra*, возрастают в ряду: длина – периметр – максимальная ширина – ширина в середине длины листовой пластинки – площадь.

Список литературы

1. *Андреева М. В.* Оценка состояния окружающей среды в насаждениях в зонах промышленных выбросов с помощью растений-индикаторов : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : спец. 06.03.03 «Лесоведение и лесоводство, лесные пожары и борьба с ними» / М. В. Андреева. – СПб., 2007. – 20 с.
2. *Баранов С. Г.* Опыт использования программы MorfoJ для тестирования фенотипической и генотипической изменчивости (на примере популяций дуба черешчатого) / С. Г. Баранов // Экологическая генетика. – 2016. – Т. XIV, № 4. – С. 3-13. <http://dx.doi.org/10.17816/ecogen 1443-13>
3. *Бессонова Н. В.* Использование метода биоиндикации для оценки экологического состояния различных районов в г. Хабаровске / Н. В. Бессонова // Леса России в XXI веке : матер. I Междунар. науч.-практ. конф. (июль 2009 г.). – СПб. : ЛТА, 2009. – С. 11-13.
4. *Бухарина И. Л.* Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде / И. Л. Бухарина, Т. М. Поварничина, К. Е. Ведерников. – Ижевск : ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2007. – 216 с.
5. *Зайцева И. О.* Біоекологічні механізми адаптації деревних інтродуцентів у степовій зоні України : автореф. дис. ... д-ра біол. наук : спец. 03.00.16 «Екологія» / И. О. Зайцева. – Дніпропетровськ, 2012. – 40 с.
6. *Здоровье среды : методика оценки. Оценка состояния природных популяций по стабильности развития : методологическое руководство для заповедников* / В. М. Захаров, А. С. Баранов, В. И. Борисов и др. – М. : Центр экол. политики России, 2000. – 66 с.
7. *Исаков В. Н.* Исследование морфологии листа древесных средствами автоматизации / В. Н. Исаков, Л. И. Висковатова, Я. Я. Лейшовник. – Рига : Зинатне, 1984. – 196 с.
8. *Козлов М. В.* Планирование экологических исследований: теория и практические рекомендации / М. В. Козлов. – М. : Товарищество научных изданий КМК, 2014. – 171 с.
9. *Критерии выделения возрастных состояний и особенности хода онтогенеза у растений различных биоморф* / О. В. Смирнова, Л. Б. Заугольнова, Н. А. Таронова, Л. Д. Фаликов // Ценопопуляции растений (основные понятия и структура). – М. : Наука, 1976. – Ч. I. – С. 14-43.
10. *Лакин Г. Ф.* Биометрия : уч. пос. / Г. Ф. Лакин. – М. : Высш. шк., 1990. – 352 с.
11. *Мигалина С. В.* Размеры листа берёзы как индикатор её продуктивности вдали от климатического оптимума / С. В. Мигалина, Л. А. Иванова, А. К. Махнев // Физиология растений. – 2009. – Т. 56, № 6. – С. 948-953.
12. *Нижегородцев А. А.* Псевдосимметрия растительных объектов как биоиндикационный показатель: теоретическое обоснование, автоматизация оценок, апробация : автореф. дис. ... канд. биол. наук : спец. 03.02.08 «Экология» / А. А. Нижегородцев. – Нижний Новгород, 2010. – 24 с.
13. *Половникова М. Г.* Экофизиология стресса : учеб. пособ. / М. Г. Половникова. – [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа : <http://new.marsu.ru/GeneralInfonnation/structur/HelpUnits/libr/resours/ecofisiologia%20stressa/index.htm>
14. *Савинов А. Б.* Фенотипическая индикация ценопопуляций растений в условиях техногенеза / А. Б. Савинов // Экологический мониторинг. – Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2003. – Ч. 5. – С. 300-323.
15. *Спосіб фітотестування техногенних екотопів* / Глухов О. З., Жуков С. П., Агурова І. В., Прохорова С. І., Штірц Ю. О. Патент 70512 UA. МПК А01G7/00. – Патент на корисну модель № и 201115376; Заявл. 26.12.11. Опубл. 11.06.12. – Бюл. № 11.
16. *Стаковецкая О. К.* Оценка экологического состояния воздушной среды методами биоиндикации / О. К. Стаковецкая, Н. А. Куликова, Е. С. Советова. – [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа : http://www.rusnauka.com/10_DN_2012/Ecologia/6_106476.doc.htm
17. *Хузина Г. Р.* Влияние урбаноcреды на морфометрические показатели листа березы повислой (*Betula pendula* Roth) / Г. Р. Хузина // Вестник Удмурдского университета. Сер. Биол. – 2010. – Вып. 3. – С. 53-57.

18. *Bland M.* An introduction to medical statistics / M. Bland. – Oxford : Oxford University Press, 2000. – 405 p.
19. *Givnish T. J.* Ecological aspects of plant morphology : leaf form in relation to environment / T. J. Givnish // *Acta Biotheoretica (Suppl. : Folia Biotheoretica N 7)*. – 1978. – Vol. 27. – P. 83-142.
20. *Givnish T. J.* Leaf and canopy adaptations in tropical forests / T. J. Givnish // *Physiological ecology of plants of the wet tropics. Tasks for vegetation Science 12*. – 1984. – P. 51-84. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-009-7299-5_6.
21. *Niinemets Ü.* Variability in leaf morphology and chemical composition as a function of canopy light environment in coexisting deciduous trees / Ü. Niinemets, O. Kull, J. D. Tenhunen // *International Journal of Plant Sciences*. – 1999. – Vol. 160. – P. 837-848.
22. *Niinemets Ü.* Leaf shape and venation pattern alter the support investments within leaf lamina in temperate species: a neglected source of leaf physiological differentiation / Ü. Niinemets, A. Portsmouth, M. Tobias // *Funct. Ecol.* – 2007. – Vol. 21. – P. 28-40. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2435.2006.01221.x>
23. *Vogel S.* Leaves in the lowest and highest winds : temperature, force and shape / S. Vogel // *New Phytologist*. – 2009. – Vol. 183. – P. 13-26. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.02854.x>

Shtirts Yu. A. Recommended sample sizes for informative comparison of dimensional indicators of the *Populus nigra* L. s.l. leaf blade in urban ecosystems. – The minimum sample sizes necessary for informative comparison of the size parameters of *P. nigra* leaf blade in urban ecosystems were carried out. The minimum recommended sample sizes, necessary both for determining averages and for comparing dimensional parameters of *P. nigra* leaf blade in urban ecosystems, increase in the series: length – perimeter – maximum width – width in the middle of leaf blade length – area. The values of the coefficients of variation of the analyzed dimensional parameters of the *P. nigra* leaf blade are in the range from 16,04% (length) to 30,38% (area).

Key words: *Populus nigra*, leaf blade, urban ecosystems, length, width, perimeter, area, sample size, statistical power, coefficient of variation, bioindication.

УДК 595.799 (477.6) : 638.19

© А. В. Амолин

**ПЧЕЛЫ-ОПЫЛИТЕЛИ (Hymenoptera: Apoidea) ЭНТОМОФИЛЬНЫХ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ДОНБАССА***ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
283050, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: a.amolin@mail.ru*

Амолин А. В. Пчелы-опылители (Hymenoptera: Apoidea) энтомофильных сельскохозяйственных культур Донбасса. – На территории Донбасса в качестве опылителей энтомофильных сельскохозяйственных культур могут выступать не менее 79 видов пчел из 21 рода и 6 семейств. Лидером среди всех пчел-опылителей Донбасса является пчела медоносная специально разводимая на пасеках для получения мёда и других продуктов пчеловодства. Для создания и поддержания в агроландшафтах необходимого количества пчел-опылителей необходимо проводить специальные агротехнические мероприятия, направленные на сохранение диких пчел в условиях агроландшафтов. Например, подсев вдоль лесополос и на залежных участках последовательно цветущих в течение вегетационного сезона энтомофильных культур (приманочные посева), установка искусственных гнездовых конструкций, строжайшая охрана естественных колоний диких пчел. Развитие пчеловодства в Донбассе перспективно в двух взаимосвязанных направлениях: получение основных продуктов пчеловодства (мёд, воск, прополис, перга, маточное молочко, пчелиный яд) и пчелоопыление энтомофильных сельскохозяйственных культур. При этом для нужд пчелоопыления необходимо привлекать имеющийся потенциал одиночных пчел, что позволит существенно увеличить урожайность возделываемых в Донбассе энтомофильных сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: пчелы-опылители, Донбасс, энтомофильные сельскохозяйственные культуры.

Введение

Около 95% специально возделываемых человеком цветковых растений являются энтомофильными, урожай которых полностью зависит от опылительной деятельности насекомых, прежде всего пчел [40]. На территории Донбасса возделывается целый ряд энтомофильных сельскохозяйственных культур, из которых наибольшую площадь занимает подсолнечник, в меньшей степени возделываются кормовые бобовые травы (эспарцет, люцерна), овощные (кабачки, огурцы, капуста, свекла, лук), пряновкусовые (горчица) и плодово-ягодные культуры. На юге традиционно выращивают бахчевые (арбузы, дыни). Следует отметить, что Донбасс имеет большой потенциал для развития овощеводства, плодоводства, виноградарства, весьма перспективным направлением является выращивание целого ряда пряновкусовых, эфирномасличных и кормовых культур.

Большинство энтомофильных сельскохозяйственных растений эффективно опыляются медоносной пчелой и, в этой связи, развитие пчеловодства является необходимой и важной задачей сельскохозяйственного производства. Наряду с традиционным пчеловодством, главным объектом которого является медоносная пчела, немаловажное, а порой основное значение для опыления имеют «дикие» пчелы, насчитывающие в Донбассе 434 вида, 55 родов и 7 семейств [39]. Потенциал такого мощного фактора как «дикие» пчелы в опылении энтомофильных сельскохозяйственных культур огромен, но пока недостаточно учитывается. Кроме того, совместная работа «диких» пчел и медоносной пчелы позволяет значительно улучшить опыление многих сельскохозяйственных культур (за счет увеличения кратности посещения цветков) и, соответственно, повысить их урожайность.

Основная цель данной работы – представить на основе анализа литературы и многолетних собственных исследований аннотированный список наиболее перспективных видов пчел, имеющих практическое значение в сельскохозяйственном производстве Донбасса. Частично результаты исследований были опубликованы нами ранее [2]. Результаты данной работы могут быть использованы при планировании мероприятий по охране и искусственному разведению практически значимых видов пчел.

Материал и методы исследования

Исследование видового состава пчел, имеющих важное практическое значение, проводили в агроценозах Донбасса в период с 1996 по 2017 гг. Сбор материала осуществляли на приусадебных участках, в садовых кооперативах, плантациях различных энтомофильных культур (подсолнечник, кормовые бобовые травы). При сборе материала применяли энтомологическое кошение и индивидуальный лов на цветках энтомофильных растений. При учетах численности пчел-опылителей применяли методики В. В. Попова и Ю. А. Песенко [32, 36], при этом учёты шмелей и медоносной пчелы проводили без отлова. Всего за весь период исследований на энтомофильных культурах было собрано и учтено не менее 1600 экз. пчел.

При указании названий опыляемых сельскохозяйственных культур и видов пчел-опылителей нами были использованы литературные источники [7-12, 14, 16, 17-22, 24, 25-28, 30-32, 34-36, 40, 43-45, 47-49], а также данные собственных наблюдений, в том числе опубликованные [2]. Названия видов пчел приведены в соответствии с «Аннотированным Каталогом перепончатокрылых насекомых России» [6].

Результаты исследования

Ниже приводится аннотированный список пчел-опылителей энтомофильных культур Донбасса.

1. Семейство *Colletidae* – Пчелы-коллетиды

Пчелы-коллетиды представлены в Донбассе не менее 38 видами из 2 родов и 2 подсемейств [4, 29, 46]. При этом в качестве опылителей энтомофильных культур могут выступать только пчелы-коллетины (*Colletinae*), самки которых, в отличие от пчел-гилеин (*Hylaeinae*), переносят пыльцу на бедрах задних ног, имеющих развитый пыльцесобирающий аппарат (иногда пыльцевой комок у пчел-коллетин полностью покрывает проксимальную часть задних ног, включая также вертлуг, голени и вентральную часть первого сегмента брюшка).

Большинство изученных пчел-коллетин строят гнезда в почве, образуя агрегации гнезд, при этом самки самостоятельно выкапывают гнездовой ход обычно в более или менее рыхлой почве. Имеются также указания на возможность гнездования некоторых видов (*Colletes daviesanus*) в готовых полостях [38].

В Донбассе пчелы-коллетины представлены одним родом и не менее 16 видами [4]. Все виды, кроме колета весеннего (*Colletes cunicularius* (L., 1758)), относятся в фенологической группе моновольтинных летних и позднелетних (*Colletes succinctus* (L., 1758)) видов, являются малочисленными на исследуемой территории и специализированы к посещению узкого круга энтомофильных растений (монолекты, узкие и широкие олиголекты). В то же время среди пчел-коллетин имеются виды перспективные для опыления целого ряда энтомофильных сельскохозяйственных культур. Например, весенний моновольтинный вид *C. cunicularius*, отмеченный в литературе [24, 28] как один из лучших опылителей плодовых культур в Украине (черешня, вишня, яблоня, груша). В Донбассе этот вид также широко распространен и отмечен нами на цветках некоторых плодовых деревьев (кизил, вишня, яблоня), однако изученность опылительной активности этого вида в Донбассе, как и других видов пчел-коллетин, остается недостаточной и требует специальных исследований.

В табл. 1 на основе анализа литературных данных [24, 28, 29, 43] нами приведены шесть видов пчел-коллетин, перспективные, с нашей точки зрения, для опыления некоторых энтомофильных культур в Донбассе.

Важно также отметить, что многие виды пчел-коллетин, живущих в Донбассе (*Colletes daviesanus* Smith, 1846, *C. fodiens* (Fourcroy, 1785), *C. similis* Schenck, 1853), приурочены к посещению и опылению некоторых видов растений семейства астровых (*Asteraceae*) и могут быть использованы как опылители при будущем культивировании некоторых лекарственных видов растений из этого семейства (например, видов *Matricaria*, *Inula helenium* L., *Tanacetum vulgare* L., *Helichrysum arenarium* (L.) Moench, *Achillea millefolium* L.).

Виды пчел-коллетин (*Colletinae*) – перспективные опылители энтомофильных сельскохозяйственных растений в Донбассе

Виды пчел	Опыляемые культуры
<i>Colletes cunicularius</i> (L., 1758)	Плодовые культуры (черешня, вишня, яблоня, груша, яблоня)
<i>Colletes fodiens</i> (Geoffroy, 1762)	Кормовые бобовые травы (люцерна, клевера, донники)
<i>Colletes inexpectatus</i> Nosciewicz, 1936	Кормовые бобовые травы (люцерна, клевера, донники)
<i>Colletes marginatus</i> Smith, 1846	Кормовые бобовые травы (люцерна, клевера, донники)
<i>Colletes mlokoszewiczi</i> Radoszkowski, 1891	Кормовые бобовые травы (люцерна, клевера, донники), бахчевые (тыква, кабачки)
<i>Colletes similis</i> Schenck, 1853	Овощные и бахчевые

2. Семейство *Andrenidae* – Пчелы-андрениды

В фауне пчел Донбасса пчелы-андрениды лидируют по количеству видов и насчитывают здесь не менее 100 видов из 5 родов и 2 подсемейств [30]. Подавляющее число видов (93 вида) относятся к роду *Andrena* из подсемейства *Andreninae*.

Пчелы-андрениды представлены во всех ландшафтах Донбасса, включая агро- и урболандшафты, где их разнообразие и численность, в сравнении с условно коренными ландшафтами, заметно снижены.

Все изученные виды пчел-андренид гнездятся в почве, самостоятельно выкапывая гнездовой ход, при этом некоторые виды образуют агрегации гнезд.

Среди пчел-андренид имеется целый ряд общепризнанных опылителей многих плодово-ягодных, зернобобовых, овощных, бахчевых, технических, кормовых энтомофильных культур, относящихся к различным ботаническим семействам. Например, из числа пчел-андренид, к числу важнейших опылителей люцерны посевной в России и сопредельных странах относятся *Andrena flavipes* Panzer, 1799, *A. labialis* (Kirby, 1802), *A. ovatula* (Kirby, 1802), *Melitturga clavicornis* (Latreille, 1806) [40]. К числу важных опылителей плодово-ягодных культур в России, Украине, Молдове, относятся, например, *Andrena bimaculata* (Kirby, 1802), *A. tibialis* (Kirby, 1802), *A. carbonaria* (L., 1767), *A. helvola* (L., 1758), *A. varians* (Kirby, 1802), *A. haemorrhoea* (Fabricius, 1781), *A. dorsata* (Kirby, 1802), *A. limata* Smith, 1853, *A. nitida* (Müller, 1776) [2, 5, 18, 22, 24, 28, 30]. Некоторые виды пчел-андренид (*A. nitida*, *A. flavipes*, *A. carbonaria* (L.), *Panurgus calcaratus* (Scopoli, 1763), *A. nobilis* F. Morawitz, 1873, *A. truncatilabris* F. Morawitz, 1878) являются важными опылителями бахчевых и технических культур [25, 26].

В условиях агроценозов Донбасса наиболее перспективными видами пчел-андренид – опылителями энтомофильных сельскохозяйственных культур являются не менее 21 вида (табл. 2).

При этом, как видно из табл. 2, опылителями плодовых и ягодных культур являются 12 видов, опылителями бобовых трав – 7 видов, опылителями масляничных и технических культур – 8 видов, бахчевых и овощных – 3 вида. Важно отметить, что представленный список пчел-андренид не является исчерпывающим и составлен с учетом анализа относительного обилия фауны пчел в агроценозах Донбасса. Этот список может быть дополнен в результате дальнейшего изучения пчел-опылителей, а также проведения специальных мероприятий по сохранению фауны пчел в агроценозах Донбасса.

Виды пчел-андренид (Andrenidae) – перспективные опылители энтомофильных сельскохозяйственных растений в Донбассе

Виды пчел	Опыляемые культуры
<i>Andrena haemorrhoa</i> (Fabricius, 1781)	крыжовник, смородина красная, малина, вишня, черешня, персик, слива, груша, яблоня
<i>Andrena dorsata</i> (Kirby, 1802)	плодовые (абрикос, алыча, черешня, вишня, яблоня, груша), бобовые травы (донник аптечный, люцерна), бахчевые, гречиха, подсолнечник
<i>Andrena tibialis</i> (Kirby, 1802)	черешня, вишня, яблоня, груша
<i>Andrena carbonaria</i> (L., 1767)	алыча, малина, яблоня, груша, рапс озимый
<i>Andrena helvola</i> (L., 1758)	крыжовник, смородина черная, вишня, слива, яблоня
<i>Andrena varians</i> (Kirby, 1802)	крыжовник, черешня, вишня, яблоня
<i>Andrena flavipes</i> Panz., 1799	плодовые (черешня, вишня, яблоня, груша), бобовые травы (люцерна, донники, лядвенец), бахчевые (арбуз, дыня, тыква), овощные (редис), масляничные (подсолнечник), крупяные (гречиха)
<i>Andrena limata</i> Smith, 1853	смородина красная, малина, вишня, черешня
<i>Andrena nitida</i> (Mull.), 1776	черешня, малина, виноград, тыква
<i>Andrena ventralis</i> Imhoff, 1832	яблоня, груша
<i>Andrena minutula</i> (Kirby, 1802)	плодово-ягодные (вишня, яблоня, груша, земляника), бобовые травы (донники белый и аптечный)
<i>Andrena tringa</i> Warncke, 1973	бобовые травы (донники белый и аптечный), рапс озимый
<i>Andrena carantonica</i> Pérez, 1902	груша
<i>Andrena nobilis</i> F. Morawitz, 1873	рапс озимый
<i>Andrena ovatula</i> (Kirby, 1802)	бобовые травы (люцерна, донники)
<i>Andrena labialis</i> (Kirby, 1802)	бобовые травы (люцерна, лядвенец, вязель, клевер, донник, чина, эспарцет), гречиха, подсолнечник
<i>Andrena atrata</i> Friese, 1887	горчица посевная
<i>Andrena hypopolia</i> Schmiedeknecht, 1882-1884	бобовые травы (люпин), рапс озимый, горчица посевная
<i>Andrena truncatilabris</i> F. Morawitz, 1878	горчица посевная
<i>Panurgus calcaratus</i> (Scop., 1763)	бахчевые (арбуз, тыква, дыня), огурцы
<i>Melitturga clavicornis</i> (Latr., 1806)	бобовые травы (люцерна, эспарцет, клевер)

3. Семейство Halictidae – Пчелы-галиктиды

Пчелы-галиктиды – достаточно обширное семейство землероющих, короткохоботных пчел, насчитывающее в Донбассе не менее 63 видов из 10 родов и 4 подсемейств [37, неопубликованные данные автора]. При этом нужно отметить, что указанная цифра не является окончательной и может возрасти в ходе дальнейших исследований фауны пчел Донбасса. Наибольшим числом видов представлено подсемейство Halictinae – 52 вида (82,5% от числа всех видов пчел этого семейства).

По суммарному относительному обилию особей пчелы-галиктиды занимают ведущее место в ландшафтах Донбасса, включая агроландшафты, где они представлены целым рядом достаточно обильных и фоновых видов.

Все изученные гнездостроящие виды пчел-галиктид строят свои гнезда в почве, самостоятельно выкапывая гнездовой ход. При этом многие виды образуют крупные агрегации гнезд, формируя эусоциальные колонии с наличием отдельных каст.

К числу общепризнанных опылителей некоторых важнейших энтомофильных сельскохозяйственных культур относятся не менее 20 видов пчел-галиктид, среди них, например, важнейшие опылители кормовых бобовых культур: *Rhophitoides canus* (Eversmann, 1852), *Nomiapis diversipes* (Latreille, 1806), *Rophites quinquespinosus* Spinola, 1808. В табл. 3 приведен перечень 23 видов пчел-галиктид, имеющих большое практическое значение как опылители различных энтомофильных культур.

Таблица 3

Виды пчел-галиктид (Halictidae) – перспективные опылители энтомофильных сельскохозяйственных растений в Донбассе

Виды пчел	Опыляемые культуры
<i>Rhophitoides canus</i> (Eversmann, 1852)	бобовые травы (астрагал, вязель, клевера, люцерна, лядвенец, эспарцет)
<i>Rophites quinquespinosus</i> Spin., 1808	бобовые травы (лядвенец), подсолнечник
<i>Nomiapis diversipes</i> (Latr., 1806)	бобовые травы (люцерна, донники), подсолнечник, бахчевые
<i>Nomiapis bispinosa</i> (Brullé, 1832)	бахчевые, люцерна посевная, подсолнечник
<i>Systropha planidens</i> Giraud, 1861	бахчевые (дыня, тыква)
<i>Halictus compressus</i> (Walckenaer, 1802)	люцерна, бахчевые (тыква, арбуз), гречиха, рапс озимый, подсолнечник
<i>Halictus kessleri</i> Bramson, 1879	бахчевые (арбуз, тыква)
<i>Halictus maculatus</i> Smith, 1848	бахчевые (арбуз, тыква)
<i>Halictus quadricinctus</i> (Fabricius, 1776)	люцерна, подсолнечник, бахчевые (тыква)
<i>Halictus resurgens</i> Nurse, 1903	гречиха, люцерна, подсолнечник
<i>Halictus sajo</i> Blüthgen, 1923	гречиха, люцерна, рапс озимый
<i>Halictus sexcinctus</i> (Fabricius, 1776)	подсолнечник
<i>Halictus simplex</i> Blüthgen, 1923	яблоня, гречиха, люцерна
<i>Halictus subauratus</i> (Rossi, 1792)	яблоня, подсолнечник, гречиха, арбуз
<i>Halictus tetrazonianellus</i> Strand, 1909	люцерна, бахчевые (тыква, арбуз)
<i>Lassioglossum calceatus</i> (Scopoli, 1763)	абрикос, алыча, черешня, вишня, слива, яблоня, подсолнечник, гречиха, донники, рапс озимый, тыква
<i>Lassioglossum discum</i> (Smith, 1853)	бахчевые (арбуз, тыква), гречиха, рапс озимый, подсолнечник
<i>Lassioglossum interruptum</i> (Panzer, 1798)	бахчевые (арбуз, тыква)
<i>Lassioglossum leucozonium</i> (Schrank, 1781)	бахчевые (арбуз, тыква), подсолнечник, гречиха, рапс озимый
<i>Lassioglossum malachurus</i> (Kirby, 1802)	абрикос, алыча, черешня, вишня, яблоня, подсолнечник, гречиха, бахчевые (тыква), бобовые травы (донники белый и аптечный, лядвенец), рапс озимый
<i>Lassioglossum marginatus</i> (Brullé, 1832)	бобовые травы (лядвенец рогатый)
<i>Lassioglossum politus</i> (Schenck, 1853)	бахчевые
<i>Lassioglossum (s. str.) xanthopus</i> (Kirby, 1802)	бахчевые и овощные

Все указанные в табл. 3 виды пчел обитают в Донбассе, причем некоторые виды способны гнездиться большими колониями на полях энтомофильных культур. В частности, по данным В. Г. Радченко [13], вид *R. canus* создает крупные агрегации гнезд на полях семенной люцерны в Донецкой области и может быть использован, при применении соответствующей агротехники, как эффективный опылитель этой культуры. Как видно из табл. 3 пчелы-галиктиды опыляют кормовые бобовые травы, крупяные зернобобовые (гречиха), плодовые, бахчевые, технические и масляничные (подсолнечник, рапс) культуры. При этом, по нашим наблюдениям, среди всех пчел-опылителей плодовых розоцветных деревьев виды *L. calceatus* и *L. malachurus* занимают ведущее место по относительному обилию особей на цветущих деревьях. Крупные агрегации гнезд этих видов необходимо сохранять, особенно в агроценозах.

4. Семейство *Melittidae* – Пчелы-мелиттиды

Пчелы-мелиттиды – небольшое семейство гнездостроящих (землероющих) пчел, представленное в Донбассе 9 видами из 3 родов и 2 подсемейств. В качестве опылителей сельскохозяйственных культур из числа пчел-мелиттид известны *Melitta leporina* (Panzer, 1799) (один из основных опылителей люцерны посевной и других бобовых кормовых трав) и *Dasypoda altercator* (Harris, 1780) (бахчевые культуры) [27, 40]. Эти два вида хорошо представлены в степных ландшафтах Донбасса, при этом *D. altercator* встречается локально и гнездится на песчаных и супесчаных почвах, образуя агрегации гнезд.

5. Семейство *Megachilidae* – Пчелы-мегахилиды

Пчелы-мегахилиды на территории Донбасса изучены недостаточно полно. По данным Л. П. Ромасенко [41, 42] в степных заповедниках Северного Приазовья («Хомутовская степь» и «Каменные Могилы») отмечено не менее 40 видов из 12 родов пчел-мегахилид. В то же время в ландшафтах Донбасса пчелы этого семейства хорошо представлены и многие из них имеют большое практическое значение как опылители целого ряда сельскохозяйственных культур. Например, весенние виды пчел-осмий (*Osmia cornuta* (Latreille, 1805) и *Osmia bicornis* (L., 1758)) являются общепризнанными опылителями плодовых розоцветных культур (алыча, черешня, слива, груша, яблоня), которых с этой целью специально разводят в некоторых странах [40].

В отличие от пчел других семейств, пчелы-мегахилиды имеют большое разнообразие гнездостроительных инстинктов. Среди них имеется множество видов заселяющих готовые цилиндрические полости в различных субстратах, стебли растений с мягкой сердцевиной, а также землероющие виды и виды, строящие свободные гнезда (лепшики). При этом самки всех гнездостроящих видов собирают и переносят пыльцу при помощи брюшной щетки – расположенных на стернумах брюшка рядах относительно длинных и жестких волосков.

В табл. 4 представлены 14 основных видов пчел-мегахилид – опылителей сельскохозяйственных культур в Донбассе. Важно отметить, что технология промышленного разведения люцерновой пчелы-листореза (*Megachile rotundata* (Fabricius, 1787)), используемой для опыления семенников посевной люцерны, получила широкое распространение в Канаде [15, 35] и может быть применена в Донбассе при выращивании этой ценной кормовой культуры.

Таблица 4

Виды пчел-мегахилид (*Megachilidae*) – перспективные опылители энтомофильных сельскохозяйственных растений в Донбассе

Виды пчел	Опыляемые культуры
<i>Osmia aurulenta</i> (Panzer, 1799)	бобовые травы (люцерна)
<i>Osmia cornuta</i> (Latreille, 1805)	абрикос, алыча, черёмуха, черешня, вишня, слива, яблоня
<i>Osmia bicornis</i> (L., 1758)	алыча, черешня, вишня, слива, яблоня
<i>Osmia coerulescens</i> (L., 1758)	бобовые травы (люцерна, клевер)
<i>Megachile leachella</i> Curtis, 1828	подсолнечник

Виды пчел	Опыляемые культуры
<i>Megachile centuncularis</i> (L., 1758)	подсолнечник, бобовые травы (люцерна, лядвенец), овощные и бахчевые
<i>Megachile maritima</i> (Kirby, 1802)	люцерна, подсолнечник, бахчевые
<i>Megachile pilidens</i> Alfken, 1924	бобовые травы (люцерна)
<i>Megachile lagopoda</i> (L., 1761)	подсолнечник
<i>Megachile rotundata</i> (Fabricius, 1787)	бобовые травы (люцерна)
<i>Megachile willughbiella</i> (Kirby, 1802)	бобовые травы (люцерна), подсолнечник
<i>Anthidium florentinum</i> (Fabricius, 1775)	бобовые травы (люцерна), подсолнечник, бахчевые
<i>Anthidium manicatum</i> (L., 1758)	бобовые травы (люцерна)
<i>Anthidiellum strigatum</i> (Panzer, 1805)	бобовые травы (люцерна)

6. Семейство **Apidae** – Пчелы-апиды

Как и предыдущее семейство, пчелы-апиды изучены на территории Донбасса недостаточно полно. Список видов пчел относящихся, в настоящее время, к семейству Apidae содержится в диссертации В. Г. Радченко [38]. Кроме того, для заповедника «Хомутовская степь» Д. П. Литвиненко [23] приводит список не менее 27 видов пчел-антофорид (Anthophoridae), рассматриваемых в настоящее время в составе семейства Apidae. В некоторых работах автора данной статьи приведены сведения о видовом составе и экологии шмелей г. Донецка и его окрестностей [3], а также стациях гнездования некоторых видов [1].

Пчелы семейства Apidae широко распространены во всех ландшафтах Донбасса и представлены здесь тремя подсемействами, из которых подсемейство Nomadinae включает только гнездовых паразитов, а два других (Xylocorinae и Apinae) – это, в большинстве своем, гнездостроящие виды пчел с разным уровнем развития социальной жизни (от типично одиночных видов до продвинуто-эусоциальных общественных высших апид, живущих большими семьями). При этом подсемейство Apinae включает также шмелей (род *Bombus* Latr.) и медоносную пчелу (*Apis mellifera* L., 1758), разведение которых (шмелеводство и пчеловодство) в промышленном масштабе проводится во многих странах мира.

Среди пчел-апид Донбасса к числу важнейших опылителей некоторых энтомофильных сельскохозяйственных культур, кроме искусственно разводимой человеком медоносной пчелы, следует отнести виды шмелей (рис. 1, А), а также одиночных пчел из триб Eucerini (виды родов *Eucera* Scop., *Tetraloniella* Ashmead) и Anthophorini (виды родов *Anthophora* Latr., *Amegilla* Friese) (табл. 5).

Безусловно, кроме указанных в табл. 5 видов, среди пчел-апид Донбасса в качестве опылителей энтомофильных сельскохозяйственных культур могут выступать и другие виды этого семейства, однако для расширения списка пчел-опылителей необходимо проведение дальнейших исследований.

Таблица 5

Виды пчел-апид (Apidae) – перспективные опылители энтомофильных сельскохозяйственных растений в Донбассе

Виды пчел	Опыляемые культуры
<i>Anthophora plumipes</i> (Pallas, 1772)	алыча, черешня, вишня, яблоня
<i>Eucera clypeata</i> Erichson, 1835	бобовые травы (люцерна, солодка, эспарцет)
<i>Eucera interrupta</i> Vaer, 1850	бобовые травы (люцерна)
<i>Eucera longicornis</i> (L., 1758)	бобовые травы (люцерна, клевера, эспарцет, лядвенец)
<i>Eucera tricincta</i> (Erichson, 1835)	бобовые травы (люцерна)
<i>Tetraloniella graja</i> (Eversmann, 1852)	бобовые травы (люцерна, клевера, эспарцет)
<i>Bombus lapidarius</i> (L., 1758)	бобовые травы (клевера, люцерна, люпин), подсолнечник

Виды пчел	Опыляемые культуры
<i>Bombus pascuorum</i> (Scopoli, 1763)	бобовые травы (клевера, люцерны, люпин), подсолнечник
<i>Bombus muscorum</i> (L., 1758)	бобовые травы (клевера)
<i>Bombus sylvarum</i> (L., 1761)	бобовые травы (клевера, люцерны, люпин), рапс озимый, подсолнечник
<i>Bombus terrestris</i> (L., 1758)	подсолнечник, кабачки, огурец (в теплицах)
<i>Bombus zonatus</i> Smith, 1854	бобовые травы (люцерны, клевер, люпин), подсолнечник
<i>Apis mellifera</i> L., 1758	большинство овощных, кормовых, бахчевых, маслических и технических культур, гречиха

Таким образом, указанный выше аннотированный список пчел-опылителей энтомофильных культур Донбасса включает не менее 79 видов из 21 рода и 6 семейств пчел. При этом одним из лидеров среди всех пчел-опылителей Донбасса является пчела медоносная (рис. 1, Б), специально разводимая на пасеках для получения меда и других продуктов пчеловодства.



Рис. 1. Некоторые виды высших апид:
 А – самка *Bombus zonatus* на соцветии клевера;
 Б – медоносная пчела собирает пыльцу на цветке вишни (фото И. Н. Оголя)

Важно отметить, что Донбасс, несмотря на наличие экологически неблагополучных предприятий, периодических засух, имеет большие перспективы в развитии пчеловодства, прежде всего за счет создания крупных пчелохозяйств. Развитие пчеловодства в Донбассе перспективно в двух взаимосвязанных направлениях: получение основных продуктов пчеловодства (мед, воск, прополис, перга, маточное молочко, пчелиный яд) и пчелоопыление энтомофильных сельскохозяйственных культур. При этом для нужд пчелоопыления необходимо привлекать имеющийся потенциал одиночных пчел, что позволит существенно увеличить урожайность возделываемых в Донбассе энтомофильных сельскохозяйственных культур.

Выводы

На территории Донбасса опылителями энтомофильных сельскохозяйственных культур являются не менее 79 видов диких пчел из 21 рода и 6 семейств. В семействе Colletidae – 6 видов, Andrenidae – 21 вид, Halictidae – 23 вида, Melittidae – 2 вида, Megachilidae – 14 видов, Apidae – 13 видов (включая пчелу медоносную). При этом в качестве опылителей плодово-

ягодных культур могут выступать не менее 20 видов, овощных и бахчевых культур – 23 вида, масляничных и технических – 30 видов, кормовых бобовых трав – 45 видов.

Для опыления многих сельскохозяйственных энтомофильных культур, на основе уже имеющихся технологий, перспективно проводить искусственное разведение некоторых видов пчел (*Osmia cornuta*, *Osmia bicornis*, *Rophitoides canus*, *Bombus terrestris*, виды рода *Megachile*).

Для поддержания в агроландшафтах необходимого количества пчел-опылителей необходимо проводить специальные агротехнические мероприятия, направленные на сохранение диких пчел в условиях агроландшафтов. Например, подсев вдоль лесополос и на залежных участках последовательно цветущих в течение вегетационного сезона энтомофильных культур (приманочные посевы), установка искусственных гнездовых конструкций, строжайшая охрана естественных колоний диких пчел.

Список литературы

1. Амолин А. В. Изучение гнездовых стаций пчел *Xylocopa valga* и *Ceratina chalybea* на юго-востоке Украины / А. В. Амолин // Вісн. Дніпропетровського держ. агр.-екон. ун-ту. – 2014. – № 1 (33). – С. 82-86.
2. Амолин А. В. К изучению пчел-опылителей плодово-ягодных культур на приусадебных участках г. Донецка / А. В. Амолин // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2016. – № 3-4. – С. 66-77.
3. Амолин А. В. Материалы к изучению экологии некоторых видов шмелей (Hymenoptera, Apoidea, Bombini) г. Донецка и его окрестностей / А. В. Амолин // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2017. – № 3-4. – С. 32-41.
4. Амолин А. В. К изучению ландшафтно-биотопического распределения пчел семейства Colletidae (Hymenoptera : Apoidea) в Донбассе / А. В. Амолин // Эверсманния. – 2018. – Вып. 54. – С. 43-48.
5. Андреев А. В. Пчелиные опылители плодовых в Молдавии / А. В. Андреев, В. С. Стратан, Е. Н. Урсу // Тез. IX съезда ВЭО. – 1984. – Ч. 1. – С. 24.
6. Аннотированный каталог перепончатокрылых насекомых России. Т. I. Сидячебрюхие (Symphyta) и Жалоносные (Aprocrita : Aculeata) / Под общ. ред. С. А. Белокобыльский и А. С. Лелей. – СПб. : ЗИН РАН, 2017. – 475 с.
7. Апостолов Л. Г. Дикая пчела (Hymenoptera, Apoidea) – опылитель люцерны в степной зоне Крыма / Л. Г. Апостолов, С. П. Иванов // Экология и таксономия насекомых Украины. – Одесса, 1989. – Вып. 3. – С. 113-121.
8. Артохин К. С. Энтомоценоз люцерны: мониторинг и управление / К. С. Артохин. – Ростов-на-Дону, 2000. – 200 с.
9. Астафурова Ю. В. Пчелы подсемейств Rophitinae и Nomiinae (Hymenoptera, Halictidae) России и сопредельных территорий / Ю. В. Астафурова / Определители по фауне России, издаваемые Зоологическим институтом РАН. – М : Товарищество научных изданий КМК, 2014. – Вып. 176. – 383 с.
10. Атдаев Т. Пчелиные (Hymenoptera, Apoidea) – опылители бобовых и других цветковых растений в низовьях Мургаба / Т. Атдаев // Изв. АН Туркменской ССР. Сер. биол. науки. – 1964. – № 4. – С. 48-55.
11. Атдаев Т. К экологии пчелиных (Hymenoptera, Apoidea) в культурной зоне низовий Мургаба / Т. Атдаев // Изв. АН Туркменской ССР. Сер. биол. науки. – 1965. – № 2. – С. 74-80.
12. Благовещенская Н. Н. Одинокые пчелы на подсолнечнике / Н. Н. Благовещенская // Пчеловодство. – 1982. – № 9. – С. 15.
13. Боднарчук Л. И. Пчелы-рофитоидесы и их использование для опыления семенных посевов люцерны / Л. И. Боднарчук, В. Г. Радченко // Вестн. зоол. – 1985. – № 6. – С. 38-44.
14. Боднарчук Л. И. *Megachile willughbiella* – перспективный опылитель люцерны на Юго-Востоке Украины / Л. И. Боднарчук, В. Г. Радченко, А. А. Владимирский // Вестн. зоол. – 1988. – № 2. – С. 38-40.

15. Бурмистров А. Н. Использование пчел-листорезов в Канаде / А. Н. Бурмистров / Насекомые-опылители сельскохозяйственных культур : сб. науч. тр. – Новосибирск, 1982. – С. 21-31.

16. Виханская И. Е. О пчелиных – опылителях плодовых культур в садах Закарпатья / И. Е. Виханская / Экология насекомых и других наземных беспозвоночных Советских Карпат : матер. межвузов. конф. – Ужгород : Ужгородский гос. ун-т, 1964. – С. 17-19.

17. Голиков В. И. Экологические основы опыления некоторых полевых и плодовых культур пчелиными в Западном Предкавказье / В. И. Голиков. – Краснодар : Краснодарский НИИ сельского хозяйства, 2000. – 192 с.

18. Голиков В. И. К фауне и экологии диких (одиночных) пчел – опылителей плодовых деревьев / В. И. Голиков, В. И. Радзиковская // Фауна и экология некоторых видов беспозвоночных и позвоночных животных Предкавказья. – Краснодар : Кубанский гос. ун-т, 1990. – С. 15-22.

19. Жаринов В. И. Опылители люцерны и повышение их численности в специализированных семеноводческих хозяйствах Украины / В. И. Жаринов / Насекомые-опылители сельскохозяйственных культур : сб. науч. тр. – Новосибирск, 1982. – С. 35-38.

20. Жаринов В. И. Опылители люцерны в Лесостепи Левобережной Украины / В. И. Жаринов, А. З. Осычнюк // Вестн. зоол. – 1976. – № 2. – С. 6-9.

21. Иванов С. П. Структура трофических связей диких пчел *Osmia cornuta* и *Osmia rufa* (Hymenoptera : Apoidea : Megachilidae) в Крыму / С. П. Иванов // Экосистемы Крыма, их оптимизация и охрана : темат. сб. науч. тр. – Симферополь : Таврический нац. ун-т, 2006. – Вып. 16. – С. 136-146.

22. Кривошеина М. Г. К изучению насекомых (Insecta) – опылителей плодовых деревьев Московского региона / М. Г. Кривошеина // Бюлл. МОИП. Отд. биол. – 2009. – Т. 114, вып. 4. – С. 50-54.

23. Литвиненко Д. П. Аннотированный список пчел-антофорид (Hymenoptera, Apoidea, Anthophoridae) Хомутовской степи / Д. П. Литвиненко // Летопись Природы УГСПЗ Института Ботаники им. Н. Г. Холодного. – 1989. – Т. I. – С. 187-190.

24. Музиченко Ю. О. До пізнання фауни та екології комах-запилювачів плодоягідних культур / Ю. О. Музиченко // Труды Ин-ту зоол. та біології : зб. наук. праць. – 1937. – Т. 14, № 4. – С. 197-222.

25. Муравьева М. А. Изучение и охрана пчелиных-опылителей бахчевых культур в Крыму / М. А. Муравьева // Экосистемы Крыма, их оптимизация и охрана : темат. сб. науч. тр. – Симферополь : СГУ, 1983. – С. 115-121.

26. Невкрыта А. Н. Насекомые опыляющие бахчевые культуры / А. Н. Невкрыта. – К. : Ин-т АН УССР, 1953. – 92 с.

27. Невкрыта А. Н. Роль диких насекомых в опылении бахчевых культур / А. Н. Невкрыта // Опыление сельскохозяйственных растений / Под общ. ред. И. В. Кришчунас, А. Ф. Губина. – М., 1956. – С. 204-208.

28. Невкрыта О. М. До вивчення комах-запилювачів черешні та вишні на Україні / О. М. Невкрыта // Зб. праць музею АН УРСР. – 1957. – № 28. – С. 49-62.

29. Осичнюк Г. З. Бджоли-колетиди / Г. З. Осичнюк / Фауна України. Бджолині. – К. : Наук. думка, 1970. – Т. 12, вип. 4. – 158 с.

30. Осичнюк Г. З. Бджоли-андреніди / Г. З. Осичнюк / Фауна України. Бджолині. – К. : Наук. думка, 1977. – Т. 12, вип. 5. – 328 с.

31. Песенко Ю. А. Материалы по фауне и экологии пчелиных (Hymenoptera, Apoidea) степей Нижнего Дона. Сообщение I. Семейство Megachilidae / Ю. А. Песенко // Энтотомол. обозр. – 1971. – Т. 50, вып. 1. – С. 66-78.

32. Песенко Ю. А. К методике количественных учетов насекомых-опылителей / Ю. А. Песенко // Экология. – 1972 а. – № 1. – С. 89-95.

33. *Песенко Ю. А.* Материалы по фауне и экологии пчелиных (Hymenoptera, Apoidea) степей Нижнего Дона. Сообщение II. Семейство Halictidae / Ю. А. Песенко // Энтотомол. обзор. – 1972 б. – Т. 51, вып. 2. – С. 282-295.
34. *Песенко Ю. А.* О формировании населения одиночных пчелиных (Hymenoptera, Apoidea) на полях посевной люцерны / Ю. А. Песенко // Зоол. журн. – 1976. – Т. 55, вып. 6. – С. 856-859.
35. *Песенко Ю. А.* Люцерновая пчела-листорез *Megachile rotundata* и её разведение для опыления люцерны / Ю. А. Песенко. – Л. : Наука, 1982. – 136 с.
36. *Попов В. В.* Сбор и изучение опылителей сельскохозяйственных культур и других растений / В. В. Попов // В помощь работающим на полезашитных лесных полосах. – М.–Л. : Изд-во АН СССР, 1950. – Вып. 2. – 35 с.
37. *Прощалькин М. Ю.* Пчелы-галиктиды (Hymenoptera, Apoidea, Halictidae) Украины : фауна и зональное распространение / М. Ю. Прощалькин, Ю. В. Астафурова // Чтения памяти Алексея Ивановича Куренцова. – 2012. – Вып. XXIII. – С. 93-113.
38. *Радченко В. Г.* Биология пчелиных (Hymenoptera, Apoidea) юго-восточной части Украины : Автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.09 / В. Г. Радченко. – К., 1982. – 25 с.
39. *Радченко В. Г.* Стациальное распределение пчел (Hymenoptera: Apoidea) на территории юго-восточной части Украины / В. Г. Радченко // Тези доп. Республ. ентотомол. конф. присв. 50-й річниці заснування УЕТ (Ніжин, 19–23 серпня 2000 р.). – Ніжин, 2000. – С. 108.
40. *Радченко В. Г.* Биология пчел (Hymenoptera, Apoidea) / В. Г. Радченко, Ю. А. Песенко. – СПб. : ЗИН РАН, 1994. – 350 с.
41. *Ромасенко Л. П.* Пчелы-мегахилиды (Apoidea, Megachilidae) Украинского государственного степного заповедника (Хомутовская степь, Каменные могилы) / Л. П. Ромасенко. – К. : Изд-во Ин-та зоологии АН УССР, 1990. – 64 с.
42. *Ромасенко Л. П.* Пчелы-мегахилиды (Apoidea, Megachilidae) «Каменных могил» / Л. П. Ромасенко // Тр. филиала Укр. степ. прир. зап-ка «Каменные Могилы» : юбил. сб. – К., 1998. – Вып. 1. – С. 104-110.
43. *Ромасенко Л. П.* Клептопаразити (інквіліни) в гніздах поодиноких бджолиних // Комахи – природні вороги поодиноких бджолиних фауни України / М. Д. Зерова, Л. П. Ромасенко, Л. Я. Сergyна, Ю. Г. Вервес. – К., 2006. – С. 66-72.
44. *Сурков Ю. С.* Роль диких опылителей в получении устойчивых урожаев семян эспарцета, клевера и люцерны в Воронежской области / Ю. С. Сурков, В. В. Бакалова // Насекомые-опылители сельскохозяйственных культур : сб. науч. тр. – Новосибирск, 1982. – С. 90-93.
45. *Ченикалова Е. В.* Дикие пчелиные Ставрополя, их эффективность и охрана в агроландшафтах / Е. В. Ченикалова. – Ставрополь : АГРУС, 2005. – 112 с.
46. *Proshchalykin M. Yu.* The bees of the genus *Colletes* Latreille 1802 of the Ukraine, with a key to species (Hymenoptera : Apoidea : Colletidae) / M. Yu. Proshchalykin, M. Kuhlmann // Zootaxa. – 2012. – N 3488. – P. 1-40.
47. *Tasei J.-N.* Observations prééliminaires sur la biologie d'*Osmia* (*Chalcosmia*) *coerulescens* L. (Hymenoptera : Megachilidae), pollinisatrice de la luzerne (*Medicago sativa* L.) / J.-N. Tasei // Apidologie. – 1972. – Vol. 3, N 3. – P. 149-165.
48. *Tasei J.-N.* Observations sur le développement d'*Osmia cornuta* Latr. et *Osmia rufa* L. (Hymenoptera : Megachilidae) / J.-N. Tasei // Apidologie. – 1973. – Vol. 4, N 4. – P. 295-315.
49. *Torchio P. F.* The introduction of the European bee, *Osmia cornuta* Latr., into the U.S. as a potential pollinator of orchard crops, and a comparison of its manageability with *Osmia lignaria* propinqua Cresson (Hymenoptera, Megachilidae) / P. F. Torchio, E. Asensio // Journal Kansas entomol. Soc. – 1985. – Vol. 58, N 1. – P. 42-52.

Amolin A. V. Bees-pollinators (Hymenoptera: Apoidea) of entomophilic agricultural crops of Donbass. –

At least 79 species of bees from 21 genera and 6 families can act on the territory of the Donbass as pollinators of entomophilous agricultural crops. The leader among all bee-pollinators of Donbass is the honey bee specially bred in apiaries for getting honey and other beekeeping products. To create and maintain the necessary number of pollinating bees in agrolandscapes, special agrotechnical measures are needed to preserve wild bees in agrolandscapes. For example, sowing along the forest belts and in the fallow areas sequentially flowering during the growing season, entrophobic crops (trap cropping), installation of artificial nest structures, strict protection of natural colonies of wild bees. The development of beekeeping in the Donbass is promising in two interrelated directions: obtaining the basic products of beekeeping (honey, wax, propolis, pergola, royal jelly, bee venom) and bee pollination of entomophilous agricultural crops. In this case, for the needs of bee-pollination, it is necessary to attract the available potential of single bees, which will significantly increase the yield of entomophilous crops cultivated in Donbass.

Key words: Bees-pollinators, Donbass, entomophilic agricultural crops.

УДК 598.2

© М. А. Чайка¹, О. Г. Суханова²

**ФАУНА И НАСЕЛЕНИЕ ПТИЦ ОТДЕЛЕНИЯ «ХОМУТОВСКАЯ СТЕПЬ»
БООПТРЗ «ХОМУТОВСКАЯ СТЕПЬ – МЕОТИДА»
В ГНЕЗДОВОЙ ПЕРИОД 2016-2017 ГГ.**

¹ ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

283050, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: larusmarinus25@gmail.com

² ГОУ ВПО «Донбасская аграрная академия»

286157, г. Макеевка, ул. Островского, 16; e-mail: suhanova1991@mail.ru

Чайка М. А., Суханова О. Г. Фауна и население птиц отделения «Хомутовская степь» БООПТРЗ «Хомутовская степь – Меотида» в гнездовой период 2016-2017 гг. – В работе приведен аннотированный список птиц, отмеченных в гнездовой период 2016-2017 гг. в отделении «Хомутовская степь» БООПТРЗ «Хомутовская степь – Меотида». Дана характеристика встреч редких видов. Установлено распределение видов птиц по биотопам и экологическим группам, степень видового разнообразия, видового богатства и подобия сообществ птиц основных биотопов заповедника.

Ключевые слова: Хомутовская степь, орнитофауна, население птиц, биотопическое распределение, индексы разнообразия.

Введение

В отделении «Хомутовская степь» биосферной особо охраняемой природной территории республиканского значения «Хомутовская степь – Меотида» основным объектом охраны являются экосистемы южного варианта разнотравно-типчаково-ковыльных степей Приазовья [2]. Несмотря на сильную антропогенную нагрузку на данную территорию в начале и середине XX века, а также благодаря большому разнообразию типов растительности, экотопов и сложному рельефу животный мир «Хомутовской степи» остаётся относительно богатым. Данная территория служит убежищем редких видов животных, занесенных в различные Красные списки от регионального до международного уровня [2], и поэтому вызывает заслуженный интерес у зоологов, в частности, орнитологов.

Изучением орнитофауны «Хомутовской степи» на рубеже XX и XXI веков занимались сотрудники заповедника В. А. Галушко, В. А. Тимошенко, О. В. Дорохов. Основные результаты их работы опубликованы в научных статьях [9-12] и «Летописи природы» [6] заповедника. В указанных публикациях представлены аннотированные списки птиц отделения, результаты учетов хищных птиц, фазана, перепела, серой куропатки, воробьинообразных, ежегодные фенологические наблюдения. Однако в них отсутствует анализ структуры авифауны и населения птиц, что стало основной задачей данной работы. Согласно летописи природы заповедника «Хомутовская степь» последние учёты птиц проводились здесь В. А. Тимошенко до 2007 г. и О. В. Дороховым в 2008 г. Таким образом, за последние 10 лет нет новых сведений о состоянии орнитокомплексов заповедника, что обусловило актуальность данного исследования.

Материал и методы исследования

Для выяснения характера пребывания птиц на территории заповедника и в его окрестностях проводились пешие экскурсии во все сезоны с апреля 2016 г. до декабря 2017 г.

Для установления распределения видов птиц по биотопам и экологическим группам по предпочитаемому типу местообитания использованы результаты количественных маршрутных учётов на неограниченной полосе начала июня 2016 и 2017 гг. на территории заповедника и в его окрестностях [3]. Обследованы такие биотопы:

– степные участки (СУ) относятся к территории отделения «Хомутовская степь». В их растительном покрове преобладают плакорно-степные фитоценозы.

– агроценозы (АЦ) в окрестностях заповедника: пшеничное, льняное, гороховое поля, а также поля под паром.

– одноэтажная жилая застройка (ОЖЗ) представлена усадьбой заповедника и сёлами Самсоново и Витава.

– заброшенные фермы (ЗФ) примыкают к с. Самсоново. Основу биотопа составляют небольшие здания (амбары, склады и теплицы), окруженные рудеральной растительностью. Присутствуют на данной территории и небольшие выходы коренных пород, множество дорог и участков с малым количеством растительности. Также на территории ферм проходят ЛЭП низкого напряжения. Фермерская деятельность на данном участке прекращена более 10 лет назад.

– лесополосы (ЛП1) окружают степные участки и агроценозы в окрестностях заповедника. Лесообразующими видами являются: берёза, дуб, клён, рябина, яблоня; из кустарников преобладают боярышник и слива степная.

– долина р. Грузской Еланчик (ДР). На склонах распространена луговая растительность, переходящая в прибрежно-водную. По берегам обильна древесно-кустарниковая растительность.

Количественные маршрутные учёты птиц с шириной учётной полосы 200 м (в лесополосах – 100 м) для вычисления плотности гнездования на территории заповедника проводились в июне-июле 2016 г. и мае-июле 2017 г. Выделены такие биотопы и участки:

– «абсолютно» заповедная степь (АЗС) в границах, установленных планом управления заповедной территорией [2]. На участке преобладают плакорно-степные фитоценозы (сообщества с доминированием корневищных или дерновинных злаков) с высоким травостоем, которые перемежаются кустарниковой степью (формации караганы кустовой, степного миндаля и др.). Встречаются также куртины кустарниковых зарослей. Протяженность мониторингового маршрута составила 2,7 км.

– степные участки с регулируемой хозяйственной нагрузкой (СХ) включают зону умеренного хозяйственного вмешательства и зону ограниченного вмешательства и научных экспериментов, кроме урочища Кут и балок. То есть, на данных участках осуществляется выпас рогатого скота и лошадей или периодическое сенокосение. Среди растительности равнинной степи с низким и средним по высоте травостоем встречаются участки кустарниковой и петрофитной степи. Длина маршрута – 5,3 км.

– урочище Кут (УК) относится к зоне ограниченного вмешательства и научных экспериментов. Основной тип фитоценозов – кустарниковые степи. Длина маршрута – 2,8 км.

– балки (Б) – балки Климушанская, Оболонская и Брандтовская. На склонах встречаются участки плакорно-степных фитоценозов и сообщества ксерофитных полукустарничков на известковых отслоениях. На дне балок обильны корневищные злаки и мезоксерофитное разнотравье. По всем балкам широко распространена древесно-кустарниковая растительность. Длина маршрута – 7,5 км.

– долина р. Грузской Еланчик (ДР) описана выше. Длина маршрута – 5,4 км.

– лесополосы (ЛП2) окружают заповедник с трёх сторон. Они не относятся к территории отделения «Хомутовская степь», однако являются убежищем и местом гнездования многих кормящихся в заповеднике птиц. Длина маршрута – 12 км.

Видовой состав, территориальное распределение и плотность гнездования орнитофауны определяли методом учётов птиц на маршрутах [7]. Общая протяженность маршрутов в гнездовой сезон составила 327 км. Экологические группы по предпочитаемому типу местообитания определены по В. П. Белику [1]. Для балльной характеристики численности птиц приняты градации обилия по А. П. Кузякину [4] с небольшими изменениями. Для анализа α - и β -разнообразия населения птиц в обследованных биотопах использованы такие индексы [8]: Шеннона (H'), Симпсона ($1/D$), Менхиника (D_{Mn}), Пиелу (e), Жаккара (C_j).

Результаты и обсуждение

За время проведения исследований в гнездовой сезон на территории заповедника и в его окрестностях было зарегистрировано 90 видов птиц (табл. 1), относящихся к 15 отрядам, из них гнездящихся (в том числе оседлых) или предположительно гнездящихся – 83 вида.

Таблица 1

Видовой состав птиц отделения «Хомутовская степь» в гнездовой период

Отряд	Вид	Характер пребывания [5]	
		2016 г.	2017 г.
Ciconiiformes	<i>Botaurus stellaris</i> (L., 1758)	гн.	гн.
	<i>Ixobrychus minutus</i> (L., 1766)	пгн.	гн.
	<i>Nycticorax nycticorax</i> (L., 1758)	пр.	пр.
	<i>Egretta alba</i> (L., 1758)	пгн.	пгн.
	<i>Ardea cinerea</i> L., 1758	гн.	гн.
	<i>Ardea purpurea</i> L., 1766	гн.	гн.
Anseriformes	<i>Cygnus olor</i> (Gmelin, 1789)	гн.	гн.
	<i>Tadorna ferruginea</i> (Pallas, 1764)	пгн.	гн.
	<i>Tadorna tadorna</i> (L., 1758)	пгн.	–
	<i>Anas platyrhynchos</i> L., 1758	гн.	осед.
Falconiformes	<i>Milvus migrans</i> (Boddaert, 1783)	пгн.	пгн.
	<i>Circus pygargus</i> (L., 1758)	гн.	гн.
	<i>Circus aeruginosus</i> (L., 1758)	гн.	пгн.
	<i>Accipiter gentilis</i> (L., 1758)	гн.	–
	<i>Buteo buteo</i> (L., 1758)	гн.	гн.
	<i>Falco vespertinus</i> L., 1766	пр.	гн.
	<i>Falco tinnunculus</i> L., 1758	гн.	гн.
Galliformes	<i>Perdix perdix</i> (L., 1758)	осед.	осед.
	<i>Coturnix coturnix</i> (L., 1758)	гн.	гн.
	<i>Phasianus colchicus</i> L., 1758	осед.	осед.
Gruiformes	<i>Anthropoides virgo</i> (L., 1758)	гн.	гн.
	<i>Crex crex</i> (L., 1758)	пр.	пгн.
	<i>Gallinula chloropus</i> (L., 1758)	гн.	гн.
	<i>Fulica atra</i> L., 1758	гн.	гн.
Charadriiformes	<i>Vanellus vanellus</i> (L., 1758)	гн.	пгн.
	<i>Gallinago gallinago</i> (L., 1758)	пр.	пр.
	<i>Larus ridibundus</i> L., 1766	пр.	пр.
	<i>Larus cachinnans</i> Pallas, 1811	пр.	пр.
Columbiformes	<i>Columba palumbus</i> L., 1758	гн.	гн.
	<i>Columba livia</i> Gmelin, 1789	гн.	гн.
	<i>Streptopelia decaocto</i> (Frivaldszky, 1838)	осед.	осед.
	<i>Streptopelia turtur</i> (L., 1758)	гн.	гн.
Cuculiformes	<i>Cuculus canorus</i> L., 1758	гн.	гн.
Strigiformes	<i>Asio otus</i> (L., 1758)	осед.	осед.
	<i>Asio flammeus</i> (Pontoppidan, 1763)	пгн.	пр.
	<i>Otus scops</i> (L., 1758)	гн.	гн.
	<i>Athene noctua</i> (Scopoli, 1769)	осед.	осед.
Caprimulgiformes	<i>Caprimulgus europaeus</i> L., 1758	гн.	пгн.

Отряд	Вид	Характер пребывания [5]	
		2016 г.	2017 г.
Apodiformes	<i>Apus apus</i> (L., 1758)	зал.	зал.
Coraciiformes	<i>Alcedo atthis</i> (L., 1758)	гн.	гн.
	<i>Merops apiaster</i> L., 1766	гн.	гн.
Upupiformes	<i>Upupa epops</i> L., 1758	гн.	гн.
Piciformes	<i>Jynx torquilla</i> L., 1758	гн.	гн.
	<i>Dendrocopos syriacus</i> (Hemprich et Ehrenberg, 1833)	осед.	осед.
Passeriformes	<i>Riparia riparia</i> (L., 1758)	гн.	гн.
	<i>Hirundo rustica</i> L., 1758	гн.	гн.
	<i>Delichon urbica</i> (L., 1758)	гн.	пр.
	<i>Galerida cristata</i> (L., 1758)	гн.	гн.
	<i>Melanocorypha calandra</i> (L., 1766)	гн.	гн.
	<i>Alauda arvensis</i> L., 1758	гн.	гн.
	<i>Anthus trivialis</i> (L., 1758)	гн.	гн.
	<i>Motacilla flava</i> L., 1758	гн.	гн.
	<i>Motacilla alba</i> L., 1758	гн.	гн.
	<i>Lanius collurio</i> L., 1758	гн.	гн.
	<i>Lanius minor</i> Gmelin, 1788	гн.	гн.
	<i>Oriolus oriolus</i> (L., 1758)	гн.	гн.
	<i>Sturnus vulgaris</i> L., 1758	гн.	гн.
	<i>Garrulus glandarius</i> (L., 1758)	осед.	осед.
	<i>Pica pica</i> (L., 1758)	гн.	гн.
	<i>Corvus cornix</i> L., 1758	гн.	гн.
	<i>Corvus corax</i> L., 1758	гн.	гн.
	<i>Locustella luscinioides</i> (Savi, 1824)	гн.	гн.
	<i>Acrocephalus schoenobaenus</i> (L., 1758)	гн.	гн.
	<i>Acrocephalus arundinaceus</i> (L., 1758)	гн.	гн.
	<i>Sylvia atricapilla</i> (L., 1758)	гн.	гн.
	<i>Sylvia communis</i> Latham, 1787	гн.	гн.
	<i>Sylvia curruca</i> (L., 1758)	гн.	гн.
	<i>Ficedula albicollis</i> (Temminck 1815)	гн.	гн.
	<i>Saxicola rubetra</i> (L., 1758)	гн.	гн.
	<i>Saxicola torquata</i> (L., 1766)	гн.	гн.
	<i>Oenanthe oenanthe</i> (L., 1758)	гн.	гн.
	<i>Phoenicurus ochruros</i> (S. G. Gmelin, 1774)	гн.	гн.
	<i>Erithacus rubecula</i> (L., 1758)	осед.	осед.
	<i>Luscinia luscinia</i> (L., 1758)	гн.	гн.
	<i>Luscinia svecica</i> (L., 1758)	гн.	гн.
	<i>Turdus merula</i> L., 1758	осед.	осед.
	<i>Turdus philomelos</i> C. L. Brehm, 1831	гн.	гн.
<i>Remiz pendulinus</i> (L., 1758)	гн.	гн.	
<i>Parus caeruleus</i> L., 1758	осед.	осед.	
<i>Parus major</i> L., 1758	осед.	осед.	
<i>Passer domesticus</i> (L., 1758)	осед.	осед.	
<i>Passer montanus</i> (L., 1758)	осед.	осед.	

Отряд	Вид	Характер пребывания [5]	
		2016 г.	2017 г.
	<i>Fringilla coelebs</i> L., 1758	осед.	осед.
	<i>Chloris chloris</i> (L., 1758)	осед.	осед.
	<i>Carduelis carduelis</i> (L., 1758)	осед.	осед.
	<i>Acanthis cannabina</i> (L., 1758)	осед.	осед.
	<i>Emberiza calandra</i> L., 1758	гн.	гн.
	<i>Emberiza citrinella</i> (L., 1758)	гн.	гн.
	<i>Emberiza hortulana</i> L., 1758	гн.	гн.
	<i>Emberiza melanocephala</i> Scopoli, 1769	гн.	гн.

Примечание. Характер пребывания: гн. – гнездящийся; пгн. – предположительно гнездящийся; зим. – зимующий; осед. – оседлый; пр. – пролетный; «-» – не встречался.

Из 90 отмеченных в гнездовой период видов птиц «Хомутовской степи» 7 видов не относится ни к одной природоохранной категории: хохотунья, вяхирь, обыкновенный скворец, сойка, сорока, серая ворона, домовый воробей. В списки Бернской конвенции внесено 83 вида, Боннской конвенции – 31, Соглашения по охране афро-евразийских мигрирующих водоплавающих птиц (АЕWA) – 12, Вашингтонской конвенции (СITES) – 12, Европейского красного списка – 5. Кроме того, здесь гнездится 3 вида, внесенных в Красный список МСОП: кобчик и чибис, которые близки к уязвимому положению, и обыкновенная горлица, находящаяся в уязвимом положении. К регионально редким относятся 20 видов птиц, характеристика пребывания и встреч которых приведена далее.

Среди представителей отряда Аистообразные на территории «Хомутовской степи» отмечено 4 регионально редких вида. Так, пара большой выпи гнездилась в зарослях тростника, окаймлённых тёрном, близ урочища Дальние тёрны. В долине р. Грузской Еланчик также отмечена одна пара, гнездившаяся среди плотных зарослей рогаза и тростника. Кваква была обычна во время весенней миграции с первых чисел апреля и до конца мая. Большие белые цапли регулярно встречались попарно и поодиночке вдоль русла реки. Предположительно они гнездились на иве в зарослях тростника в районе урочища Кут. Гнездо рыжей цапли располагалось среди густых зарослей тростника в районе южной границы заповедника, а в июле 2017 г. в долине реки держалось 2 взрослые и 3 молодые птицы.

К регионально редким относится 3 вида Гусеобразных. Пара лебедя-шипунa в оба года гнездилась в районе «Тюльпана». В августе 2017 г. на водяном плёсе учтены 2 взрослые птицы и 5 птенцов. Пара огаря наблюдалась на территории заповедника в оба года. В мае-июне 2017 г. отмечены птицы, вылетающие из старой сурчины на границе «абсолютно» заповедной степи и выпасаемого участка, но в послегнездовой период выводок не был обнаружен. В 2016 г. пеганка ежедневно в течение всего гнездового сезона пролетала около 9 часов утра над территорией заповедника от северной границы к р. Грузской Еланчик в районе урочища Кут или южного кордона и обратно. В начале гнездового сезона летал только самец, позже – вместе с самкой. Предположительно они гнездились в районе курганов в начале Климущанской балки. В 2017 г. вид не зарегистрирован.

Из отряда Соколообразные зарегистрировано 3 регионально редких вида. Чёрный коршун предположительно гнезвился в окрестностях заповедника, поскольку в оба года в гнездовой период наблюдались охотящиеся взрослые птицы в окрестностях заповедного участка и вдоль автотрассы «Донецк – Новоазовск» на участке от с. Коньково до с. Хомутово. На протяжении весенне-летнего периода пару лугового луна постоянно встречали на участке от кургана до Оболонской балки. Кобчика в оба года регистрировали на пролёте, а в 2017 г. он гнезвился в соседних с заповедником лесополосах.

К регионально редким относится 2 вида Журавлеобразных. Пара красавки встречалась в оба года исследований в агроценозе с северо-восточной стороны заповедника. В мае 2017 г.

отмечено 5 особей (2 взрослые и 3 молодые птицы держались порознь, но на небольшом расстоянии), а в конце июля наблюдались скопления до 11 особей на скошенном поле на правом берегу р. Грузской Еланчик напротив урочища Кут. Токующий самец коростеля отмечался на развилке Климушанской балки с начала мая до конца августа 2017 г. В оба года вид наблюдался на пролёте.

Единственный регионально редкий вид Ржанкообразных – озёрная чайка. Она была обычна во время кормовых кочевок: в долине р. Грузской Еланчик в весенне-летний период встречались как одиночные птицы, так и небольшие группы до 5 особей.

Из отряда Сивообразные зарегистрировано 3 регионально редких вида. Болотная сова отмечалась в течение всего гнездового сезона 2016 г. на участках степи с обилием миндаля и караганы в районе Красного яра. В апреле-мае 2017 г. встречалась одна особь, которая не подпускала к себе ближе 400-500 м. Весной сплюшка прилетала в середине апреля – начале мая. Она отмечена на гнездовании в окрестных лесополосах, а в 2017 г. – и на усадьбе. Домовый сыч гнезвился в прилегающем к заповеднику с. Самсоново.

К регионально редким относится 4 вида Воробьинообразных. Береговая ласточка гнездилась в обрывах вдоль р. Грузской Еланчик. Степной жаворонок гнезвился на участках с пастбищной нагрузкой и граничащих с «абсолютно» заповедной степью, также был отмечен в смежных агроценозах с зерновыми культурами. В долине р. Грузской Еланчик гнезилось около 8 пар ремеза. До 15 пар черноголовой овсянки гнезилось на территории заповедника (по Оболонской и Климушанской балке) и в окрестностях (вдоль дорог, на заброшенных фермах).

Биотопическое распределение было прослежено на начало июня 2016 и 2017 гг. для 70 видов птиц. Так, наибольшее число видов обнаружено на степных участках (32 вида), а наименьшее – в агроценозах (18) и лесополосах (22). В остальных биотопах (одноэтажная жилая застройка, долина р. Грузской Еланчик, заброшенные фермы) зарегистрировано по 25-26 видов птиц. Встречаемость одних и тех же видов птиц по биотопам различна. Так, 29 видов встречено только в каком-либо одном из 6 обследованных биотопов, 17 видов – в двух биотопах, 12 видов – в трёх биотопах. В 4 обследованных биотопах зарегистрировано 10 видов: фазан, обыкновенная кукушка, золотистая щурка, удод, полевой жаворонок, сорока, большая синица, черноголовый щегол, просянка, садовая овсянка. Деревенская ласточка и обыкновенный скворец не отмечены только в лесополосах.

При анализе структуры населения птиц по предпочитаемым типам мест обитания выделены следующие экологические группы: лимнофилы (16 видов), дендрофилы (30 видов), кампофилы (12 видов), склерофилы (12 видов). Распределение этих экологических групп по биотопам представлено на рис. 1.

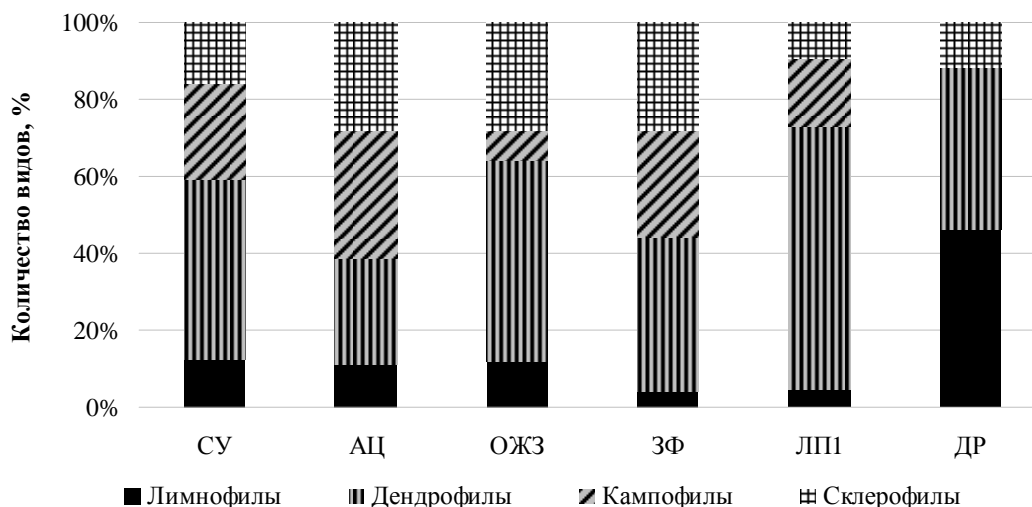


Рис. 1. Структура населения птиц по предпочитаемым типам мест обитания: обозначения биотопов приведены в разделе «Материал и методы исследования»

В долине р. Грузской Еланчик почти половина населения птиц представлена лимнофилами. В остальных биотопах их количество незначительно – от 1 до 4 видов. Среди лимнофилов обследованной территории наиболее часто встречаемый вид – дроздовидная камышевка.

Во всех биотопах количество дендрофильных видов высоко. Они преобладают в лесополосах и одноэтажной жилой застройке. В степи, долине р. Грузской Еланчик и на заброшенных фермах их количество почти достигает половины, а в агроценозах – трети населения птиц этих биотопов. Среди дендрофилов преобладают садовая овсянка, серая славка, обыкновенный жулан, обыкновенная кукушка, обыкновенная иволга и кольчатая горлица.

В степи, агроценозах и на заброшенных фермах доля кампофилов составляет от четверти до трети населения птиц. В лесополосах отмечено 4 вида, а в одноэтажной жилой застройке – 2 вида. В долине р. Грузской Еланчик представители этой группы не обнаружены. Среди кампофилов преобладают полевой жаворонок и просянка.

На заброшенных фермах и в одноэтажной жилой застройке встречено по 7 видов склерофилов, что составляет около трети населения этих биотопов. Степи и агроценозы представители данной экологической группы обычно используют в качестве кормовых биотопов. Здесь отмечено по 5 видов. Наименьшее их количество отмечено в долине р. Грузской Еланчик и лесополосах. Среди склерофилов чаще встречались домовый и полевой воробьи, деревенская ласточка.

Данные о плотности гнездования (табл. 2) рассчитаны для 44 гнездящихся видов в 6 биотопах на территории отделения «Хомутовская степь» и его ближайших окрестностей. В результаты количественных учетов не вошли виды, использующие данные участки исключительно в качестве кормовых.

Таблица 2

Гнездовое население птиц отделения «Хомутовская степь», пар/км²

№ п/п	Название вида	Биотоп					
		АЗС	СХ	УК	Б	ДР	ЛП2
1	<i>Falco tinnunculus</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7
2	<i>Perdix perdix</i>	1,9	1,9	3,6	2,0	0,0	0,0
3	<i>Coturnix coturnix</i>	0,0	3,8	1,8	0,7	0,0	0,0
4	<i>Phasianus colchicus</i>	9,4	1,9	5,4	7,3	1,9	0,0
6	<i>Gallinula chloropus</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0
5	<i>Fulica atra</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	0,0
7	<i>Columba palumbus</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	1,7
9	<i>Streptopelia decaocto</i>	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	1,7
8	<i>Streptopelia turtur</i>	0,0	0,0	0,0	0,7	0,9	0,8
10	<i>Cuculus canorus</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	3,7	0,0
11	<i>Otus scops</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5
12	<i>Upupa epops</i>	0,0	0,9	0,0	0,7	0,0	0,0
13	<i>Jynx torquilla</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3
14	<i>Dendrocopos syriacus</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2
15	<i>Alauda arvensis</i>	24,3	43,4	7,1	11,3	0,0	0,0
16	<i>Anthus trivialis</i>	1,9	3,8	0,0	8,7	3,7	8,3
17	<i>Motacilla flava</i>	5,6	0,0	1,8	0,0	0,9	0,0
18	<i>Motacilla alba</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0

№ п/п	Название вида	Биотоп					
		АЗС	СХ	УК	Б	ДР	ЛП2
19	<i>Lanius collurio</i>	5,6	4,7	3,6	4,0	1,9	4,2
20	<i>Lanius minor</i>	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	2,5
21	<i>Oriolus oriolus</i>	0,0	0,0	0,0	0,7	1,9	0,0
22	<i>Sturnus vulgaris</i>	0,0	0,0	0,0	3,3	6,5	9,2
23	<i>Garrulus glandarius</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7
24	<i>Pica pica</i>	1,9	1,9	0,0	1,3	0,0	1,7
25	<i>Corvus corax</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	1,7
32	<i>Locustella luscinioides</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0
33	<i>Acrocephalus arundinaceus</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	6,5	0,0
34	<i>Sylvia communis</i>	18,7	14,2	3,6	8,7	6,5	0,0
28	<i>Saxicola rubetra</i>	0,0	0,0	3,6	1,3	0,0	0,0
29	<i>Saxicola torquata</i>	22,5	17,0	0,0	10,0	0,0	0,0
31	<i>Luscinia luscinia</i>	5,6	10,4	0,0	6,7	9,3	7,5
30	<i>Luscinia svecica</i>	0,0	0,0	0,0	2,0	0,9	0,0
26	<i>Turdus merula</i>	0,0	0,0	0,0	2,7	6,5	1,7
27	<i>Turdus philomelos</i>	0,0	0,9	1,8	2,7	5,6	1,7
35	<i>Remiz pendulinus</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6	0,0
36	<i>Parus caeruleus</i>	3,7	2,8	0,0	3,3	7,4	0,0
37	<i>Parus major</i>	0,0	0,0	3,6	4,0	9,3	0,0
38	<i>Passer montanus</i>	0,0	0,0	5,4	4,7	0,0	0,0
39	<i>Chloris chloris</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	11,1	5,8
40	<i>Carduelis carduelis</i>	3,7	2,8	0,0	3,3	7,4	6,7
41	<i>Acanthis cannabina</i>	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0
42	<i>Emberiza calandra</i>	31,8	17,9	10,7	12,7	3,7	2,5
44	<i>Emberiza hortulana</i>	20,6	29,2	7,1	8,7	7,4	10,8
43	<i>Emberiza melanocephala</i>	0,0	0,0	0,0	2,7	0,0	0,0
Число видов		14*	17	14*	26	27**	21
Суммарная плотность, пар/км ²		157,3	160,4**	60,7*	115,3	118,5	81,7
Индекс Шеннона (H')		2,27	2,25*	2,49	2,95	3,05**	2,79
Индекс Симпсона (1/D)		8,33	7,13*	12,50	18,30	21,61**	16,01
Индекс Менхиника (D _{Мп})		1,12*	1,34	1,80	2,42	2,48**	2,32
Индекс Пиелу (e)		0,86	0,79*	0,94**	0,91	0,93	0,92

Примечания:

1. Обозначения биотопов приведены в разделе «Материал и методы исследования»;
2. Значения параметров: * – минимальные, ** – максимальные.

Число гнездящихся видов птиц по биотопам варьирует от 14 в урочище Кут и «абсолютно» заповедной степи до 26-27 в балках и долине р. Грузской Еланчик. Наибольшая суммарная плотность гнездования отмечена в «абсолютно» заповедной степи и на степных участках с регулируемой хозяйственной нагрузкой (157,3 и 160,4 пар/км² соответственно), а минимальная (60,7 пар/км²) – в урочище Кут. Видовое разнообразие относительно высоко во всех обследованных биотопах и варьирует (по индексу Шеннона) в пределах от 2,25 до 3,05; при этом максимальное значение наблюдается в долине р. Грузской Еланчик, а минимальное

– на степных участках с регулируемой хозяйственной нагрузкой. Индекс доминирования Симпсона варьирует в широких пределах от 7,13 на степных участках с регулируемой хозяйственной нагрузкой до 21,61 в долине р. Грузской Еланчик. Согласно индексу Менхиника наибольшее видовое богатство наблюдается в долине р. Грузской Еланчик (2,48), а наименьшее – в «абсолютно» заповедной степи (1,12). Наибольшая выравненность отмечена в урочище Кут, а наименьшая – на степных участках с регулируемой хозяйственной нагрузкой. Таким образом, максимальные значения четырёх параметров из шести анализируемых относятся к долине р. Грузской Еланчик, – при высоком значении индекса Пиелу и средней суммарной плотности гнездящихся видов. Для степных участков с регулируемой хозяйственной нагрузкой значения трёх параметров минимальны при низких значениях числа видов и индекса Менхиника, но и при максимальной суммарной плотности. В то же время, при минимальном числе видов и суммарной плотности в урочище Кут наблюдается максимальная выравненность.

Результаты оценки обилия гнездящихся птиц (рис. 2) показали, что на обследованной территории отсутствуют очень редкие и очень многочисленые виды. Кроме того, редкие виды не отмечены в урочище Кут и «абсолютно» заповедной степи, а обычные – на степных участках с регулируемой хозяйственной нагрузкой. Доля редких видов незначительна на всех участках (до 4%), обычных – в «абсолютно» заповедной степи (6%), а многочисленных – в долине р. Грузской Еланчик (9,4%). Менее четверти населения птиц представлено малочисленными видами в «абсолютно» заповедной степи и степных участках с регулируемой хозяйственной нагрузкой, обычными – в урочище Кут, многочисленными – в урочище Кут и лесополосах. Значителен вклад (30%) в население птиц малочисленных видов в долине р. Грузской Еланчик. Население птиц балок почти поровну распределяется по трём группам обилия (29-35%), лесополос – по двум (38-47%). Более половины (56-59%) населения птиц составляют малочисленные виды в урочище Кут, а также обычные – в долине р. Грузской Еланчик. Основу населения птиц (> 75%) «абсолютно» заповедной степи и степных участков с регулируемой хозяйственной нагрузкой составляют многочисленные виды.

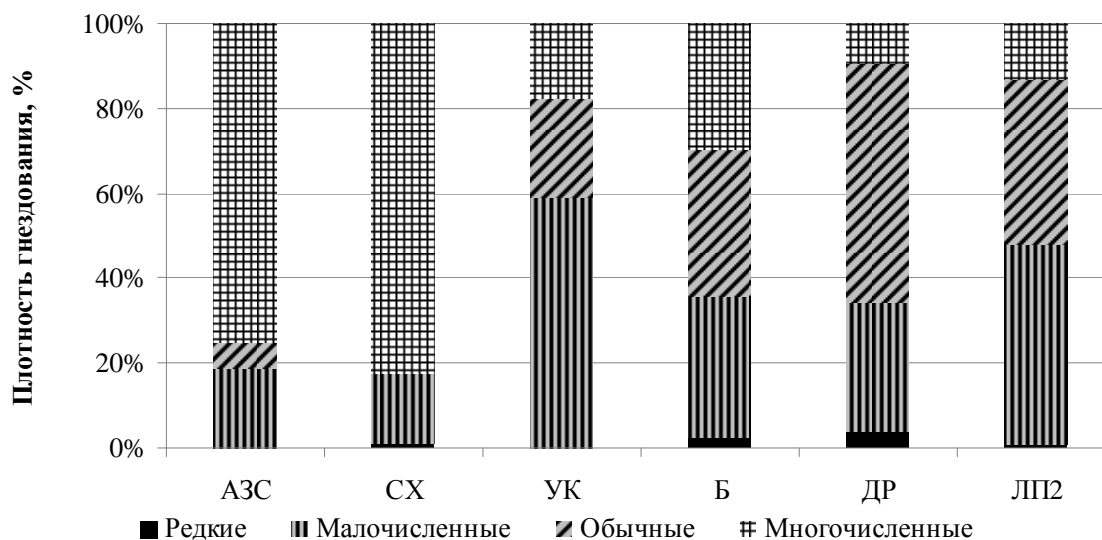


Рис. 2. Обилие гнездящихся птиц в некоторых биотопах:
обозначения биотопов приведены в разделе «Материал и методы исследования»

К группе многочисленных в разных биотопах «Хомутовской степи» относится 7 видов птиц. При этом 2 из них имеют высокую численность только в одном биотопе: обыкновенная зеленушка в долине р. Грузской Еланчик и обыкновенный соловей на степных участках с регулируемой хозяйственной нагрузкой. Серая славка многочисленна на степных участках с

регулируемой хозяйственной нагрузкой и в «абсолютно» заповедной степи. Кроме неё, в этих биотопах широко распространены полевой жаворонок, черноголовый чекан и садовая овсянка, при этом первые два вида также многочисленны в балках, а последний – в лесополосах. В урочище Кут, балках, степных участках с регулируемой хозяйственной нагрузкой и «абсолютно» заповедной степи в больших количествах гнездится просянка.

В урочище Кут, лесополосах и долине р. Грузской Еланчик отмечено только по одному многочисленному виду – это просянка, садовая овсянка и обыкновенная зеленушка соответственно. При этом плотность гнездования этих видов невысока – от 10,7 до 11,1 пар/км². В балках численность 3-х видов этой группы также сравнительно невысока – от 10,0 до 12,7 пар/км²; преобладающим видом является просянка. В «абсолютно» заповедной степи численность 5 видов данной группы возрастает до 18,7-31,8 пар/км² с преобладанием просянки. Группу многочисленных на степных участках с регулируемой хозяйственной нагрузкой образует 6 видов с плотностью гнездования, варьирующей в широких пределах – от 10,4 до 43,4 пар/км²; преобладающим видом является полевой жаворонок.

Сравнение сообществ гнездящихся птиц обследованных биотопов с использованием индекса Жаккара (рис. 3) показало низкую и среднюю степень их сходства. Из 15 выполненных попарных сравнений только в двух случаях степень сходства превышает 50%: степные участки с регулируемой хозяйственной нагрузкой с «абсолютно» заповедной степью (72%) и балками (59%). К следующей группе сходства (40-48%) относятся балки с урочищем Кут, «абсолютно» заповедной степью и долиной р. Грузской Еланчик, а также урочище Кут с «абсолютно» заповедной степью и степными участками с регулируемой хозяйственной нагрузкой. Наименьшее сходство (17%) отмечено между урочищем Кут и лесополосами. Степень сходства остальных сравниваемых пар колеблется от 24 до 37%. Таким образом, на обследованной территории более или менее четко выделяется группа сходных биотопов: степные участки с регулируемой хозяйственной нагрузкой, «абсолютно» заповедная степь, балки и урочище Кут, – участков степной растительности с различным количеством кустарников.

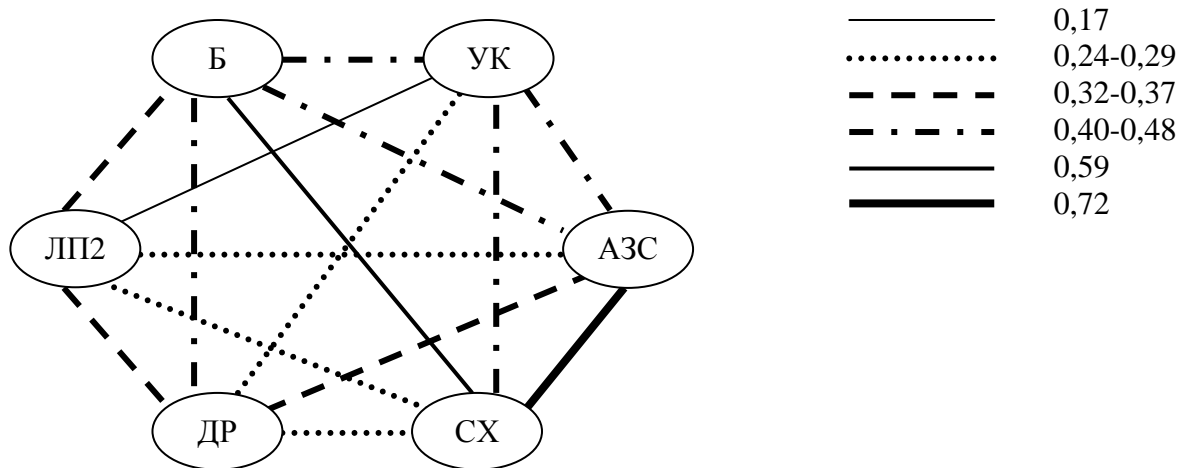


Рис. 3. Степень сходства видового состава птиц отделения «Хомутовская степь»: обозначения биотопов приведены в разделе «Материал и методы исследования»; числами показаны диапазоны значений индекса Жаккара

Выводы

В гнездовой период 2016-2017 гг. в отделении «Хомутовская степь» БООПТРЗ «Хомутовская степь – Меотида» отмечено 90 видов птиц, относящихся к 15 отрядам, из них гнездящихся (в том числе оседлых) или предположительно гнездящихся – 83 вида. К регионально редким относятся 20 видов птиц, а 3 вида (кобчик, чибис и обыкновенная горлица) охраняются на высшем международном уровне и внесены в Красный список МСОП.

Среди биотопов отделения «Хомутовская степь» и его окрестностей наибольшее число видов обнаружено на степных участках (32 вида), а наименьшее – в агроценозах (18) и лесополосах (22). Наиболее биотопически пластичными видами являются деревенская ласточка и обыкновенный скворец. Среди экологических групп по предпочитаемым типам мест обитания наибольшее число видов отмечено у дендрофилов (30 видов), при этом их вклад в население птиц значителен во всех биотопах, что связано с широким распространением древесно-кустарниковой растительности даже в открытых местообитаниях, а также высоким разнообразием кормовых стаций дендрофильных видов. Склерофилы, кампофилы и лимнофилы немногочисленны во всех биотопах. Исключение составляет сообщество птиц долины р. Грузской Еланчик, в котором высока доля лимнофилов, однако отсутствуют кампофилы. Наиболее часто встречаемые виды на обследованной территории: кольчатая горлица, обыкновенная кукушка, деревенская ласточка, полевой жаворонок, обыкновенный жулан, обыкновенная иволга, дроздовидная камышевка, серая славка, домовый и полевой воробьи, просянка, садовая овсянка.

Все обследованные на территории отделения «Хомутовская степь» сообщества птиц различных биотопов характеризуются высоким видовым разнообразием и богатством. При этом самые высокие показатели α -разнообразия наблюдаются в долине р. Грузской Еланчик, где отмечено большое количество обычных и редких видов, а самые низкие – на степных участках с регулируемой хозяйственной нагрузкой и в «абсолютно» заповедной степи, где основу населения птиц составляют многочисленные виды. При анализе β -разнообразия согласно индексу Жаккара на обследованной территории более или менее четко выделяется группа сходных биотопов: степные участки с регулируемой хозяйственной нагрузкой, «абсолютно» заповедная степь, балки и урочище Кут, – участков степной растительности с различным количеством кустарников.

Список литературы

1. *Белик В. П.* Птицы степного Придонья : формирование фауны, её антропогенная трансформация и вопросы охраны / В. П. Белик. – Ростов-на-Дону : Изд-во РГПУ, 2000. – 376 с.
2. *Гелюта В. П.* Заповідник «Хомутовський степ». План управління / В. П. Гелюта, А. П. Генов, В. С. Ткаченко, Д. В. Мінтер. – К. : Академперіодика, 2002. – 40 с.
3. *Ишутнинова Л. В.* Фауна и биотопические предпочтения гнездящихся птиц отделения «Хомутовская степь» в 2017 г. / Л. В. Ишутнинова, О. Г. Суханова, М. А. Чайка // Проблемы и перспективы современной науки : матер. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Луганск : Изд-во ЛНАУ, 2017. – С. 346-349.
4. *Кузякин А. Н.* Зоогеография СССР / А. Н. Кузякин // Учен. зап. Моск. обл. пед. ин-та им. Н. К. Крупской. – М., 1962. – Т. 109, вып. 1. – 182 с.
5. *Летопись природы Биосферной особо охраняемой природной территории республиканского значения «Хомутовская степь – Меотида».* – Хомутово, Новоазовск, 2015-2017.
6. *Летопись природы Украинского степного природного заповедника. Отд. «Хомутовская степь».* – Хомутово, 1990-2013. – Т. 19-42.
7. *Новиков Г. А.* Полевые исследования экологии наземных позвоночных животных / Г. А. Новиков. – Л. : Сов. наука, 1949. – 601 с.
8. *Песенко Ю. А.* Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях / Ю. А. Песенко. – М. : Наука, 1982. – 288 с.
9. *Тимошенко В. А.* Анализ частоты встречаемости воробьиных птиц на основных маршрутах заповедника «Хомутовская степь» / В. А. Тимошенко // Збереження степів України : матер. Міжнар. наук. конф. (27–29 травня 2002 р.). – К. : Академперіодика, 2002. – С. 130-135.

10. Тимошенко В. А. Использование территории заповедника «Хомутовская степь» редкими видами птиц и их охрана / В. А. Тимошенко // Сборник памяти Станчинского ... – Курск, 2003. – С. 608-612.

11. Тимошенко В. А. Доповнення до анотованого списку видів птахів заповідника «Хомутовський степ» / В. А. Тимошенко, В. В. Тимошенко // Сучасні проблеми зоологічної науки : матер. Всеукр. наук. конф. «Наукові читання, присвячені 170-річчю заснування кафедри зоології та 100-річчю з дня народження професора О. Б. Кістяківського» (Київ – Канів, 16–18 вересня 2004 р.). – К. : ВГЦ Київський університет, 2004. – С. 176-177.

12. Тимошенко В. А. Уточнення до анотованого списку видів птахів заповідника «Хомутовський степ» / В. А. Тимошенко, В. В. Тимошенко // Збереження біорізноманітності на південному сході України : матер. наук.-практ. конф. (Донецьк, 14 вересня 2004 р.). – Донецьк : ТОВ Лебідь, 2004. – С. 78-79.

Chaika M. A., Sukhanova O. G. Birds fauna and population of the «Khomutovskaya steppe» department of biosphere specially protected natural territory of republican importance «Khomutovskaya steppe – Meotida» in the 2016-2017 breeding period. – The article presents the results of the research study of bird communities in the breeding period 2016-2017 in the «Khomutovskaya Steppe» department of the biosphere specially protected natural territory of republican importance «Khomutovskaya Steppe – Meotida». An annotated list of birds and characteristics of meetings of rare species are given. The distribution of bird species by biotopes and ecological groups, the degree of species diversity, species richness and similarity to the bird communities of the main biotopes of the reserve are established.

Key words: Khomutovskaya steppe, avifauna, bird population, biotopic distribution, diversity indexes.

© А. Д. Штирц, Ю. Е. Колосова

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА НАСЕЛЕНИЯ ПАНЦИРНЫХ КЛЕЩЕЙ ОТДЕЛЕНИЯ «МЕОТИДА» БООПТРЗ «ХОМУТОВСКАЯ СТЕПЬ – МЕОТИДА» В ОСЕННИЙ ПЕРИОД

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

Штирц А. Д., Колосова Ю. Е. Экологическая структура населения панцирных клещей отделения «Меотида» БООПТРЗ «Хомутовская степь – Меотида» в осенний период. – Установлен видовой состав и проанализированы основные экологические характеристики сообществ панцирных клещей (видовое богатство, средняя плотность населения, экологическое разнообразие, структура доминирования и соотношение жизненных форм) в 5-ти биотопах отделения «Меотида» БООПТРЗ «Хомутовская степь – Меотида» в осенний период. Проведена оценка состояния окружающей среды по интегральному показателю сообществ орибатид.

Ключевые слова: панцирные клещи, орибатиды, экологическая структура, сообщества, «Хомутовская степь – Меотида».

Введение

Фауна орибатид побережья Азовского моря изучена очень слабо. В 1969 г. Н. Н. Ярошенко [8] в прибрежной зоне на территории Донецкой области было собрано 70 проб в береговой зоне (шириной до 300 м), из которых впоследствии было извлечено 1650 экз. панцирных клещей 44 видов, относящихся к 35 родам и 27 семействам. В дерне, глинистых и суглинистых почвах на участках вдоль побережья обнаружено 24 вида, 5 из них доминирующие. В посадках желтой акации, клена полевого, лоха узколистного, тутовых деревьев отмечен 21 вид, из них 6 доминирующих. На косах, лиманах и в прибрежной зоне моря обнаружено 16 видов, из них 7 доминирующих. В наносах водорослей обнаружено 15 видов орибатид, 6 из которых являются доминирующими. В фауне орибатид побережья Азовского моря обнаружен новый вид – *Zygoribatula* sp. n.; *Hermannia scabra* (Koch) найден впервые на Украине. Наиболее распространенные виды – *Oppia* sp., *Scutovertex minutus* (Koch), *Passalozetes bidactylus* (Coggi), *Zygoribatula frisiae* (Oudms.), *Scheloribatus laevigatus* (Koch), *Tectocephus velatus* Mich. Отмечено, что восемь видов орибатид являются промежуточными хозяевами ленточных червей (Anophlocephalidae) сельскохозяйственных животных [8, 9].

Цель данного исследования – установить видовой состав и исследовать особенности экологической структуры населения панцирных клещей в осенний период на территории отделения «Меотида» БООПТРЗ «Хомутовская степь – Меотида» (в окр. пос. Седово).

Материал и методика исследования

Сбор материала проводился в сентябре 2016 г. на территории отделения «Меотида» БООПТРЗ «Хомутовская степь – Меотида». Пробы были собраны в пяти биотопах: сосняк на берегу моря, лиман, сосняк у автотрассы «Новоазовск – Седово», лесополоса и степной участок. Всего было собрано 37 стандартных почвенных проб объемом 250 см³, из которых было извлечено 324 экз. имаго панцирных клещей, относящихся к 20 видам.

Отбор почвенных проб и выгонка клещей в термоеклекторах проводились по общепринятой методике Е. М. Булановой-Захваткиной [1]. Видовая принадлежность панцирных клещей устанавливалась при микроскопировании с помощью микроскопа Zeiss Primo Star (Германия). Для анализа структуры доминирования сообществ использовались градации доминирования по шкале Г. Энгельманна [10] для микроартропод, где: E – эудоминант (>40,0%), D – доминант (12,5–39,9%), SD – субдоминант (4,0–12,4%), R – рецедент (1,3–3,9%), SR – субрецедент (<1,3%). Анализ распределения жизненных форм проведен в соответствии с работами Д. А. Криволицкого [2, 3]. Для оценки экологического разнообразия сообществ панцирных клещей исследуемых биотопов использованы индексы

Шеннона, Пиелу, Маргалефа, Мэнхника, Симпсона и Бергера-Паркера [4]. Оценка состояния окружающей среды с использованием интегрального показателя сообществ панцирных клещей проведена в соответствии с методикой А. Д. Штирца [6]. Все расчеты проведены в MS Excel.

Результаты и обсуждение

Результаты проведенных исследований в осенний период 2016 г. отражены в табл. 1.

Таблица 1

Видовой состав, численность и средняя плотность населения панцирных клещей исследуемых биотопов отделения «Меотида» БООПТРЗ «Хомутовская степь – Меотида» (сентябрь 2016 г.)

№ п/п	Виды	Биотопы				
		Сосняк у берега моря	Лиман	Сосняк у автотрассы	Лесополоса	Степь
1	<i>Sphaerochthonius dilutus</i> (Sergienko, 1991)	0	2	0	0	0
2	<i>Liodes teleproctus</i> (Hermann, 1804)	0	1	1	0	0
3	<i>Belba dubinini</i> (Bulanova-Zachvatkina, 1962)	1	1	5	5	0
4	<i>Microzetorches emeryi</i> (Coggi, 1898)	0	0	110	24	1
5	<i>Tectocephus velatus</i> (Michael, 1880)	2	0	14	18	0
6	<i>Ramusella mihelcici</i> (Perez-Inigo, 1965)	0	1	0	1	0
7	<i>Passalozetes africanus</i> (Grandjean, 1932)	9	7	0	0	3
8	<i>Scutovertex minutus</i> (C. L. Koch, 1836)	0	0	0	0	35
9	<i>Peloribatus longipilosus</i> (Csiszar, 1962)	0	0	1	0	0
10	<i>Zygoribatula exarata</i> (Berlese, 1917)	3	23	0	0	1
11	<i>Zygorybatula frisiae</i> (Oudemans, 1900)	0	0	15	0	1
12	<i>Protoribates capucinus</i> (Berlese, 1908)	1	0	1	1	0
13	<i>Scheloribates fimbriatus</i> (Thor, 1930)	0	0	0	0	3
14	<i>Scheloribates laevigatus</i> (C. L. Koch, 1835)	4	0	0	0	2
15	<i>Ceratozetes cf. minutissimus</i> (Willmann, 1951)	0	0	0	0	1
16	<i>Latilamellobates naltschicki</i> Shaldybina, 1971	3	0	0	0	0
17	<i>Punctoribates</i> sp. (Berlese, 1908)	3	0	0	0	0
18	<i>Peloptulus reticulatus</i> (Mihelčič, 1957)	0	0	0	5	0
19	<i>Tectoribates ornatus</i> (Schuster, 1958)	0	0	0	11	0
20	<i>Galumna</i> sp. (van Heyden, 1826)	0	0	0	4	0
Количество проб		7	7	7	7	9
Численность (экз.)		26	35	147	69	47
Количество видов		8	6	7	8	8
Средняя плотность (экз./м ²)		1490	2000	8400	3940	2090

Показатели средней плотности населения панцирных клещей отделения «Меотида» БООПТРЗ «Хомутовская степь – Меотида» в осенний период (рис. 1) продемонстрировали тенденцию к значительному уменьшению во всех биотопах, кроме сосняка у автотрассы, по сравнению с весенним периодом [7]. В сосняке у берега моря плотность населения уменьшилась практически в 10 раз (с 14060 экз./м² весной до 1490 экз./м² осенью); в лимане – в 3 раза (с 6230 экз./м² весной до 2000 экз./м² осенью); на степном участке – в 3 раза (с 6510 экз./м² весной до 2090 экз./м² осенью); в лесополосе – в 2 раза (с 7070 экз./м² весной до 3940 экз./м² осенью). В сосняке у автотрассы показатель средней плотности населения несколько увеличился – с 7430 экз./м² весной до 8400 экз./м² осенью. В целом по заповеднику наблюдается явное снижение показателей средней плотности населения орибатид в осенний период.

Видовое богатство панцирных клещей исследуемых биотопов также продемонстрировало тенденцию к снижению в осенний период (кроме лимана и сосняка у автотрассы). В сосняке у берега моря в весенний период было обнаружено 15 видов орибатид, тогда как в осенний период – только 8. В осенний период в лесополосе и на степном участке обнаружено по 8 видов орибатид, тогда как весной – 18 и 24 вида, соответственно. В лимане отмечено 4 вида весной и 6 – осенью, в сосняке у автотрассы – 7 видов весной и 8 – осенью.

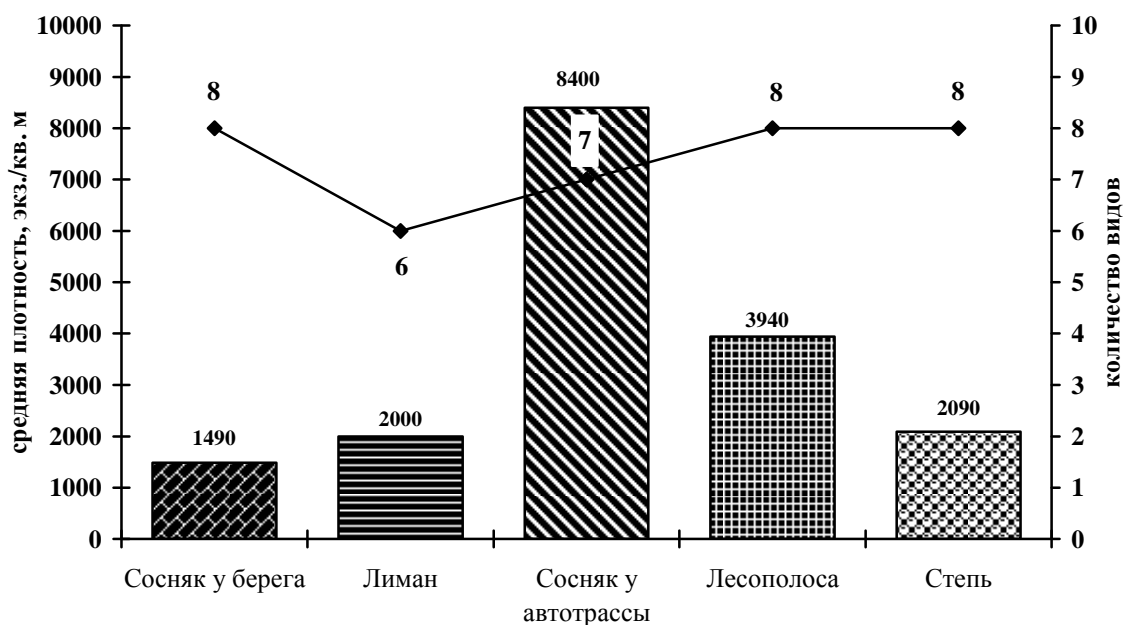


Рис. 1. Средняя плотность населения и видовое богатство панцирных клещей исследуемых биотопов отделения «Меотида» БООПТРЗ «Хомутовская степь – Меотида» (сентябрь 2016 г.)

Максимальные значения всех анализируемых индексов экологического разнообразия (табл. 2) наблюдаются в сосняке у берега моря. Минимальные показатели всех индексов экологического разнообразия зафиксированы в сосняке у автотрассы, что вызвано супердоминированием одного вида – *Microzetorches emeryi*. Можно отметить рост индекса Шеннона на всех участках (кроме лесополосы) в осенний период, по сравнению с весенним [7]. Наблюдается уменьшение индекса выравненности Пиелу в большинстве исследуемых биотопов, кроме лимана и сосняка у автотрассы. Индекс Симпсона, по сравнению с весенним периодом, увеличился на участках лимана, сосняков у берега моря и у автотрассы. Следует отметить существенный рост индекса Маргалефа на всех участках (кроме лесополосы). Осенью значительно возрос индекс Менхиника на всех без исключения участках. Индекс Бергера-Паркера, по сравнению с весенним периодом, также увеличился в большинстве биотопов (кроме степного участка и лесополосы).

**Индексы экологического разнообразия панцирных клещей исследуемых биотопов
отделения «Меотида» БООПТРЗ «Хомутовская степь – Меотида» (сентябрь 2016 г.)**

Индексы экологического разнообразия	Биотопы				
	Сосняк у берега моря	Лиман	Сосняк у автотрассы	Лесополоса	Степь
Индекс Шеннона	1,86	1,07	0,89	1,68	1,03
Индекс Пиелу	0,62	0,36	0,29	0,56	0,34
Индекс Симпсона	6,25	2,16	1,73	4,61	1,79
Индекс Маргалефа	5,83	5,34	3,81	4,49	4,93
Индекс Менхиника	3,92	3,38	1,65	2,41	2,92
Индекс Бергера-Паркера	2,89	1,52	1,34	2,87	1,34

Анализ структуры доминирования сообщества панцирных клещей в сосняке у берега моря показал, что половина всего населения представлена доминантами *P. africanus* (34,6%) и *S. laevigatus* (15,4%). На долю 6 субдоминантов приходится 50%. Редкие виды (рецентенты и субрецентенты) отсутствуют.

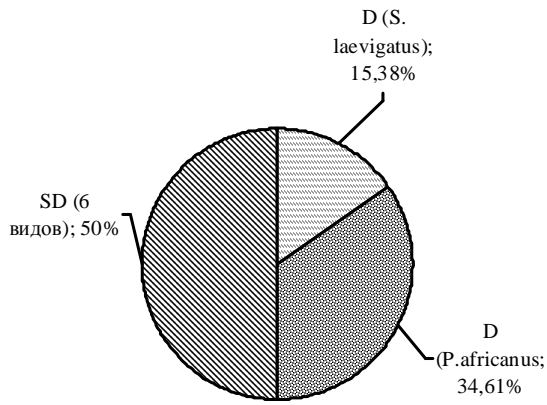
В лимане почти 66% всего населения приходится на долю эудоминанта *Z. exarata*. Доля доминанта *P. africanus* составляет 20%, к субдоминантам отнесен 1 вид (5,7%), к рецентентам – 3 вида (8,5%). Группа субрецентентов отсутствует.

В сосняке у автотрассы отмечено явное доминирование одного вида – *M. emeryi*, доля которого составляет 74,8%. К субдоминантам отнесены 2 вида (19,7%), к редким – 4 вида (рецентентов – 3,4%, субрецентентов – 2,0%).

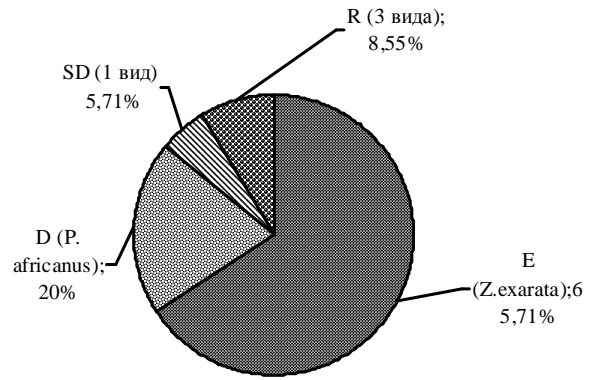
Структура доминирования орибатид в лесополосе характеризуется отсутствием эудоминантов. На долю трех доминирующих видов – *T. velatus*, *M. emeryi*, *T. ornatus* приходится 76,8%. К субдоминантам отнесены 3 вида (20,3%), к рецентентам – 2 вида (2,9%). Группа субрецентентов отсутствует.

Структура доминирования степного участка, по сравнению с весенним периодом [7], претерпела существенные изменения. Если весной структура доминирования данного участка была близка к таковой на заповедных степных территориях Донбасса, то осенью она разительно от них отличается – единственный эудоминант *S. minutus* составляет почти 3/4 всего населения. Доля трех субдоминантов – 17%, четырех рецентентов – 8,5%. Группа субрецентентов отсутствует.

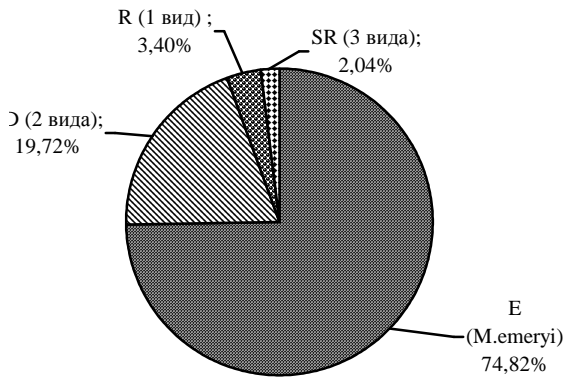
Анализ структуры доминирования панцирных клещей исследуемых биотопов в осенний период показал изменение, в первую очередь, состава доминирующих видов, упрощение структуры сообщества и исчезновение редких видов. В сосняке у берега моря осенью исчезли рецентенты и субрецентенты. Структура доминирования орибатид лимана стала более разнообразной, однако осталась такой же невыравненной. По сравнению с весенним периодом здесь изменился эудоминант и появился ещё один доминирующий вид, а также отмечены рецентенты. Распределение панцирных клещей в сосняке у автотрассы осталось таким же неравномерным. Здесь тоже произошла смена эудоминанта, значительную долю населения составляют субдоминанты, отсутствующие весной; уменьшились количество и доля редких видов. На степном участке структура доминирования претерпела существенные изменения – происходит смена доминирующих видов, появляется эудоминант, доля которого составляет почти 3/4 всего населения (в весенний период этот вид отсутствовал). Исчезли доминанты и субдоминанты, сократилось количество и доля редких видов. Лишь сообщество панцирных клещей лесополосы сохранило структуру доминирования, приближенную к весенней, однако и здесь произошла смена доминантов, сократилось количество и доля субдоминантов и рецентентов, а группа субрецентентов полностью исчезла.



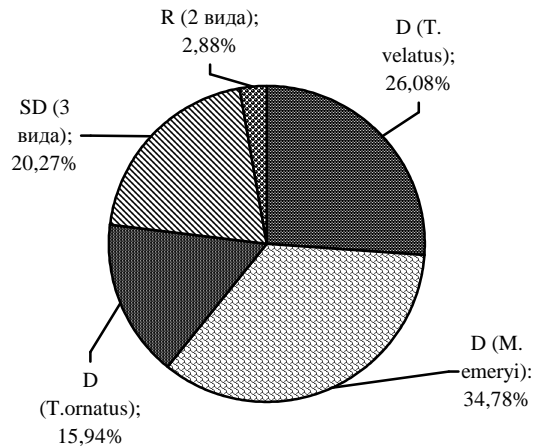
Сосняк у берега моря



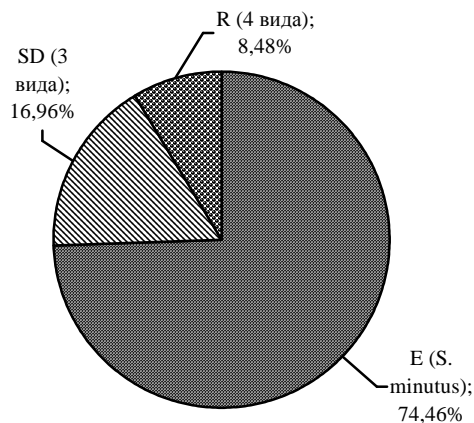
Лиман



Сосняк у автодороги



Лесополоса



Степь

Рис. 2. Структура доминирования панцирных клещей исследуемых биотопов отделения «Меотиды» БООПТРЗ «Хомутовская степь – Меотиды» (сентябрь 2016 г.)

Анализ соотношения жизненных форм показал, что осенью в исследуемых биотопах обнаружены представители основных адаптивных типов орибатид, кроме обитателей толщи подстилки и глубокопочвенных форм (рис. 3).

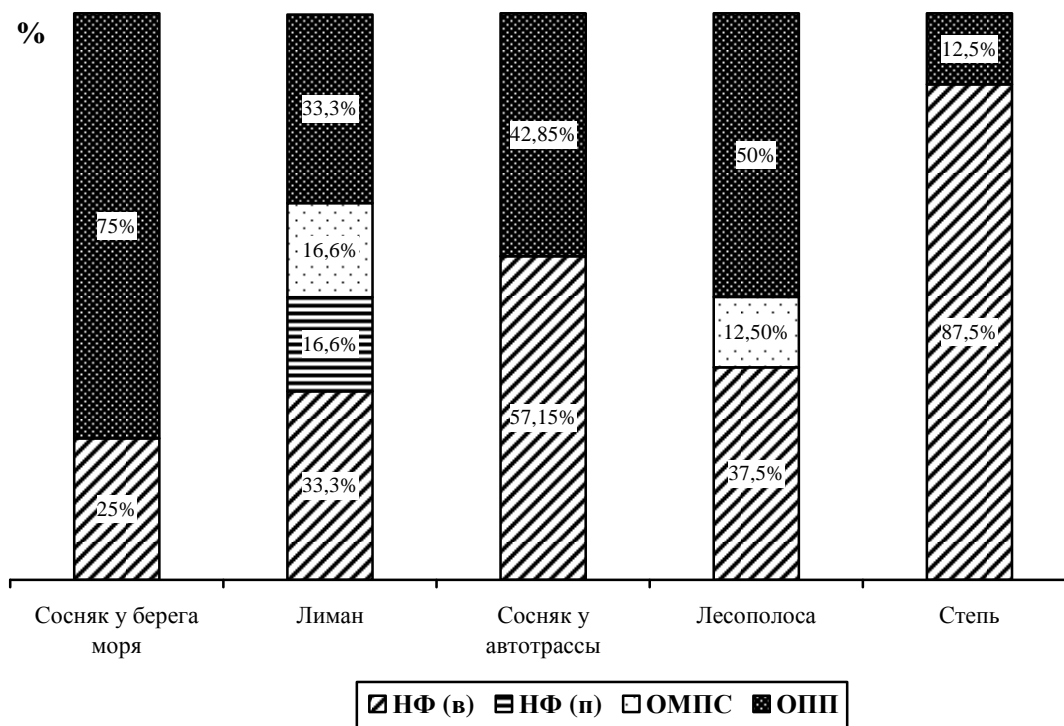


Рис. 3. Соотношение жизненных форм панцирных клещей исследуемых биотопов отделения «Меотида» БООПТРЗ «Хомутовская степь – Меотида» (сентябрь 2016 г.):

ОПП – обитатели поверхности почвы, ОМПС – обитатели мелких почвенных скважин, НФ (п) – первично неспециализированные формы, НФ (в) – вторично неспециализированные формы.

Наибольшее разнообразие и относительная выравненность распределения жизненных форм орибатид зафиксирована в лимане, при этом доминируют вторично неспециализированные формы и обитатели мелких почвенных скважин. В лесополосе отмечены представители трех жизненных форм, среди которых доминируют обитатели поверхности почвы и вторично неспециализированные формы. На степном участке и в сосняке у автотрассы наблюдается явное доминирование вторично неспециализированных форм. Представители других адаптивных типов орибатид отсутствуют.

По сравнению с весенним периодом [7], в сосняке у берега моря осенью исчезли обитатели мелких почвенных скважин и 3/4 всего населения составляют обитатели поверхности почвы. В лимане доля обитателей мелких почвенных скважин уменьшилась почти в 5 раз, по сравнению с весной. В лесополосе наблюдается уменьшение количества жизненных форм и уменьшается равномерность их распределения. Сосняк у автотрассы и степной участок характеризуются наличием представителей только двух адаптивных типов, при явном доминировании вторично неспециализированных форм. На степном участке отмечено снижение разнообразия жизненных форм орибатид, по сравнению с весенним периодом.

Анализ интегрального показателя сообществ панцирных клещей [6] исследуемых биотопов отделения «Меотида» (рис. 4) показал снижение во всех исследуемых биотопах, по сравнению с весенним периодом [7], особенно существенное в лесополосе и на степном участке. Экологическое состояние окружающей среды в сосняке у берега моря характеризуется *средним уровнем отклонения от нормы* (III уровень, 11 баллов). Интегральный показатель орибатид лимана составляет 11 баллов (III уровень, *средний*

уровень отклонения от нормы). Сосняк у автотрассы демонстрирует *значительный уровень отклонения от нормы* (IV уровень, 9 баллов). Степной участок, в весенний период имевший достаточно высокий интегральный показатель (19 баллов), в осенний период также характеризуется *средним уровнем отклонения от нормы* (III уровень, 12 баллов). В лесополосе состояние окружающей среды оценивается как *значительный уровень отклонения от нормы* (IV уровень, 8 баллов).

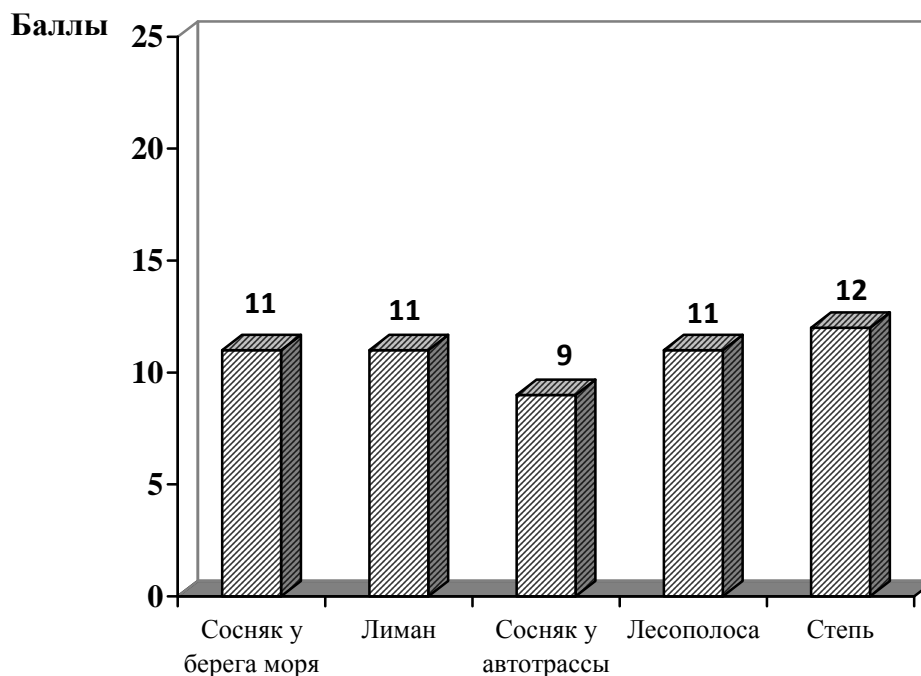


Рис. 4. Интегральный показатель сообществ панцирных клещей исследуемых биотопов отделения «Меотида» БООПТРЗ «Хомутовская степь – Меотида» (сентябрь 2016 г.)

Выводы

В осенний период в большинстве исследуемых биотопов на территории отделения «Меотида» БООПТРЗ «Хомутовская степь – Меотида» отмечена тенденция к значительному уменьшению показателей средней плотности населения и видового богатства панцирных клещей. Экологическое разнообразие сообществ панцирных клещей также снизилось, по сравнению с весенним периодом. Структура доминирования сообществ орибатид претерпела существенные изменения – произошла смена доминирующих видов (эудоминантов и доминантов), сократилась доля редких видов (рецендентов и субрецендентов). В характере распределения жизненных форм панцирных клещей наблюдается явное преобладание в сообществах вторично неспециализированных форм и обитателей поверхности почвы, а также отсутствие обитателей толщи подстилки и глубокопочвенных форм. Это привело к снижению интегрального показателя сообществ орибатид во всех исследуемых биотопах, по сравнению с весенним периодом, особенно существенное в лесополосе и на степном участке.

Список литературы

1. Буланова-Захваткина Е. М. Панцирные клещи – орибатида / Е. М. Буланова-Захваткина. – М.: Высш. шк., 1967. – 254 с.
2. Криволицкий Д. А. Морфо-экологические типы панцирных клещей (Acariformes, Oribatei) / Д. А. Криволицкий // Зоол. журн. – 1965. – 44, № 8. – С. 1176-1189.
3. Панцирные клещи: морфология, развитие, филогения, экология, методы, исследования, характеристика модельного вида *Nothrus palustris* C. L. Koch, 1839 /

Криволуцкий Д.А., Лебрен Ф., Кунст М. и др. / Под ред. Д. А. Криволуцкого. – М. : Наука, 1995. – 224 с.

4. *Мэгарран Э.* Экологическое разнообразие и его измерение : пер. с англ. / Э. Мэгарран. – М. : Мир, 1992. – 184 с.

5. *Штирц А. Д.* Структура и динамика населения панцирных клещей заповедных степей юго-востока Украины / А. Д. Штирц, Н. Н. Ярошенко. – Донецк : Норд, 2003. – 269 с.

6. *Штирц А. Д.* Оценка влияния антропогенной нагрузки на экосистемы с использованием интегрального показателя сообществ панцирных клещей / А. Д. Штирц // *Acta Biologica Sibirica*. – 2015. – № 1 (1–2). – С. 51–66.

7. *Штирц А. Д.* Экологическая структура населения панцирных клещей отделения «Меотида» БООПТРЗ «Хомутовская степь – Меотида» в весенний период / А. Д. Штирц, Ю. Е. Колосова // *Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона*. – 2017. – № 3–4. – С. 65–72.

8. *Ярошенко Н. Н.* К фауне орибатид (Oribatida) побережья Азовского моря / Н. Н. Ярошенко // *Вестник зоологии*. – 1972 а. – № 1. – С. 81–82.

9. *Ярошенко Н. Н.* Панцирные клещи Донецкой области : Автореф. дис. ... канд. биол. наук / Н. Н. Ярошенко. – Донецк, 1972 б. – 18 с.

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

Shtirts A. D., Kolosova Yu. E. Ecological structure of oribatid mites communities of branch «Meotida» of biosphere reserve «Khomutovskaya Steppe – Meotida» in the autumn. – The species composition and the main ecological characteristics of oribatid mites communities (species richness, average population density, ecological diversity, dominance structure and the ratio of life forms) in five biotopes of branch «Meotida» of biosphere reserve «Khomutovskaya Steppe – Meotida» in the autumn were analyzed. An assessment of environment state based on the integral indicator of oribatid communities was carried out.

Key words: oribatid mites, ecological structure, community, «Khomutovskaya Steppe – Meotida».

УДК 574.23

© Е. А. Гладков^{1*}, О. В. Гладкова*

**ОЦЕНКА ФИТОТОКСИЧНОСТИ КАДМИЯ И ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ
ГАЗОННОЙ ТРАВЫ *AGROSTIS STOLONIFERA* L.
К ЭТОМУ ТЯЖЕЛОМУ МЕТАЛЛУ**

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева РАН
1277276, г. Москва, ул. Ботаническая, д. 35; e-mail: gladkovu@mail.ru

Гладков Е. А., Гладкова О. В. Оценка фитотоксичности кадмия и повышение устойчивости газонной травы *Agrostis stolonifera* L. к этому тяжелому металлу. – В статье рассмотрено влияние кадмия на полевицу побегоносную и повышение устойчивости растений к кадмию. Кадмий – один из наиболее опасных тяжелых металлов для растений. В водной культуре существенное ингибирующее воздействие кадмия на рост побегов *Agrostis stolonifera* проявлялось при концентрации металла 30 мг/л кадмия. В почвенных условиях значительное ингибирующее воздействие кадмия наблюдалось при его содержании 30 мг/кг. Разработан оригинальный подход получения растений толерантных к кадмию, основанный на увеличении концентрации кадмия в питательной среде на этапах регенерации и укоренения. Данная методология оказалась эффективной, так как в культуре тканей были получены растения-регенеранты, большинство из которых продемонстрировали повышенную толерантность к кадмию. Устойчивость к данному металлу сохранялась в четырех поколениях.

Ключевые слова: кадмий, фитотоксичность, *Agrostis stolonifera*, клеточная селекция, город.

Введение

Кадмий является одним из загрязнителей почвенного покрова городских экосистем [1-4]. Этот металл не является микроэлементом для растений, однако он влияет на ростовые процессы для популяций *T. caerulea* [5] и для диатомовой водоросли *Thalassiosira weissflogii* [6]. Кадмий – один из наиболее опасных тяжелых металлов для растений. Высокая фитотоксичность кадмия связана с его близостью по химическим свойствам к цинку [7]. Поэтому кадмий может заменять цинк во многих биохимических процессах, нарушая работу таких ферментов, как карбоангидраза, различные дегидрогеназы и других ферментов.

Целью работы была оценка фитотоксичности кадмия и повышение устойчивости к нему растений, на примере газонной травы *Agrostis stolonifera* L., 1753.

Материал и методы исследования

Основной объект исследования – газонная трава полевица побегоносная (*Agrostis stolonifera*) (рис. 1). Это многолетний низовой короткокорневищный злак, который имеет укореняющиеся надземные побеги. Данное растение имеет ряд преимуществ – вегетативно размножается за короткий срок, отсутствие необходимости частой стрижки, теневыносливость, возможность создания газона разного назначения только из полевицы побегоносной.



Рис. 1. Полевица побегоносная (*Agrostis stolonifera* L., 1753)

© Гладков Е. А., Гладкова О. В., 2018

* Часть работы была выполнена в Московском государственном университете инженерной экологии (который был присоединен к Московскому государственному машиностроительному университету), который на данный момент реорганизован.

Для оценки фитотоксичности семена растений *A. stolonifera* проращивали в водных растворах, содержащих кадмий, и в почвенных условиях ($pH_{KCl} > 5,5$), которые характерны для значительной части почвенного покрова г. Москвы, для оценки роста побегов. Была использована соль кадмия $CdCl_2$. В почву (pH 6,5-7,0, азот 150 мг/л, фосфор 250 мг/л, калий 300 мг/л) для определения фитотоксичности кадмий вносили в виде водного раствора, концентрацию рассчитывали по отношению к весу сухого грунта. Растения выращивали в условиях теплицы. В контрольных условиях растения выращивали в почве без кадмия.

Первичный каллус получали из семян полевицы побегоносной на модифицированной агаризованной среде Мурасиге-Скуга с добавлением 3 мг/л 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты (2,4-Д), содержание сахарозы составляло 30 г/л, гидролизата казеина – 500 мг/л, агар-агара – 7 г/л.

Для получения растений, устойчивых к кадмию, каллус высаживали на селективную среду Мурасиге-Скуга, содержащую $CdCl_2$ (содержание кадмия – 10 мг/л).

Регенерацию проводили на среде Мурасиге-Скуга с 20 мг/л кадмия. Укоренение растений проводили на среде Мурасиге-Скуга с 30 мг/л кадмия.

Потомки растений-регенерантов для оценки толерантности к кадмию выращивали в водных растворах, содержащих кадмий, и в почве. В качестве контроля использовали регенеранты и исходные растения, растущие в почве и в водных растворах без кадмия.

Результаты и обсуждение

В водной культуре при 15 мг/л кадмия наблюдалось небольшое ингибирование роста побегов полевицы – на 18% по сравнению с контролем. Существенное ингибирующее воздействие кадмия в водных растворах на рост побегов *A. stolonifera* проявлялось при 30 мг/л кадмия (рост составлял 61% от контроля).

В почвенных условиях небольшое ингибирующее воздействие на интенсивность роста газонной травы полевицы побегоносной проявлялось при содержании кадмия 15 мг/кг. Однако уменьшение всхожести и значительное ингибирование роста (рост побегов составлял 56% от контроля) наблюдалось при содержании кадмия 30 мг/кг (выше ориентировочно допустимой концентрации (ОДК) ($pH_{KCl} > 5,5$)). При данной концентрации происходило снижение декоративных качеств растений из-за пожелтения листьев. Таким образом, кадмий оказывает неблагоприятное воздействие в почве при концентрациях выше ОДК. Однако, в Российской Федерации содержание кадмия может быть выше 20 мг/кг и для того чтобы кадмий перестал быть ограничивающим фактором для растений желателно повысить устойчивость полевицы побегоносной к концентрации до 30 мг/кг и более в почве.

Для повышения устойчивости растений можно использовать клеточную селекцию. Клеточная селекция в основном использовалась для сельскохозяйственных культур, работы по повышению устойчивости растений к городским условиям единичны [8-9].

Для получения растений толерантных к кадмию, реализован оригинальный подход, заключающийся в использовании относительно невысоких концентраций кадмия на стадии культивирования каллусов (10 мг/л), а затем повышение концентраций этого металла на следующих этапах [10].

Следует отметить низкую толерантность каллусов *A. stolonifera* к кадмию, при этом жизнеспособность каллусов существенно снижалась, особенно при высоком содержании этого металла (30 мг/л), и зависела также не только от продолжительности культивирования с этим тяжелым металлом, но и от массы каллуса, посаженного на среду с токсикантом. Таким образом, если продолжительность культивирования на модифицированной агаризованной среде Мурасиге-Скуга для получения каллуса составляла менее месяца, а затем каллус сразу пересаживали на среду с высоким содержанием кадмия (особенно при концентрации 30 мг/л), гибель была выше, по сравнению с каллусами, культивируемыми дольше на среде без токсиканта.

Были использованы различные условия при культивировании каллусов и при получении растений-регенерантов [10-11]. Лучшей оказалась следующая схема селекции:

культивирование каллуса на модифицированной среде Мурасиге-Скуга (МС) с добавлением кадмия 10 мг/л в течение 2 пассажей. Затем регенерация на модифицированной среде Мурасиге-Скуга с добавлением кадмия 20 мг/л и укоренение на среде МС при концентрации кадмия 30 мг /л (рис. 2).

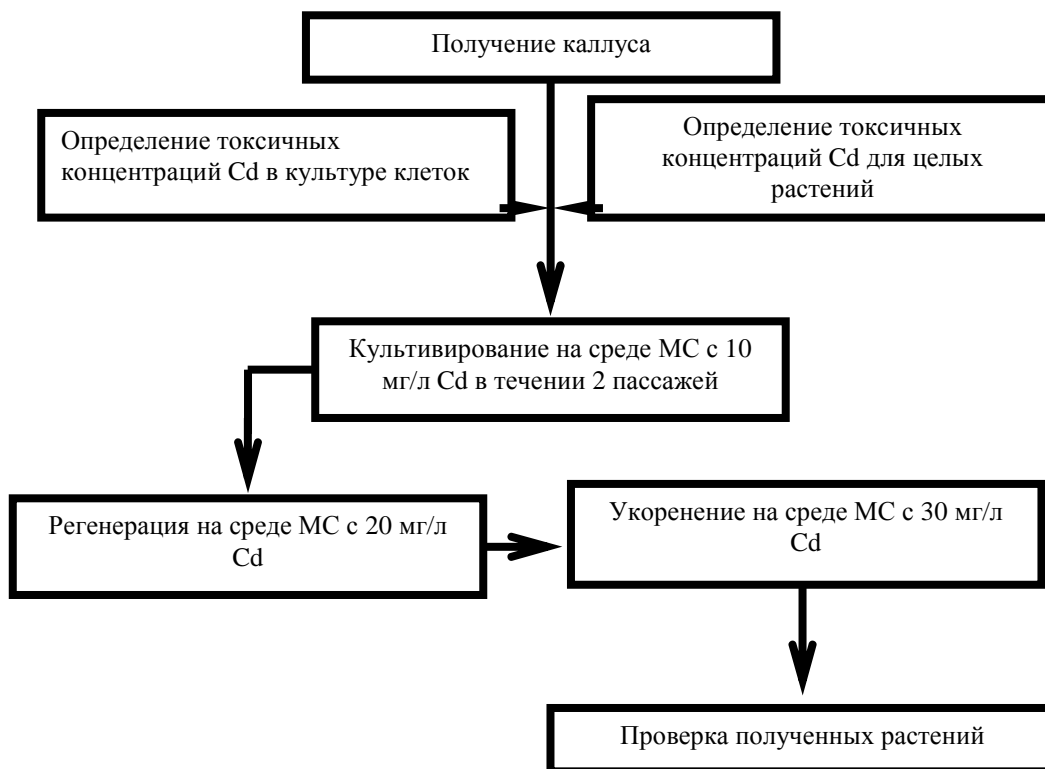


Рис. 2. Схема клеточной селекции для получения растений, устойчивых к кадмию

Были проведены исследования потомков четырех регенерантов полевицы во втором поколении, которые в водных растворах продемонстрировали повышенную устойчивость к содержанию кадмия 60 мг/л. Наибольшей устойчивостью обладали потомки регенерантов – № 10 и № 4. Самыми устойчивыми оказались потомки регенерантов № 10, которые имели прирост побегов 70% от контроля. Показано сохранение устойчивости к кадмию потомков двух регенерантов в третьем и четвертом поколениях. В почвенных условиях потомки регенерантов имели рост побегов, близкий к контролю и сохраняли свои декоративные качества при концентрации кадмия 30 мг/кг в почве, что значительно выше ОДК.

Выводы

Кадмий оказывает неблагоприятное воздействие в почве при концентрациях выше ориентировочно допустимой концентрации. Однако учитывая высокую степень фитотоксичности кадмия, этот тяжелый металл может выступать ограничивающим фактором для растений.

Для получения растений толерантных к кадмию, разработан оригинальный подход с повышением концентрации кадмия на этапах регенерации и укоренения. Данная методология оказалась эффективной: были получены регенеранты полевицы побегоносной в культуре тканей, потомки которых продемонстрировали повышенную толерантность к данному металлу.

Список литературы

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2010 году». – М. : Министерство природных ресурсов и экологии, 2011.
2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2011 году».

Федерации в 2014 году». – М. : Минприроды России, 2015. – 473 с.

3. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 году». – М. : Минприроды России; НИИ-Природа, 2016. – 639 с.

4. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году». – М. : Минприроды России; НИИ-Природа, 2017. – 760 с.

5. *Roosens N.* Natural variation in cadmium tolerance and its relationship to metal hyperaccumulation for seven populations of *Thlaspi caerulescens* from western Europe / N. Roosens, N. Verbruggen, P. Meerts et al. // J. Plant, Cell and Environment. – 2003. – Vol. 26. – P. 1657-1672.

6. *Lane T. W.* Biochemistry : a cadmium enzyme from a marine diatom / T. W. Lane, M. A. Saito, G. N. Georget et al. // Nature. – Vol. 435. – 2005. – P. 42.

7. *Алексеев Ю. В.* Тяжелые металлы в почвах и растениях / Ю. В. Алексеев. – М. : Агропромиздат, 1987. – 142 с.

8. Способ получения толерантных к ионам меди однодольных растений *in vitro* / Гладков Е. А., Долгих Ю. И., Бирюков В. В., Гладкова О. В. – Патент РФ № 2260937. – 2005.

9. *Гладков Е. А.* Получение многолетних трав, устойчивых к хлоридному засолению, с помощью клеточной селекции / Е. А. Гладков, Ю. И. Долгих, О. В. Гладкова // Сельскохозяйственная биология. – 2014 а. – № 4. – С. 106-111.

10. *Гладков Е. А.* Использование биотехнологических подходов для решения экологических проблем городского озеленения / Е. А. Гладков, Ю. И. Долгих, О. В. Гладкова // Экология урбанизированных территорий. – 2014 б. – № 4. – С. 56-58.

11. Способ получения толерантных к ионам кадмия однодольных растений *in vitro* / Гладков Е. А., Гладкова О. В. – Патент РФ на изобретение № 23106696. Опубл. 27.09.2007. – Бюл. № 27.

Gladkov E. A., Gladkova O. V. The estimation of cadmium phytotoxicity and increasing sustainability of lawn grass *Agrostis stolonifera* L. to this heavy metal. – The article considers the effect of cadmium on *Agrostis stolonifera* and the increase of plant resistance to cadmium. Cadmium is one of the most dangerous heavy metals for plants. In water culture, the significant inhibitory effect of cadmium on shoot growth of *A. stolonifera* was manifested at 30 mg/l metal. In soil conditions, a significant inhibitory effect was observed with a cadmium content of 30 mg/kg. An original approach of obtaining tolerant plants to cadmium, based on the increase of cadmium concentration in nutrient medium during the regeneration and rooting stages was developed. This methodology proved effective. The regenerants were obtained in tissue culture. The most plants increased tolerance to cadmium. The resistance to this metal persisted in four generations.

Key words: cadmium, phytotoxicity, *Agrostis stolonifera*, cell selection, city.

УДК 635.82 : 577.15

© С. И. Демченко, О. И. Дейнеко, Е. С. Швиндина

ЛАККАЗНАЯ И ПЛОДООБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ГИБРИДНЫХ ШТАММОВ ГРИБА *PLEUROTUS OSTREATUS* (JACQ.: FR.) KUMM.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

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

Демченко С. И., Дейнеко О. И., Швиндина Е. С. Лакказная и плодообразовательная активность гибридных штаммов гриба *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kumm. – В работе представлены результаты исследований индивидуальной изменчивости десяти гибридных штаммов *Pleurotus ostreatus* по лакказной активности и продуктивности плодовых тел гриба. У дикариотических гибридов *P. ostreatus* выявлены закономерности наследования лакказной активности от родительских монокариотических изолятов. Отобраны активные продуценты внеклеточной лакказы и плодовых тел среди гибридных штаммов *P. ostreatus*.

Ключевые слова: гриб *Pleurotus ostreatus*, дикариотические гибриды, индивидуальная изменчивость, лакказная активность, плодоношение.

Введение

В настоящее время наиболее развитой областью практического использования базидиальных грибов является промышленное грибоводство с целью получения плодовых тел [4, 10, 14]. По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (ФАОСТАТ), совокупный объем производства всех видов промышленных грибов в мире в 2016 г. составил 10790859 тонн. Безоговорочным мировым лидером в грибной индустрии является Китай, который поставил на глобальный рынок 7797929 тонн продукции (72,3% от всего объема). Второе место заняла Италия – 683620 тонн (6,3%), на третьем и четвертом местах оказались США с показателем 419630 тонн (3,9%) и Нидерланды – 300000 тонн (2,8%). Пятое место заняла Польша, на долю которой пришлось 2,4% всего мирового объема производства грибов [8].

Очень активными темпами развивается грибная отрасль в России. Так, по данным Росстата, в 2017 г. крупные и мелкие хозяйства России поставили на рынок 16088 тонн грибов, по сравнению с 2016 г. прирост составил 66,2%. По оценкам компании «Интерагро», при текущих темпах развития в 2018 г. промышленное производство грибов в РФ может увеличиться до 35000 тонн [8].

На Донбассе, в том числе и в г. Донецке, также развивается грибная индустрия, в связи с серьезным ухудшением экологической среды и невозможностью использования в пищу дикорастущих грибов. В этом регионе второе место по объемам производства занимает съедобный гриб *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kumm. (вешенка обыкновенная) [14]. Этот базидиомицет привлекает внимание производителей съедобных грибов простотой получения мицелиальной культуры из плодовых тел, быстрым ростом мицелия, неприхотливостью в отношении источников питания, содержанием в базидиомах биологически активных веществ, которые проявляют противомикробные, противоопухолевые, антиоксидантные и иммуномодулирующие свойства [1, 4]. Для повышения продуктивности и полезных свойств этого ксилотрофа получают высокоэффективные штаммы *P. ostreatus* с использованием разных методов селекции (вегетативная и половая рекомбинация, молекулярно-генетическая трансформация и др.) [10].

Интенсивная технология культивирования дереворазрушающего гриба *P. ostreatus* предусматривает использование в качестве субстрата различных целлюлозо- и лигнинсодержащих отходов сельского и лесного хозяйства [1, 4, 14]. Одним из условий эффективной биоконверсии растительных отходов в процессе производства вешенки обыкновенной является степень доступности целлюлозы для целлюлозолитических ферментов гриба. Однако в растительных субстратах целлюлоза прочно связана с лигнином, что препятствует её эффективной утилизации культивируемыми штаммами [3]. Поэтому в качестве фактора для селекции высокоэффективных штаммов *P. ostreatus* была выбрана

активность внеклеточной лакказы – фермента лигнолитического действия. Ряд исследователей [3, 5] обнаружили, что именно этот физиолого-биохимический признак определяет степень биodeградации лигноцеллюлозного субстрата, скорость колонизации субстрата мицелием ксилотрофа и, в конечном счете, урожайность плодовых тел.

Целью нашей работы являлось получение гибридных штаммов *P. ostreatus*, обладающих большей лакказной активностью и урожайностью плодовых тел, чем исходные родительские промышленно культивируемые штаммы.

Материал и методы исследования

В работе использовали десять гибридных штаммов гриба *P. ostreatus* (табл. 1), полученных с помощью метода половой рекомбинации [10], и их родительские монокариотические изоляты, выделенных в мицелиальную культуру из бизидиоспор двух диких штаммов вешенки обыкновенной (СА и В-99) и двух промышленно культивируемых штаммов (НК-35 и К-17) по стандартной методике [9].

Таблица 1

Дикариотические гибриды гриба *P. ostreatus*

Условные названия гибридов (F ₁)	Родительские монокарионы	
	«Отцовский» монокарион	«Материнский» монокарион
Д-1.2	НК-35.6m	СА.20m
Д-1.4	НК-35.6m	В-99.1m
Д-1.6	НК-35.6m	В-99.17m
Д-2.1	К-17.12m	СА.20m
Д-2.2	К-17.12m	СА.25m
Д-2.3	К-17.12m	СА.27m
Д-2.5	К-17.12m	В-99.12m
Д-2.6	К-17.12m	В-99.26m
Д-2.8	К-17.15m	СА.25m
Д-2.11	К-17.15m	В-99.17m

Выделение чистых культур гриба и размножение мицелия осуществляли на картофельно-глюкозной агаровой среде (КГА) [12]. Музейные штаммы хранили на КГА с добавлением опилок из тополя при температуре +4°C.

Исследование лакказной активности мицелиальных культур *P. ostreatus* проводили при твердофазном культивировании гриба на увлажненной лузге семян подсолнечника (влажность 65±1%, начальная рН 6,8). Увлажненный субстрат по 30 г помещали в колбы Эрленмейера ёмкостью 250 мл и стерилизовали в автоклаве на протяжении 1 часа при давлении 0,7-0,9 атм. Охлажденный субстрат засеивали инокулюмом, которым служили 7-суточные культуры ксилотрофа, предварительно выращенных на КГА. Штаммы гриба культивировали в полной темноте при температуре 26±1°C на протяжении 15 суток. Внеклеточные ферменты экстрагировали из субстрата с помощью дистиллированной воды (2 части воды на 1 часть субстрата, заросшего вегетативным мицелием гриба) в течение 1 часа при температуре 6±1°C. Далее экстракт центрифугировали при 5000 об./мин. в течение 10 минут. В супернатанте определяли активность внеклеточной лакказы спектрофотометрическим методом, используя в качестве субстрата 10 мМ раствор пирокатехина в 0,1 М Na-ацетатном буфере (рН 5,4) [6]. Начальную скорость реакции измеряли на спектрофотометре СФ-26 при длине волны 410 нм. За единицу активности фермента принимали его количество, окисляющее 1 мкмоль пирокатехина за 1 мин. при температуре 24°C.

Определение урожайности гибридов *P. ostreatus* проводили в лабораторных условиях с помощью стерильной баночной технологии [13]. В качестве субстрата использовали

увлажненную лузгу семян подсолнечника, которую расфасовывали в стеклянные банки объемом 1 л (90 г абсолютно сухого субстрата на 1 банку) и стерилизовали в автоклаве при 0,7-0,9 атм. в течение 1 часа. После тепловой обработки субстрат охлаждали до температуры 25-28°C и в стерильных условиях инокулировали семисуточным мицелием штаммов *P. ostreatus*, предварительно выращенных на КГА. Штаммы гибридов вначале инкубировали в термостате при температуре 26±1°C, после полного обрастания субстрата мицелием банки переносили в камеру плодоношения со следующим микроклиматом: температура воздуха – 16°C, освещенность – 550 лк. на протяжении 9 ч./сут., относительная влажность воздуха – 85-90%. Урожайность плодовых тел гибридов вешенки обыкновенной определяли в фазу технологической зрелости весовым методом [9] и выражали в процентах относительно абсолютно сухой массы субстрата (биологическая эффективность) [14]. Окраску карпофоров определяли с помощью шкалы цветов А. С. Бондарцева [2].

Статистическую обработку полученных данных проводили при 5% уровне значимости с помощью дисперсионного, вариационного, кластерного анализов и множественного сравнения арифметических средних значений по критерию Дункана и Даннета, используя программы Statistica 6.0 и MS Excel 2007 [7, 11]. Все эксперименты проводили в трехкратной повторности.

Результаты и обсуждение

В результате проращивания базидиоспор, собранных с плодовых тел двух промышленно культивируемых (НК-35 и К-17) и двух диких (СА и В-99) штаммов *P. ostreatus*, были получены более 50 монокариотических изолятов. Среди них отобраны лишь 10 монокарионов, достоверно превышающих родительские формы по активности лигнолитических ферментов. Эти монокариотические изоляты использовали в межштаммовой гибридизации, которая позволила получить 10 гибридных штаммов вешенки обыкновенной (см. табл. 1). Результаты исследований лакказной активности гибридных штаммов *P. ostreatus* и их родительских монокарионов представлены на рис. 1.

Анализ полученных данных показал, что все гибриды *P. ostreatus* были способны к синтезу внеклеточной лакказы при культивировании на стерильной лузге семян подсолнечника. Активность исследуемого фермента находилась в пределах от 9,58 до 20,54 ед./мл супернатанта.

Большинство гибридных штаммов вешенки обыкновенной достоверно отличались от родительских монокарионов по лакказной активности. При этом на активность исследованного энзима этих штаммов оказывали влияние как «материнские», так и «отцовские» геномы. Например, четыре гибрида Д-1.2, Д-2.6, Д-2.8 и Д-2.11 наследовали лакказную активность от монокарионов, полученных от диких штаммов *P. ostreatus* СА и В-99. У гибрида Д-2.2 активность внеклеточной лакказы находилась на одном уровне с «отцовским» монокарионом, который был выделен в мицелиальную культуру из базидиоспор коммерческого штамма К-17. У гибридных штаммов Д-2.1, Д-2.3 и Д-2.5 лакказная активность была достоверно выше, чем у «материнских» изолятов, но ниже, чем у «отцовских». У дикариотического гибрида Д-1.4 активность энзима была достоверно ниже, чем у обоих родительских монокарионов. У гибридного штамма Д-1.6 лакказная активность достоверно не отличалась как от «отцовского», так и от «материнского» монокариотического изолята.

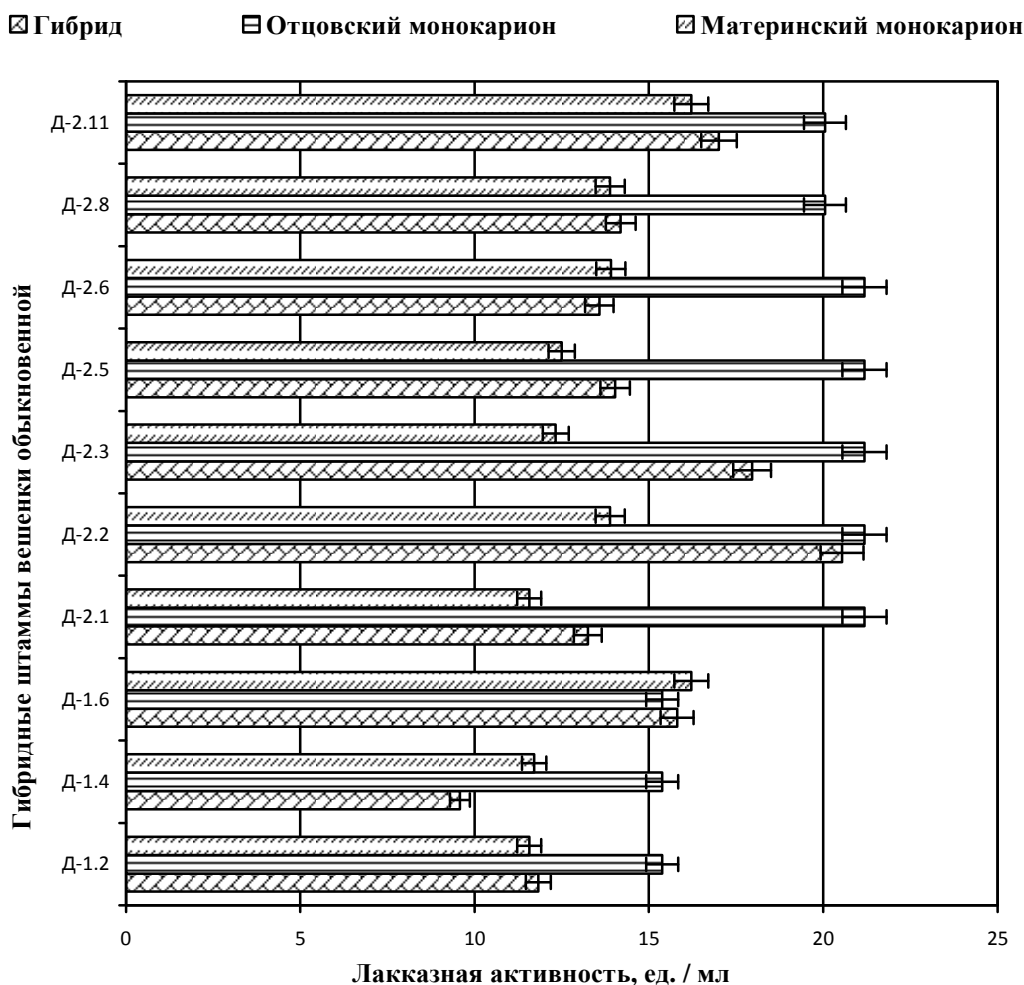


Рис. 1. Лакказная активность гибридных штаммов вешенки обыкновенной

Исследованные гибридные штаммы *P. ostreatus* проявили высокий уровень изменчивости по лакказной активности. Коэффициент вариации по этому показателю составил 21% (табл. 2).

Таблица 2

Показатели варьирования лакказной активности у гибридных штаммов *P. ostreatus*

Предел варьирования (lim), ед./мл	9,58-20,54
Размах варьирования (R), ед./мл	10,96
Среднее квадратическое отклонение (s), ед./мл	3,14
Коэффициент вариации (CV), %	21

В исследуемой выборке гибридов доминировали культуры вешенки обыкновенной (Д-1.6, Д-2.1, Д-2.5, Д-2.6, Д-2.8) со средней активностью внеклеточной лакказы (13,58-15,01 ед./мл). Они составили 50% от общего числа исследованных гибридов.

В группу штаммов с высокой активностью исследованного фермента вошли три гибридных штамма Д-2.2, Д-2.3 и Д-2.11, у которых энзиматическая активность варьировала от 17,01 до 20,54 ед./мл.

Кластер с низкой активностью внеклеточной лакказы включал 2 штамма Д-1.2 и Д-1.4, у которых энзиматическая активность составила 11,83 и 9,58 ед./мл соответственно.

Следует отметить, что гибриды Д-2.2, Д-2.3 и Д-2.11 – активные продуценты внеклеточной лакказы, достоверно превосходили в 1,2-1,9 раз промышленно

культивируемые штаммы *P. ostreatus* К-17 (14,42 ед./мл) и НК-35 (10,61 ед./мл) по лигнолитической активности.

У всех исследованных гибридных штаммов вешенки обыкновенной выявлена фертильность на стерильной лузге семян подсолнечника. Они формировали более 20 примордиев в одной банке, из которых развивались по 4-9 сформированных плодовых тел (рис. 2, табл. 3). Форма шляпок карпофоров была воронковидной и округлой. У большинства гибридных штаммов окраска шляпок была бежевой. Бледно-сероватая окраска шляпки была характерна для гибрида Д-2.1, а темнопесочного цвета – для гибридных штаммов Д-2.5, Д-2.6 и Д-2.8. Все гибриды *P. ostreatus* имели плотные и крупные базидиомы, у которых максимальный диаметр шляпки находился в пределах от 63 до 93 мм.



А



Б



В

Рис. 2. Плодовые тела гибридов *P. ostreatus* на разных стадиях развития:

А – плодовые тела гибридного штамма Д-2.3;

Б – плодовые тела гибридного штамма 2.1;

В – примордии гибридного штамма Д-2.3

Макроморфологические признаки плодовых тел гибридных штаммов *P. ostreatus*

Штаммы <i>P. ostreatus</i>	Окраска плодовых тел	Консистенция плодовых тел	Форма шляпки	Максимальн. диаметр шляпки, мм	Количество плодовых тел в одной банке, шт.
НК-35	з4, бледно-сероватая, cinerascens	плотная	воронковидная	73	6
К-17	л7, бежевая, arenicolor	плотная	воронковидная	83	7
В-99	з6, темнопесочная, atro-arenicolor	плотная	округлая	66	7
СА	е2, зеленовато-серая, viridulo-griseus	плотная	округлая	75	5
Д-1.2	л7, бежевая, arenicolor	плотная	округлая	93	4
Д-1.4	л7, бежевая, arenicolor	плотная	воронковидная	69	9
Д-1.6	л7, бежевая, arenicolor	плотная	воронковидная	72	6
Д-2.1	з4, бледно-сероватая, cinerascens	плотная	округлая	80	7
Д-2.2	л7, бежевая, arenicolor	плотная	воронковидная	74	9
Д-2.3	л7, бежевая, arenicolor	плотная	округлая	73	8
Д-2.5	з6, темнопесочная, atro-arenicolor	плотная	воронковидная	63	6
Д-2.6	з6, темнопесочная, atro-arenicolor	плотная	воронковидная	79	7
Д-2.8	з6, темнопесочная, atro-arenicolor	плотная	округлая	89	9
Д-2.11	л7, бежевая, arenicolor	плотная	округлая	79	8

Исследованные гибридные штаммы *P. ostreatus* по урожайности плодовых тел проявили высокий уровень изменчивости ($CV = 20\%$). По данному показателю они достоверно различались как между собой, так и в сравнении с коммерческими штаммами гриба (рис. 3).

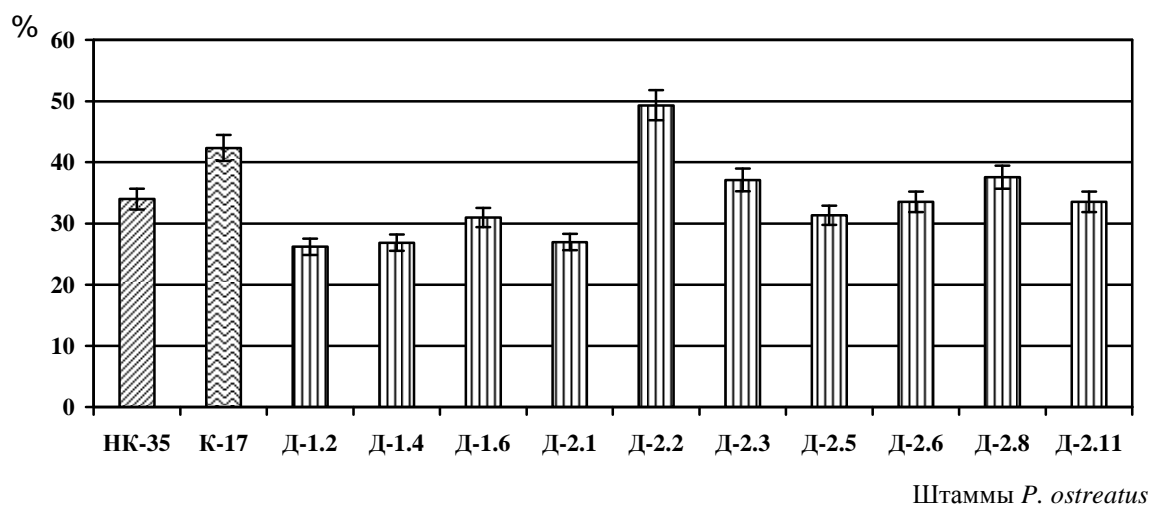


Рис. 3. Урожайность плодовых тел гибридных штаммов *P. ostreatus* на субстрате из лузги семян подсолнечника (первая волна плодоношения)

Наибольшая урожайность базидиом обнаружена у гибридного штамма Д-2.2, который в 1,2-1,5 раза достоверно превышал коммерческие штаммы НК-35 и К-17 по выходу плодовых тел со 100 г абсолютно сухого субстрата. Три гибридных штамма Д-1.2, Д-1.4 и Д-2.1 при 5%-ном уровне значимости достоверно уступали по данному показателю эталонным культурам гриба. Остальные гибриды (штаммы Д-1.6, Д-2.3, Д-2.4, Д-2.5, Д-2.6, Д-2.8 и Д-2.11) достоверно не отличались от коммерческого штамма НК-35 по урожайности плодовых тел. Однако их биологическая эффективность была в 1,1-1,3 раза ниже, чем у промышленно культивируемого штамма К-17.

Анализ экспериментальных данных, представленных на рис. 4, позволил выявить достоверную положительную корреляцию между урожайностью плодовых тел и активностью внеклеточных лакказ, синтезируемых мицелием гибридов *P. ostreatus* при культивировании на увлажненной лузге семян подсолнечника ($r = +0,84$). Такая же зависимость обнаружена у диких штаммов вешенки обыкновенной [3]. Это указывает на целесообразность использования показателя активности внеклеточной лакказы как маркерного признака для отбора высокопродуктивных штаммов *P. ostreatus* на вегетативной стадии развития гриба.

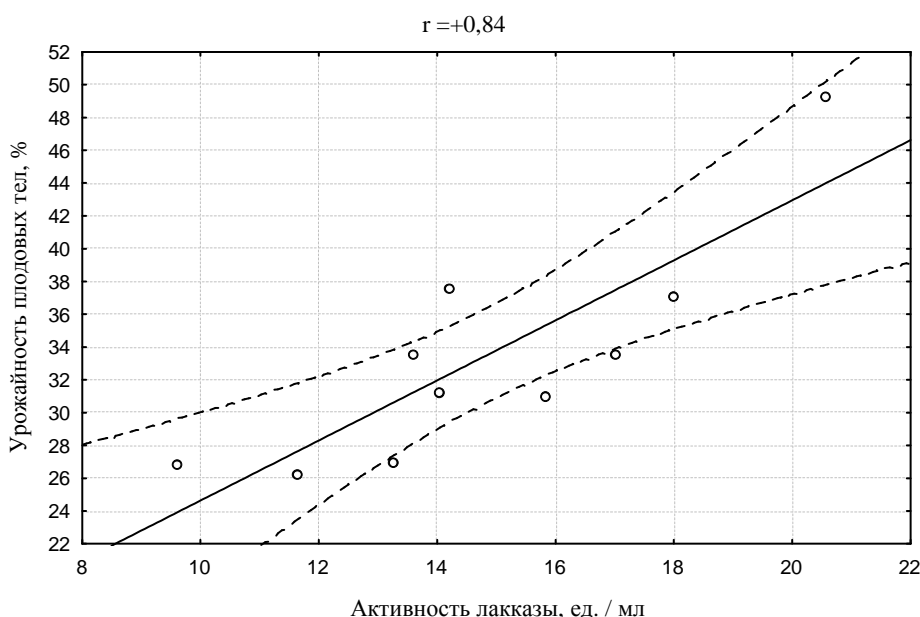


Рис. 4. Корреляционная зависимость между показателями лакказной активности гибридных штаммов *P. ostreatus* и урожайностью их плодовых тел

Выводы

Гибридные штаммы *P. ostreatus*, полученные в результате половой рекомбинации, проявили высокий уровень изменчивости по лакказной и плодообразовательной активности при твердофазном культивировании на лузге семян подсолнечника. На активность биосинтеза ферментов лигнолитического действия гибридами вешенки обыкновенной оказывали влияние как геномы промышленно культивируемых, так и диких штаммов гриба. Наибольшая активность внеклеточной лакказы и урожайность плодовых тел выявлена у гибрида Д-2.2. Для получения высокопродуктивных штаммов *P. ostreatus* целесообразно использовать в аутбридинге родительские монокариотические изоляты с повышенной лигнолитической активностью.

Список литературы

1. Бисько Н. А. Биология и культивирование съедобных грибов рода Вешенка / Н. А. Бисько, И. А. Дудка. – К. : Наук. думка, 1987. – 148 с.
2. Бондарцев А. С. Шкала цветов / А. С. Бондарцев. – М. : Изд-во АН СССР, 1954. – 27 с.

3. Демченко С. И. Целлюлозо- и лигнолитическая активность штаммов гриба *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kumm. при твердофазном культивировании / С. И. Демченко, И. В. Дудка, Е. С. Швиндина // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2017. – № 1–2. – С. 93-100.

4. Дудка И. А. Культивирование съедобных грибов / И. А. Дудка, Н. А. Бисько, В. Т. Билай. – К. : Урожай, 1992. – 160 с.

5. Иванов Г. И. Выявление и использование гаплотипов гриба *Pleurotus ostreatus* (Fr.) Kumm. с повышенной активностью лакказы мицелия в селекции на урожайность плодовых тел / Г. И. Иванов, С. В. Копыльцов // Тр. Кубанского гос. агр. ун-та. – 2008. – Вып. 5. – С. 137-141.

6. Кочетов Г. А. Практическое руководство по энзимологии : учеб. пособие / Г. А. Кочетов. – М. : Высш. шк., 1980. – 272 с.

7. Лакин Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. – М. : Высш. шк., 1990. – 350 с.

8. Медведева А. Грибоводство в России и в мире. Драйверы роста / А. Медведева. – 2018. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.agroxxi.ru/stati/gribovodstvo-v-rossii-i-v-mire-draivery-rosta.html>

9. Методы экспериментальной микологии : справ. / И. А. Дудка, С. П. Вассер, И. А. Элланская и др. – К. : Наук. думка, 1982. – 550 с.

10. Основы биотехнологии высших грибов : учеб. пособие / Н. А. Заикина, А. Е. Коваленко, В. А. Галынкин и др. – СПб. : Проспект Науки, 2007. – 336 с.

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

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

13. Сычев П. А. Методические рекомендации по технологии промышленного выращивания ценного съедобного гриба вешенки обыкновенной / П. А. Сычев, С. Ф. Негруцкий, А. В. Лупашевский. – Донецк : Изд-во Донецкого гос. ун-та, 1994. – 32 с.

14. Сычев П. А. Грибы и грибоводство / П. А. Сычев, Н. П. Ткаченко. – М. : ООО «Изд-во АСТ»; Донецк : Изд-во «Сталкер», 2003. – 512 с.

Demchenko S. I., Deineko O. I., Shvindina K. S. The laccase and fruit formation activity of fungus *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kumm. hybridous strains. – In this thesis the results of individual variability of ten *Pleurotus ostreatus* hybridous strains on laccase activity and productivity of fungal fruiting bodies are presented. The features of inheritance of laccase activity from paternal monocaryotic isolates are deduced for dicaryotic hybrids. The active producers of exocellular laccase and fungal fruiting bodies are selected among *Pleurotus ostreatus* hybridous strains.

Key words: fungus *Pleurotus ostreatus*, dicaryotic hybrids, individual variability, laccase activity, fructification.

УДК 631.4

© О. В. Сыщикова¹, Д. В. Сыщиков², Н. В. Жадинский¹
**ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ
 НА КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ АКТИНОМИЦЕТОВ**

¹ГОО ВПО «Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького»
 283003, г. Донецк, пр. Ильича, 16; e-mail: 2015oksana@rambler.ru

²ГУ «Донецкий ботанический сад»; 283059, г. Донецк, пр. Ильича, 110

Сыщикова О. В., Сыщиков Д. В., Жадинский Н. В. Влияние загрязнения почв тяжелыми металлами на количественный состав актиномицетов. – Показано, что содержание наиболее подвижных форм железа, меди, цинка, никеля и кадмия в почве промышленной площадки большее, чем в эдафотопях зональной почвы. Установлены специфические особенности накопления в почве мониторинговых участков разных по подвижности форм тяжелых металлов. При внесении в почву максимальной концентрации смеси тяжелых металлов количество актиномицетов снижается. Использование низких концентраций токсикантов не приводит к существенному изменению численности микроорганизмов.

Ключевые слова: тяжелые металлы, почва, микробиоценоз, актиномицеты.

Введение

Загрязнение почв тяжелыми металлами является одним из негативных последствий деятельности человека. К сегодняшнему времени это явление приобрело глобальный характер. Накапливаясь в почвах тяжелые металлы способны изменять их биологические свойства: уменьшается общая численность микроорганизмов, изменяется структура микробиоценоза, обедняется видовой состав, замедляется интенсивность основных микробиологических процессов [3, 11].

На сегодня не вызывает сомнений тот факт, что микробные сообщества почвы способны приспосабливаться к повышенному содержанию токсических веществ [12]. Высокие концентрации тяжелых металлов играют роль селективного фактора, вследствие действия которого в сообществах преобладают микроорганизмы, устойчивые к этому загрязнению [10]. Однако недостаточно выясненными остаются изменения численности определенных систематических групп почвенных микроорганизмов, в частности стрептомицетов, при действии тяжелых металлов. Поэтому, целью наших исследований было определение влияния тяжелых металлов на количественный состав актиномицетов, относящихся к роду *Streptomyces* в природных условиях и в модельном эксперименте, а также изучение степени накопления различных по подвижности форм тяжелых металлов в загрязненной и зональной (чернозем малогумусный) почвах.

Материал и методы исследования

Объектами исследований являлись почвы промышленной площадки (около склада готовой продукции) рудообогатительной фабрики Северного горно-обогатительного комбината (РОФ СевГОК) и зональная почва (чернозем малогумусный) с плакора балки Северная Червоная (расположена на значительном расстоянии от источника эмиссий и может являться условным контролем). Почвенные образы отбирались из верхнего слоя (5-10 см) почвы общепринятыми методами [5]. Описание почвенных разрезов проводили по И. И. Назаренко и Н. И. Полупану [6, 7].

Мониторинговый участок 1. Насаждения *Populus italica* (DuRoi) Moench санитарно-защитной зоны около склада готовой продукции СевГОК (г. Кривой Рог, Днепропетровская обл.), проективное покрытие 60-65%. Травянистый ярус с проективным покрытием 70% представлен *Galium aparine* L., *Elytrigia repens* L. Участок подвергается мощному газопылевому загрязнению. Уровень антропогенной трансформации биогеоценоза и экологическое состояние – 7-8 баллов [9].

Разрез № 1. Педозем сформированный на похороненном черноземе обыкновенном.

Нр – 0-15 см. Темно-серый, рыхлый, порошисто-пылеватый суглинок с окатышами,

кварцитами и разрушенными сланцами, каменистость 15%, свежий, густо пронизан корнями. Переход постепенный.

hP_{1к} – 15-24 см. Буровато-серый суглинок, свежий, комковато-призматический, плотный, насыщен корнями.

[Н] – 25-58 см. Черный, суглинок, свежий, комковато-призматический, очень плотный.

[hP_{2к}] – 59-70 см. Буровато-серый суглинок, свежий, призматический, плотный.

P_{2к} – глубже 71 см. Грязно-желто-бурый суглинок, свежий крупнопризматический, очень плотный.

В формировании педозема принимали участие смесь окатышей с рудным концентратом. Элементарные почвенные процессы (ЭПП) выражены в минерализации, соленакоплении и слабом гумусонакоплении.

Мониторинговый участок 2. Плакор в районе балки Северная Червоная (Терновской р-н, г. Кривой Рог, Днепропетровская обл.) в условиях суглинков каменистых суховатых. В растительном покрове *Festuca valesiaca* Gaund., *Potentilla argentea* L., *P. obscura* Willd., *Thymus dimorphus* Klok. et Shost, *Salvia nemorosa* L., *Achillea nobilis* L., *Agropyron pectinatum* (Vieb.) Beauv. Проективное покрытие растительного покрова достигает 75%. Уровень антропогенной трансформации составляет 2-3 балла вследствие пастбищной нагрузки. Экологическое состояние 2-3 балла [9].

Разрез № 2. Чернозем малогумусный каменисто-суглинистый на каменистых породах.

Н – 0-17 см. Темно-серый, относительно уплотненный, зернисто-порошистый суглинок, сухой, густо пронизан корнями. Содержание щебенистого материала достигает 20%. Переход по цвету и плотности.

НР – 18-32 см. Темно-серый, почти черный с бурым оттенком, плотнее, чем предыдущий, суглинок свежий с примесями 20-25% щебенистого материала. Количество корней резко уменьшается.

hP_к – 33-45 см. Темно-бурый с желтыми пятнами, уплотненный суглинок, свежий, почти бесструктурный, есть затеки гумуса, каменистость около 35%, насыщенность корнями незначительная, переход четкий по составу.

P_к – глубже 46 см. – сплошной слой гранита.

В ЭПП преобладают степное гумусонакопление, соленакопление вследствие аридизации эдафотопы, гипергенеза гранитов.

Уровень накопления различных по подвижности форм железа, марганца, цинка, никеля, меди, свинца и кадмия (легкодоступные – аммонийно-ацетатная вытяжка, рН 4,5; кислоторастворимые, трудно доступные – вытяжка 1н HNO₃, и валовое содержание) в почвах устанавливался согласно методических указаний по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства на атомно-адсорбционном спектрофотометре С-115 [4].

В модельном эксперименте загрязнение почвы проводили путем внесения водного раствора смеси солей тяжелых металлов, относящихся к первому и второму классу опасности (CdSO₄, Fe₂(SO₄)₃, Ni(NO₃)₂, (CH₃COO)₂Pb•Pb(OH)₂, CuSO₄ и ZnSO₄), доза каждого из которых составляла 1, 5 и 15 предельно допустимых концентраций (ПДК), минимальная, средняя и максимальная концентрации соответственно [2, 8]. Отбор проб проводили сразу после внесения смеси тяжелых металлов в почву (0 сутки) и на 30, 60, 90 и 120 сутки эксперимента. Выявление общего количества микроорганизмов и численности актиномицетов выполняли общепринятым методом посева разведений почвенной суспензии на плотную агаризованную среду – крахмало-аммиачный агар (КАА), подсчет выполняли визуально на 7-10-е сутки исследований [5].

Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась по общепринятым методам параметрической статистики при 95% уровне значимости [1].

Результаты и обсуждение

Выполненные исследования позволили установить, что в верхнем слое почвы РОФ концентрация подвижных форм железа в аммонийно-ацетатной вытяжке более чем в 1400 раз превышала его содержание в черноземе малогумусном. Определение количества ионов железа в вытяжке 1н HNO_3 показало, что его уровень в 1,6 раз выше по сравнению с зональной почвой (чернозем малогумусный). Валовое содержание этого элемента в почве промышленной площадки статистически достоверно не отличалось от его содержания в контроле (табл. 1).

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в почве мониторинговых участков, мг/кг сухой почвы

Металлы	Аммонийно-ацетатная вытяжка, рН 4,5	Вытяжка 1н HNO_3	Валовое содержание
Условный контроль			
Fe	$0,72 \pm 0,05$	$834,11 \pm 34,9$	$2008,81 \pm 20,54$
Mn	$9,95 \pm 0,59$	$222,46 \pm 7,85$	$210,55 \pm 13,08$
Cu	$0,15 \pm 0,01$	$3,71 \pm 0,09$	$7,72 \pm 0,53$
Zn	$2,8 \pm 0,13$	$12,32 \pm 0,32$	$20,32 \pm 1,89$
Ni	$1,91 \pm 0,08$	$23,97 \pm 0,45$	$36,54 \pm 2,13$
Pb	$1,92 \pm 0,12$	$6,75 \pm 0,23$	$9,11 \pm 0,42$
Cd	$1,64 \pm 0,03$	$2,33 \pm 0,1$	$2,52 \pm 0,13$
РОФ			
Fe	$1055,83 \pm 14,62^*$	$1349,14 \pm 2,81^*$	$2105,99 \pm 65,15$
Mn	$5,04 \pm 0,11^*$	$13,89 \pm 0,38^*$	$35,74 \pm 1,19^*$
Cu	$0,82 \pm 0,01^*$	$4,33 \pm 0,27$	$8,3 \pm 0,14$
Zn	$14,04 \pm 0,44^*$	$23,18 \pm 0,79^*$	$37,42 \pm 2,63^*$
Ni	$2,98 \pm 0,11^*$	$3,06 \pm 0,2^*$	$9,86 \pm 0,25^*$
Pb	$1,9 \pm 0,04$	$1,91 \pm 0,08^*$	$5,1 \pm 0,36^*$
Cd	$2,06 \pm 0,05^*$	$3,3 \pm 0,09^*$	$3,8 \pm 0,09^*$

Примечание. * – различия статистически достоверны при $p < 0,05$.

Наряду со значительным накоплением подвижных форм железа нами установлено статистически достоверное уменьшение соответственно в 2, 16 и 5,9 раз доступных для поглощения растениями соединений марганца в аммонийно-ацетатной, кислотной вытяжках и его валового содержания в почве промышленной площадки по сравнению с контролем.

Определение содержания меди показало, что в почве мониторингового участка, расположенного на территории РОФ, отмечается увеличение концентрации ее соединений в 5,5 раз в аммонийно-ацетатной вытяжке и в 1,2 раза в кислотной по сравнению с черноземом малогумусным. Аналогичная тенденция прослеживается и при анализе валового содержания данного элемента.

Установление характера распределения наиболее подвижных соединений цинка в почве промышленной площадки показало, что в данном случае отмечается статистически достоверное повышение его содержания в 5 раз по сравнению с зональной почвой. Анализ данных относительно валового распределения этого элемента и концентрации ионов цинка в кислотной вытяжке показал аналогичную закономерность.

Приведенные в таблице данные свидетельствуют, что в почве РОФ отмечается статистически достоверное повышение содержания в 1,6 раз подвижных соединений никеля. Тогда как определение его количества в кислотной вытяжке показало иную закономерность. Так, содержание кислоторастворимых соединений этого элемента в почве промышленной площадки было в 7,8 раз меньше, чем в контроле, а валовая концентрация – уменьшалась в

3,7 раз. Таким образом, в почве промышленной площадки РОФ наблюдалось повышение содержания только подвижных форм никеля.

Количество подвижных форм свинца в почве РОФ значительно не отличается от его содержания в эдафотобах балки. Концентрация менее подвижных форм данного элемента (кислотная вытяжка) в почве промышленной площадки статистически достоверно уменьшалась в 3,5 раз по сравнению с контролем. Данные по валовому содержанию свинца в почве РОФ также свидетельствуют о статистически достоверном уменьшении его количества в 1,8 раз по сравнению с зональной почвой.

Исследования содержания подвижных форм кадмия, относящегося к первому классу безопасности, позволили установить, что в почве РОФ происходит статистически достоверное увеличение его количества на 25% по сравнению с эдафотобом балки. При анализе распределения кислоторастворимых и валовых форм элемента зафиксировано их возрастание на 41 и 50% соответственно (см. табл. 1).

Выполненные эксперименты позволили установить специфические особенности накопления в почве мониторинговых участков различных по подвижности форм тяжелых металлов.

Аэрогенное загрязнение почв тяжелыми металлами негативно влияет на количественный состав актиномицетов. Так посев почвенной суспензии эдафотобов мониторинговых участков на КАА позволил установить, что в почве промышленной площадки их количество уменьшается на 16% по сравнению с черноземом малогумусным и составляет 0,8 млн. КОЕ/г абс.с. почвы. Следует отметить, что другие эколого-трофические группы микроорганизмов не так чувствительны к негативному влиянию токсикантов, свидетельством чего является статистически достоверное увеличение в 1,4 раза общего количества микроорганизмов в почве РОФ по сравнению с зональной почвой.

Для выявления влияния тяжелых металлов на микробоценоз зональной почвы было выполнено его модельное загрязнение смесью солей тяжелых металлов. Осуществление подобных работ, по нашему мнению, является неотъемлемой частью исследований по биоиндикации загрязненных тяжелыми металлами почв, поскольку позволяет выявить потенциальную способность почвы к поглощению токсических веществ и изменению ее биологических характеристик, что может быть использовано в качестве одного из критериев оценки степени загрязнения почв.

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что на протяжении всего эксперимента при действии минимальной концентрации смеси тяжелых металлов не происходит изменений количества актиномицетов загрязненной почвы по сравнению с контролем. Аналогичная тенденция наблюдается и в почве с концентрацией тяжелых металлов 5 ПДК, однако, только на начальном этапе стрессового воздействия (0-е сутки). На 30-60-е сутки эксперимента установлено негативное влияние комплекса тяжелых металлов, отображающееся в снижении количества микроорганизмов более чем на 30% относительно контроля (рис. 1). Наряду с этим, на 90-е сутки исследований зафиксировано увеличение количества актиномицетов рода *Streptomyces* до контрольного уровня, наблюдающееся и на 120-е сутки. Можно предположить, что такая тенденция обуславливается как уменьшением токсичности тяжелых металлов вследствие их микробной трансформации, так и развитием резистентных видов актиномицетов.

Приведенные на рисунке данные свидетельствуют, что при возрастании концентрации тяжелых металлов до 15 ПДК количество микроорганизмов, способных к росту в таких условиях, статистически достоверно уменьшалось во всех вариантах опыта. Однако развитие резистентного к действию токсикантов микробного ценоза наблюдалось на 60-е сутки. Так, если количество актиномицетов относительно контроля на 30-е сутки эксперимента составляло 32,9%, то на 60-е сутки – 41,9%, а на 90-е сутки – 78%. В то же время устойчивость микробоценоза была низкой и при максимальной длительности экспозиции отмечено уменьшение численности актиномицетов рода *Streptomyces* на 54%.

Таким образом, внесение максимальной концентрации тяжелых металлов в почву вызывало снижение численности актиномицетов, тогда как действие минимальной концентрации токсикантов не приводило к существенным изменениям в количественном составе микробоценоза, либо численность микроорганизмов восстанавливалась до контрольного уровня.

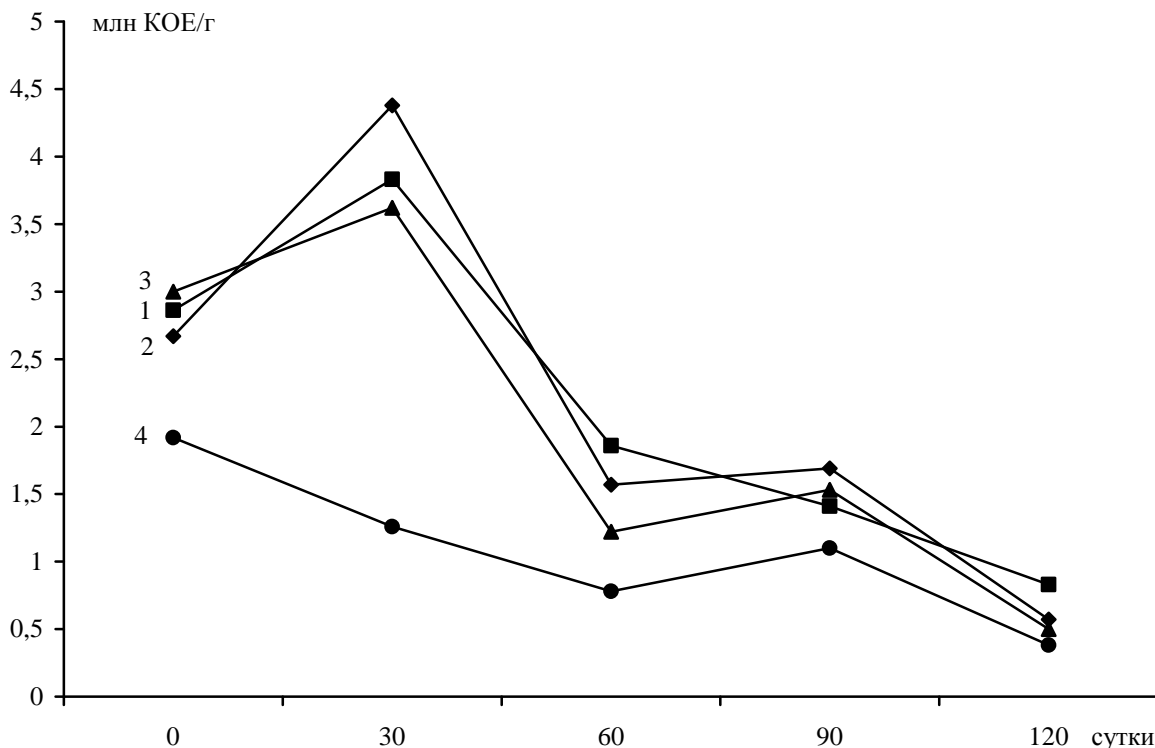


Рис. 1. Количество актиномицетов (млн. КОЕ/г абс. с. почвы) в почве, загрязненной тяжелыми металлами:
1 – контроль, 2 – 1 ПДК смеси тяжелых металлов, 3 – 5 ПДК, 4 – 15 ПДК

Выводы

Установлены специфические особенности накопления в почве мониторинговых участков различных по подвижности форм тяжелых металлов. Чернозем малогумусный балки Северная Червоная только по валовому содержанию железа, никеля и кадмия значительно превышает средние количества данных элементов в пахотных землях Криворожья, а фоновое содержание в почвах Днепропетровской области – по никелю и кадмию. Содержание наиболее подвижных форм железа, меди, цинка, никеля и кадмия в почве промышленной площадки больше, чем в эдафотопе балки Северная Червоная. Количество кислоторастворимых и валовых форм меди, цинка и кадмия в верхних слоях почвы промышленной площадки было большим, чем в балке. Наряду с этим, валовое содержание марганца, никеля и свинца было меньшим. Выше фоновых значений для пахотных земель Криворожья в почве промышленной площадки накапливается только железо и кадмий.

Изучение количественного состава почвенных актиномицетов позволило выявить изменения в структуре микробоценоза чернозема малогумусного при действии смеси тяжелых металлов, выражающиеся в снижении количества данной эколого-трофической группы микроорганизмов при максимальном содержании тяжелых металлов в почве. Наряду с этим, использование невысоких концентраций токсикантов не приводило к существенным изменениям численности актиномицетов либо численность микробоценоза восстанавливалась до уровня контроля на 90-е сутки эксперимента.

Список літератури

1. *Єгоршин О. О.* Математичне планування польових дослідів та статистична обробка експериментальних даних / О. О. Єгоршин, М. В. Лісовий. – Харків : Вид-во Ін-ту ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського, 2005. – 193 с.
2. *Іутинська Г. О.* Резистентність ґрунтових мікроорганізмів до забруднення ґрунтів важкими металами / Г. О. Іутинська, З. В. Петруша // Микробиол. журн. – 1999. – Т. 61, № 5. – С. 72-77.
3. *Колесников С. И.* Экологические последствия загрязнения почв тяжелыми металлами / С. И. Колесников, К. Ш. Казеев, В. Ф. Вальков. – Ростов-на-Дону : Изд-во СКНЦ ВШ, 2000. – 232 с.
4. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – М. : ЦИНАО, 1992. – 62 с.
5. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д. Г. Звягинцева. – М. : Изд-во МГУ, 1980. – 223 с.
6. *Назаренко І. І.* Ґрунтознавство / І. І. Назаренко, С. М. Польчина, В. А. Нікорич. – Чернівці : Книги-XXI, 2004. – 400 с.
7. *Полупан М. І.* Класифікація ґрунтів України / М. І. Полупан, В. Б. Соловей, В. А. Величко. – К. : Аграрна наука, 2005. – 300 с.
8. СанПиН 2.1.7.1287-03. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы. – М. : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2005. – 19 с.
9. *Сметана М. Г.* Методика оцінки екологічного стану регіону з високим промисловим навантаженням / М. Г. Сметана // Екологія і освіта : матер. II Міжн. наук.-практ. конф. (Черкаси, 24-26 жовтня 1996 р.). – Черкаси, 1996. – С. 126-130.
10. Функціонування мікробних ценозів ґрунту в умовах антропогенного навантаження / [К. І. Андреюк, Г. О. Іутинська, А. Ф. Антипчук та ін.]. – К. : Обереги, 2001. – 240 с.
11. *Smejkalova M.* Effects of heavy metal concentrations on biological activity of soil-microorganisms / M. Smejkalova, O. Mikanova, L. Boruvka // Plant, Soil and Environ. – 2003. – Vol. 49, N 7. – P. 321-326.
12. *Wang A.* Changes in metabolic and structural diversity of a soil bacterial community in response to cadmium toxicity / A. Wang, J. Chen, D. E. Crowley // Biol. Fert. Solis. – 2004. – Vol. 39, N 6. – P. 452-456.

Syshchykova O. V., Syshchykov D. V., Zhadinsky N. V. Influence of soils contamination by heavy metals on quantitative composition of actinomycetes. – It is shown that the maintenance of the iron, copper, zinc, nickel and cadmium most mobile forms in the soil of the industrial platform bigger than in the edatops of the zonal soil. Are established the specific features of accumulation in the soil of monitoring areas of different in mobility heavy metals forms. At entering into the soil of the maximum concentration of heavy metals mixture the quantity of actinomycetes decreases. Use of toxicants low concentrations didn't lead to essential change of microorganisms quantity.

Key words: heavy metals, soil, microbocenosis, actinomycetes

УДК 574.24

© И. И. Ташлиева, Е. А. Гладков*

ВЛИЯНИЕ ТЯЖЕЛОГО МЕТАЛЛА МЕДИ НА ГАЗОННУЮ ТРАВУ РАЙГРАС МНОГОЛЕТНИЙ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева РАН

1277276, г. Москва, ул. Ботаническая, д. 35; e-mail: ii_tash@mail.ru, gladkovu@mail.ru

Ташлиева И. И., Гладков Е. А. Влияние тяжелого металла меди на газонную траву райграс многолетний. – В работе представлена оценка фитотоксичности ионов меди на райграс многолетний (*Lolium perenne* L.). Показана высокая чувствительность проростков райграса многолетнего в водных и почвенных условиях к повышенным концентрациям сульфата меди.

Ключевые слова: райграс, *Lolium perenne*, газон, токсичность, медь.

Введение

Райграс многолетний (*Lolium perenne* (L., 1753)) – быстрорастущий, полуверховой, рыхлокустовый злак, с мощной корневой системой. По сравнению с другими злаковыми травами обладает наиболее интенсивным ростом и кущением в год посева [2]. Райграс входит в состав газонных смесей различного назначения, в том числе для озеленения парков, бульваров, дворовых территорий [8].

Использование газонных трав для озеленения городских территорий носит не только эстетический характер, но и благоприятно влияет на урбанизированную среду [3]. Газон задерживает пыль и снижает её образование на прилегающей территории, обладает некоторыми шумозадерживающими и газопоглощающими свойствами, способствует быстрой минерализации органического вещества, повышая влажность в приземном слое воздуха и снижая его температуру в летнее время [1, 9]. Газонные растения обладают также фитонцидным действием [6, 12].

Для многих городских экосистем характерен высокий уровень загрязнения окружающей среды. Из-за этого происходит ограничение использования газонных трав в городских экосистемах, в том числе и в Москве. Например, по результатам исследования территорий рядом с МКАД (г. Москва) проростки мятлика лугового (*Poa pratensis* (L., 1753)), овсяницы красной (*Festuca rubra* (L., 1753)) заметно отставали в развитии, разница в биомассе, длине корней и стеблей была в 2 раза меньше у растений выращенных рядом с кольцевой автодорогой, чем на территории скверов [11]. К числу ограничивающих факторов для газонных трав относят повышенное загрязнение медью почвенного покрова. Уровень фитотоксичности меди сопоставим с кадмием, однако содержание этого металла в г. Москве значительно больше [4]. Поэтому важное значение имеет не только повышение устойчивости к этому металлу [7], но и оценка устойчивости к меди, исходя из которой, можно оценить возможность использования этого растения в городском озеленении.

Цель работы – оценка устойчивости райграса многолетнего к действию повышенных концентраций ионов меди.

Материал и методы исследования

Для определения влияния ионов меди семена райграса многолетнего проращивали в чашках Петри на фильтровальной бумаге, смоченной растворами $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ в концентрациях 20, 30, 50, 100 мг/л в пересчёте на содержание меди, при дневной

© Ташлиева И. И., Гладков Е. А., 2018

* Часть работы была выполнена в Московском государственном университете инженерной экологии (который был присоединен к Московскому государственному машиностроительному университету), который на данный момент реорганизован.

температуре +23-25°C и ночной – +18-20°C в камере фитотрон, продолжительность фотопериода составляла 12 часов при интенсивности освещения 350 мкмоль/м²с.

Измерения высоты проростков и длины корней проводились мерной линейкой на 14 сутки.

Каждый вариант опыта проводился в 5-кратной повторности. В качестве контрольной среды использовали водопроводную воду.

Для оценки фитотоксичности меди в почвенных условиях семена райграса проращивали в сосудах объемом 200 мл с добавлением CuSO₄*5H₂O в начале опыта в концентрациях 20, 30, 50, 100 мг/кг в пересчёте на содержание меди. На 14-е сутки после появления всходов оценивали характер развития проростков, измеряли высоту побега.

На 30-е сутки оценивались декоративные качества растений (габитус растений, особое внимание уделяли насыщенности цвета у газонных трав).

Каждый вариант опыта проводили в 4-кратной повторности. В почве растения выращивали в теплице с естественным освещением при температуре +20-25°C.

Результаты и обсуждение

Многие злаковые травы чувствительны к повышенным концентрациям тяжелых металлов в окружающей среде. Например, ранее была описана высокая чувствительность к цинку у *Setaria viridis* (L., 1812) [5, 14].

Известно, что высокое содержание меди в почве приводит к появлению хлорозов, некрозов, опадению и скручиванию листьев, торможению развития корневой системы [13]. У ряда газонных трав и декоративных растений наблюдались изменения линейных размеров, площади и количества листьев, длины побегов, по мере увеличения степени загрязнений городской среды [10].

Наши результаты по оценке влияния ионов меди на райграс многолетний показали, что райграс многолетний неустойчив к повышенным концентрациям этого тяжелого металла (рис. 1).



Рис. 1. Проростки *L. perenne* (14 суток от начала опыта):
слева – контроль, справа – действие меди на проростки райграса многолетнего

В опытах в водных растворах длина корней в контрольных условиях составляла 46,1±5,6 мм.

Замедление прорастания наблюдалось уже при концентрации 20 мг/л меди (рис. 2). При концентрации 30 мг/л меди угнетение было более существенное, при содержании 50 мг/л угнетение прироста побегов составляло 50% по сравнению с исходными растениями, при этом наблюдалось отсутствие корней, скручивание и бледно-зеленый цвет побегов. При концентрации 100 мг/л также не образовывались корни, а угнетение роста побегов составило 82,5%.

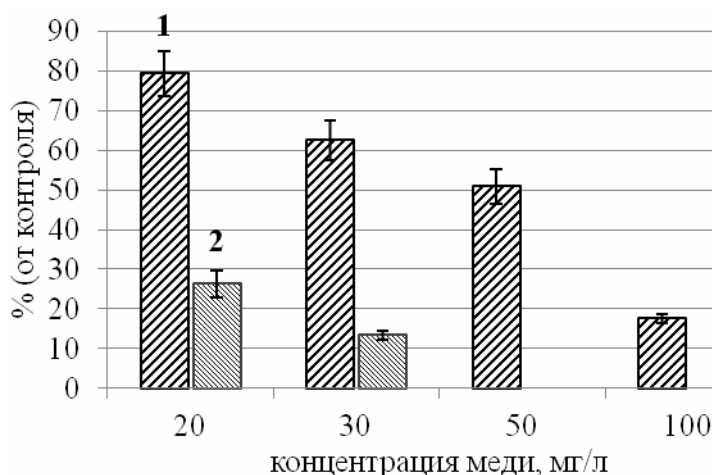


Рис. 2. Влияние меди на высоту побегов (1) и длину корней (2) *L. perenne* в водном растворе через 14 суток от начала опыта

В почвенном опыте при содержании меди 20-30 мг/кг существенного влияния на рост побегов не наблюдалось (ингибирование менее 20% при 30 мг/кг). Значительное ингибирование наблюдалось при концентрации 50 мг/кг (ниже ПДК (55 мг/кг) и ОДК (рН КС1 > 5,5) (132 мг/кг)). При данной концентрации у райграса многолетнего происходило снижение декоративных качеств, у некоторых растений наблюдалось пожелтение листьев. При концентрации меди 100 мг/кг рост составлял около 30% (рис. 3), происходило существенное снижение декоративных качеств.

Полученные данные были использованы в эколого-биотехнологических исследованиях, каллусные культуры, также как и растения, продемонстрировали низкую степень устойчивости к повышенному содержанию меди.

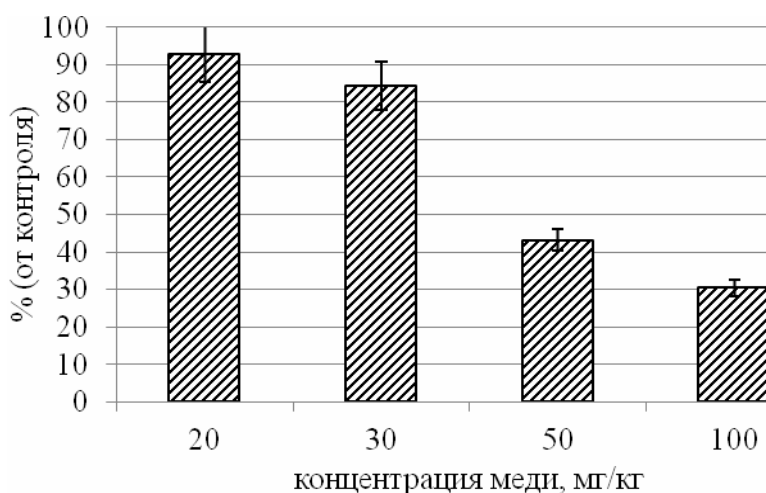


Рис. 3. Влияние ионов меди на рост *L. perenne* в почве: ростовые показатели контрольных растений (мм) – $42,8 \pm 2,9$ мм

Выводы

Показана высокая чувствительность райграса многолетнего к действию меди, как к неблагоприятному экологическому фактору. Использовать райграс для создания обыкновенных газонов можно только в условиях относительно невысокого содержания меди в почве.

Список литературы

1. Агафонов Н. В. Декоративное садоводство / Н. В. Агафонов, Е. В. Мамонов, И. В. Иванова. – М. : Колос, 2000. – 320 с.
2. Асямов В. С. Многолетние травы для создания газонов в условиях западной Сибири / В. С. Асямов, А. Ф. Степанов, Н. А. Бондаренко // Вестник ОмГАУ. – 2016. – № 2 (22). – С. 66-71.
3. Гостев В. Ф. Проектирование садов и парков / В. Ф. Гостев, Н. Н. Юскевич. – М. : Стройиздат, 1991. – 340 с.
4. Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2017 году» / Под ред. А. О. Кульбачевского. – М. : ДПиООС, 2018. – 358 с.
5. Казнина Н. М. Устойчивость щетинника зеленого к повышенным концентрациям цинка / Н. М. Казнина, А. Ф. Титов, Г. Ф. Лайдинен, А. В. Таланов // Изв. РАН. Сер. биол. – 2009. – № 6. – С. 677-684.
6. Ковязин В. Ф. Мониторинг почвенно-растительных ресурсов в экосистемах Санкт-Петербурга / В. Ф. Ковязин, В. М. Шабнов, А. Н. Мартынов. – СПб. : Изд-во СПбГПУ, 2010. – 344 с.
7. Литвинова И. И. Введение в культуру клеток растений, используемых в качестве кормовых, лекарственных и декоративных, для получения стрессоустойчивых форм / И. И. Литвинова, Е. А. Гладков // Сельскохозяйств. биол. – 2012. – № 4. – С. 94-99.
8. Лоскутов Н. Г. Урожайность семян райграса пастбищного при разных нормах высева и способах посева в Предуралья / Н. Г. Лоскутов, В. А. Волошин // Пермский агр. вестн. – 2016. – № 2 (14). – С. 61-66.
9. Пивкин В. М. Экологическая инфраструктура сибирского города / В. М. Пивкин, А. Н. Чиндяева. – Новосибирск : Сипринт, 2002. – 184 с.
10. Половникова М. Г. Эколого-физиологические особенности газонных растений на разных этапах онтогенеза в условиях городской среды : Автореф. дис. ... канд. биол. наук / М. Г. Половникова. – Нижний Новгород, 2007. – 24 с.
11. Савич В. И. Использование новых методов очистки урбанизированных почв от тяжелых металлов / В. И. Савич, С. Л. Белопухов, Д. Н. Никиточкин, А. В. Филиппова // Изв. Оренбургского гос. агр. ун-та. – 2013. – № 6 (44). – С. 203-205
12. Седельникова Л. Ю. Декоративные многолетние растения в цветниках Новосибирского Научного Центра СО РАН / Л. Ю. Седельникова // Вестн. Иркутской гос. сельскохозяйств. акад. – 2011. – Вып. 44, ч. III. – С. 164-170.
13. Maksymiec W. Effect of copper on cellular processes in higher plants / W. Maksymiec // Photosynthetica. – 1997. – Vol. 34. – P. 360-368.
14. Sumeonidis L. Tolerance of *Festuca rubra* L. to zinc in relation to mycorrhizal infection / L. Sumeonidis // Biol. Metals. – 1990. – Vol. 3. – P. 204-207.

Tashlieva I. I., Gladkov E. A. Effect of heavy metal copper on the lawn grass *Lolium perenne*. – The phytotoxicity of copper ions on *L. perenne* is estimated. The high sensitivity of *L. perenne* sprouts in water and soil conditions to copper is shown. The results of the experiment show that *L. perenne* can be used in areas with a low level of copper contamination.

Key words: *Lolium perenne*, grass, copper, phytotoxicity.

© О. В. Фрунзе, М. Н. Конопленко

СОДЕРЖАНИЕ КОБАЛЬТА И МАРГАНЦА В ПРОРОСТКАХ ДЕКОРАТИВНЫХ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ КОНТРОЛИРУЕМОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

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

Фрунзе О. В., Конопленко М. Н. Содержание кобальта и марганца в проростках декоративных травянистых растений в условиях контролируемого загрязнения. – Исследовали содержание тяжелых металлов в проростках декоративных травянистых растений в условиях контролируемого загрязнения. Проведенные исследования показали, что способность растений накапливать в своих органах тяжелые металлы зависит как от свойств металла, так и от специфических особенностей растений. При внесении в почву небольшого количества соединений кобальта не наблюдается достоверного увеличения его содержания в корневой системе проростков *Linum usitatissimum* L. С увеличением концентрации в почве загрязнителей увеличивалось и их содержание как в корневой системе, так и в надземной части проростков всех изученных видов растений. При комплексном внесении загрязнителей их содержание как в корнях, так и в надземной части увеличивалось.

Ключевые слова: кобальт, марганец, декоративные травянистые растения, накопление тяжелых металлов.

Введение

Среди многочисленных экологических факторов нежелательной трансформации окружающей среды особо опасными являются загрязнение 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. Разные 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. У растений формируется комплекс индивидуальных реакций на техногенную среду [1-4].

Цель работы – изучение накопления тяжелых металлов проростками декоративных травянистых растений в условиях загрязнения почвы ионами кобальта и марганца.

Материал и методы исследования

При проведении эксперимента в качестве объектов исследования были использованы травянистые декоративные растения: календула лекарственная (*Calendula officinalis* L.), тагетес прямостоячий (*Tagetes erecta* L.), лен обыкновенный (*Linum usitatissimum* L.).

Исследование накопления тяжелых металлов проростками декоративных травянистых растений в условиях загрязнения почвы ионами кобальта и марганца 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 часов, 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.

Содержание марганца и кобальта в растительном материале определяли по методу атомно-адсорбционной спектроскопии по В. Прайсу на атомно-адсорбционном спектрофотометре Сатурн-3. Метод основан на кислотном вскрытии растительного сырья, распылении полученных растворов в пламя ацетилен-воздух или введении в графитовую печь спектрофотометра полученного раствора с последующей электротермической атомизацией. Полученные данные обрабатывали статистически с помощью специально разработанных программ.

Результаты и обсуждение

Проведенные исследования показали, что способность растений накапливать в своих органах тяжелые металлы зависит как от металла, так и от специфических особенностей вида растений (табл. 1, 2).

Таблица 1

Содержание кобальта в вегетативных органах проростков декоративных травянистых растений

Вариант загрязнения	Содержание ионов кобальта в вегетативных органах, мг/кг					
	В надземной части			В корнях		
	M±m	D	t ^D	M±m	D	t ^D
<i>Calendula officinalis</i> L.						
1	4,07±0,04	-	-	5,20±0,07	-	-
2	4,29±0,05	0,22	0,33	5,63±0,04	0,43	0,31
3	4,90±0,14	0,83	0,33	4,97±0,11	-0,23	0,31
4	3,83±0,04	-0,23	0,33	5,00±0,21	-0,20	0,31
5	4,70±0,07	0,63	0,33	5,03±0,04	-0,17	0,31
6	6,13±0,10	2,07	0,33	5,80±0,07	0,60	0,31
7	3,53±0,17	-0,53	0,33	5,07±0,04	-0,13	0,31
8	6,34±0,04	2,27	0,33	4,67±0,04	-0,53	0,31
9	6,53±0,11	2,47	0,33	5,67±0,08	0,47	0,31
<i>Tagetes erecta</i> L.						
1	4,50±0,14	-	-	4,70±0,07	-	-
2	4,50±0,01	0	0,27	3,57±0,04	-1,13	0,34
3	5,10±0,07	0,6	0,27	3,17±0,08	-1,53	0,34
4	4,60±0,07	0,10	0,27	4,70±0,19	0,00	0,34
5	6,73±0,15	2,23	0,27	5,27±0,04	0,56	0,34
6	6,07±0,04	1,57	0,27	5,70±0,07	1,00	0,34
7	7,30±0,14	2,80	0,27	5,07±0,04	0,37	0,34
8	8,27±0,04	3,77	0,27	6,00±0,07	1,30	0,34
9	8,90±0,01	4,40	0,27	5,60±0,19	0,90	0,34
<i>Linum usitatissimum</i> L.						
1	3,07±0,04	-	-	3,57±0,04	-	-
2	4,40±0,07	1,33	0,27	4,20±0,12	0,63	0,47
3	4,70±0,07	1,63	0,27	6,13±0,23	2,57	0,47
4	2,17±0,08	-0,90	0,27	3,06±0,10	-0,50	0,47
5	5,57±0,04	2,50	0,27	3,33±0,11	-0,23	0,47
6	1,33±0,10	-1,73	0,27	3,70±0,04	0,13	0,47
7	2,27±0,14	-0,80	0,27	3,10±0,07	-0,47	0,47
8	1,83±0,08	-1,23	0,27	2,96±0,07	-0,60	0,47
9	1,47±0,04	-1,60	0,27	2,83±0,22	-0,73	0,47

Примечание. D – разница между средними, D^D – допуск Даннета.

Содержание марганца в вегетативных органах проростков декоративных травянистых растений

Вариант загрязнения	Содержание ионов марганца в вегетативных органах, мг/кг					
	В надземной части			В корнях		
	M±m	D	t ^D	M±m	D	t ^D
<i>Calendula officinalis</i> L.						
1	284,33±0,82	-	-	195,33±1,08	-	-
2	282,33±1,47	-2,00	7,10	184,33±2,48	-11,00	7,90
3	275,00±1,87	-9,33	7,10	186,33±1,63	-9,00	7,90
4	792,67±1,78	508,33	7,10	595,33±1,78	400,00	7,90
5	625,00±1,87	340,67	7,10	630,67±4,26	435,33	7,90
6	737,33±1,47	453,00	7,10	785,00±1,87	589,67	7,90
7	1584,00±2,55	1299,67	7,10	116,33±2,95	921,00	7,90
8	1136,67±3,63	852,33	7,10	1986,33±1,12	1791,00	7,90
9	1555,33±2,47	1271,00	7,10	1935,33±2,50	1740,00	7,90
<i>Tagetes erecta</i> L.						
1	156,67±1,08	-	-	423,50±0,14	-	-
2	154,33±1,08	-2,33	55,85	432,50±0,01	0,00	0,27
3	132,67±1,78	-24,00	55,85	521,0±0,07	0,60	0,27
4	443,67±3,56	287,00	55,85	458,60±0,07	0,10	0,27
5	717,33±2,85	560,67	55,85	656,73±0,14	2,23	0,27
6	1180,00±40,36	1023,33	55,85	612,07±0,04	1,57	0,27
7	2073,67±19,88	1917,00	55,85	715,30±0,14	2,80	0,27
8	1563,00±1,87	1406,33	55,85	823,27±0,04	3,77	0,27
9	767,00±22,79	610,33	55,85	869,90±0,01	4,40	0,27
<i>Linum usitatissimum</i> L.						
1	212,67±4,81	-	-	234,33±2,56	-	-
2	258,00±47,73	45,33	105,46	239,33±5,76	5,00	12,81
3	242,67±1,78	30,00	105,46	242,00±3,08	7,67	12,81
4	815,67±1,46	603,00	105,46	147,00±1,41	-87,33	12,81
5	1095,00±35,88	882,33	105,46	353,00±5,10	118,67	12,81
6	844,33±33,06	631,67	105,46	231,67±3,56	-2,67	12,81
7	4614,00±42,16	4401,33	105,46	1261,33±5,01	1027,00	12,81
8	7533,33±72,49	7320,67	105,46	958,00±0,70	723,67	12,81
9	5740,33±2,00	5527,67	105,46	333,00±4,30	98,67	12,81

Примечание. D – разница между средними, D^D – допуск Даннета.

Так, в вариантах внесения в почву ионов кобальта наблюдалось повышение содержания данного металла в корнях проростков *C. officinalis* (вар. 2, 3), причем, при увеличении концентрации загрязнителя увеличивалось и его содержание в корневой системе. Подобная тенденция прослеживалась и в способности данного вида накапливать кобальт в надземной части. При больших концентрациях кобальта его содержание в надземной части увеличилось на 38%, по сравнению с контрольным вариантом (без внесения загрязнителей). При комплексном внесении загрязнителей способность проростков накапливать металлы увеличилась. Так, в вариантах 8, 9 количество кобальта увеличилось на 67-89%, по сравнению с контрольными растениями, причем в надземной части ионов кобальта было больше, чем в корнях.

Интересным оказался тот факт, что при внесении в почву небольшого количества соединений марганца не наблюдалось достоверного увеличения его содержания как в

корневой системе проростков *C. officinalis*, так и в надземной части данного вида (вар. 2). Данный факт можно объяснить защитной реакцией растения на пагубное воздействие поллютанта. С увеличением концентрации соединений марганца увеличилась и его концентрация в корнях на 64%.

В надземной части проростков *C. officinalis* L. содержание марганца увеличивалось с увеличением его концентрации в почве. Так, в варианте 7 его содержание возросло на 76%.

Наибольшее количество марганца в надземной части было обнаружено в вариантах комплексного загрязнения почвы соединениями кобальта и марганца (вар. 6, 8, 9).

С увеличением концентрации в почве загрязнителей увеличивалось и их содержание как в корневой системе, так и в надземной части проростков изученных видов растений. В стебле содержание металлов было больше, чем в корнях.

У проростков *T. erecta* наблюдалась положительная зависимость в накоплении тяжелых металлов растениями. Так, при внесении небольших концентраций кобальта прослеживалось незначительное его увеличение как в корнях, так и в стеблях проростков. При увеличении концентрации поллютанта увеличивалось его содержание в органах растений. Внесение в почву небольших концентраций марганца стимулировало его накопление в корнях проростков на 5%, а при увеличении концентрации – его содержание в корнях проростков увеличивалось на 62% (вар. 4, 7). При комплексном внесении кобальта и марганца прослеживалась тенденция накопления этих металлов как в корнях, так и в надземной части проростков. Так, в варианте 6 концентрация кобальта возросла на 35%, а марганца – на 650%, по сравнению с проростками, выращенными на незагрязненной почве.

При внесении в почву небольших концентраций кобальта, его содержание в корнях проростков *L. usitatissimum* увеличивалось на 18%, а в надземной части – на 43%, по сравнению с контролем. При увеличении концентрации ионов кобальта его содержание в корнях увеличилось на 72%, а в надземной части – на 45%.

Загрязнение почвы небольшими концентрациями марганца стимулировало его накопление в надземной части проростков на 284%, а при внесении больших концентраций этот показатель превысил 500%. Совсем другая тенденция прослеживалась в исследовании накопления марганца корнем проростков *L. usitatissimum*. Исследования показали, что при небольших концентрациях марганца его содержание в корне уменьшалось на 37% (вар. 4), при увеличении концентрации поллютанта в почве данный показатель незначительно возрастал, но эти данные были недостоверными.

При комплексном внесении кобальта и марганца концентрация кобальта в корнях проростков *L. usitatissimum* уменьшилась на 43-67%, по сравнению с контрольными растениями (вар. 6, 8, 9), такая же картина наблюдалась и в накоплении кобальта надземной частью растений. Так, в варианте 6, концентрация данного металла уменьшилась на 87%. Комплексное внесение загрязнителей стимулировало накопление марганца как подземной, так и надземной частью проростков.

Выводы

Способность растений накапливать в своих органах тяжелые металлы зависит как от свойств металла, так и от специфических особенностей растений. При внесении в почву небольшого количества соединений кобальта не наблюдалось достоверного увеличения его содержания в корневой системе проростков *L. usitatissimum*. С увеличением концентрации в почве загрязнителей увеличивалось и их содержание как в корневой системе, так и в надземной части проростков всех изученных видов растений. При комплексном внесении загрязнителей их содержание как в корнях, так и в надземной части увеличивалось.

Список литературы

1. *Большаков В. А.* Агротехногенное загрязнение почвенного покрова тяжелыми металлами: источники, масштабы, рекультивация / В. А. Большаков и др. – М., 1993. – 91 с.
2. *Гуральчук Ж. З.* Фітотоксичність важких металів та стійкість рослин до їх дії /

Ж. З. Гуральчук. – К. : Логос, 2006. – 208 с.

3. Давыдова С. Л. Тяжелые металлы как супертоксиканты XXI века / С. Л. Давыдова. – М. : Изд-во РУДН, 2002. – 140 с.

4. Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение / В. Б. Ильин. – Новосибирск : Наука, 1991. – 151 с.

5. Пасічна О. О. Вплив міді та марганцю на фотосинтез, дихання та пігментну систему гідрофітів / О. О. Пасічна // Проблеми сучасної екології : тези доп. Міжнарод. 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 / О. В. Хромих // 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 / О. В. Хромих // Молодь та поступ біології : зб. тез 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 / О. В. Хромих // Рослини та урбанізація : матер. I наук.-практ. конф. (Дніпропетровськ, 21–23 листопада 2007 р.). – Дніпропетровськ : ООО ТПП «Куница», 2007. – 260 с.

9. Hromykh O. The influence of the pollution of soils with cobalt and manganese on some morphometric indices of flowering decorative plants / O. Hromykh // Biodiversity. Ecology. Adaptation. Evolution : Proc. of the III Int. young scientists conf., dedicated to 100 anniversary from birth of M. 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 / B. R. Glick // Biotechnology Advances. – 2010. – Vol. 21, N 5. – P. 383-393.

11. Junior A. M. D. Dispersal pattern of airborne emissions from an aluminium smelter in Ouro Preto, Brasil, as expressed by foliar fluoride accumulation in eight plant species / A. M. D. Junior, M. A. Oliva, F. A. Ferreira // Ecological Indicators. – 2012. – Vol. 8, N 5. – P. 454-461.

12. Kang D.-H. Assessment of landfill leachate volume and concentration of cyanide and fluoride during phytoremediation / D.-H. Kang, D. Tsao, F. Wang-Cahill et al. // Bioremediation Journal. – 2012. – Vol. 12, N 1. – P. 32-45.

13. Kramer U. Phytoremediation : novel approaches to cleaning up polluted soils / U. Kramer // Current Opinion in Biotechnology. – 2008. – Vol. 16, N 2. – P. 133-141.

14. Pilon-Smits E. Phytoremediation of metals using transgenic plants / E. Pilon-Smits, M. Pilon // Critical Reviews in Plant Sciences. – 2014. – Vol. 21, N 5. – P. 439-456.

Frunze O. V., Konoplenko M. H. Cobalt and manganese content in seedlings of ornamental herbaceous plants under controlled pollution. – The content of heavy metals in seedlings of ornamental herbaceous plants under controlled pollution was studied. Studies have shown that the ability of plants to accumulate heavy metals in their organs depends both on the properties of the metal and on the specific characteristics of the plants. When small amounts of cobalt compounds are introduced into the soil, there is no significant increase in its content in the root system of seedlings *Linum usitatissimum* L. With an increase in the concentration of pollutants in the soil, their content in the root system and in the aerial part of the seedlings of all studied plant species increased. With the integrated introduction of pollutants, their content in the roots and in the aerial part increased.

Key words: cobalt, manganese, ornamental herbaceous plants, heavy metal accumulation.

© А. В. Чайка, Ю. А. Молодцова

РЕАКЦИЯ ПРООКСИДАНТНО-АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ КАК КРИТЕРИЙ ОТБОРА УСТОЙЧИВЫХ К ГИПЕРТЕРМИИ ШТАММОВ *PLEUROTUS OSTREATUS*

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

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

Чайка А. В., Молодцова Ю. А. Реакция прооксидантно-антиоксидантной системы как критерий отбора устойчивых к гипертермии штаммов *Pleurotus ostreatus*. – Изучена реакция прооксидантно-антиоксидантной системы 15 дикариотических штаммов вешенки обыкновенной (*Pleurotus ostreatus*) на воздействие экстремальной температуры. Показана возможность использования комплекса показателей про-антиоксидантного равновесия для ранней индикации развертывания адаптивных процессов штаммов *P. ostreatus* к высокотемпературному стрессу. Отобраны устойчивые к гипертермии штаммы вешенки обыкновенной.

Ключевые слова: прооксидантно-антиоксидантная система, гипертермия, *Pleurotus ostreatus*.

Введение

В последние годы всё большие масштабы приобретает промышленное выращивание грибов. Это связано с тем, что культивирование грибов – единственный во всем мире коммерчески эффективный крупномасштабный путь биоконверсии лигноцеллюлозных отходов в пищу. Как объект промышленного производства, вешенка обыкновенная *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kumm. характеризуется биологической скороспелостью, холодостойкостью в период плодоношения, относительно коротким циклом выращивания, устойчивостью к болезням и вредителям. Плодовые тела *P. ostreatus* представляют собой ценный продукт питания и источник высококачественного белка, содержащего все незаменимые аминокислоты, витамины, минеральные соли и биологически активные соединения [1, 2, 9, 19].

Общепризнанно, что температура оказывает значительное влияние на скорость прохождения стадий развития мицелия *P. ostreatus*, санитарное состояние субстратных блоков и культуры, величину и качество урожая плодовых тел. Регулирование температуры в субстратном блоке усложняется тем, что она зависит не только от температуры в культивационных помещениях, но и от физических и геометрических параметров самого блока: влажности субстрата, плотности набивки, высоты и диаметра блока [1, 11, 16]. В этой связи отмечается острая потребность производства в новых устойчивых к температурному стрессу, продуктивных штаммах *P. ostreatus*. Перспективным является изучение и использование природного генетического потенциала аборигенных штаммов *P. ostreatus* для получения новых штаммов [14].

В многочисленных исследованиях показано, что окислительный стресс представляет собой универсальное следствие воздействия на живую систему разнообразных экстремальных факторов, при этом продукты перекисного окисления липидов (ПОЛ), запускают ответную реакцию клетки и могут привести либо к увеличению её устойчивости и адаптации, либо к гибели [4, 5, 17]. Анализ прооксидантно-антиоксидантных процессов не только как важного звена метаболизма, но и как его индикатора, открывает путь к оценке адаптационных возможностей живых систем к различным стрессорам по показателям состояния про-антиоксидантной системы [13]. Актуальным является изучение и оценка информативности показателей прооксидантно-антиоксидантной системы как индикаторов функционального состояния и адаптационного потенциала различных штаммов *P. ostreatus* как исходного материала для дальнейшей селекции устойчивых гибридных штаммов.

Исходя из вышеизложенного, целью настоящего исследования было изучение реакции прооксидантно-антиоксидантной системы штаммов *P. ostreatus* на гипертермию и отбор устойчивых к этому фактору штаммов.

Материал и методы исследования

Материалом исследования были 15 дикариотических штаммов вешенки обыкновенной *P. ostreatus*: К-17, НК-35, Д-29, СА, Д-15, В-99, РЛВН, КГ-1, РО-2217, К-2016, ВК-2000, ДП-15, РО-2017, Р-15, РО-2117.

Для изучения влияния гипертермии на состояние прооксидантно-антиоксидантной системы штаммов *P. ostreatus*, их культивировали статически на жидкой среде следующего состава (г/л): глюкоза – 10, пептон – 3, KH_2PO_4 – 0,6, K_2HPO_4 – 0,4, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,5, CaCl_2 – 0,05, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,001 [12]. Начальный водородный показатель pH среды составлял $6,54 \pm 0,03$. Культивирование штаммов *P. ostreatus* проводили на протяжении 6 суток в колбах ёмкостью 250 мл с 50 мл среды при температурном оптимуме $25 \pm 1^\circ\text{C}$, после чего культуры подвергали высокотемпературному стрессу (ВТС) при $+40^\circ\text{C}$ в течение 24 и 48 часов. Инокулюмом служил гомогенизированный глубинный мицелий, который выращивался на аналогичной среде в колбах с шиповидными отбойниками в течение 7 суток при температуре $25 \pm 1^\circ\text{C}$ на возвратно-поступательной лабораторной качалке АВУ-6С. Инокулюм вносили в количестве 10% от объёма среды.

Для ранней индикации неблагоприятного воздействия высоких температур на штаммы *P. ostreatus* использовали комплекс показателей прооксидантно-антиоксидантного равновесия [6]. Мицелий отделяли от культуральной жидкости с помощью плотной капроновой ткани, трёхкратно промывали дистиллированной водой с температурой до $+5^\circ\text{C}$, подсушивали, отбирая лишнюю влагу фильтровальной бумагой. Часть мицелия использовали для приготовления водной вытяжки, а часть – для установления влажности мицелия, что необходимо для пересчёта содержания продуктов ПОЛ на сухую массу. Все операции по гомогенизации проводили при температуре не выше $+5^\circ\text{C}$.

Прооксидантно-антиоксидантное равновесие мицелия штаммов оценивали по уровням самопроизвольного (ПОЛ_с) и индуцированного (ПОЛ_и) перекисного окисления липидов, а также общей антиоксидантной активности (АОА). Интенсивность процессов самопроизвольной липидной перекисации определяли модифицированным методом по содержанию продуктов ПОЛ, активных к тиобарбитуровой кислоте (ТБК-АП). Принцип метода заключается в том, что при нагревании в кислой среде часть продуктов ПОЛ, относящихся к классу гидроперекисей, разлагается с образованием малонового диальдегида (МДА), взаимодействие которого с ТБК ведет к образованию окрашенного триметинового комплекса с максимумом поглощения при 532 нм [10]. К 1,5 мл водной вытяжки мицелия добавляли растворы трихлоруксусной кислоты и 2-тиобарбитуровой кислоты (Merck, Германия) до конечных концентраций в реакционной смеси 0,61 и 0,37 моль/л соответственно. Смесь инкубировали в течение 15 минут на кипящей водяной бане. После инкубации пробы центрифугировали, супернатант отбирали в сухие чистые пробирки (исследовательская проба). В контрольной пробе вместо гомогената использовали дистиллированную воду. Дальнейшая обработка контрольной пробы проходила так же, как и исследовательской, центрифугирование не требовалось. Экстинкции опытной пробы измеряли по сравнению с контрольной на спектрофотометре СФ-26 при длинах волн 532 нм и 590 нм. Расчет содержания ТБК-АП (*A*) вели по формуле:

$$A = \frac{(E_{532} - E_{590}) \cdot 10^6 \cdot V \cdot K}{1,56 \cdot 10^5 \cdot P},$$

где E_{532} и E_{590} – показатели экстинкции опытной пробы при 532 и 590 нм; 10^6 – фактор размерностей; *V* – объём реакционной смеси (мл); *K* – коэффициент пересчета на абсолютно сухую массу мицелия; $1,56 \cdot 10^5$ – молярный коэффициент экстинкции; *P* – количество материала – сырого мицелия (г). Содержание ТБК-АП выражали в нмоль/г.

Для создания условий индукции ПОЛ использовали инкубацию микологического материала с растворами сернокислого железа и аскорбиновой кислоты при 40°C в течение 90 минут. После этого определяли содержание в пробе ТБК-АП аналогично определению ПОЛ_с. По полученным показателям самопроизвольного и индуцированного ПОЛ микологического материала рассчитывали показатель прооксидантной активности (ПОА, ед.) по формуле:

$$ПОА = \frac{ПОЛ_c}{ПОЛ_u}$$

Общую антиоксидантную активность микологического материала оценивали по интенсивности торможения накопления продуктов перекисного окисления и определяли с помощью модели перекисного окисления липидов – реакции окисления твин-80 кислородом воздуха [7]. Для этого к подготовленному микологическому материалу добавляли $1 \cdot 10^{-3}$ моль/л раствор сернокислого железа, $1 \cdot 10^{-2}$ моль/л аскорбиновой кислоты и 1% водный раствор твин-80. В контрольный раствор вместо микологического материала вносили дистиллированную воду. Инкубацию проводили в герметичных ёмкостях объемом 100 мл при температуре 40°C в течение 24 часов. После этого проводили определение продуктов ПОЛ в реакционной смеси аналогично определению ПОЛ_с. АОА (ед.) рассчитывали по формуле:

$$АОА = \frac{A_k - A_o}{A_k}$$

где A_k, A_o – содержание ТБК-АП в контрольном и опытном образцах соответственно.

По полученным показателям АОА и ПОА рассчитывали коэффициент равновесия прооксидантно-антиоксидантной системы (КР, ед.) по формуле:

$$КР = \frac{АОА}{ПОА}$$

Эксперименты проводили в трёхкратной повторности. Полученные экспериментальные данные обрабатывали с использованием MS Excel и пакета программ для проведения статистической обработки результатов биологических экспериментов. Достоверной считалась разница при уровне значимости $p < 0,05$ [8].

Результаты и обсуждение

Исследования интенсивности самопроизвольных процессов перекисного окисления липидов 15 штаммов *P. ostreatus* показали, что при оптимальной температуре культивирования у разных штаммов данный показатель значительно отличался. Самое высокое значение ПОЛ_с (у штамма НК-35) превышало самое низкое (у штамма РО-2117) в 1,7 раза. Условно по величине ПОЛ_с при оптимальной температуре культивирования исследуемые штаммы можно разделить на две группы. К первой группе, с высоким содержанием продуктов ПОЛ (более 218 нмоль ТБК-АП/г), можно отнести большинство штаммов *P. ostreatus*: К-17, НК-35, Д-29, СА, Д-15, В-99, РЛВН, КГ-1, РО-2217, РО-2017 и Р-15. Ко второй группе, с низким уровнем ПОЛ_с (менее 197 нмоль ТБК-АП/г), – штаммы К-2016, ВК-2000, ДП-15 и РО-2117.

Под действием высокотемпературного стресса 24-часовой экспозиции у штаммов РЛВН, КГ-1, К-2016 происходило усиление самопроизвольной липидной перекисидации на 25-50%, а у штамма РО-2017 – снижение на 13%. У остальных исследуемых штаммов *P. ostreatus* уровень ПОЛ_с достоверно не изменился. При повышении температуры внешней среды происходит внутриклеточная перестройка, нарушение структуры мембран, что приводит к усилению образования активированных форм кислорода (АФК) [18]. На основании этого неизменность уровня ПОЛ_с у большинства исследуемых штаммов *P. ostreatus*, за исключением РЛВН, КГ-1, К-2016, может свидетельствовать об успешной детоксикации образующихся АФК системой антиоксидантной защиты клеток. При более продолжительном действии стрессора (48 ч) у штаммов РЛВН и К-2016 наблюдался практически такой же высокий уровень ПОЛ, как и при 24-часовом воздействии. Следовательно, у этих штаммов ни дальнейшего развития окислительного стресса, ни усиления детоксикации АФК не происходит, в отличие от штамма КГ-1, у которого отмечена нормализация ПОЛ_с. Аналогичное снижение показателей ПОЛ_с при длительном воздействии высокой температуры, по сравнению с кратковременным, установлено у штаммов Д-29 и ВК-2000 – на 19 и 23%, соответственно. У штамма НК-35 уровень ПОЛ_с

снизился по сравнению с контролем на 40%. Такая реакция может отражать развитие резистентности указанных штаммов *P. ostreatus* к неблагоприятному воздействию.

Напротив, у штаммов РО-2017, Д-15, РО-2217, РО-2117 наблюдалось увеличение интенсивности ПОЛ_с при продолжительном действии высокой температуры на 28-42%, что может свидетельствовать о развитии окислительного стресса на фоне возможного истощения защитных систем.

Уровень ПОЛ_с определенным образом характеризует изменение интенсивности прооксидантных процессов штаммов под действием гипертермии, однако использование только показателей концентрации продуктов липидной пероксидации может привести к ошибочной оценке реакции прооксидантно-антиоксидантной системы, так как не учитываются многие важные факторы, например содержание субстратов ПОЛ и антиоксидантов в клетках культур. В связи с этим, также проводили определение уровня интенсивности индуцированного ПОЛ штаммов. Сравнительный анализ результатов этого исследования показал, что при оптимальной температуре для роста показатели ПОЛ_и выше ПОЛ_с у всех штаммов *P. ostreatus* на 40-118%. Слабее различались показатели у штаммов НК-35, К-17 и РО-2217 (на 40-60%), сильнее – у К-2016, Д-15 и РО-2117 (на 116-118%). По уровню индуцированного ПОЛ возможна оценка количества липидов, которые не были подвержены окислительной деструкции в отсутствие индуктора ПОЛ. По данному показателю также можно косвенно судить и о напряжении антиоксидантной системы исследуемых штаммов.

При действии гипертермии в течение 24-х часов установлено увеличение ПОЛ_и у штаммов К-17 на 14% по сравнению с контролем, К-2016 – на 18%, РО-2017 – на 23%, а снижение – у штамма Д-29 на 16%. У остальных штаммов показатель ПОЛ_и достоверно не изменился. С увеличением длительности неблагоприятного воздействия у штамма Д-29 интенсивность ПОЛ_и осталась на прежнем уровне, а у штаммов К-17, К-2016 и РО-2017 показатели нормализовались. У штаммов СА, Д-15, В-99 произошло увеличение уровня ПОЛ_и по сравнению с краткосрочным воздействием гипертермии на 14-33%. Определение ПОЛ_и и сравнительное изучение уровней ПОЛ_с, ПОЛ_и и в итоге совокупного показателя, – ПОА, – позволяет оценить степень задействованности субстратов ПОЛ в окислительных реакциях и отметить, насколько наблюдаемый уровень ПОЛ близок к максимально возможному (при окислении всех доступных субстратов). Это обеспечивает более достоверную, надежную оценку состояния про-антиоксидантной системы.

Полученные показатели ПОА, характеризующие активность прооксидантной составляющей прооксидантно-антиоксидантной системы исследуемых штаммов *P. ostreatus* при высокотемпературном стрессе в сравнении с контролем представлены на рис. 1.

Прооксидантная активность исследуемых штаммов *P. ostreatus* при оптимальной температуре находится на разном уровне (см. рис. 1). Высокий уровень ПОА (0,55 ед. и выше) отмечен у штаммов К-17, НК-35, РЛВН, РО-2217, РО-2017 и Р-15. Отметим, что все эти штаммы имели также высокий уровень ПОЛ_с. Низкие значения ПОА (0,50 ед. и менее) установлены у штаммов Д-15, В-99, К-2016, ВК-2000 и РО-2117. Все штаммы из этой группы, за исключением Д-15 и В-99, имели и низкий уровень ПОЛ_с. Последние два штамма характеризовались довольно высоким уровнем ПОЛ_с и относительно большим запасом незадействованных субстратов ПОЛ (по показателям ПОЛ_и), что обеспечило невысокий уровень прооксидантной активности. Штаммы К-17 и НК-35 показали высокий уровень ПОЛ_с при низком ПОЛ_и, в связи с чем у них более высокий, чем у остальных штаммов, уровень ПОА при оптимальной температуре роста. Исходя из того, что процессы ПОЛ играют важную роль в жизнедеятельности клеток живых организмов, а у дереворазрушающих грибов с ними связаны также процессы деструкции лигноцеллюлозного комплекса древесины [3], установленный при оптимальной температуре роста контрольный уровень прооксидантной активности у штаммов можно считать безопасным и необходимым для протекания различных физиологических процессов культур. Вариабельность данного показателя у исследуемых штаммов отражает их существенную генетическую неоднородность.

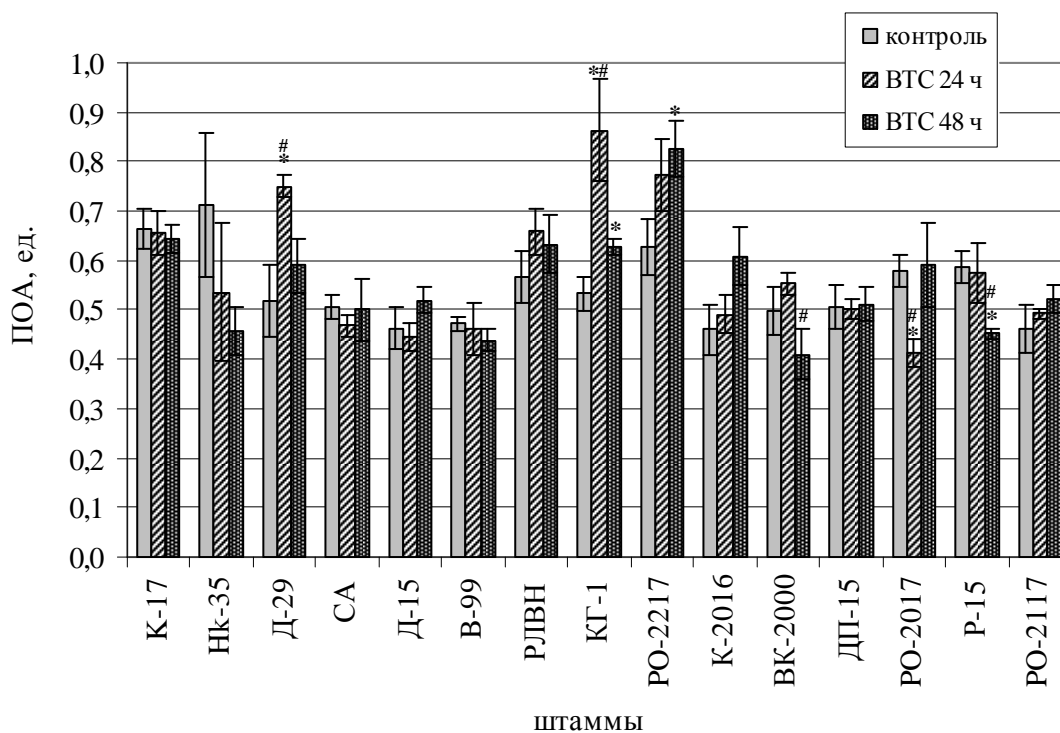


Рис. 1. Показатели ПОА исследуемых штаммов *P. ostreatus* при высокотемпературном стрессе 24- и 48-часовой экспозиции:

* и # – различия статистически значимы ($p < 0,05$) относительно контроля и между различными экспозициями ВТС соответственно

При действии гипертермии 24-часовой экспозиции наблюдалось усиление ПОА у штаммов *P. ostreatus* Д-29 – на 44% и штамма КГ-1 – на 62%, а также снижение данного показателя на 29% у штамма РО-2017. С увеличением срока неблагоприятного воздействия до 48 часов у штамма Д-29 происходит нормализация ПОА, у штамма КГ-1 – значительное снижение параметра, однако оно остается на 18% выше контрольного значения. Это может свидетельствовать о постепенной активизации антиоксидантной защиты и затухании возникшего при начале действия гипертермии окислительного стресса. В мицелии штамма РО-2217 при перманентном действии высокой температуры происходит постепенная интенсификация ПОА, что может указывать на усиленное образование активных форм кислорода под действием стрессора на фоне возможного прогрессирующего истощения антиоксидантной системы. Наоборот, у штаммов ВК-2000 и Р-15 с увеличением времени неблагоприятного воздействия происходит достоверное снижение прооксидантной активности, по сравнению с краткосрочным, на 26 и 21% соответственно. Снижение показателей прооксидантной активности в мицелии штаммов говорит о росте количества неокисленных субстратов ПОЛ и может косвенно указывать на напряжение антиоксидантной системы. Такая реакция может быть признаком развития толерантности указанных штаммов к стрессу. Однако принятие во внимание только показателей прооксидантной составляющей, может привести к неверному выводу о сдвиге про-антиоксидантного равновесия ряда культур в сторону антиоксидации при длительной гипертермии. Для получения точных сведений о развитии приспособительных реакций необходимо отдельное исследование антиоксидантной составляющей про-антиоксидантного равновесия штаммов.

Количество активных антиоксидантов в клетках – важный параметр, характеризующий состояние прооксидантно-антиоксидантной системы клетки. Изучение общей антиоксидантной активности мицелия исследуемых культур *P. ostreatus* при оптимальной температуре показало, что наибольшая АОА характерна для штаммов Р-15 и РО-2117 (0,24 ед.). Несколько ниже данный показатель был у штаммов ВК-2000, ДП-15, СА и РО-2217

(0,16-0,19 ед.). Наименьшая АОА отмечена у штаммов РО-2017 (0,03 ед.), К-2016 (0,07 ед.) и НК-35 (0,08 ед.). У остальных штаммов АОА находилась в пределах 0,11-0,13 ед. Корреляционный анализ АОА и ПОА исследуемых штаммов показал отсутствие зависимости между этими показателями.

При 24-часовом воздействии экстремальной температуры изменения АОА были отмечены только у штаммов *P. ostreatus* P-15 и РО-2117 – значения снизились на 39 и 44% соответственно. Через 48 часов действия стресса у данных штаммов истощение антиоксидантной системы усугубилось – значения АОА снизились в 3 раза (у P-15) и в 2 раза (у РО-2117) по сравнению с контролем. Также при длительном воздействии гипертермии снизилась на 43% АОА мицелия штамма ВК-2000. Отметим, что показатели ПОА у данных штаммов при стрессе либо оставались на уровне контроля, либо снижались (у P-15). Это подтверждает необходимость учета как прооксидантной, так и антиоксидантной составляющей для установления подлинного состояния прооксидантно-антиоксидантной системы. Противоположно этим штаммам, при длительном воздействии гипертермии установлено увеличение АОА у штаммов Д-15 (на 25% в сравнении с контролем и на 89% – в сравнении с краткосрочным стрессом), Д-29 (на 126% в сравнении с контролем) и ДП-15 (на 32% в сравнении с краткосрочным стрессом). При этом ПОА у данных штаммов оставалась на уровне контроля, поэтому такую активизацию антиоксидантной системы штаммов можно считать соразмерной стрессу. У штамма НК-35 АОА повысилась на 283% в сравнении с контролем при снижении ПОА, что говорит об избыточности реакции антиоксидантной системы. У штамма РО-2217 АОА выросла на 75% в сравнении с краткосрочным стрессом при повышении ПОА – возможный признак недостаточной реакции антиоксидантной системы.

Результирующая характеристика состояния прооксидантно-антиоксидантной системы, учитывающая все предыдущие исследуемые показатели – интегральный КР, представлен на рис. 2.

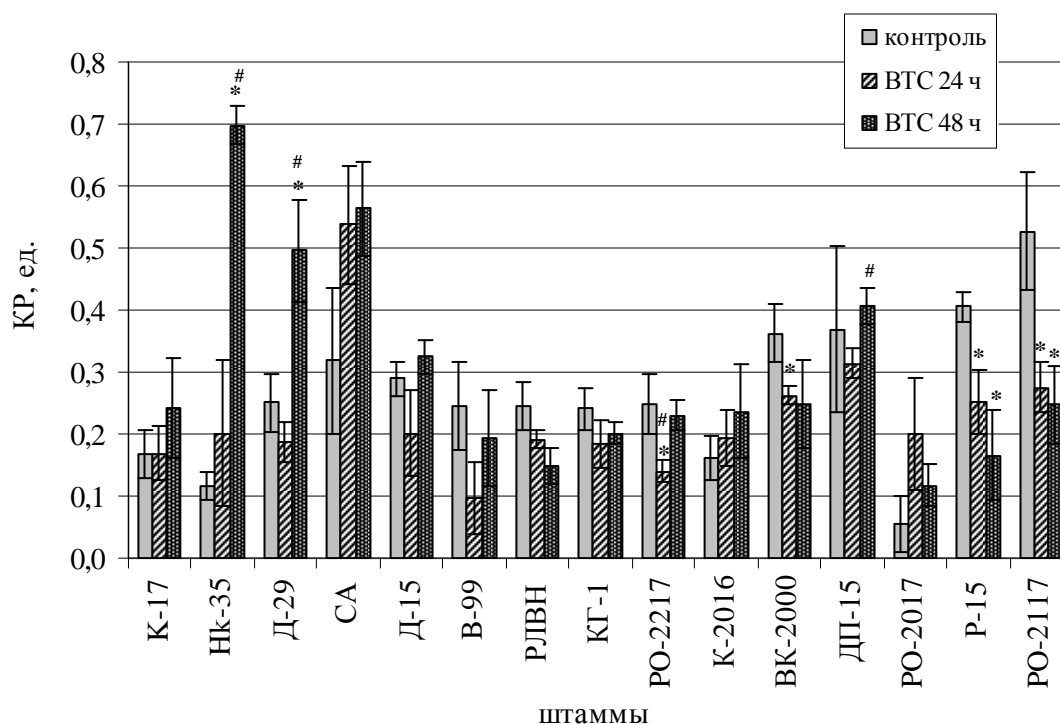


Рис. 2. КР исследуемых штаммов *P. ostreatus* при высокотемпературном стрессе 24- и 48-часовой экспозиции:

* и # – различия статистически значимы ($p < 0,05$) относительно контроля и между различными экспозициями ВТС соответственно

В соответствии с рис. 2, при оптимальной температуре наибольший КР (0,32 ед. и выше) характерен для штаммов *P. ostreatus* СА, ВК-2000, ДП-15, Р-15 и РО-2117. В данной группе штаммов самый высокий КР, указывающий на значительное преобладание антиоксидантных процессов, установлен у РО-2117. Штамм отличается очень низкими значениями ПОЛ_с и ПОЛ_и, причем в процессах ПОЛ задействованы менее половины доступных субстратов, благодаря самой высокой АОА среди исследуемых штаммов. Подобные, но не настолько предельные, характеристики свойственны штаммам ВК-2000 и ДП-15. Иначе обстоит дело у штаммов СА и, особенно, Р-15. У них было установлено большое содержание продуктов ПОЛ, высокий уровень прооксидантных процессов с задействованием большей части субстратов, но при этом высокий уровень АОА, благодаря чему КР мицелия данных штаммов довольно высок. При действии как краткосрочного, так и долгосрочного высокотемпературного стресса у штамма СА КР увеличивается, что даёт основания охарактеризовать его как устойчивый, а у штамма Р-15 КР снижается в 2 раза, что указывает на некоторую экзогенную недостаточность его антиоксидантной системы. КР штаммов с низким уровнем прооксидантных процессов в нормальных условиях также по-разному реагирует на высокотемпературный стресс. Так, у штамма ДП-15 при 24-часовом воздействии экстремальной температуры КР остаётся на контрольном уровне, а через 48 ч воздействия повышается на 29%. Благодаря активизации антиоксидантной системы сохраняется исходный низкий уровень ПОА, следовательно развития окислительного стресса не наблюдается, и штамм можно считать устойчивым к высокой температуре. Напротив, у штаммов РО-2117 и ВК-2000 стабильный уровень ПОА поддерживается за счет ослабления антиоксидантной системы, благодаря чему КР смещается в сторону прооксидации уже при краткосрочном воздействии гипертермии. Такое постепенное истощение защитных ресурсов штаммов может служить показателем развития дистресса.

Следующая группа штаммов *P. ostreatus* – с низкими контрольными значениями КР (0,17 ед. и ниже): К-17, НК-35, К-2016 и РО-2017. Эти штаммы характеризуются очень низкой АОА, а также (кроме К-2016) исключительно высокими показателями содержания продуктов ПОЛ и уровня прооксидантных процессов с задействованием большинства (до 71% у НК-35) субстратов. При этом высокая температура не оказывает совершенно никакого негативного влияния на КР штаммов. Напротив, у штамма НК-35 при длительном воздействии гипертермии наблюдается увеличение КР практически в 6 раз. Следовательно, данные штаммы также можно считать довольно устойчивыми к экстремальным температурам. Причиной сдвига про-антиоксидантного равновесия в сторону прооксидации у этих штаммов при оптимальной температуре может быть либо высокая активность окислительных лигнолитических ферментов, либо воздействие иных факторов, например, трофических, так как активация ПОЛ является неспецифической реакцией на стресс.

Третья группа штаммов *P. ostreatus* – со средними значениями КР (0,24-0,29 ед): Д-29, Д-15, В-99, РЛВН, КГ-1 и РО-2217. Общей особенностью этих штаммов *P. ostreatus* является высокая концентрация субстратов и продуктов ПОЛ в мицелии, а также, за исключением последнего штамма, – низкая АОА и задействование около половины субстратов в реакциях ПОЛ. Как и в предыдущих двух группах, установлены различные варианты ответа прооксидантно-антиоксидантной системы штаммов на действие гипертермии. Так, у штамма Д-29 при 24-часовом воздействии происходило усиление прооксидации, а позже, при 48-часовом воздействии благодаря активизации антиоксидантной системы наблюдалось увеличение КР в 2 раза по сравнению с контролем. У штамма РО-2217 под воздействием гипертермии отмечалось через 24 ч снижение, а через 48 ч – повышение АОА на фоне постепенного усиления ПОА. Это привело к значительному снижению КР при краткосрочном воздействии гипертермии и нормализации показателя – при длительном. Такое изменение характера ответной реакции прооксидантно-антиоксидантной системы этих штаммов на стресс может быть признаком развития устойчивости. Гипертермия различной экспозиции не оказала заметного влияния на показатель КР штаммов *P. ostreatus* Д-15, В-99, РЛВН и КГ-1, который оставался на довольно низком, но стабильном уровне. В то же время

обращает на себя внимание факт, что ПОА у последних двух штаммов несколько выше, чем у двух других. Полученные данные указывают на различия в развертывании адаптивных процессов исследуемых штаммов *P. ostreatus*.

Выводы

Исследовано влияние гипертермии на состояние прооксидантно-антиоксидантной системы 15 штаммов вешенки обыкновенной. Расширение круга изучаемых показателей про-антиоксидантного равновесия позволило установить существенную вариабельность реакций прооксидантно-антиоксидантной системы исследуемых штаммов *P. ostreatus* на стресс, что подтвердило их физиологическую и генетическую гетерогенность. Показана возможность использования комплекса показателей прооксидантно-антиоксидантной системы для индикации развертывания адаптивных процессов штаммов *P. ostreatus* к высокотемпературному стрессу. Благодаря комплексному анализу показателей прооксидантно-антиоксидантной системы исследуемых штаммов *P. ostreatus*, отобраны штаммы с очень хорошим (СА, НК-35, Д-29) и хорошим (К-17, ДП-15, К-2016, РО-2017, Д-15, В-99, РО-2217) адаптационным потенциалом к гипертермии в качестве исходного материала для селекции устойчивых высокопродуктивных гибридных штаммов вешенки обыкновенной.

Список литературы

1. Алексеева К. Л. Зеленые плесени субстратных блоков при выращивании вешенки и пути снижения их вредоносности / К. Л. Алексеева, Д. С. Паргин, К. Г. Терновой // Гавриш. – 2005. – № 2. – С. 18-21.
2. Дудка И. А. Культивирование съедобных грибов / И. А. Дудка, В. Т. Билай, И. А. Бисько – К. : Урожай, 1992. – 317 с.
3. Капич А. Н. Сопряжение перекисного окисления липидов с деградацией лигнина у дереворазрушающих базидиомицетов / А. Н. Капич // Микробные биотехнологии : фундаментальные и прикладные аспекты : сб. науч. тр. – 2011. – Т. 3. – С. 316-335.
4. Колупаев Ю. Е. Салициловая кислота и устойчивость растений к абиотическим стрессорам / Ю. Е. Колупаев, Ю. В. Карпец // Ukr. Biochem. J. – 2014.– Vol. 86, N 4. – С. 18-35.
5. Корж Е. В. Перекисное окисление липидов: причина или следствие / Е. В. Корж, В. В. Мухин, Е. Е. Латышев, Е. А. Асланова // Вестн. неотлож. и восстан. медицины. – 2003. – Т. 4, № 2. – С. 347-350.
6. Патент 114311 України. Спосіб визначення рівноваги прооксидантно-антиоксидантних процесів мікологічного матеріалу / Чайка О. В. Заявка № u201607936, від 18.07.2016, МПК (2006.01), кл. A01G 1/04, G01N 33/52. Бюл. № 5, від 10.03.2017.
7. Полохина И. И. Антиоксидантные свойства плодовых тел *Grifola frondosa* (Dicks: Fr.) SF Gray (Basidiomycetes, Polyporaceae) / И. И. Полохина, С. Д. Трискиба, Л. В. Каниболоцкая и др. // Вісн. Донецького нац. ун-ту. Сер. А: Природн. науки. – 2010. – № 1. – С. 200-203.
8. Приседський Ю. Г. Статистична обробка результатів біологічних експериментів / Ю. Г. Приседський. – Донецьк : Кассіопея, 1999. – 210 с.
9. Соломко Э. Ф. Состав плодовых тел и мицелия высшего съедобного гриба вешенки обыкновенной / Э. Ф. Соломко // Прикладная биохимия и микология. – 1985. – Т. 23, вып 2. – С. 230-236.
10. Стальная И. Д. Метод определения малонового диальдегида с помощью тиобарбитуровой кислоты / И. Д. Стальная, Т. Г. Гаришвили // Современные методы в биохимии / Под. ред. В. Н. Ореховича. – М. : Медицина, 1980. – С. 66-68.
11. Тищенко А. Д. Влияние параметров культивирования на качество плодовых тел вешенки / А. Д. Тищенко, Ф. Ф. Карпов // Школа грибоводства. – 2002. – № 1. – С. 9-14.
12. Чайка О. В. Біотехнологічні аспекти міжфазної тензіометрії і реометрії

культуральної рідини ксилотрофних базидіоміцетів / О. В. Чайка, О. В. Федотов, В. Б. Файнерман, С. В. Лилик // *Biotechnologia Acta*. – 2013. – Т. 6, № 6. – С. 120-131.

13. Чайка О. В. Оцінка екологічного стану довкілля з використанням прооксидантно-антиоксидантної активності культур базидіоміцетів / О. В. Чайка, О. В. Федотов // *Біоресурси і природокористування*. – 2014. – Т. 6, № 1-2. – С. 5-11.

14. Шмаер О. В. Сравнительный анализ природных изолятов вида *Pleurotus ostreatus* / О. В. Шмаер, Ю. С. Белоконь, М. М. Белоконь, А. В. Шнырева // *Микробиология*. – 2005. – Т. 74, № 2. – С. 231-238.

15. Dias E. S. Mushroom cultivation in Brazil : challenges and potential for growth / E. S. Dias // *Cienc. Agrotec.* – 2010. – Vol. 34. – P. 795-803.

16. Hoa H. T. The effects of temperature and nutritional conditions on mycelium growth of two oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus cystidiosus*) / H. T. Hoa, C. Wang // *Mycobiology*. – 2015. – Vol. 43. – P. 14-23.

17. Pham-Huy L. A. Free radicals, antioxidants in disease and health / L. A. Pham-Huy, H. He, C. Pham-Huyc // *Int. J. of Biomedical Science*. – 2008. – Vol. 4. – P. 89-96.

18. Piper P. W. Molecular events associated with the acquisition of heat tolerance by the yeast *Saccharomyces cerevisiae* / P. W. Piper // *FEMS Microbiol. Rev.* – 1993. – Vol. 11, № 4. – P. 339-355.

19. Wang D. Biological efficiency and nutritional value of *Pleurotus ostreatus* cultivated on spent beer grain / D. Wang, A. Sakoda, M. Suzuki // *Bioresour. Technol.* – 2001. – Vol. 78. – P. 293-300.

Chaika A. V., Molodtsova Yu. A. Reaction of prooxidant-antioxidant system as a criterion for *Pleurotus ostreatus* strains hyperthermia resistant. – Prooxidant-antioxidant system reaction of 15 dikaryotic Oyster mushroom *Pleurotus ostreatus* strains to extreme temperature influence was studied. The possibility of use a pro-antioxidant equilibrium indicators set for early indication of adaptive processes deployment to high temperature stress in *P. ostreatus* strains is shown. The resistant to hyperthermia Oyster mushroom strains were selected.

Key words: prooxidant-antioxidant system, hyperthermia, *Pleurotus ostreatus*.

© О. В. Чемерис

ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ШТАММА *IRPEX LACTEUS* 2426 – ПРОДУЦЕНТА ФЕРМЕНТА МОЛОКОСВЕРТЫВАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

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

Чемерис О. В. Оптимизация условий культивирования штамма *Irpex lacteus* 2426 – продуцента молокосвертывающего фермента. – Проведена оптимизация условий культивирования штамма *Irpex lacteus* 2426 по двум факторам – pH питательной среды (от 4,0 до 5,0 с интервалом 0,2 pH) и температуре (от 28°C и 32°C с интервалом 2°C). Установлено, что для штамма *I. lacteus* 2426 наиболее оптимальными условиями культивирования с целью повышения синтеза фермента молокосвертывающего действия являются температура 32°C и кислотность питательной среды pH 4,6.

Ключевые слова: базидиомицет *Irpex lacteus*, молокосвертывающая (сычужная) активность, оптимизация условий культивирования, кислотность (pH), температура.

Введение

Изучение биосинтеза ферментов [3, 7], поиск оптимальных компонентов питательных сред [4, 11] и дифференциация условий культивирования в зависимости от динамики роста и выхода целевого продукта позволяет значительно интенсифицировать процесс синтеза ферментов мицелиальными грибами. Одним из факторов, который способствует оптимизации обменных процессов и приводит к активному росту и развитию гриба является оптимальная температура [6]. Не менее важным фактором, влияющим на рост и метаболическую активность продуцентов, являются условия кислотно-щелочного равновесия. Питательная среда, содержащая все необходимые вещества, но приготовленная без учета необходимой кислотности (или щелочности), может полностью исключить возможность развития организма или оказать на него сильное ингибирующее действие [1, 7].

Предыдущие исследования показали, что для штамма *Irpex lacteus* 2426 максимальные значения молокосвертывающей активности наблюдались на 15-е сутки культивирования [12]. Индивидуальные особенности синтеза молокосвертывающего фермента штаммами гриба *I. lacteus* требуют дополнительных исследований – поиска оптимальной температуры культивирования, pH питательной среды. В связи с этим, целью настоящего исследования была оптимизация условий культивирования штамма *I. lacteus* 2426 по двум факторам – pH питательной среды и температуре.

Материал и методы исследования

Штамм *I. lacteus* выделен из ткани плодового тела сотрудниками кафедры физиологии растений ДонНУ и хранится в Коллекции культур шляпочных грибов Института ботаники им. Н. Г. Холодного НАН Украины (ИБК) под номером 2426. Культивирование штамма *I. lacteus* 2426 проводили в колбах Эрленмейера объемом 100 мл с 50 мл жидкой глюкозо-пептонной среды [10] в статических условиях в течение 15-суток при температуре от 28°C до 34°C с интервалом 2°C. pH питательной среды доводили 10% раствором HCl до значений от 4,0 до 5,0 с шагом 0,2 pH. Определение молокосвертывающей (сычужной) активности (МСА) культуральной жидкости (КЖ) штамма определяли по методу Kawai и Mukai [13] на 10-е, 12-е и 15-е сутки – в период максимальных значений ферментативной активности (установлено ранее [12]). За единицу молокосвертывающей активности принимали такое количество фермента, которое створаживает 100 мл молока за 40 минут при 35°C. Полученные значения переводили в условные единицы согласно формуле [2, 9].

Уровень общей протеолитической активности (ПА) оценивали по методу, основанному на гидролизе казеиновых белков [2].

Содержание белка в культуральной жидкости определяли спектрофотометрическим методом на спектрофотометре СФ-46 (ЛОМО) [5], используя формулу Лайне [14].

Все исследования проводили в трехкратной повторности. Статистическую обработку полученных данных осуществляли дисперсионным анализом, а сравнение средних арифметических величин – по критерию Дункана [8].

Результаты и обсуждение

Молокосвертывающая активность культуральной жидкости штамма *I. lacteus* 2426 при культивировании на питательной среде с рН 4,0-5,0 и при температурах 28-34°C представлена на рис. 1.

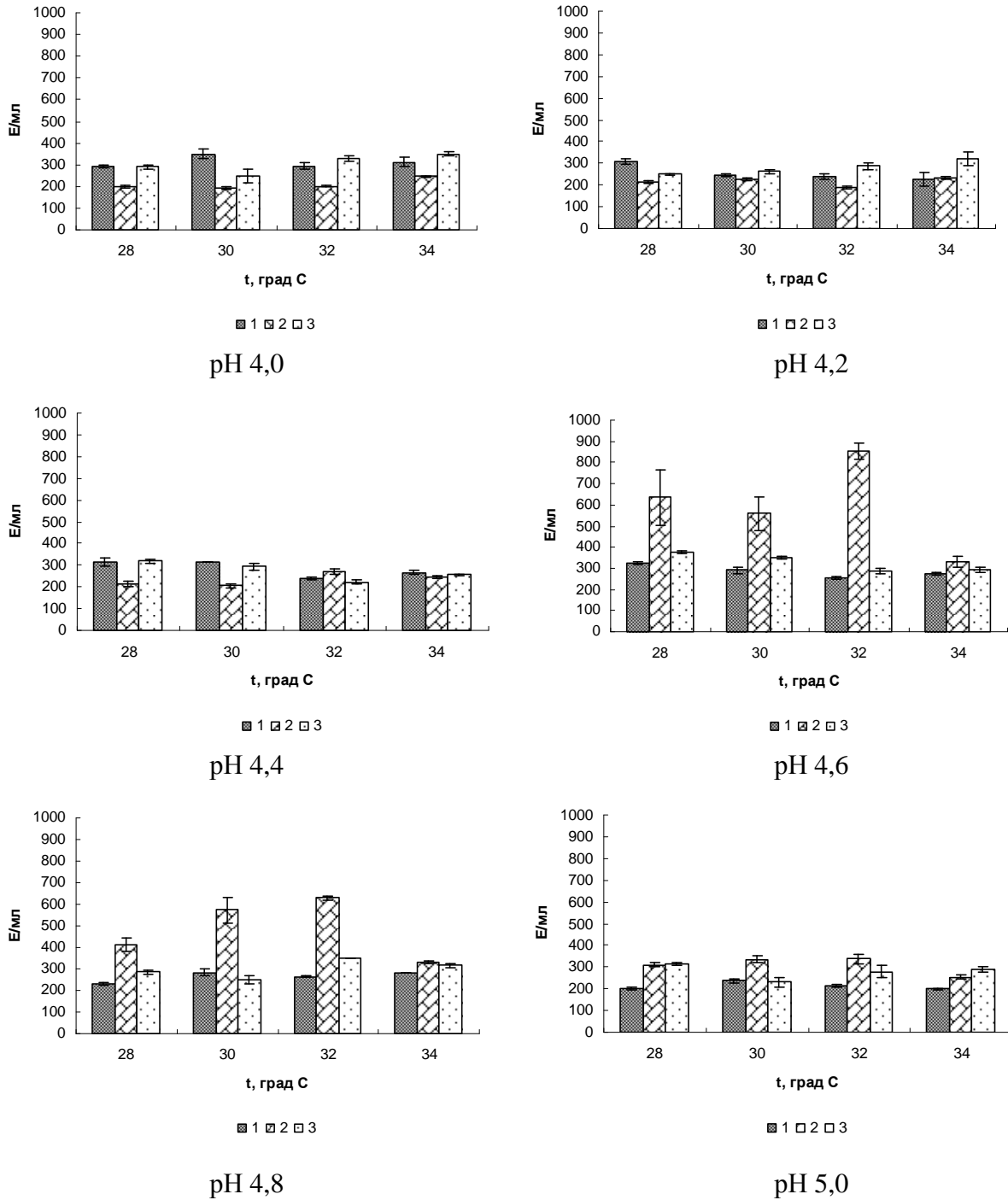


Рис. 1. Молокосвертывающая активность культуральной жидкости штамма *Irpex lacteus* 2426 при культивировании на питательной среде с разной кислотностью: 1 – 10-е сутки, 2 – 12-е сутки, 3 – 15-е сутки

Установлено, что молокосвертывающая активность культуральной жидкости данного штамма находилась на уровне 300-320 Е/мл на питательной среде с рН 4,0-4,4 и рН 5,0 при температурах 28-32°C на 10-е и 15-е сутки. На 12-е сутки отмечено достоверное снижение ферментативной активности при данных условиях культивирования. При культивировании штамма *I. lacteus* 2426 на питательной среде с рН 4,6 молокосвертывающая активность КЖ возрастала на 12-е сутки культивирования почти в два раза по сравнению с 10-м днем при температурах 28°C и 30°C, а при температуре 32°C – почти в три раза и составила ~ 600 Е/мл и 854 Е/мл соответственно. Также повышение ферментативной активности культуральной жидкости штамма *I. lacteus* 2426 отмечено и при культивировании на питательной среде с рН 4,8 на 12-е сутки и достигало значений ~ 400 Е/мл при 28°C и ~ 650 Е/мл при 30-32°C. На 15-е сутки культивирования штамма *I. lacteus* 2426 при заданных условиях молокосвертывающая активность культуральной жидкости достоверно снижалась. Нужно отметить, что при культивировании продуцента при температуре 34°C сычужная активность КЖ оставалась постоянной на уровне 300-320 Е/мл независимо от рН питательной среды.

На рис. 2 представлена протеолитическая активность штамма *I. lacteus* 2426 при культивировании на питательной среде с рН 4,0-5,0 и при температурах 28-34°C.

Установлено, что на 10-е сутки культивирования штамма *I. lacteus* 2426 на питательной среде с рН 4,0 наблюдалась высокая протеолитическая активность культуральной жидкости. На 12-е сутки культивирования ферментативная активность штамма *I. lacteus* 2426 снижалась в два раза при 28°C и 32°C. Именно в этот период наблюдалось и снижение молокосвертывающей активности КЖ. На 15-е сутки культивирования протеолитическая активность достоверно возрастала, однако не превышала значений 10-х суток культивирования. Подобная закономерность прослеживалась при выращивании штамма *I. lacteus* 2426 на питательной среде с рН 4,2-4,4, а также с рН 4,8-5,0.

При культивировании продуцента на питательной среде с рН 4,6 протеолитическая активность культуральной жидкости находилась на одном уровне с 10-х по 15-е сутки. Достоверное снижение ферментативной активности КЖ наблюдалось на 12-е сутки культивирования при температуре 30°C. Именно в этот период отмечен максимум молокосвертывающей активности культуральной жидкости штамма *I. lacteus* 2426, что свидетельствует об оптимальных условиях культивирования данного продуцента.

По технологическим требованиям сыроделия желательно, чтобы молокосвертывающие ферменты, предназначенные для выработки высококачественных сыров, имели соотношение МСА/ПА в пределах 800-1000 [3]. При культивировании штамма *I. lacteus* 2426 при температуре 34°C соотношение МСА/ПА ниже, чем при температурах 28-32°C. Стоит отметить, что независимо от рН питательной среды соотношения МСА/ПА было максимальным на 12-е сутки культивирования, с последующим снижением на 15-е сутки. Снижение составляло от 0,5 до 3,5 раз. Максимальные соотношения МСА/ПА культуральной жидкости наблюдались на 12-е сутки культивирования штамма *I. lacteus* 2426 на питательной среде с рН 4,6 и температуре 32°C и составляло ~ 6232:1, а также с рН 4,8 и при температуре 30°C и составляло ~ 6043:1. Высокое соотношение МСА/ПА культуральной жидкости свидетельствует об оптимальных условиях культивирования (рН и температура) данного продуцента. Однако данное соотношение МСА/ПА может измениться после выделения и очистки ферментного препарата. Это предположение требует дополнительных исследований.

На рис. 3 представлено содержание белка в культуральной жидкости штамма *I. lacteus* 2426 при культивировании на питательной среде с рН 4,0-5,0 и при температурах 28-34°C.

Установлено, что на 10-е сутки культивирования штамма *I. lacteus* 2426 происходило достоверное снижение содержания белка в культуральной жидкости на фоне высокой сычужной активности во всех вариантах исследования. Очевидно, что наряду с синтезом фермента молокосвертывающего действия происходило одновременно и потребление белка из питательной среды. Это указывает на то, что происходили усиленный рост гриба, требующий потребления белка, и активные синтетические процессы – синтез протеиназ в культуральную жидкость.

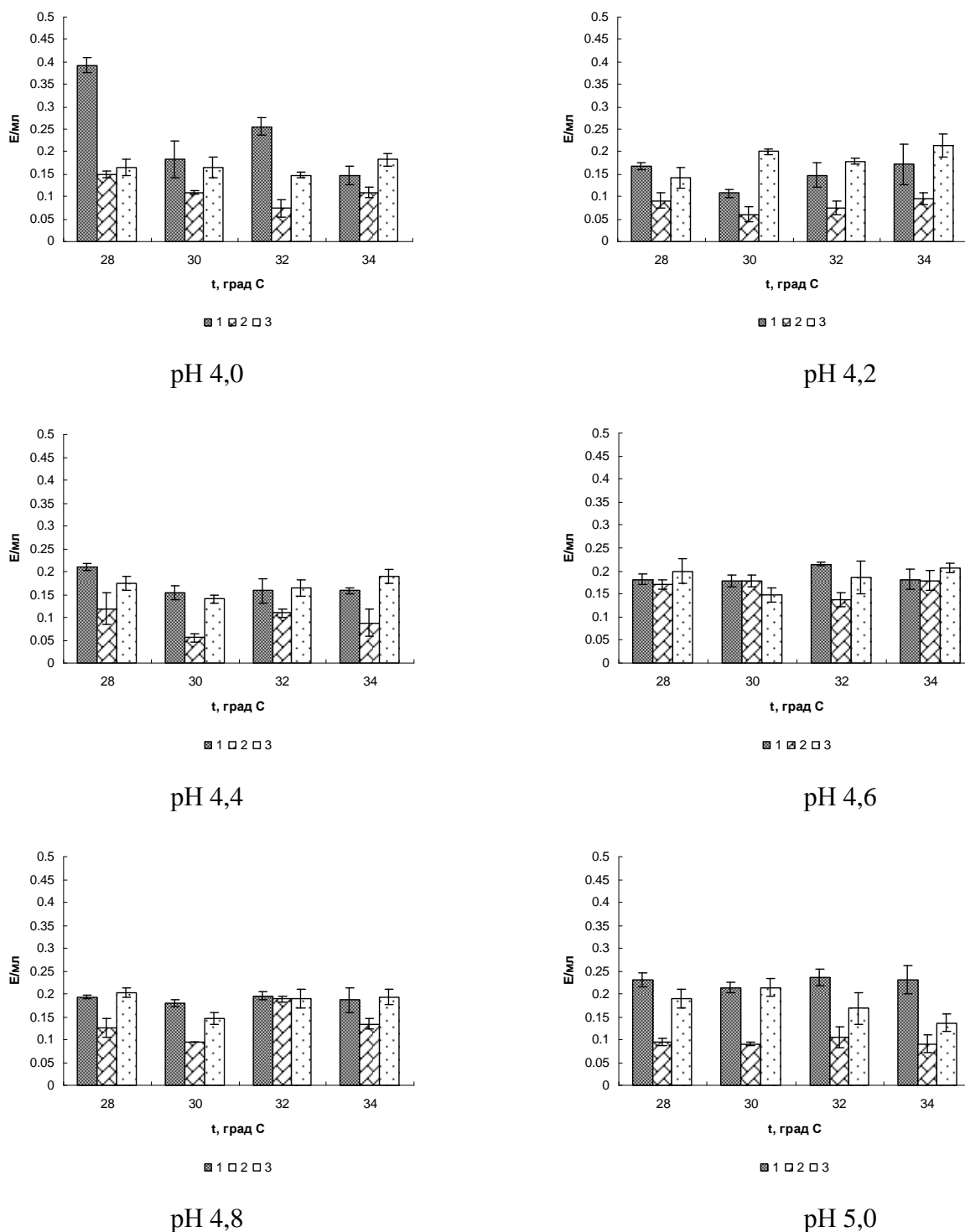


Рис. 2. Протеолитическая активность культуральной жидкости штамма *Irpex lacteus* 2426 при культивировании на питательной среде с разной кислотностью:
1 – 10-е сутки, 2 – 12-е сутки, 3 – 15-е сутки

На 12-е сутки содержание белка в культуральной жидкости возрастало до уровня контроля при культивировании штамма *I. lacteus* 2426 на питательной среде с pH 4,0-4,4 независимо от температуры выращивания. При культивировании продуцента на питательной среде с pH 4,6-5,0 при температурах 28-34°C содержание белка в культуральной жидкости оставалось низким. На 15-е сутки культивирования штамма *I. lacteus* 2426 содержание белка в культуральной жидкости оставалось на уровне 12-х суток, незначительно повышалось лишь в отдельных вариантах. Очевидно, что в данных условиях культивирования штамма *I. lacteus* 2426 для синтеза фермента молокосвертывающего действия требуется усиленное потребление белка, содержащегося в питательной среде.

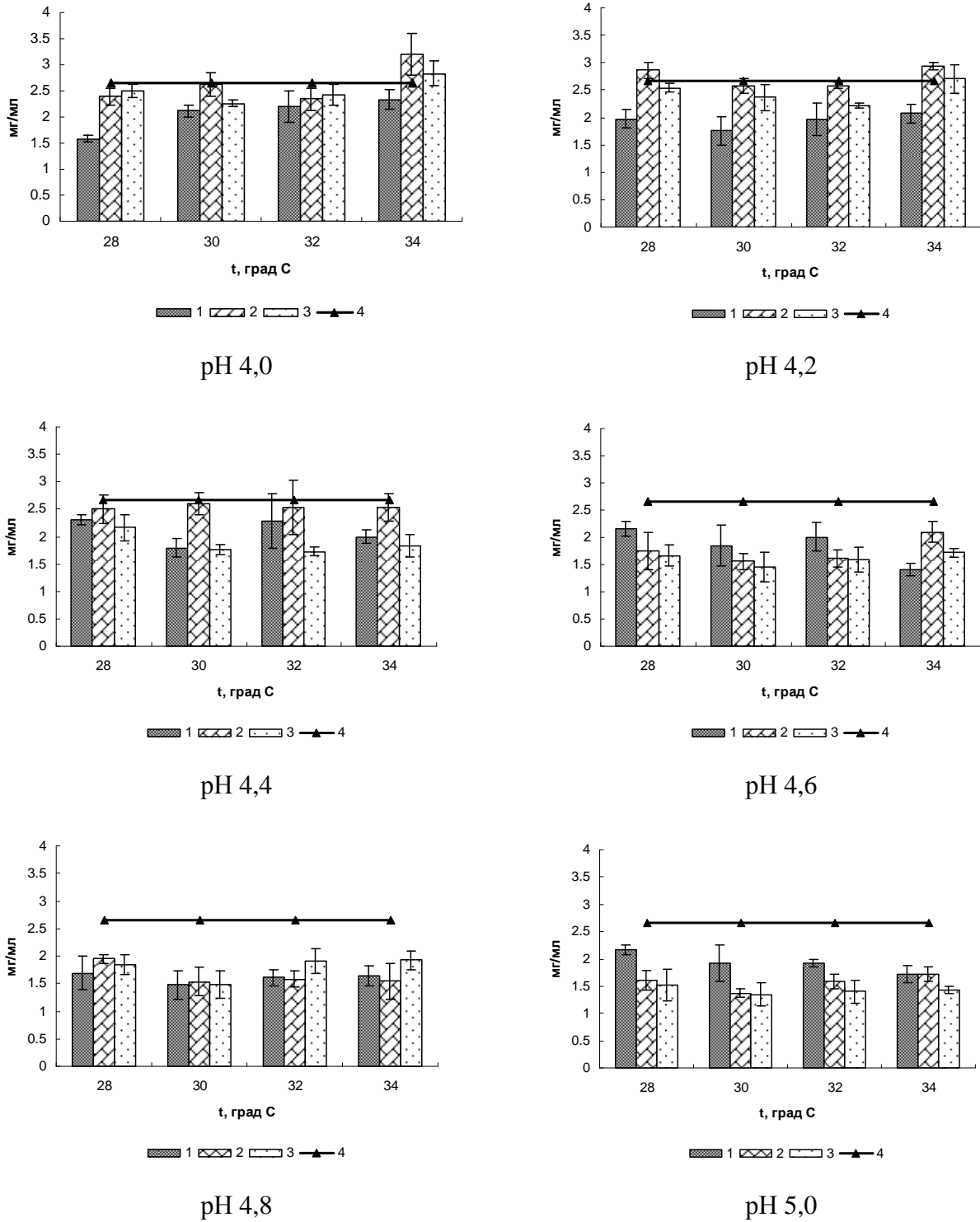


Рис. 3. Содержание белка в культуральной жидкости штамма *Irpex lacteus* 2426 при культивировании на питательной среде с разной кислотностью: 1 – 10-е сутки, 2 – 12-е сутки, 3 – 15-е сутки, 4 – контроль

Выводы

Полученные данные свидетельствуют о том, что для синтеза фермента молокосвертывающего действия штамм *Irpex lacteus* 2426 необходимо культивировать на глюкозо-пептонной питательной среде с pH 4,6 при температуре 32°C.

Список литературы

1. Беккер З. Э. Физиология и биохимия грибов / З. Э. Беккер. – М. : Изд-во Московского университета, 1988. – 230 с.
2. Белки, ферменты и стерилы базидиальных грибов. Методы исследования / Под ред. О. П. Низковской. – Л. : Наука, 1979. – 72 с.
3. Дмитриева Т. А. Изучение молокосвертывающей активности высших базидиомицетов : автореф. дис. ... канд. тех. наук : 03.01.06 «Биотехнология» (в том числе бионанотехнологии). – СПб., 2011. – 20 с.
4. Жеребцов Н. А. Влияние источников углеродного и азотного питания на биосинтез протеиназ с керотинрасщепляющим действием / Н. А. Жеребцов, Л. В. Насонов // Прикл. биохимия и микробиология. – 1989. – Т. 25, № 4. – С. 508-513.
5. Кочетов Г. А. Практическое руководство по энзимологии / Г. А. Кочетов. – М. : Высш. шк., 1980. – 272 с.
6. Кузнецова И. А. Вплив температури на синтез протеїназ молокозсідальної дії та деякі фізіологічні показники культур Р-04 та Ч-03 гриба *Irpex lacteus* / И. А. Кузнецова, А. В. Клименко, М. І. Бойко // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона : межвед. сб. науч. работ. – Донецк : ДонНУ, 2005. – Вып. 5. – С. 153-156.
7. Никитина О. А. Влияние pH среды на накопление молокосвертывающего фермента штаммами *Hirschioporus laricinus* / О. А. Никитина // Микробиол. журн. – 1998. – № 4. – С. 43-48.
8. Приседський Ю. Г. Статистична обробка результатів біологічних експериментів : навч. пос. / Ю. Г. Приседський. – Донецьк : Кассиопея, 1999. – 210 с.
9. Типограф Д. Я. Условия культивирования гриба *Aspergillus candidus*, шт. 111 и его ферментативные комплексы / Д. Я. Типограф, Т. А. Петина // Прикладная биохимия и микробиология. – 1966. – Т. 2, № 4. – С. 417-424.
10. Федорова Л. Н. Протеазы сычужного действия в культурах высших грибов / Л. Н. Федорова, А. Н. Шиврина // Микология и фитопатология. – 1974. – Т. 8, № 1. – С. 22-25.
11. Чемерис О. В. Влияние различных источников азотного питания на молокосвертывающую активность штамма *Irpex lacteus* 2432 / О. В. Чемерис, М. И. Бойко // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2016. – № 3–4. – С. 84-90.
12. Штаммовая изменчивость синтеза специфических молокосвертывающих протеиназ у базидиального гриба *Irpex lacteus* / О. В. Чемерис, В. В. Рашевский, К. А. Галкова, М. И. Бойко // Вестник Московского университета. Сер. 16. Биология. – 2016. – № 4. – С. 45-49.
13. Kawai M. Studies on milk clotting enzymes produced by Basidiomycetes. I. Screening test of Basidiomycetes for the production of milk clotting enzymes / M. Kawai, N. Mukai // Agric. Biol. Chem. – 1970. – V. 34 (2). – P. 159-163.
14. Layne E. Spectrophotometric and turbidimetric methods for measuring proteins / E. Layne // Methods Enzymol. – 1957. – Vol. 3. – P. 447-455.

Chemeris O. V. Optimization of cultivation conditions of the strain *Irpex lacteus* 2426 a producer of the milk-clotting enzyme. – The cultivation conditions of the strain *Irpex lacteus* 2426 were optimized for two factors – pH of the nutrient medium (from 4,0 to 5,0 with an interval of 0,2 pH) and temperature (from 28°C and 32°C with an interval of 2°C). It has been established that for the strain *I. lacteus* 2426, the most optimal cultivation conditions with the aim of increasing the synthesis of the milk-clotting enzyme are 32°C and the nutrient acidity pH 4,6.

Key words: basidiomycete *Irpex lacteus*, milk-clotting (rennet) activity, optimization of cultivation conditions, acidity (pH), temperature.

УДК 577.0 : 57.042 : 57.033

© С. В. Беспалова, С. В. Чуфицкий, Н. В. Романчук, О. Н. Саакян
ВОЗДЕЙСТВИЕ СТОЧНЫХ ВОД УГОЛЬНЫХ ШАХТ НА КАЧЕСТВО ВОДЫ
РЕКИ ОЛЬХОВАЯ

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

Беспалова С. В., Чуфицкий С. В., Романчук Н. В., Саакян О. Н. Воздействие сточных вод угольных шахт на качество воды реки Ольховая. – Проведено исследование отдельного участка русла реки Ольховая, подвергавшегося интенсивному загрязнению шламовыми и шахтными стоками. В ходе исследования проанализирован физико-химический состав проб воды, проведен анализ состояния фитопланктона на основании анализа кривых индукции флуоресценции хлорофилла с помощью метода флуориметрии. Показано негативное воздействие шламовых стоков на содержание биомассы фитопланктона р. Ольховая, а также на протекание процессов фотосинтеза в фотосинтетическом аппарате микроводорослей. Выделен ряд тест-функций, наиболее эффективно отражающих степень влияния загрязнения на биоту.

Ключевые слова: флуориметрия, биомониторинг, фитопланктон, шлам, шламонакопитель, сточные воды, р. Ольховая.

Введение

Согласно многочисленным исследованиям, посвященным биомониторингу природных сред, использование биоиндикаторов позволяет более качественно определить степень негативного антропогенного воздействия на окружающую среду [5, 11, 18]. Важной отличительной особенностью организмов-биоиндикаторов является возможность определения негативных факторов уже на начальных этапах воздействия. Значительная часть исследований в данной области направлена на развитие автоматизированных систем мониторинга, а также на совершенствование экспресс-методов, позволяющих за короткий промежуток времени довольно точно определить состояние биологического объекта, а также степень воздействия на него стресс-факторов. Одним из наиболее информативных экспресс-методов оценки негативного воздействия на водные экосистемы является метод флуориметрии, позволяющий не только определять количество биомассы фитопланктона в исследуемом образце, но и оценить физиологическое состояние фотосинтетического аппарата биообъекта [4, 6, 7, 13, 15, 18].

Одним из характерных для Донецкого региона типов загрязнителей являются шахтные воды, характеризующиеся высокой степенью минерализации, высокой мутностью проб и большим содержанием угольной взвеси [1, 2, 12]. Интенсивному загрязнению сточными водами угольных шахт подвергается р. Ольховая (левый приток р. Крынка), впадающая в Ольховское водохранилище, которое является резервным, питьевым. Кроме того, в перечень особо охраняемых территорий местного значения планируется внести «Панский сад», через который протекает р. Ольховая, загрязненная шахтными водами и стоками из шламонакопителей.

Целью настоящего исследования являлась оценка качества вод р. Ольховая и испытание программно-аппаратного комплекса биомониторинга в натуральных условиях.

Материал и методы исследования

Проведение биомониторинга и оценка качества воды р. Ольховая включало в себя решение нескольких задач:

- выбор мониторинговых точек по ходу русла реки с определением потенциальных источников загрязнения;
- анализ физико-химических параметров реки;

– исследование параметров флуоресценции хлорофилла микроводорослей р. Ольховая;
 – испытание программно-аппаратного комплекса биомониторинга в натуральных условиях.

В рамках исследования был выбран ряд мониторинговых точек (рис. 1).

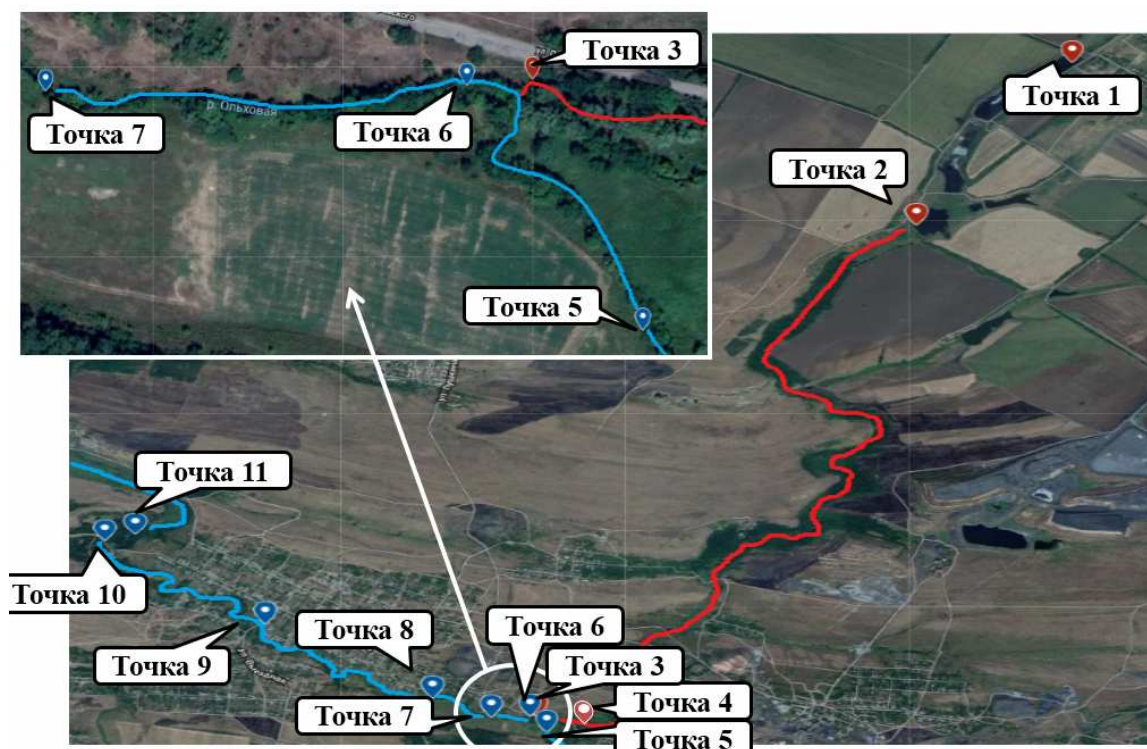


Рис. 1. Карта расположения мониторинговых точек на участке русла р. Ольховая и загрязненного притока

Между мониторинговыми точками № 1 и 2 расположен каскад из трех угольных шламонакопителей. Точка № 1 соответствует первому отстойнику, точка № 2 – третьему. Уровень шлама в каждом из отстойников на момент отбора проб был выше нормы. При таких условиях в период интенсивных осадков существует опасность прорыва дамбы третьего шламонакопителя. В момент проведения мониторинга поверхностных вод был зафиксирован несанкционированный сброс избыточной массы шлама и воды из третьего шламонакопителя через искусственно созданный канал. Стоки попадают в русло р. Ольховая между мониторинговыми точками № 5 и 6. Пробы воды, отобранные в точках № 3 и 4, взяты до впадения загрязненного притока в реку. Точка № 5 расположена на условно чистом, не загрязненном участке русла р. Ольховая. Мониторинговые точки № 6-9 расположены по ходу русла реки, протекающего на территории пос. Ольховчик в непосредственной близости к приусадебным участкам местных жителей, после впадения загрязненного притока. Точки № 10 и 11 расположены на территории «Панского сада».

Исследования выполнялись в рамках договора о сотрудничестве ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет» и Главного управления экологии и природных ресурсов ДНР.

В отобранных пробах воды проводился анализ физико-химических показателей. Измерения выполняли на базе Государственного комитета по экологической политике и природным ресурсам при Главе Донецкой Народной Республики. Определяли содержание взвешенного вещества, сухого остатка, хлоридов, сульфатов, аммонийного азота, нитритов, нитратов, фосфатов, ХПК, БПК, СПАВ, рН, нефтепродуктов (общ.), фенолов, хрома, кобальта, железа, свинца, марганца, меди, цинка, никеля, кадмия общепринятыми методами [9]. Полученные значения сравнивали с предельно допустимыми концентрациями согласно ГН 2.1.5.1315-03 [3].

Для оценки качества воды согласно РД 52.24.643-2002 определяли класс загрязненности воды на основании определения удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ), а также количество критических показателей загрязненности [10]. Для этого рассчитывали:

- баллы кратности превышения ПДК: $K_i = \frac{C_i}{\text{ПДК}_i}$;
- баллы повторяемости случаев превышения ПДК: $H_i = \frac{N_{\text{ПДК}_i}}{N_i}$;
- общий оценочный балл: $V_i = K_i \times H_i$;
- УКИЗВ: $\text{УКИЗВ} = \sum_{i=0}^n V_i$,

где C_i – концентрация i -го вещества в пробе воды; ПДК_i – предельно допустимая концентрация i -го вещества в пробе воды; $N_{\text{ПДК}_i}$ – число превышений значения ПДК для i -го вещества; N_i – общее число измерений содержания i -го вещества в среде [10].

Класс загрязненности определяли согласно коэффициенту, вычисленному из следующего соотношения: $\frac{\text{УКИЗВ}}{k}$, где k – коэффициент запаса, который рассчитывается в зависимости от числа критических показателей загрязненности (КПЗ или F), согласно выражению: $k = 1 - 0,1 \times F$.

По значению полученного коэффициента определяли класс загрязненности воды [10].

Кроме того, проводили флуориметрический анализ проб воды с помощью двух импульсных флуориметров: Phyto-PAM (фирмы Walz, Германия), а также разработанного на базе СКТБ «Турбулентность» макета флуориметра ФС-2. В ходе исследования проводили измерение общего содержания хлорофилла по сигналу флуоресценции на 470, 520, 645 и 685 нм, а также следующих показателей флуоресценции:

F_0 – минимальный уровень флуоресценции, соответствующий состоянию, когда все реакционные центры (РЦ) фотосистемы II (ФС II) открыты;

F_m – максимальный уровень флуоресценции, соответствующий состоянию, когда все РЦ ФС II закрыты;

$F_v = F_m - F_0$ – переменная или вариабельная флуоресценция, отражает соотношение между константами скоростей реакций фотохимического и нефотохимического использования энергии возбуждения реакционного центра;

$\Phi_0 = \frac{F_m - F_0}{F_m}$ – квантовый выход флуоресценции, показатель эффективности

протекания первичной фотохимической реакции в ФСII [4, 8, 13, 14].

Также с помощью флуориметра ФС-2 получали кривые индукции флуоресценции хлорофилла. На основании полученных кривых и параметров ОЛР-теста [5, 8, 14, 16, 17] проводили анализ состояния микроводорослей.

По индукционным кривым определяли следующие параметры:

T_{F_m} – время, необходимое для достижения максимального уровня флуоресценции (миллисекунды);

A_0 или A_{area} – площадь над индукционной кривой;

$S_m = \frac{A_0}{F_m - F_0}$ – нормированную общую площадь над кривой ОЛР (отражает ёмкость

пула электронных акцепторов до полного восстановления Q_a);

$$V_t = \frac{F_t - F_0}{F_m - F_0} - \text{относительную величину переменной флуоресценции в момент}$$

времени t ;

$$V_J = \frac{F_J - F_0}{F_m - F_0} - \text{относительную величину переменной флуоресценции в фазе J после}$$

2 мс освещения (отражает количество закрытых РЦ по отношению к общему числу РЦ, которые могут быть закрыты);

$$V_I = \frac{F_I - F_0}{F_m - F_0} - \text{относительную величину переменной флуоресценции во время фазы I}$$

(30 мс), связанную с промежуточным стационарным уровнем восстановления пула пластохинонов (отражает способность ФС I и ее акцепторов окислять PQH₂);

Φ_{E_0} – квантовую эффективность переноса электронов от Q_a^- (при $t = 0$);

$\Psi_0 = 1 - V_J$ – вероятность транспорта электронов за пределы Q_a^- (при $t = 0$), т. е. эффективность, с которой экситон, захваченный РЦ, движет электрон по цепочке после Q_a ;

PI – тотальный индекс производительности – показатель функциональной активности ФС 2, ФС 1 и цепи переноса электронов между ними [5, 8, 16, 17].

Статистическую обработку полученных результатов исследования проводили с помощью программ Statistica 8 (StatSoft Inc.) и Excel 2003 (Microsoft Corporation). Достоверность отличий средних значений полученных данных определяли с использованием t-теста и критерия Вилкоксона.

Результаты и обсуждение

Вода в русле р. Ольховая характеризовалась большим количеством взвешенных частиц (табл. 1), что, в свою очередь, обуславливало высокую мутность проб.

Таблица 1

Физико-химические показатели проб воды в русле р. Ольховая

Наименование показателя	Точка №1	Точка №2	Точка №4	Точка №5	Точка №6	ПДК, мг/л	B_i
Взвешенные вещества, мг/л	12	15	58	18	42	1,5	19,333
pH	9	9,2	9,1	9,1	8,9	6,5-8,5	1,066
Сухой остаток, мг/л	1868	1876	2160	1784	2152	1000	1,968
Cl ⁻ мг/л	179	173	197	167	179	350	0
SO ₄ ²⁻ , мг/л	755	765	883	725	897	500	1,610
Азот аммон., мг/л	0,21	0,18	< 0,1	0,25	< 0,1	2,0	0
NO ₂ ⁻ , мг/л	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	3,3	0
NO ₃ ⁻ , мг/л	6,2	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	45	0
PO ₄ ³⁺ , мг/л	0,542	0,501	0,444	0,371	0,371	3,5	0
ХПК	24	26	40	29	45	30	0,438
БПК ₅	2,4	2,4	4,0	3,2	4,2	4,5	0
СПАВ, мг/л	0,03	0,05	0,02	0,02	0,05	0,4	0
Нефтепродукты, мг/л	< 0,04	< 0,04	0,072	0,05	0,104	0,3	0
Фенолы, мг/л	0,0035	0,0019	0,0021	0,0021	0,0030	0,1	0
Cr ²⁺ , мг/л	0,0066	0,0055	0,0043	0,0037	0,0067		0

Наименование показателя	Точка №1	Точка №2	Точка №4	Точка №5	Точка №6	ПДК, мг/л	B_i
Co^{2+} , мкг/л	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	0,1	0
$Fe_{\text{общ.}}$, мг/л	< 0,02	0,0441	0,0672	0,0292	0,0293	0,3	0
Pb^{2+} , мкг/л	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,03	0
Mn^{2+} , мг/л	< 0,01	0,0132	< 0,01	< 0,01	0,0277	0,1	0
Cu^{2+} , мг/л	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,0	0
Zn^{2+} , мг/л	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	1,0	0
Ni^{2+} , мг/л	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,1	0
Cd^{2+} , мкг/л	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	0,001	0

Примечание. Полужирным шрифтом выделены превышения ПДК для соответствующих веществ; B_i – общий оценочный балл.

Следует отметить низкое содержание биогенных веществ – NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , а также резкое снижение содержания нитратов относительно первой мониторинговой точки. Превышение значений ПДК наблюдалось для сухого остатка, содержания сульфатов, ХПК, а также показателя рН. В некоторых мониторинговых точках превышение ПДК по содержанию взвешенных веществ составляло более чем в 25 раз, а превышение по сухому остатку – в 2 раза (см. табл. 1).

Содержание ионов тяжелых металлов, нефтепродуктов и фенолов было значительно ниже предельно допустимых.

Согласно полученным для каждого из веществ значениям УКИЗВ воду в русле реки можно характеризовать как экстремально грязную (класс 5) [10]. Это относится как к загрязненному притоку, так и к воде в самом русле р. Ольховая.

Многokратное превышение ПДК для количества взвешенного вещества и сухого остатка связано с большим количеством угольной взвеси. Поскольку в русле реки до места впадения загрязненного притока также наблюдалось превышение норм содержания для данных, можно сделать предположение о существовании одного или нескольких источников загрязнения выше по течению.

Согласно данным, полученным с помощью флуориметрического метода, в мониторинговых точках № 1-4 флуоресценции хлорофилла не наблюдалось. Данные пробы были отобраны из загрязненного притока до попадания воды в шламонакопитель (пробы, отобранные в мониторинговых точках № 1 и 2), и после него. Следует отметить, что все пробы характеризовались низкой концентрацией хлорофилла и интенсивностью флуоресцентного сигнала, что указывает на низкое содержание фитопланктона в воде.

Пробы, отобранные в мониторинговой точке № 5, соответствующей участку русла реки до попадания шламовых загрязнений, принимали за условный контроль.

Общее содержание хлорофилла по ходу русла реки после попадания шламовых стоков снижалось в каждой мониторинговой точке (рис. 2), что свидетельствует о гибели фитопланктона.

На фоне уменьшения концентрации хлорофилла происходило также снижение уровней минимальной и максимальной флуоресценции (рис. 3, А). Это объясняется прямой зависимостью данных параметров и биомассы [5]. Таким образом, снижение интенсивности сигнала флуоресценции связано, прежде всего, с уменьшением биомассы фитопланктона, т. е. гибелью микроводорослей.

Об уменьшении интенсивности флуоресценции микроводорослей свидетельствовало снижение параметров Area и S_m (см. рис. 3, Б). Изменение нормированной площади над кривой индукции также указывало на снижение ёмкости пула пластохинонов, а, следовательно, на снижение скорости передачи поглощенной световой энергии [5, 8].

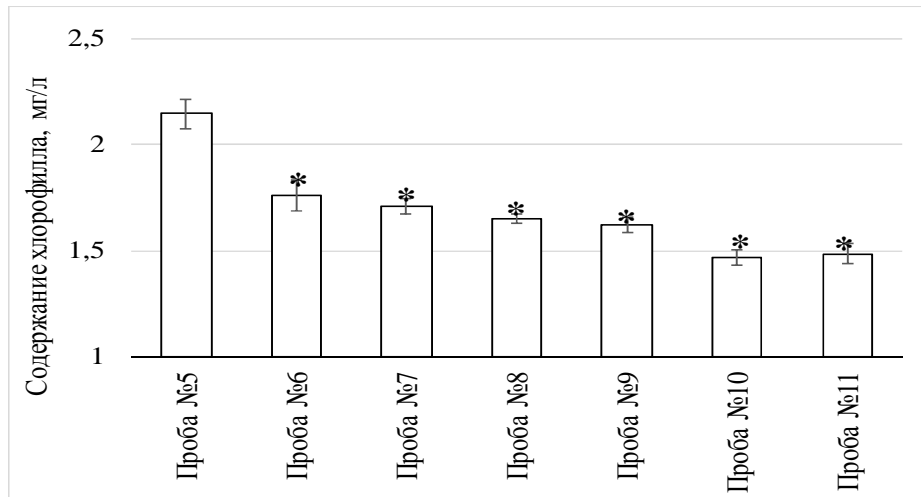


Рис. 2. Суммарная концентрация хлорофилла в пробах воды:
* – различия статистически значимы ($p < 0,05$) по сравнению с контролем

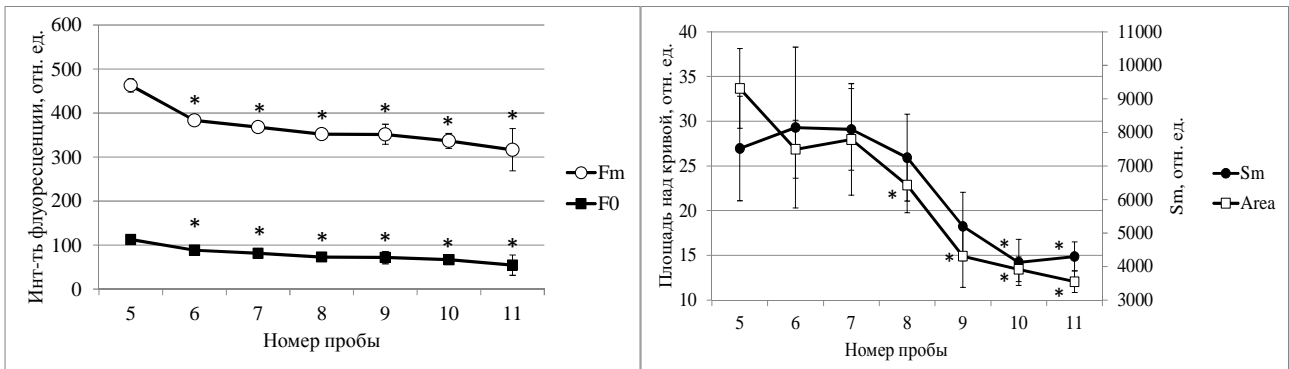


Рис. 3. А – изменение уровня минимальной (F_0) и максимальной (F_m) флуоресценции хлорофилла;
Б – изменение общей площади (Area) и нормированной площади (S_m) над кривой индукции флуоресценции:
* – различия статистически значимы ($p < 0,05$) по сравнению с контролем

Квантовый выход флуоресценции и общий фотосинтетический индекс фитопланктона не снижались (рис. 4). Различия средних значений данных параметров в точках № 5-7 не имели статистической значимости. В мониторинговой точке № 8 произошло возрастание данного показателя. В точках № 9-11 наблюдался большой разброс значений.

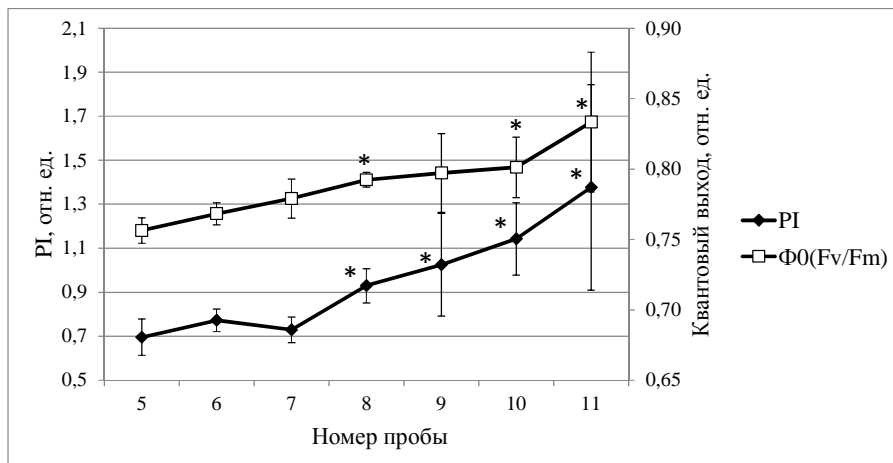


Рис. 4. Изменение квантового выхода флуоресценции (Φ_0) и общего фотосинтетического индекса (PI) фитопланктона:
* – различия статистически значимы ($p < 0,05$) по сравнению с контролем

Квантовый выход флуоресценции и общий фотосинтетический индекс являются интегральными показателями состояния организма-биоиндикатора и не зависят от биомассы. [5, 6, 8]. Неизменность показателей Φ_0 и PI в условиях снижения общего содержания хлорофилла и интенсивности флуоресценции клеток фитопланктона указывает на присутствие отдельных видов водорослей, устойчивых к воздействию шламовых загрязнений. Небольшое возрастание показателей в точке № 8 связано с попаданием в русло реки фитопланктона из двух условно чистых притоков.

Выводы

Согласно результатам измерения физико-химических показателей отобранных проб воды в р. Ольховая установлено превышение предельно допустимых норм содержания количества взвешенного вещества, сухого остатка, рН и сульфат ионов, а также, в отдельных мониторинговых точках, показателя ХПК. Кроме того, наблюдалось низкое содержание биогенных веществ во всех исследуемых пробах воды загрязненного притока и русла реки. Загрязнение шламовыми стоками русла реки до впадения загрязненного притока указывает на существование других источников загрязнения.

Результаты флуориметрических измерений позволяют предположить о высоком негативном воздействии шламовых загрязнений на жизнедеятельность фитопланктона р. Ольховая. Данное явление, прежде всего, проявлялось в снижении содержания общего хлорофилла в пробах воды, что указывает на гибель фитопланктона, а также в снижении параметров кривой индукции флуоресценции, что указывает на уменьшение эффективности работы фотосинтетического аппарата живых клеток микроводорослей.

В ходе выполнения исследований проведено испытание программно-аппаратного комплекса биомониторинга. Комплекс способен проводить измерения и эффективно функционировать в естественных природных условиях, при интенсивном загрязнении и высокой мутности проб воды.

Таким образом, принимая во внимание тот факт, что р. Ольховая является притоком р. Крынки, которая впадает в Ольховское водохранилище, сложившаяся экологическая ситуация для исследуемого водного объекта требует проведения более детальных исследований.

Список литературы

1. *Гавришин А. И.* Закономерности формирования химического состава грунтовых вод каменноугольных отложений Восточного Донбасса / А. И. Гавришин // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 10. – С. 102-106.
2. *Гавришин А. И.* Некоторые важные закономерности формирования химического состава шахтных вод в Восточном Донбассе / А. И. Гавришин // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11. – С. 2465-2470.
3. ГН 2.1.5.1315-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Зарег. Минюст. России № 4550 от 19.05.2003 г. // Нефтяник. – 2003. – 94 с.
4. *Корнеев Д. Ю.* Информационные возможности метода индукции флуоресценции хлорофилла / Д. Ю. Корнеев. – К. : Альтерпрес, 2002. – 188 с.
5. *Маторин Д. Н.* Об использовании зависимостей параметров флуоресценции хлорофилла от освещенности для изучения фотосинтетической активности фитопланктона / Д. Н. Маторин, В. А. Осипов, О. В. Яковлева и др. // Вода : хим. и экол. – 2011. – № 4. – С. 44-49.
6. *Маторин Д. Н.* Определение состояния растений и водорослей по флуоресценции хлорофилла : уч.-метод. пос. / Д. Н. Маторин. – М., 2010. – 368 с.
7. *Осипов В. А.* Использование флуоресценции хлорофилла «а» для биотестирования водной среды / В. А. Осипов, Г. М. Абдурахманов, А. А. Гаджиев и др. // Юг России : экология, развитие. – 2012. – Т. 7, вып. 2. – С. 93-100.

8. Переменная и замедленная флуоресценция хлорофилла а – теоретические основы и практическое приложение в исследовании растений / В. Н. Гольцев, М. Х. Каладжи, М. А. Кузманова, С. И. Аллахвердиев. – М. – Ижевск : Ин-т комп. иссл., 2014. – 220 с.

9. ПНД Ф 14.1:2.214-06 (ФР.1.31.2007.03809). Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации железа, кадмия, кобальта, марганца, никеля, меди, цинка, хрома и свинца в пробах природных и сточных вод методом пламенной атомно-абсорбционной спектрофотометрии. Утв. ФГУ «ФЦАО» 17.04.2006. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. – М., 2006.

10. РД 52.24.643-2002 Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязнения поверхностных вод по гидрохимическим показателям. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Утв. и введен в действие Росгидрометом 03.12.2002 г. Технорматив. – 2013. – 18 с.

11. Рубин А. Б. Биофизика фотосинтеза и методы экологического мониторинга / А. Б. Рубин // Технология живых систем. – 2005. – Т. 2. – С. 47-68.

12. Юрченко А. В. Рекреационный потенциал лесонасаждений на территории ДНР / А. В. Юрченко, Е. В. Кочина // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов : сб. матер. XII Междунар. конф. асп. и студ. (г. Донецк, 17–18 апреля 2018 г.). – Донецк : ГОУ ВПО «ДОННТУ», 2018. – С. 141.

13. Chlorophyll a fluorescence : a bit of basics and history // Chlorophyll fluorescence : a signature of photosynthesis / Ed. by G. C. Papageorgiou, Govindjee. – Dordrecht : Springer, 2004. – P. 1-42.

14. Maxwell K. Chlorophyll fluorescence – a practical guide / K. Maxwell, G. N. Johnson // J. Exp. Bot. – 2000. – Vol. 51, № 345. – P. 659-668.

15. Schreiber U. Chlorophyll fluorescence as a nonintrusive indicator for rapid assessment of *in vivo* photosynthesis / U. Schreiber, W. Bilger, C. Neubauer // Ecophysiology of photosynthesis. – Berlin, Heidelberg, New York : Springer, 1994. – P. 49-70.

16. Strasser R. J. Polyphasic chlorophyll a fluorescent transient in plants and cyanobacteria / R. J. Strasser, A. Srivastava, Govindjee // Photochem. Photobiol. – 1995. – Vol. 1. – P. 32-42.

17. Strasser R. J. The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples / R. J. Strasser, A. Srivastava, M. Tsimilli-Michael // Probing photosynthesis : mechanism, regulation & adaptation. – London : Taylor & Francis, 2000. – P. 443-480.

18. Trishala K. Bioindicators : the natural indicator of environmental pollution / K. Trishala Parmar, D. Rawtani, Y. K. Agrawal // Frontiers in life science. – 2016. – Vol. 9. – P. 110-118.

Bespalova S. V., Chufitskiy S. V., Romanchuk N. V., Saakyan O. N. Effect of coal mines wastewaters on the quality of water of the Olkhovaya river. – A study was made of a separate section of the Olkhovaya river channel, which was subjected to intensive pollution by sludge and mine runoff. As part of the study analyzed the physicochemical composition of water samples and analyzed the state of phytoplankton based on the analysis of chlorophyll fluorescence induction curves using the method of fluorimetry. The negative effect of sludge wastes on the biomass of phytoplankton of the Olkhovaya river, as well as the photosynthesis rate of microalgae is shown. A number of test functions that most effectively reflect the degree of pollution effect on biota are selected.

Key words: fluorimetry, biomonitoring, phytoplankton, sludge, sludge collector, wastewater, Olkhovaya river.

УДК 577.344

© А. А. Губарев, С. В. Чуфицкий, В. В. Перебейнос, Б. А. Готин
**АППРОКСИМАЦИЯ КРИВОЙ ПЕРЕМЕННОЙ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ЛИНЕЙНОЙ
 КОМБИНАЦИЕЙ ЭКСПОНЕНТ**

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
 283001, г. Донецк, ул. Университетская, 24; e-mail: Gubarev_A_A_@mail.ru

Губарев А. А., Чуфицкий С. В., Перебейнос В. В., Готин Б. А. Аппроксимация кривой переменной флуоресценции линейной комбинацией экспонент. – В работе линейной комбинацией экспонент аппроксимируется кривая переменной флуоресценции чистой культуры *Chlorella sorokiniana*. Без воздействия токсиканта (соли CuSO_4) эта кривая возрастает и на ней выделяется три фазы. Под действием токсиканта на формируется минимум между точками J и P. Используемый в работе алгоритм позволяет достаточно точно описать кривую переменной флуоресценции при непродолжительном воздействии токсиканта.

Ключевые слова: переменная флуоресценция, воздействие ионов Cu, *Chlorella sorokiniana*.

Введение

В последнее время для контроля состояния водных объектов всё шире применяется биотестирование. В качестве тест-организмов используются, в том числе, чистые культуры водорослей [1]. Параметры кривой переменной флуоресценции (КПФ) позволяют судить о состоянии фотосинтетического аппарата и качестве водной среды.

Принято считать, что КПФ (участок от начального уровня O до максимума P) при нормальных условиях жизнедеятельности клеток, как правило, является трехфазной кривой [2]. Эти фазы делятся примерно 0-2, 2-30, 30-300 мс и называются OJ, JI и IP соответственно. Они отражают этапы восстановления первичного хинона [3] и по их длительности оценивают параметры первичных процессов фотосинтеза [4]. Изменение числа фаз служит показателем изменения состояния фотосистемы II и применение этого показателя активно исследуется в последнее время [5, 6]. КПФ в оптимальных условиях культивирования клеток часто является возрастающей функцией времени, и в этом случае аппроксимируется неубывающей линейной комбинацией экспонент вида

$$F_a(t) = F_0 + \sum_{k=1}^m A_k (1 - e^{-t/\tau_k}) \quad (1)$$

с неотрицательными коэффициентами A_k и параметром m равным трём. При отклонении условий от оптимальных (например, недостатке некоторых видов минерального питания [5, 6]) число фаз может отличаться от трех или функция $F(t)$ перестаёт быть возрастающей.

Современные флуориметры регистрируют величину интенсивности флуоресценции с дискретным шагом по времени, как правило, 10 мкс. Сигнал имеет большие высокочастотные искажения (шум), которые связаны с физической природой получения сигнала и уменьшение которых сопряжено с большими затратами. С увеличением уровня сигнала шум увеличивается по абсолютной величине.

Классическим методом определения коэффициентов разложения (1) является метод Прони [7] и его модификации. В соответствии с этим методом, на первом этапе находят приближенные значения τ_i . Далее тем или иным образом определяют приближенные значения остальных коэффициентов. Однако наличие высокочастотных искажений и отклонение КПФ от вида (1) сильно затрудняет применение этого метода.

Для выделения фаз в мультиэкспоненциальном методе [5, 6] используется разложение (1) по большому числу экспонент (64-128) с независимым от экспериментальных данных набором значений τ_i . Значения τ_i изменяются от некоторого минимального (равного 0,1 шага регистрации данных по времени) до величины порядка времени наблюдения; $\tau_{i+1} = \tau_i \cdot s$, где s – постоянный множитель. На значения A_k накладывается условие

неотрицательности. Функция $\sum_{i=1}^k A_i$, $k = 1 \dots m$ имеет вид близкий к кусочно-постоянной функции. При помощи этой функции оценивается число и длительность фаз.

Несмотря на то, что на биологическом факультете Московского государственного университета им. Ломоносова разработана программа (pyPhotoSyn), позволяющая, среди многих других возможностей, получать разложение (1), детали алгоритма получения такого разложения не опубликованы.

Целью данной работы было исследование возможности быстрого получения разложения (1) для чистой культуры фитопланктона в нормальных условиях культивирования и в присутствии токсиканта по данным, полученным на разработанном в СКТБ «Турбулентность» ДонНУ макете флуориметра ФС-2. Для достижения этой цели решались задачи получения аппроксимации КПФ сглаживающим сплайном и линейной комбинацией экспонент (1), проверки (1) путём сравнения нормированной площади над КПФ рассчитанной при помощи обеих аппроксимаций.

Материал и методы исследования

Объектом исследования служила чистая культура одноклеточной зелёной водоросли *Chlorella sorokiniana*. В качестве токсиканта использована соль CuSO_4 с концентрацией 2,2 мг/л (двойное превышение предельно допустимой концентрации) и 5,5 мг/л (пятикратное превышение предельно допустимой концентрации). Для получения КПФ использовался разработанный макет флуориметра ФС-2, позволяющий регистрировать интенсивность флуоресценции с постоянным шагом по времени 10 мкс. Для возбуждения флуоресценции использовался белый свет мощностью 2,4 и 1,5 ммоль·м⁻²·с⁻¹. Перед каждым измерением водоросли выдерживались в темноте 3 минуты.

Аппроксимация (1) рассчитывалась по следующей методике. Выполнялась замена $x = \lg t$, где t – время, мс. По сгруппированным данным строился аппроксимирующий сплайн $s(x)$, минимизирующий функционал

$$F(s, x) = p \sum_{k=1}^n (F(x_k) - s(x_k))^2 + (1 - p) \int_{x_1}^{x_n} \left(\frac{d^2 s(x)}{dx^2} \right)^2 dx, \quad (2)$$

где x_1 – логарифм времени первого измерения, x_n выбирался больше грубо оцененного момента достижения КПФ максимума; при получении всех приводимых ниже результатов параметр p выбирался равным 0,995.

Для оценки параметров τ_k для разложения (1) использовалась параметризация в виде

$$F(x) = F_0 + \sum_{k=1}^m A_k [1 - \exp(-10^{x-\alpha_k})]. \quad (3)$$

Здесь $\alpha_i = \lg \tau_i$. Если в исходном представлении (1), в случае неотрицательных коэффициентов A_i , производная монотонна, то в параметризации (2) абсциссы максимумов производной приближённо равны значениям искомым параметров α_i . Поэтому эти абсциссы максимумов рассматривались в качестве предварительных приближённых значений параметров (α_i).

На рис. 1, а приведен пример аппроксимации $F(x)$ сплайном. Экспериментальные точки показаны окружностями. Большая часть экспериментальных точек на этом и последующих рисунках не выведена, чтобы было видно, насколько хорошо аппроксимация приближает данные. Верхний предел суммирования m полагался равным числу выраженных максимумов. При мощности источника света 1,5 ммоль·м⁻²·с⁻¹ число выраженных максимумов равнялось двум (см. рис. 1, б), а при 2,4 ммоль·м⁻²·с⁻¹ – трём (см. рис. 1, с). Т.е. при низкой интенсивности света наблюдалось на одну фазу меньше. За счёт уменьшения сглаживания сплайном можно добиться формирования третьего максимума

производной при мощности источника $1,5 \text{ ммоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Однако в этом случае коэффициент A_2 имел очень большой доверительный интервал и часто был отрицательный. Появление отрицательного коэффициента A_2 при возрастающей КПФ служило признаком недостаточного сглаживания сплайном.

В некоторых экспериментах на зависимости $I(x)$ в области между точкой J и точкой P наблюдается локальный минимум. Кривые флуоресценции с таким участком не могут быть описаны разложением (1) с неотрицательными значениями коэффициентов A_i и использование разложения с двумя экспонентами не даёт удовлетворительной аппроксимации. Удовлетворительная аппроксимация может быть получена, если в подобных случаях формально добавить в разложении слагаемое со значением α_2 , которое соответствует минимуму между максимумами на зависимости $F(x)$.

Подставив полученные оценки α_i вместо α_i в (3), получаем линейную модель с подлежащими оценке коэффициентами A_i , F_0 , которые определялись линейным методом наименьших квадратов. Обозначим полученные этим методом значения через \hat{A}_i , \hat{F}_0 .

На последнем шаге значения оценок \hat{A}_i , \hat{F}_0 , α_i используются в качестве начального значения для получения уточнённых значений параметров нелинейным методом наименьших квадратов.

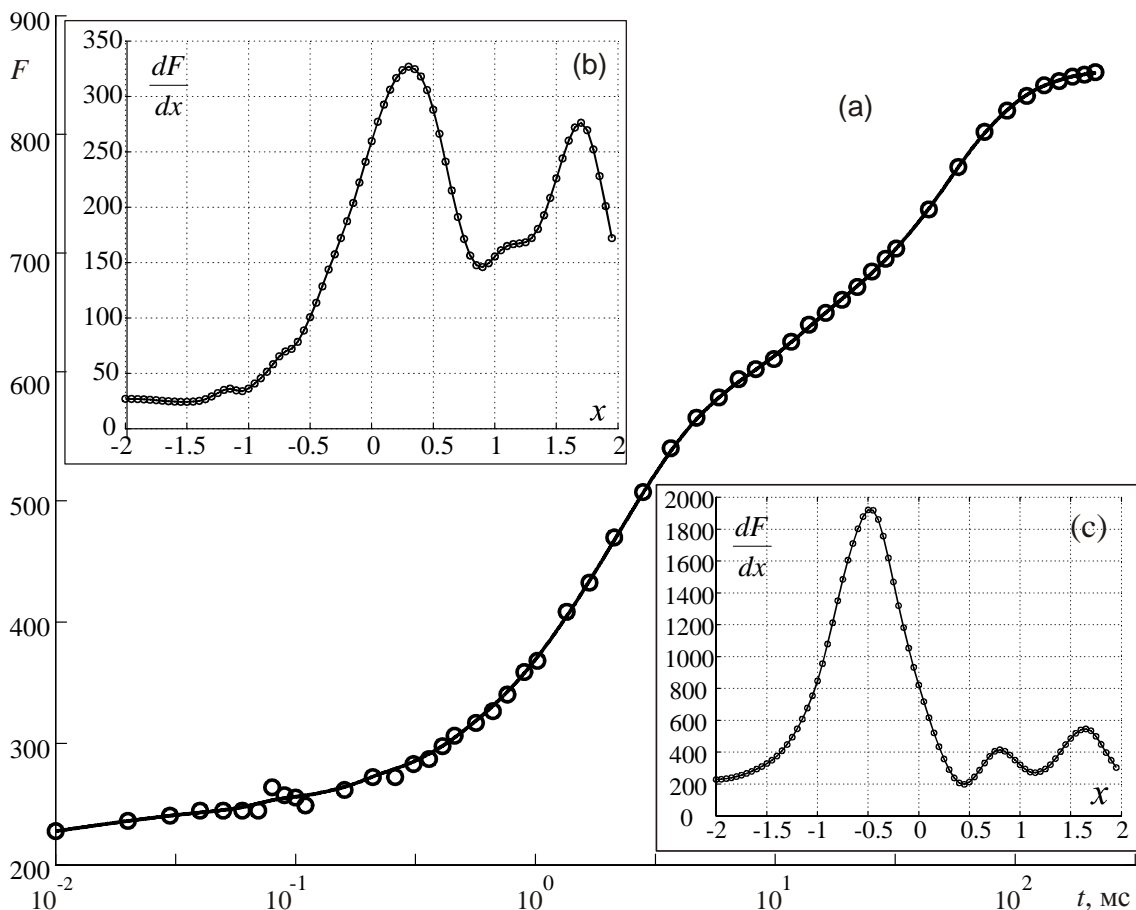


Рис. 1. Аппроксимация сплайном исходных данных после их группировки (а) при мощности источника $1,5 \text{ ммоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ и дискретная оценка производной зависимости (3) для двух случаев интенсивности возбуждающего флуоресценцию света: б – $1,5 \text{ ммоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, с – $2,4 \text{ ммоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$

Результаты и их обсуждение

На рис. 2 приведен типичный результат итоговой аппроксимации кривой переменной флуоресценции в отсутствии токсиканта. Значение τ_J – времени жизни, соответствующее фазе ОJ – отличается для двух использованных мощностей источника более чем в 5 раз: значение времени пика J при мощности источника света $2,4 \text{ ммоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ приблизительно равно $1,8 \text{ мс}$, а при мощности $1,5 \text{ ммоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ – 10 мс .

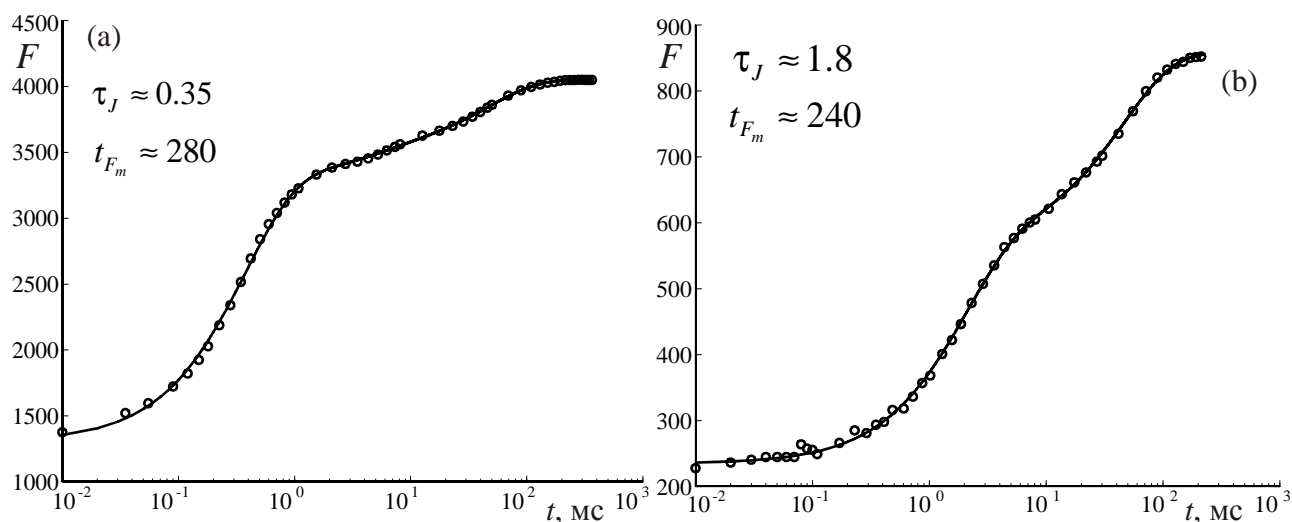


Рис. 2. Результат итоговой аппроксимации переменной флуоресценции для двух случаев мощности источника: а – $2,4 \text{ ммоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, б – $1,5 \text{ ммоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$

В связи с тем, что относительная погрешность оказалась меньше при мощности источника действующего света $2,4 \text{ ммоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, дальнейшие исследования выполнялись с использованием этой величины мощности.

С увеличением времени действия токсиканта сначала на зависимости производной $s(x)$ пропадает пик, соответствующий второй фазе (фазе II), а затем на $F(t)$ начинает формироваться участок с минимумом (рис. 3, а). В случае наличия такого минимума использовалось разложение с тремя слагаемыми, а значение коэффициента A_2 допускалось отрицательным. В табл. 1 приведены значения параметров аппроксимаций (1). Для случая концентрации токсиканта $0,0055 \text{ г/л}$ в табл. 1 также приведены значения параметров для случая аппроксимации двумя экспонентами. При переходе от аппроксимации с тремя экспонентами к аппроксимации с двумя, помимо общего ухудшения приближения экспериментальных точек наблюдается и резкое изменение значения параметра τ_3 .

При увеличении концентрации токсиканта в экспериментах наблюдалось ускорение роста зависимости $F(t)$ на начальном этапе (см. рис. 3, б) на котором приведены графики

$$V(t) = \frac{F(t) - F_0}{F_m - F_0},$$
 полученные на основе аппроксимаций. Ускорение роста флуоресценции

является показателем ухудшения состояния фотосистемы. Согласно модели представленной в работе [3], пик J определяется состояниями с однозарядными вторичными хинонами (Q_B^-). Из этого видно следует, что увеличение флуоресценции в области фазы ОJ связано с тем, что под действием токсиканта уменьшается количество состояний с двухзарядными вторичными хинонами (Q_B^{2-}).

В практике применения ОJР теста широко используется показатель

$$V_J = \frac{F_J - F_0}{F_{\max} - F_0},$$

где F_J – значение, флуоресценции в области пика J . Часто в качестве значения F_J используют значение флуоресценции через 2 мс после начала освещения [2]. Так как за время 5τ функция $e^{-t/\tau}$ убывает от 1 до 0,01, то вместо фиксированного момента времени в качестве абсциссы точки J можно брать $5\tau_1$. Учитывая значительное изменение времени наступления пика J при изменении мощности возбуждающего флуоресценцию света, это позволит более точно определять величину V_J .

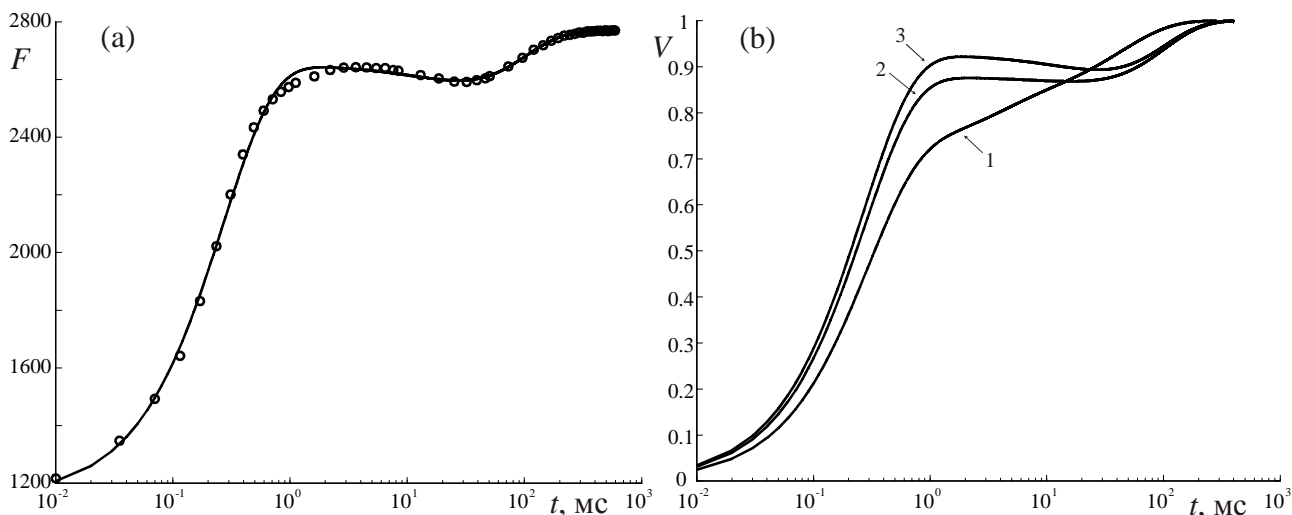


Рис. 3. Аппроксимации данных, полученных через 30 минут после добавления токсиканта в суспензию водорослей: а – аппроксимация и экспериментальные точки для случая концентрации токсиканта 0,0055 г/л; б – три экспоненциальные аппроксимации данных для разных концентраций токсиканта: 1 – без добавления токсиканта, 2 – 0,0022 г/л, 3 – 0,0055 г/л

Таблица 1

Значения параметров аппроксимации (1), полученные по экспериментальным данным

Концентрация токсиканта, г/л	№ опыта	F_0	A_1	A_2	A_3	$\tau_1, \text{мс}$	$\tau_2, \text{мс}$	$\tau_3, \text{мс}$
0	1	1103	1404	207,2	362,8	0,288	3,225	42,72
	2	1121	1446	216,2	371,7	0,287	3,228	42,85
	3	1117	1480	220,4	375,4	0,286	3,238	42,22
0,0022	1	1022	1433	-293,3	491,4	0,276	30,52	68,52
	2	1016	1459	-258,5	466,2	0,276	28,82	68,47
	3	1002	1471	-293,9	501,2	0,278	28,47	63,38
0,0055	1	1153	1500	-327,8	443,7	0,269	27,72	66,74
	1*	1127	1456	191,5		0,236	127,91	
	2	1081	1481	-348,9	507	0,274	30,96	63,67
	2*	1060	1446	218,2		0,247	114,17	
	3	1049	1431	-2108	2246	0,269	41,62	47,25
	3*	1032	1396	193,1		0,244	108,00	

Примечание. В сроках 1*, 2*, 3* приведены параметры аппроксимации для $m = 2$.

Значение V в момент времени, который предшествует наступлению пика J , например $t = \tau_1$, может быть более чувствительным к ухудшению состояния фотосистемы токсикантом. В первых двух столбцах табл. 2 приведены значения параметров V_J и V_{τ_j} , рассчитанные для каждого эксперимента по аппроксимациям и затем усреднённые по трём

экспериментам. В случае концентрации 0,0022 г/л V_J увеличивается на 14% относительно показателя для контрольной популяции, а V_{τ_j} – на 20%. В случае концентрации 0,0055 г/л V_J увеличивается на 18%, а V_{τ_j} – на 25%.

Таблица 2

Значения показателей

Концентрация токсиканта, г/л	V_J	V_{τ_j}	S_M	S'_M
0	0,768±0,001	0,460±0,001	8,3±0,1	8,9±0,1
0,0022	0,874±0,001	0,554±0,002	14,7±0,5	16,5±0,9
0,0055	0,910±0,009	0,578±0,006	12,7±0,5	13,8±0,8

Другим часто используемым показателем является нормированная площадь над кривой переменной флуоресценции $S_M = \frac{A_M}{F_m - F_0}$, где A_M – площадь ограниченная сверху F_m , а снизу $F(t)$. Использование аппроксимаций позволяет записать выражение для этой площади в виде $A_M = \int_0^{\infty} (F_m - F_a(t)) dt$. В качестве верхнего предела использована бесконечность, поскольку замена (достаточно большого) значения времени достижения максимума на бесконечность не приводила к заметному изменению значения интеграла. Это ожидаемо в силу экспоненциального стремления подынтегральной функции к F_m . Для контроля погрешности аппроксимации на величину площади этот показатель был также рассчитан при помощи аппроксимации экспериментальных точек сглаживающим сплайном

$$A_M = \int_{t_1}^{t_{F_m}} (F_m - F(t)) dt = \ln 10 \int_{x_1}^{x_{F_m}} (F_m - F_{sp}(x)) 10^x dx, \quad S'_M = \frac{A_M}{F_m - F(x_1)},$$

где t_1 – время первого измерения (0,01мс), t_{F_m} – время достижения максимума, $x = \lg t$. Усреднённые по трем повторениям результаты помещены в столбцы S_M и S'_M табл. 2. Для использованных в исследовании концентраций токсиканта после его воздействия в течение 60 минут аппроксимация (1) кривой переходной флуоресценции становится неприменимой. Для 60 минут значения S'_M были рассчитаны только при помощи аппроксимации сглаживающим сплайном. Значение S'_M приближенно равно 12 для обеих концентраций.

Таким образом, с увеличением времени воздействия ионов Cu величина S_M имеет немонокотную зависимость и плохо применима в качестве самостоятельного тестового показателя состояния фитопланктона.

Выводы

В работе опробована методика аппроксимации КПФ, получаемых на разработанном в ДонНУ макете флуориметра. В отсутствие токсиканта (соли CuSO₄) эта методика позволяет эффективно выделять отдельные фазы кривой переменной флуоресценции, даже когда они плохо заметны при визуальном анализе графика. Уменьшение числа фаз может служить признаком неблагоприятного воздействия ионами Cu. Этот признак предполагается использовать при биотестировании. В случае наличия локального минимума между пиками J и P, что наблюдается, например, в случае воздействия на водоросли токсиканта, использование для одной из экспонент коэффициента A_i с отрицательным значением позволяет значительно улучшить качество аппроксимации, по сравнению с разложением по двум экспонентам. Использование моментов времени кратных τ_j позволяет сделать

значение ряда показателей, например V_j , менее чувствительными к величине мощности возбуждающего флуоресценцию света. Значения нормированной площади над КПФ S_M , рассчитанные двумя способами: аппроксимацией линейной комбинацией экспонент и аппроксимацией сглаживающим сплайном, достаточно хорошо согласуются между собой, что служит подтверждением удовлетворительности аппроксимации. Параметры разложения (1) могут быть использованы для сравнения экспериментальных данных и результатов моделирования по редуцированной модели [3].

Список литературы

1. *Александрова В. В.* Биотестирование как современный метод оценки токсичности природных и сточных вод / В. В. Александрова. – Нижневартовск : Изд-во Нижневарт. гос. ун-та, 2013. – 119 с.

2. *Гольцев В. Н.* Переменная и замедленная флуоресценция хлорофилла *a* – теоретические основы и практическое приложение в исследовании растений / В. Н. Гольцев, Х. М. Каладжи, М. А. Кузманова, С. И. Аллахвердиев. – М. – Ижевск : Ин-т комп. исследований, 2014. – 220 с.

3. *Плюснина Т. Ю.* Редуцированная модель фотосистемы II для оценки характеристик фотосинтетического аппарата по данным индукции флуоресценции // Т. Ю. Плюснина, Е. Н. Воронова, В. Н. Гольцев и др. // Компьютерные исследования и моделирование. – 2012. – Т. 4, № 4. – С. 943-958.

4. *Antal T.* In vivo analysis of chlorophyll a fluorescence induction / T. Antal, A. Rubin // Photosynth Res. – 2008. – Vol. 96 – P. 217-226.

5. *Plyusnina T. Yu.* An analysis of the chlorophyll fluorescence transient by spectral multi-exponential approximation / T. Yu. Plyusnina, S. S. Khruschev, G. Yu. Riznichenko, A. B. Rubin // Biophysics. – 2015. – Vol. 60, N 3. – P. 392-399.

6. *Antal T.* A Chlorophyll fluorescence induction and relaxation system for the continuous monitoring of photosynthetic capacity in photobioreactors // T. Antal, I. Konyukhov, A. Volgusheva et al. // Physiologia Plantarum. – 2018. doi:10.1111/ppl.12693.

7. *Марпл С. Л.* Цифровой спектральный анализ и его приложения / С. Л. Марпл. – М. : Мир, 1990. – 584 с.

Gubarev A. A., Chufitski S. V., Perebeinis V. V., Gotin B. A. Approximation of a variable fluorescence curve by a linear combination of exponentials. – Induction curve of variable fluorescence (ICVF) of pure culture *Chlorella sorokiniana* is approximated by a linear combination of exponential functions. Without the impact of the toxicant (salt CuSO_4) ICVF increases and there are three phases on it. Under the action of the toxicant on the CPP a minimum is formed between the points J and P. The algorithm used in the work makes it possible to accurately describe the CPP for short exposure times to the toxicant.

Key words: induction curve of variable fluorescence, effect of Cu ions, *Chlorella sorokiniana*.

УДК 591.473.3 : 577.112.386

© В. В. Труш, В. Ф. Попов, В. И. Труш

**ОЦЕНКА В МОДЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ НА ЖИВОТНЫХ ХАРАКТЕРА
ВЛИЯНИЯ ДЛИТЕЛЬНО ВВОДИМОГО ТАУРИНА НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ
СОСТОЯНИЕ СКЕЛЕТНОЙ МЫШЦЫ**

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

283050, г. Донецк, ул. Щорса, 46; e-mail: ver.trush@yandex.ru

Труш В. В., Попов В. Ф., Труш В. И. Оценка в модельных экспериментах на животных характера влияния длительно вводимого таурина на функциональное состояние скелетной мышцы. – Введение таурина в организм крыс (Тау, 60 мг/кг/сутки) на протяжении 10 (10Тау-группа), 30 (30Тау-группа) и 60 (60Тау-группа) дней обусловило улучшение функциональных параметров передней большеберцовой мышцы. В частности, у животных наблюдалось ускорение фазы расслабления одиночного сокращения (на 36-20% в 10Тау-60Тау-группах соответственно) и увеличение в 60Тау-группе амплитуды одиночного (на 32%) и тетанического (на 23%) сокращений, скорости тетанического сокращения (на 63%), удлинение периодов максимальной (на 50%) и субмаксимальной (на 53%) работоспособности мышцы и увеличение ее массы (на 19%). Кроме того, на протяжении всего периода введения Тау (от 10 до 60 дней) отмечалась более высокая устойчивость мышцы к утомлению.

Ключевые слова: скелетная мышца, одиночное сокращение мышцы, тетаническое сокращение мышцы, М-ответ мышцы, таурин.

Введение

Аминокислоты и их смеси в последние годы все чаще используются в клинической практике и спортивной медицине в качестве анаболических средств и корректоров метаболических нарушений в лечении неврологических, офтальмологических, кардиологических заболеваний, мышечных дистрофий различного генеза, патологий печени и ряда других расстройств [5]. При этом наиболее эффективными в стимуляции анаболических процессов, стабилизации мембран и коррекции метаболических расстройств в организме оказались таурин, глутамин и аргинин. В последние десятилетия в литературе появляются сообщения относительно позитивного влияния этих аминокислот и на скелетную мускулатуру. Так, в более ранних исследованиях, проведенных в нашей лаборатории [15], в модельных экспериментах на животных установлена способность длительно вводимого аргинина улучшать амплитудные и временные параметры сокращения скелетной мышцы и повышать ее устойчивость к утомлению. Наряду с данными относительно эффективности аргинина в повышении функциональных параметров скелетных мышц, полученными и другими исследователями [2, 7, 9], имеются и сообщения [33, 36], свидетельствующие в пользу позитивного влияния таурина на функциональное состояние многих высокоэнергетических органов, в том числе, скелетных мышц.

Таурин – относительно незаменимая серосодержащая аминокислота в организме человека [29], которая не только включается в обменные процессы в клетках, но и может выступать в качестве регулятора клеточного метаболизма [6, 25]. Таурин не включается в структуру белков, как большинство аминокислот, но в свободном состоянии входит в состав многих органов: сердца и скелетной мускулатуры, печени и поджелудочной железы, головного мозга и тканей глаза; обнаруживается в клетках крови [16]. Высокие концентрации таурина в активно функционирующих тканях и потребность в нем организма противоречат первоначальной точке зрения о нем как инертном конечном продукте катаболизма серосодержащих аминокислот.

В настоящее время установлено, что таурин, стимулируя энергообмен в тканях, предотвращает развитие энергодефицитных состояний и тем самым оказывает антигипоксическое действие [10]. Исследованиями некоторых авторов получены факты в пользу способности таурина стимулировать синтез инсулина β -клетками островков Лангерганса [19], поддерживать их целостность [32], а также оказывать некоторые

инсулиноподобные эффекты [21], что отчасти обуславливает его неспецифическое анаболическое действие на периферические ткани. Таурин, как и другие аминокислоты и их смеси, стимулирует синтез белков в мышцах и печени и ингибирует протеолиз при любых катаболических состояниях [23, 36]. Данная аминокислота участвует в регуляции метаболических процессов в клетках [33], улучшает энергообмен [37], выступает в роли естественного осморегулятора в клетках [34], может препятствовать их кальциевой перегрузке [4] и потере ими калия [21] при различных патологических состояниях.

Установлено, что в животном организме после экзогенного введения таурин накапливается в наибольших количествах в миокарде, сетчатке, скелетных мышцах, ткани мозга, лейкоцитах [35]. И в связи с этим именно на эти ткани он оказывает наиболее выраженный эффект. Кроме того, таурин повышает детоксикационную способность печени [1, 27, 39], проявляет гепатопротекторное действие [3, 28].

Наконец, ряд авторов [3, 16] высказывает мнение, согласно которому таурин в фармакологических дозах не обладает токсичностью, не оказывает влияние на ионный транспорт в клетках в норме, но может компенсировать избыток или недостаток определенных ионов внутри клеток в патологии.

Все перечисленные эффекты таурина на фоне его относительной безвредности для организма [3, 30] предопределили необходимость изучения его эффектов при длительном введении на функциональное состояние скелетной мышцы смешанного типа, что в случае подтверждения его положительных эффектов может позволить в дальнейшем рекомендовать таурин для компенсации миопатий различного генеза.

Цель работы – изучение характера влияния длительно вводимого таурина в фармакологической дозе (60 мг/кг, ежедневно, подкожно) на функциональные параметры скелетной мышцы смешанного типа (*m. tibialis anterior*). Выбор в качестве объекта исследования передней большеберцовой мышцы был обусловлен тем, что она относится к смешанному типу с существенным преобладанием быстрых мышечных волокон [22], что характерно для большинства мышц млекопитающих.

Материал и методы исследования

Все эксперименты выполнены в соответствии с директивой Европейского совета (The European Council Directive 86/609/ЕЕС) по соблюдению этических принципов в работе с лабораторными животными и «Руководством по проведению доклинических исследований лекарственных средств» [13]. Исследования проводились на 40 половозрелых крысах-самках 4-5-месячного возраста с исходной массой тела 180-200 г. Животные были изначально случайным образом разделены на 2 группы: контрольную (интактная, не подвергались никаким воздействиям, n=10, К-группа) и опытную (n=30), подвергавшуюся ежедневному парентеральному введению таурина (торговая марка «Таурин-АКОС», «Синтез ОАО», Россия) в дозе, адекватной терапевтической для человека – 60 мг/кг (подкожно), на протяжении 10, 30 и 60 дней. Таким образом, животные опытной группы были в последующем разделены на 3 подгруппы (n=10 в каждой), получившие разное количество инъекций таурина (Тау): 10 (10Тау-группа), 30 (30Тау-группа) и 60 (60Тау-группа).

По окончании сроков введения таурина на наркотизированных животных (тиопентал натрия, 100 мг/кг, внутривенно) проводили острый опыт, в ходе которого изучали электрофизиологические и эргометрические параметры передней большеберцовой мышцы с помощью экспериментальной установки, включающей 3 канала: *канал электростимулятора* (использовался для электрического раздражения малоберцового нерва), *электромиографический* (предназначался для регистрации М-ответов мышцы) и *эргометрический* (служил для измерения высоты, на которую поднимается груз во время сокращения мышцы с грузом). *Канал электростимулятора* представлен собственно электростимулятором (построен на основе функционального генератора ICL8038CCDP), оптронной гальванической развязкой и биполярными игольчатыми стальными электродами с межэлектродным расстоянием 1 мм. *Электромиографический канал* представлен отводящими биполярными игольчатыми стальными

электродами (с межэлектродным расстоянием 1 мм) и электромиографическим биоусилителем (построен на основе измерительного усилителя INA118). Эргометрический канал включал потенциометрический датчик ПТП-1 с усилителем. Все каналы были связаны с регистрирующим устройством – запоминающим цифровым осциллографом Tektronix (TDS2004C).

Ход эксперимента. У наркотизированного животного в области бедра препаровали малоберцовый нерв и на расстоянии 1 см проксимальнее коленного сустава подводили под него раздражающие электроды. Стопу задней лапки животного крепили зажимом, на уровне большого пальца затягивали лигатуру, соединенную с потенциометрическим датчиком и в среднюю часть передней большеберцовой мышцы (*m. tibialis anterior*) вводили отводящие игольчатые электроды.

Вначале регистрировали одиночный М-ответ мышцы, индуцированный путем раздражения малоберцового нерва одиночными сверхпороговыми электрическими импульсами (длительность – 150 мкс каждый, частота – 0,2 имп./с, сила тока – 500 мкА). На основании записей одиночных М-ответов мышцы определяли их латентный период, амплитуду и длительность.

После этого, раздражая малоберцовый нерв с частотой 4 имп./с сверхпороговыми электрическими импульсами (длительность – 150 мкс каждый, сила тока – 500 мкА), регистрировали в течение 5 с серию одиночных сокращений мышцы с внешней нагрузкой 20 г. На основании полученных записей определяли некоторые параметры одиночного сокращения мышцы: амплитуду, латентный период, длительность фаз укорочения и расслабления.

Затем регистрировали кривую тетанического сокращения мышцы в момент выполнения утомляющей работы в режиме гладкого тетануса с внешней нагрузкой 70 г вплоть до полного расслабления на фоне продолжающейся электрической стимуляции. Тетаническое сокращение мышцы индуцировали путем раздражения электрическим током малоберцового нерва с частотой 70 имп./с (длительность импульсов – 0,5 мс, сила тока – 1000 мкА). На основании полученных записей определяли амплитуду тетанического сокращения, скорость его развития, продолжительность удержания амплитуды сокращения на максимальном уровне (период максимальной работоспособности) и до момента снижения на 50% относительно максимальной (период субмаксимальной работоспособности).

После выполнения мышцей утомляющей работы вновь регистрировали серию одиночных сокращений мышцы при раздражении малоберцового нерва с частотой 4 имп./с и одиночный М-ответ мышцы при раздражении малоберцового нерва с частотой 0,2 имп./с. На основании изменения параметров М-ответа и одиночных сокращений мышцы после выполнения утомляющей работы относительно соответствующих исходных значений судили об утомляемости нервно-мышечного аппарата у животных разных групп.

По окончании острого опыта в условиях глубокого наркоза проводили эвтаназию животных путем введения летальной дозы (300 мг/кг) тиопентала натрия.

Полученные экспериментальные данные обрабатывали с использованием t-критерия Стьюдента, предварительно убедившись в том, что распределение значений в исследуемых вариационных рядах близко к нормальному (W-тест Шапиро-Уилка, Statistica 7.0), и F-статистики на основании проверки нулевой и альтернативной гипотез. Значения $p < 0,05$ рассматривали как статистически достоверные. Исследуемые параметры выражали в виде «среднее \pm стандартная ошибка».

Результаты и обсуждение

Влияние длительного введения таурина на параметры М-ответа мышцы. Анализ основных параметров М-ответа передней большеберцовой мышцы (латентного периода, амплитуды и длительности) у крыс контрольной и опытной групп показал, что таурин (Тау) не оказал существенного влияния на исходные значения этих параметров, но обусловил менее выраженное уменьшение амплитуды М-ответа после выполнения утомляющей работы (УР) (табл. 1). Так, у контрольных животных после выполнения УР латентный период М-

ответа мышцы не изменялся относительно исходного, тогда как его амплитуда снижалась (в среднем на 40,9%, $p < 0,05$ относительно исходной), а длительность увеличивалась (на 40,5%, $p < 0,05$ относительно исходной) (см. табл. 1). Уменьшение амплитуды М-ответов на фоне примерно равнозначного увеличения их длительности свидетельствует в пользу некоторой десинхронизации возбуждения в мышце вследствие утомления; при этом не исключено и полное выключение части наиболее высоко утомляемых волокон (гликолитического типа) из общего возбуждения.

Таблица 1

Средние значения ($\bar{X} \pm m$) некоторых параметров М-ответа¹ передней большеберцовой мышцы крыс контрольной группы и животных, получавших таурин (Тау) на протяжении 10-60 дней

Группа животных	Параметры М-ответа					
	Латентный период, мс		Амплитуда, мВ		Длительность, мс	
	исходный	после утомляющей работы	исходная	после утомляющей работы	исходная	после утомляющей работы
Контроль	1,2±0,05	1,3±0,04	2,6±0,22	1,4±0,17 (-41±8,9•)	5,5±0,51	7,6±0,76 (+41±4,1•)
10Тау	1,3±0,06	1,4±0,05	2,9±0,30	2,1±0,24 (-29±5,0•)	6,4±0,52	9,5±0,91 (+48±5,1•)
30Тау	1,1±0,06	1,3±0,09	3,0±0,31	2,1±0,23 (-31±3,6•)	4,4±0,31	6,4±0,56 (+46±5,0•)
60Тау	1,3±0,08	1,5±0,13	3,2±0,33	2,6±0,27 [+88*]	6,4±0,48	9,3±0,58 (+46±4,8•)

Примечания:

1. ¹ – одиночный М-ответ передней большеберцовой мышцы вызывали путем стимуляции электрическими импульсами малоберцового нерва с частотой 0,2 имп./с до (исходные значения) и после выполнения мышцей утомляющей работы;

2. * – в квадратных скобках указана статистически значимая ($p < 0,05$) разница показателя относительно контрольной группы;

3. • – в круглых скобках указана статистически значимая ($p < 0,05$) разница показателя относительно исходного значения соответствующей группы.

У крыс 10Тау- и 30Тау-групп амплитуда М-ответов после выполнения УР уменьшалась в меньшей степени, чем у контроля (на 29-31% соответственно относительно исходного уровня), а у животных 60Тау-группы данный параметр после выполнения УР в режиме гладкого тетануса не претерпевал значимых изменений относительно исходного уровня и оказался существенно выше такового контроля (на 88%, $p < 0,05$) (см. табл. 1). Данный факт свидетельствует о более высокой устойчивости мышцы Тау-крыс к утомлению и согласуется с мнением других авторов [10, 12, 37], указывающих в пользу улучшения энергообмена в тканях под действием Тау, что и предопределяет повышение их устойчивости к утомлению. Кроме того, Тау может выступать в роли внутриклеточного осморегулятора [34], препятствуя развитию отеков тканей [34], предотвращать потерю клетками калия и накопление натрия [11, 18, 21, 34], оказывать антиоксидантное [31], антигипоксическое [10, 14] и мембраностабилизирующее действие [38]. Сравнительно недавними исследованиями других авторов установлена способность Тау усиливать потребление кислорода и синтез макроэргов в клетках [24, 37], улучшать сопряжение между возбуждением и сокращением в мышечной ткани [20]. Все эти эффекты Тау, по всей видимости, обуславливают его способность повышать устойчивость различных органов, в том числе скелетных мышц, к утомлению.

Таким образом, длительное введение Тау не оказывало существенного влияния на

исходные параметры М-ответа мышцы, но обусловило менее выраженное уменьшение его амплитуды после выполнения УР в сравнении с контролем, что указывает в пользу более высокой устойчивости мышцы животных Тау-групп к утомлению.

Влияние длительного введения таурина на параметры одиночного сокращения мышцы. Длительное изолированное введение Тау позитивно отразилось на амплитудных параметрах одиночного сокращения мышцы и степени их изменения после выполнения УР. Так, уже после 10 дней введения Тау наблюдалось значимое укорочение фазы расслабления одиночного сокращения мышцы (на 35,9% относительно контроля, $p < 0,05$) (табл. 2). Данная закономерность сохранялась и по мере дальнейшего введения Тау в организм (вплоть до окончания 2-хмесячного периода введения препарата) (см. табл. 2). Кроме того, спустя 60 дней введения Тау имело место статистически значимое увеличение амплитуды одиночного сокращения (на 31,5%, $p < 0,05$) на фоне увеличения массы мышцы (на 19,2%, $p < 0,05$ относительно контроля) (см. табл. 2).

Таблица 2

Средние значения ($\bar{X} \pm m$) некоторых параметров одиночного сокращения мышцы и её массы у контрольных животных и крыс, получавших таурин (Тау) на протяжении 10-60 дней

Исследуемые параметры	Группа животных			
	Контроль	10Тау	30Тау	60Тау
Исходные значения параметров одиночного сокращения мышцы (до утомляющей работы)				
Амплитуда, мм	2,9±0,17	3,1±0,17	3,3±0,22	3,8±0,31 [32*]
Продолжительность фазы укорочения, мс	23,1±1,18	23,0±1,33	21,4±1,67	25,9±2,19
Продолжительность фазы расслабления, мс	74,1±4,17	47,5±1,71 [-36*]	54,2±1,11 [-27*]	59,5±4,59 [-20*]
Значения параметров одиночного сокращения мышцы после утомляющей работы				
Амплитуда, мм	2,1±0,20 (-26,5±1,52●)	2,4±0,20 (-22,6±1,38●)	2,8±0,21 [33*]	3,2±0,38 [53*]
Продолжительность фазы укорочения, мс	22,8±1,51	27,3±3,72	24,2±1,80	26,3±2,44
Продолжительность фазы расслабления, мс	69,8±5,71	55,5±4,97	63,5±4,94	74,0±9,76
Масса мышцы, мг	435,7±13,64	399,7±9,46	447,2±20,16	491,9±11,55 [19,2*]

Примечания:

1. * – в квадратных скобках указана статистически значимая ($P < 0,05$) разница показателя относительно контрольной группы;

2. ● – в круглых скобках указана статистически значимая ($P < 0,05$) разница показателя относительно исходного значения соответствующей группы.

Таким образом, длительное введение Тау обуславливало некоторое увеличение массы передней большеберцовой и амплитуды её одиночного сокращения (спустя 2 месяца введения), а также ускорение фазы расслабления (уже спустя первые 10 дней введения препарата). Наблюдаемое нами укорочение фазы расслабления на фоне неизменной фазы укорочения у Тау-крыс свидетельствует в пользу улучшения энергообмена в мышечных волокнах. Увеличение же амплитуды одиночного сокращения мышцы по окончании 2-хмесячного периода введения Тау может быть связано как с некоторой гипертрофией мышечных волокон, так и с улучшением энергообмена в них или степени электромеханического сопряжения. Учитывая способность Тау стимулировать анаболизм белков в различных тканях [26], усиливать потребление кислорода и синтез макроэргов в

клетках [10, 12], улучшать сопряжение между возбуждением и сокращением [20], все выше названные причины улучшения амплитудных параметров мышцы могли реализоваться в организме крыс, подвергавшихся длительному введению Тау. Улучшение сократительных параметров мышцы у грызунов под влиянием экзогенно вводимого Тау было обнаружено и в исследованиях других авторов [17, 40].

Наряду с улучшением амплитудных и временных параметров одиночного сокращения передней большеберцовой мышцы, длительное введение Тау предопределило отсутствие значимого снижения амплитуды одиночных сокращений мышцы у животных 30Тау-60Тау-групп после УР относительно исходного уровня (см. табл. 2), тогда как у контрольных особей этот параметр уменьшался (см. табл. 2). Данный факт наряду с обсуждаемым ранее менее выраженным в сравнении с контролем уменьшением амплитуды М-ответов у животных 10Тау-30Тау-групп после УР и отсутствием значимого её снижения у крыс 60Тау-группы свидетельствует в пользу более высокой устойчивости мышцы животных Тау-групп к утомлению.

Таким образом, длительное введение Тау в животный организм обусловило некоторое увеличение в сравнении с контролем массы передней большеберцовой мышцы (на 19% у животных 60Тау-группы), амплитуды одиночного сокращения (на 32% у крыс 60Тау-группы), ускорение фазы расслабления (на 36-20% у крыс 10Тау-60Тау-групп) и отсутствие значимого снижения у животных 30Тау-60Тау-групп амплитуды одиночного сокращения мышцы после выполнения УР, указывающее в пользу более высокой устойчивости мышцы Тау-крыс к утомлению.

Влияние длительного введения таурина на параметры тетанического сокращения и работоспособность мышцы. На заключительном этапе наших исследований мы сочли необходимым оценить силовые параметры и работоспособность передней большеберцовой мышцы у крыс, получавших Тау, в условиях работы мышцы в режиме гладкого тетануса с внешней нагрузкой 70 г.

Анализ параметров тетанического сокращения мышцы показал, что длительное введение Тау в животный организм приводило к увеличению амплитуды, силы и скорости тетанического сокращения спустя 2-хмесячный период введения препарата. Именно к данному сроку улучшались, в сравнении с контролем, и параметры работоспособности мышцы. Так, у животных 60Тау-группы наблюдалось увеличение в сравнении с контролем ($p < 0,05$) амплитуды тетанического сокращения (на 23%), его скорости и силы (на 63%) (табл. 3), а также удлинение периодов максимальной (на 50%) и субмаксимальной (на 53%) работоспособности мышцы (см. табл. 3).

Наблюдаемое нами улучшение параметров тетанического сокращения и работоспособности мышцы у Тау-крыс может быть обусловлено способностью Тау стимулировать энергообмен в тканях и тем самым предотвращать развитие энергодифицитных состояний и оказывать антигипоксическое действие [10]. Кроме того, согласно данным некоторых авторов, Тау выступает в роли естественного осморегулятора в клетках [34] и может препятствовать их кальциевой перегрузке [4] и потере ими калия [11] при различных патологических состояниях. Очевидно, участие Тау в осморегуляции также позитивно сказалось на устойчивости мышцы Тау-крыс к утомлению, поскольку одной из причин утомления мышечных волокон является не только накопление лактата и связанный с этим ацидоз, но и нарушение трансмембранных градиентов для натрия и калия в мышечном волокне [8].

Таким образом, длительное введение Тау обуславливало у животных 60Тау-группы в сравнении с контролем увеличение амплитуды тетанического сокращения мышцы (на 23%), его скорости и силы (на 63%), а также удлинение периодов максимальной (на 50%) и субмаксимальной (на 53%) работоспособности мышцы. Все эти изменения косвенно указывают в пользу способности Тау улучшать энергообмен в мышечных волокнах, предотвращать развитие ацидоза в них при длительной работе и нарушение трансмембранных градиентов для ионов.

Средние значения ($\bar{X} \pm m$) амплитудных, временных параметров тетанического сокращения мышцы и её работоспособности у контрольных животных и крыс, получавших таурин (Тау) на протяжении 10-60 дней

Параметры тетанического сокращения	Группа животных			
	Контроль	10Тау	30Тау	60Тау
Амплитуда тетанического сокращения, мм	14,7±0,97	14,1±1,02	17,6±1,36	18,1±1,10 [+23*]
Время достижения максимальной амплитуды сокращения, с	0,9±0,14	1,0±0,16	0,8±0,11	0,7±0,11
Скорость тетанического сокращения, мм/с	16,5±0,98	14,5±0,95	21,9±2,52	27,0±2,49 [+63*]
Сила тетанического сокращения, мН	1,2±0,10	1,0±0,11	1,5±0,28	1,9±0,24 [+63*]
Длительность удержания максимальной амплитуды тетанического сокращения, с	3,7±0,40	4,0±0,45	4,6±0,48	5,6±0,67 [+50*]
Длительность снижения амплитуды сокращения на 50% относительно максимальной, с	9,0±1,19	9,4±1,30	9,3±1,02	13,8±1,31 [+53*]

Примечание. * – в квадратных скобках указана статистически значимая ($p < 0,05$) разница показателя относительно контрольной группы.

Подводя итог результатам нашей работы, необходимо отметить, что длительное введение Тау в животный организм не столько отразилось на амплитудных параметрах сокращения мышцы, сколько привело к повышению её работоспособности и устойчивости к утомлению. Вместе с тем, спустя 2-хмесячный период введения Тау все же наблюдалось некоторое статистически значимое относительно контроля увеличение амплитуды одиночного и тетанического сокращений мышцы и её массы, косвенно свидетельствующие в пользу некоторой возможной гипертрофии мышцы.

Полученные в модельных экспериментах на животных данные свидетельствуют в пользу способности таурина при длительном его введении в организм (в течение 1-2 месяцев) улучшать функциональные параметры скелетной мышцы. Это дает основание для дальнейших экспериментальных исследований эффективности данной аминокислоты в компенсации метаболических и функциональных расстройств нервно-мышечной системы различного генеза, в том числе при стероидной и диабетической миопатиях.

Выводы

1. Таурин не оказал существенного влияния на исходные параметры М-ответа мышцы, но обусловил менее выраженное, в сравнении с контролем, уменьшение его амплитуды после выполнения утомляющей работы, указывающее в пользу более высокой устойчивости мышцы животных Тау-групп к утомлению.

2. Длительное введение таурина в животный организм обусловило некоторое улучшение в сравнении с контролем параметров одиночного сокращения мышцы: увеличение амплитуды одиночного сокращения (на 32% у животных 60Тау-группы) и ускорение фазы расслабления (на 36-20% у крыс 10Тау-60Тау-групп соответственно), а также увеличение массы мышцы (на 19% у крыс 60Тау-группы).

3. По окончании 2-хмесячного периода ежедневного введения таурина в животный организм наблюдалось увеличение в сравнении с контролем амплитуды тетанического сокращения мышцы (на 23%), его скорости и силы (на 63%), а также удлинение периодов

максимальной (на 50%) и субмаксимальной (на 53%) работоспособности мышцы.

4. На протяжении всего периода введения таурина (от 10 до 60 дней) наблюдалось менее выраженное в сравнении с контролем уменьшение амплитуды одиночного сокращения мышцы после выполнения утомляющей работы, что вместе с менее выраженным уменьшением амплитуды М-ответов свидетельствует в пользу более высокой устойчивости мышцы Тау-групп к утомлению.

Список литературы

1. Адамян Ц. И. Антитоксическое действие таурина / Ц. И. Адамян, Э. С. Геворкян // Всероссийский журнал научных публикаций. – 2010. – Ноябрь. – С. 111-112.
2. Арапова А. И. Окислительная модификация белков сердечной и скелетной мускулатуры крыс под влиянием субстрата синтеза оксида азота / А. И. Арапова, М. А. Фомина // Вестник Пермского университета. – 2016. – № 1. – С. 71-79.
3. Аюшин Н. Б. Таурин : фармацевтический свойства и перспективы получения из морских организмов / Н. Б. Аюшин // Известия Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра. – 2001. – Т. 129. – С. 129-145.
4. Гуревич В. С. Таурин и функция возбудимых клеток / В. С. Гуревич. – Л. : Наука, 1986. – 108 с.
5. Климович И. И. Аминокислоты в лечении билиарной патологии (обзор литературы) / И. И. Климович, Е. М. Дорошенко, В. П. Страпко, В. Ю. Смирнов // Журнал ГрГМУ. – 2008. – № 1. – С. 14-20.
6. Кричевская А. А. Аминокислоты и их производные в регуляции метаболизма / А. А. Кричевская, А. И. Лукаш, В. С. Шугалей, Т. И. Бондаренко / Под ред. З. Г. Броницкой. – Ростов-на-Дону : «Ростовский университет», 1983. – 110 с.
7. Ломоносова Ю. Н. Сигнальные эффекты субстратной стимуляции pNOS в скелетной мышце крысы после эксцентрической нагрузки / Ю. Н. Ломоносова, Б. С. Шенкман, Т. Л. Немировская // Доклады Академии Наук. – 2013. – Т. 452, № 6. – С. 685-689.
8. Мак-Комас А. Дж. Скелетные мышцы (строение и функции) / А. Дж. Мак-Комас. – К. : Олимпийская литература, 2001. – 406 с.
9. Маль Г. С. Влияние L-аргинина на неоангиогенез при экспериментальной ишемии конечности / Г. С. Маль, Е. Б. Артюшкова, Д. В. Полянский // Научный альманах. – 2015. – № 10-3 (12). – С. 341-343.
10. Маньковская И. Н. Некоторые механизмы антигипоксического действия таурина / И. Н. Маньковская, В. И. Носар, А. И. Назаренко // Физиол. журн. – 1992. – Т. 38, № 5. – С. 81-88.
11. Машкова Н. Ю. О возможности регуляции таурином внутриклеточного содержания калия в гепатоцитах и эритроцитах крыс при облучении / Н. Ю. Машкова, Е. Н. Алексеева, Г. А. Докшина // Радиобиология. – 1983. – Т. 23, № 6. – С. 758-760.
12. Попович М. Н. Вызванный норадреналином паралич сердца и защитное действие таурина / М. Н. Попович, В. А. Кобец, В. И. Капелько // Физиол. журн. – 1990. – Т. 36, № 6. – С. 8-12.
13. Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств / Под ред. А. Н. Миронова, Н. Д. Бунатян. – М. : Минздрав РФ, ЗАО «Гриф и К», 2012. – 944 с.
14. Таркунов П. А. Кардиопротекторное действие таурина / П. А. Таркунов, Н. С. Сапронов // Экспериментальная и клиническая фармакология. – 1997. – Т. 60, № 5. – С. 70-77.
15. Труш В. В. Оценка характера влияния длительно вводимого аргинина на функциональное состояние скелетной мышцы белых крыс / В. В. Труш, В. И. Соболев // Уч. зап. Крымского фед. ун-та им. В. И. Вернадского. Биол. Хим. – 2017. – Т. 3 (69), № 4. – С. 230-243.
16. Шейбак В. М. Биосинтез и обмен таурина / В. М. Шейбак, Л. М. Шейбак // Журн. ГГМУ. – 2005. – № 1. – С. 9-12.
17. Bakker A. Effect of taurine on sarcoplasmic reticulum function and force in skinned fast-twitch skeletal muscle fibres of the rat / A. Bakker, H. Berg // The Journal of Physiology. – 2002. –

Vol. 538. – P. 185-194.

18. *Burg M. B.* Molecular basis of osmotic regulation / M. B. Burg // Amer. Journ. Physiol. Renal Fluid and Electrolyte Physiol. – 1995. – Vol. 37, N 6. – P. F983-F996.

19. *Carneiro E. M.* Taurine supplementation modulates glucose homeostasis and islet function / E. M. Carneiro, M. Q. Latorraca, E. Araujo // Journal of Nutritional Biochemistry. – 2009. – Vol. 20. – P. 503-511.

20. *De Luca A.* Effect of taurine depletion on excitation-contraction coupling and Cl-conductance of rat skeletal muscle / A. De Luca, S. Pierno, D. Camerino // European Journal of Pharmacology. – 1996. – Vol. 296. – P. 215-222.

21. *El-Sherbeny A.* Osmoregulation of taurine transporter function and expression in retinal pigment epithelial, ganglion and muller cells / A. El-Sherbeny, H. Naggar, S. Miyauchi // Investigative Ophthalmology & Visual Science. – 2004. – Vol. 45, N 2. – P. 39-46.

22. *Gauthier G. F.* Skeletal muscle fiber types / G. F. Gauthier // In Myology. Basic and clinical. – Engel A. G., Banker B. Q., eds. – New York : McGraw-Hill, 1986. – P. 255-283.

23. *Gentile C. L.* Experimental evidence for therapeutic potential of taurine in the treatment of nonalcoholic fatty liver disease / C. L. Gentile, A. M. Nivala // Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol. – 2011. – Vol. 301, N 6. – P. R1710-R1722.

24. *Harada N.* Taurine alters respiratory gas exchange and nutrient metabolism in type 2 diabetic rats / N. Harada, C. Ninomiya, Y. Osako // Obes. Res. – 2004. – Vol. 12, N 7. – P. 1077-1084.

25. *Hayes K. C.* Growth depression in taurine-depleted infant monkeys / K. C. Hayes, Z. F. Stephan, J. A. Sturman // J. Nutr. – 1980. – Vol. 110, N 10. – P. 2058-2064.

26. *Huxtable R.* Physiological action of taurine / R. Huxtable // American Physiological Society. – 1992. – Vol. 72. – P. 101-163.

27. *Hwang D.F.* Effect of taurine on toxicity of copper in rats / D. F. Hwang, L. C. Wang, H. M. Cheng // Food and Chem. Toxicol. – 1998. – Vol. 36, N 3. – P. 239-244.

28. *Kerai M. D. J.* Taurine-protective properties against ethanol-induced hepatic steatosis and lipid peroxidation / M. D. J. Kerai, C. J. Waterfield, S. H. Kenyon // AminoAcids. – 1998. – Vol. 15, N 12. – P. 53-76.

29. *Lourenco R.* Taurine : conditionally essential amino acid in humans? An overview in health and disease / R. Lourenco, M. Camili // Nutr. Hosp. – 2002. – Vol. 17, N 6. – P. 262-270.

30. *Miyazaki T.* Optimal and effective oral dose of taurine to prolong exercise performance in rat / T. Miyazaki, Y. Matsuzaki, T. Ikegami et al. // Amino Acids. – 2004. – Vol. 22, N 10. – P. 241-245.

31. *Raschke P.* Taurine protects the heart from neutrophil-induced reperfusion injury / P. Raschke, P. Massoudy, B. F. Becker // Free Radical Biol. and Med. – 1995. – Vol. 19, N 4. – P. 461-471.

32. *Ribeiro R. A.* Taurine supplementation enhances nutrient-induced insulin secretion in pancreatic mice islets / R. A. Ribeiro, M. L. Bonfleur, A. G. Amaral // Diabetes Metab. Res. Rev. – 2009. – Vol. 25, N 4. – P. 370-379.

33. *Ripps H.* Review : Taurine : A «very essential» amino acid / H. Ripps, Sh. Wen // Molecular Vision. – 2012. – Vol. 18. – P. 2673-2686.

34. *Schousboe A.* Role of taurine in neutral cell-volume regulation / A. Schousboe, H. Pasantesmorales // Canadian Journ. Physiol. Pharmacol. – 1992. – Vol. 70, N 5. – P. 356-361.

35. *Schuller-Levis G.* Taurine : new implications for an old amino acid / G. Schuller-Levis, E. Park // FEMS Microbiol. Lett. – 2003. – Vol. 26, N 2. – P.195-202.

36. *Schaffer S. W.* Physiological roles of taurine in heart and muscle / S. W. Schaffer, C. J. Jong, K. C. Ramila, J. Azuma // J. Biomed. Sci. – 2010. – Vol. 17, Suppl. 1. – P. S2.

37. *Winiarska K.* Hypoglycaemic, antioxidative and nephroprotective effects of taurine in alloxan diabetic rabbits / K. Winiarska, K. Szymanski, P. Gorniak et al. // Biochimie. – 2009. – Vol. 91, N 2. – P. 261-270.

38. *Wright C. E.* Taurine : biological update / C. E. Wright, H. H. Tallan, Y. Y. Lyn,

G. E. Gaull // Annu. Rev. Biochem. – 1986. – Vol. 55. – P. 427-453.

39. Wu C. Involvement of polyamines in the protection of taurine against the cytotoxicity of hydrazine or carbon-tetrachloride in isolated rat hepatocytes / C. Wu, C. Miyagawa, D. O. Kennedy // Chem.-Biol. Interactions. – 1997. – Vol. 103, N 3. – P. 213-224.

40. Yatabe Y. Effects of taurine administration in rat skeletal muscles on exercise / Y. Yatabe, S. Miyakawa, T. Miyazaki et al. // Journal of Orthopaedic Science. – 2003. – Vol. 8. – P. 415-419.

Trush V. V., Popov V. F., Trush V. I. Evaluation in the model experiments on animals of the effect of long-administrating taurine on the functional state of the skeletal muscle. – Long-term administration of taurine in rats (Tau, 60 mg/kg/in a day) during 10 (10Tau-group), 30 (30Tau-group), and 60 (60 Tau-group) days resulted in an improvement in the functional parameters of the *m. tibialis anterior*. In particular, the acceleration of the relaxation phase of single contraction (by 36-20%) in the 10Tau-60Tau-groups was observed and there was an increase in animals of 60Tau-group in the amplitude of a single (by 32%) and tetanic (by 23%) contractions, the speed of tetanic contraction (by 63%), the lengthening of periods of maximum (by 50%) and submaximal (by 53%) muscle capacity and increase in its mass (by 19%). In addition, during the entire period of Tau-administration (from 10 to 60 days) there was a higher muscle resistance to fatigue.

Key words: skeletal muscle, single muscle contraction, tetanic muscle contraction, muscle M-response, taurine.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

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

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

2. Статья набирается в редакторе MS Word 2003 как документ Word (*.doc) или текст в формате RTF (*.rtf). Шрифт – Times New Roman Cyr, размер – 12 пунктов, межстрочный интервал – одинарный; поля со всех сторон – по 2 см; абзацный отступ – 1 см; выравнивание – по ширине, без переносов; колонтитулы – 1,2 см, стиль «Обычный». Страницы рукописи не нумеруются.

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

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

Инициалы и фамилия автора (-ов)

Название статьи – ЗАГЛАВНЫМИ БУКВАМИ

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

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

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

Ключевые слова: не более 5-8 слов.

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

Благодарности подаются в конце статьи перед списком литературы.

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

Фамилии и инициалы авторов выделить курсивом.

Ссылки на литературные источники подаются цифрами в квадратных скобках.

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

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

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

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

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

9. Таблицы следует набирать в редакторе MS Word 2003. Их следует размещать в «книжном», а не в «альбомном» формате, с максимальной насыщенностью информацией в строках. В названиях граф сокращение слов нежелательно. Следует избегать составления слишком громоздких таблиц. Заголовок таблицы оформить по следующему примеру:

Таблица 1

Название таблицы

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

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

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

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

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

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

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

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

Адрес редакции:

Биологический факультет ДонНУ,

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

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

Тел.: (062) 302-09-95; (071) 419-59-19

RULES FOR AUTHORS

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

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

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

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

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

Initials and surname of the author(s)

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

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

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

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

Surname and initials of the author(s).

The title of the article.

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

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

Key words: no more than 5-8.

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

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

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

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

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

Table 1

Title of the Table

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

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

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

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

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

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

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

Editorial office address:

Biological faculty of Donetsk National University

Schorsa Str., 46/310

Donetsk, 283050

Managing editor: PhD in biology, Arthur Shtirts

Tel.: (071) 419-59-19

Научно-практический журнал

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И ОХРАНЫ ПРИРОДЫ ТЕХНОГЕННОГО РЕГИОНА

№ 3–4

Учредитель: 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>