ISSN 2077-3366

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ, МОЛОДЕЖИ И СПОРТА УКРАИНЫ
ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCES, YOUTH AND SPORTS OF UKRAINE
DONETSK NATIONAL UNIVERSITY

ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЇ ТА ОХОРОНИ ПРИРОДИ ТЕХНОГЕННОГО РЕГІОНУ

Науково-практичний журнал

№ 1 (11)

Заснований у 1999 р.

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И ОХРАНЫ ПРИРОДЫ ТЕХНОГЕННОГО РЕГИОНА

Научно-практический журнал

№ 1 (11)

Основан в 1999 г.

PROBLEMS OF ECOLOGY AND NATURE PROTECTION OF TECHNOGENIC REGION

Scientific and practical journal

№ 1 (11)

Founded in 1999

Донецьк ДонНУ 2011

Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону. – 2011. – № 1 (11). – 362 с.

Статті викладачів, наукових співробітників та аспірантів різних вузів і науково-дослідних організацій України охоплюють широке коло питань екологічної, флористичної, фауністичної, біофізичної і фізіологічної спрямованості. Призначений для екологів, ботаніків, зоологів, фізіологів рослин, людини і тварин, біофізиків, фахівців з охорони природи, а також для викладачів і студентів біологічних факультетів вищих навчальних закладів.

Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2011. – № 1 (11). – 362 с.

Статьи преподавателей, научных сотрудников и аспирантов различных вузов и научно-исследовательских организаций Украины охватывают широкий круг вопросов экологической, флористической, фаунистической, биофизической и физиологической направленности. Предназначен для экологов, ботаников, зоологов, физиологов растений, человека и животных, биофизиков, специалистов по охране природы, а также для преподавателей и студентов биологических факультетов высших учебных заведений.

Problems of ecology and nature protection of technogenic region. – 2011. – № 1 (11). – 362 p.

Papers of the teachers, scientific employees and post-graduate students of various high schools and research organizations of Ukraine cover a wide circle of questions of ecological, floristic, faunistic, biophysical and physiological orientation. It is intended for ecologists, botanists, zoologists, physiologists of plants, man and animals, biophysics, experts in nature protection and for teachers and students of biological faculties of higher educational institutions.

Редакційна колегія

С. В. Беспалова, проф., д-р фіз.-мат. наук **(*голов. редактор*); О. С. Горецький**, проф., д-р біол. наук **(*заст. голов. редактора*)**; **А. С. Алемасова**, проф., д-р хім. наук; **М. І. Бойко**, проф., д-р біол. наук; **О. З. Глухов**, член-кор. НАН України, проф., д-р біол. наук; **О. З. Злотін**, проф., д-р біол. наук; **О. Г. Калінкін**, проф., д-р мед. наук; **В. А. Максимович**, проф., д-р мед. наук; **В. М. Остапко**, проф., д-р біол. наук; **В. А. Романенко**, проф., д-р біол. наук; **В. І. Соболев**, проф., д-р біол. наук; **В. Н. Сокрут**, проф., д-р мед. наук; **М. М. Сухомлин**, проф., д-р біол. наук; **В. М. Шаталов**, проф., д-р фіз.-мат. наук; **М. М. Ярошенко**, проф., д-р біол. наук; **Н. М. Лялюк**, доц., канд. біол. наук; **А. І. Сафонов,** доц., канд. біол. наук; **А. Д. Штірц**, доц., канд. біол. наук **(*відп. секретар*)**.

Editorial Board

S. V. Bespalova (Editor-in-Chief), O. S. Goretsky (Associate Editor), A. S. Alemasova, M. I. Boiko, A. Z. Glukhov, A. Z. Zlotin, O. G. Kalinkin, V. A. Maximovich, V. M. Ostapko, V. A. Romanenko, V. I. Sobolev, V. N. Sokrut, M. N. Sukhomlin, V. M. Shatalov, N. N. Yaroshenko, N. M. Lyalyuk, A. I. Safonov, A. D. Shtirts (Executive Secretary).

Атестований ВАК України. Журнал включено до нового переліку наукових фахових видань у галузі «Біологічні науки» (затверджено постановою ВАК України від 26.05.2010 р. № 1-05/4). Бюлетень ВАК України. – 2010. – № 6.

Свідоцтво про державну реєстрацію: КВ № 15948-4419Р від 27.10.2009 р.

Адреса редакції:

Біологічний факультет Донецького національного університету, вул. Щорса, 46, к. 310, м. Донецьк, 83050.

Тел.: (062) 304-61-86; (050) 240-78-02

E-mail: eco99@i.ua або shtirts@i.ua

Електронна версія журналу розміщена на сайті: www.nbuv.gov.ua/portal/Chem_Biol/peop

Друкується за рішенням Вченої ради Донецького національного університету протокол № 11 від 30.12.2011 р.

© Обкладинка М. В. Максимовича

© Донецький національний університет, 2011

З М І С Т

ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ТА ПРИКЛАДНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЇ

Беспалова С. В., Лялюк Н. М., Афанасьєв Д. М., Романчук С. М., Васильєв О. В. Автоматизований моніторинг екологічного стану поверхневих вод з використанням фітопланктону в якості біоіндикатора **9**

Беспалова С. В., Горецький О. С., Глухов О. З., Злотін О. З., Максимович В. О., Говта М. В., Лялюк Н. М., Маркіна Т. Ю., Маслодудова К. М., Машталер О. В., Сафонов А. І., Федотов О. В., Штірц А. Д. Критерії оцінки екологічного стану середовища за порогами чутливості біоіндикаторів **25**

ФЛОРА, ЕКОЛОГІЯ Й ОХОРОНА РОСЛИННОГО СВІТУ

Глухов О. З., Хархота Г. І., Прохорова С. І., Агурова І. В. Поширення рідкісних судинних рослин у техногенно трансформованих екосистемах південного сходу України **44**

Глухов О. З., Стрельніков І. І. Фітонцидна ефективність та морфометрична мінливість видів роду *Ficus* L. **51**

Альохіна Т. М., Гудзенко В. В. Сучасний стан донних осадків Карачунівського водосховища **58**

Капелюш Н. В. Вплив аеротехногенного забруднення довкілля на репродуктивний розвиток представників роду *Platanus* L. **66**

Лисенко Г. М. Екотопічна диференціація степів Ростовської області **73**

Машталер О. В., Голик Г. М. Специфіка розподілу лишайників Донецької області на екологічні групи за типом субстрату **81**

Осипова Л. М., Рабоконь А. М. Цитоморфологічні особливості дослідних і контрольних рослин видів *Pinus sylvestris* L. та *Pinus pallasiana* D. Don в техногенних умовах м. Донецька **86**

Осипова Л. М., Радченко Д. Р., Крохмаль І. І. Селекція сортів роду *Hemerocallis* L. в умовах Донбасу **93**

Павлова М. О., Кудина Г. О., Качур Л. Ю. Декоративні злаки роду *Pennisetum* Rich. в умовах південного сходу України **99**

Сафонов А. І., Колесников С. В. Оцінка сучасного стану і динаміки степових рослинних угруповань РЛП «Зуївський» за допомогою технологій дистанційного зондування **106**

Федоненко О. В., Слабоспицька О. В. Сезонна динаміка трофо-сапробіологічних показників води середньої частини Запорізького (Дніпровського) водосховища **111**

Хаблак С. Р., Абдуллаєва Я. А. Будова кореневої системи у мутантної лінії *wooden leg-1* (*wol-1*) *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. **122**

Жуков О. В., Штірц Ю. О., Жуков С. П. Оцінка методами геометричної морфометрії морфологічної мінливості листкових пластинок *Betula pendula* Roth в екосистемах з різним ступенем антропогенної трансформації **128**

ФАУНА, ЕКОЛОГІЯ Й ОХОРОНА ТВАРИННОГО СВІТУ

Золотухін В. В., Соколовська О. М., Маслодудова К. М., Сауткіна Т. С. Динаміка розповсюдження лямбліозу серед населення Київського району м. Донецька **135**

Комаров О. С. Особливості трофічних зв'язків *Poecilus versicolor* (Coleoptera, Carabidae) у біогеоценозах Полтавской області **141**

Маслодудова К. М., Чурсіна Т. А., Панченко А. О. Мінливість деяких морфологічних ознак у личинок мошок *Odagmia ornata* (Mg.) (Diptera, Simuliidae) та їх використання у систематиці **148**

Міхєєв О. В. Біогеоценотичні аспекти екскреторного маркірування лисиці *Vulpes vulpes* (Mammalia, Canidae) в лісових екосистемах південно-сходу України **154**

Пилипенко Д. В. Птахи, що гніздяться в байрачних лісах Донецької області **163**
Прокопенко О. В., Жуков О. В. Розмаїтість герпетобіонтних безхребетних на експериментальній ділянці рекультивації земель, порушених гірничодобувною промисловістю **172**
Рева М. В., Усова З. В., Семушин Р. Д. Мошки (Diptera, Simuliidae) як біоіндикатори чистоти водойм південного сходу України **188**
Рязанцева А. Є., Маслодудова К. М. Біотопи преімагінальних фаз кровосисних двокрилих (Diptera: Culicidae, Simuliidae, Ceratopogonidae, Tabanidae) в умовах м. Донецька і його околиць **203**
Ярошенко М. М. Панцирні кліщі й інші ґрунтові членистоногі відділення Українського природного степового заповідника «Крейдяна флора» (Донецька область) **211**

ФІЗІОЛОГІЯ ТА ЕКОЛОГІЯ РОСЛИН, МІКОЛОГІЯ

Демченко С. І., Дерев'янко А. Є., Швиндіна К. С. Дослідження індивідуальної мінливості природних штамів *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kumm. **221**
Жуков С. П. Рослини, стійкі до підвищеної кислотності ґрунтів, у фітоценозах відвалів Донбасу **230**
Ковтун-Водяницька С. М. Спосіб проведення експерименту з визначення якості пилкових зерен видів роду *Nepeta* L. **235**
Миколайчук В. Г., Вергун О. М., Рахметов Д. Б. Динаміка фотосинтетичних пігментів рослин *Cyperus esculentus* L. при інтродукції в Правобережному Лісостепу України **242**
Приседский Ю. Г., Корсун А. А. Вплив внесення торфу на ростові процеси квітково-декоративних рослин на збіднених ґрунтах **250**
Приседський Ю. Г., Миронова Г. М. Вплив гумата натрію на ростові процеси чорнобривців дрібноквіткових в умовах забруднення ґрунту фторідами та сульфітами **254**
Усольцева О. Г., Демченко С. І. Динаміка активності пероксидази в пагонах інтродукованих хвойних рослин при живцюванні та окоріненні **261**
Федотов О. В. Фізико-хімічні показники мікологічних об'єктів у біоіндикації довкілля **265**
Хромих О. В. Вплив забруднення ґрунту кобальтом та марганцем на ростові показники деяких видів квітково-декоративних рослин **275**

ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ТА ПРИКЛАДНІ ПРОБЛЕМИ БІОФІЗИКИ І ФІЗІОЛОГІЇ

Білобров В. М, Богдан Н. М., Хомутова К. В., Беспалова С. В., Гладий В. Л., Федченко Ю. А. Біофізичні аспекти гомеостазу **291**
Говта М. В., Котлярова І. В. ЕЕГ-патерни рівня тривожності жителів Донбасу **304**
Міщенко А. М., Беспалова С. В. Моделювання частотних характеристик м'яза з використанням безперервної просторово розподіленої моделі **310**
Тарадина Г. В., Доценко О. І. Олігомерні інтермедіати каталази в розчині за дії низькочастотної вібрації **323**
Кметко І. Л., Соболєв В. І. Характеристика функціонального стану скелетного м'яза білих щурів за експериментального гіпертиреозу **330**
Кустов Д. Ю., Кокіна І. В., Тарапата М. І. Дослідження впливу трансплантації ембріональних стовбурових клітин на поведінку щурів після опромінення **338**
Труш В. В. Вплив хронічного введення інозину на функціональний стан скелетного м'яза білих щурів **348**
Правила для авторів **357**

С О Д Е Р Ж А Н И Е

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ

Беспалова С. В., Лялюк Н. М., Афанасьев Д. Н., Романчук С. М., Васильев А. В. Автоматизированный мониторинг экологического состояния поверхностных вод с использованием фитопланктона в качестве биоиндикатора **9**

Беспалова С. В., Горецкий О. С., Глухов А. З., Злотин А. З., Максимович В. А., Говта Н. В., Лялюк Н. М., Маркина Т. Ю., Маслодудова Е. Н., Машталер А. В., Сафонов А. И., Федотов О. В., Штирц А. Д. Критерии оценки экологического состояния среды по порогам чувствительности биоиндикаторов **25**

ФЛОРА, ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА

Глухов А. З., Хархота А. И., Прохорова С. И., Агурова И. В. Распространение редких сосудистых растений в техногенно трансформированных экосистемах юго-востока Украины **44**

Глухов А. З., Стрельников И. И. Фитонцидная эффективность и морфометрическая изменчивость видов рода *Ficus* L. **51**

Алёхина Т. Н., Гудзенко В. В. Современное состояние донных осадков Карачуновского водохранилища **58**

Капелюш Н. В. Влияние аэротехногенного загрязнения среды на репродуктивное развитие представителей рода *Platanus* L. **66**

Лысенко Г. Н. Экотопическая дифференциация степей Ростовской области **73**

Машталер А. В., Голик Г. Н. Специфика распределения лишайников Донецкой области на экологические группы по типу субстрата **81**

Осипова Л. М., Рабоконь А. Н. Цитоморфологические особенности опытных и контрольных растений *Pinus sylvestris* L. и *Pinus pallasiana* D. Don в техногенных условиях г. Донецка **86**

Осипова Л. М., Радченко Д. Р., Крохмаль И. И. Селекция сортов рода *Hemerocallis* L. в условиях Донбасса **93**

Павлова М. А., Кудина Г. А., Качур Л. Ю. Декоративные злаки рода *Pennisetum* Rich. в условиях юго-востока Украины **99**

Сафонов А. И., Колесников С. В. Оценка современного состояния и динамики степных растительных сообществ РЛП «Зуевский» с помощью технологий дистанционного зондирования **106**

Федоненко Е. В., Слабоспицкая О. В. Сезонная динамика трофо-сапробиологических показателей воды средней части Запорожского (Днепровского) водохранилища **111**

Хаблак С. Г., Абдуллаева Я. А. Строение корневой системы у мутантной линии *wooden leg-1* (*wol-1*) *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. **122**

Жуков А. В., Штирц Ю. А., Жуков С. П. Оценка методами геометрической морфометрии морфологической изменчивости листовых пластинок *Betula pendula* Roth в экосистемах с различной степенью антропогенной трансформации **128**

ФАУНА, ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ЖИВОТНОГО МИРА

Золотухин В. В., Соколовская О. М., Маслодудова Е. Н., Сауткина Т. С. Динамика распространения лямблиоза среди населения Киевского района г. Донецка **135**

Комаров А. С. Особенности трофических связей *Poecilus versicolor* (Coleoptera, Carabidae) в биогеоценозах южной Лесостепи Полтавской области **141**

Маслодудова Е. Н., Чурсина Т. А., Панченко А. А. Изменчивость некоторых морфологических признаков у личинок мошек *Odagmia ornata* Mg. (Diptera, Simuliidae) и их использование в систематике **148**

Михеев А. В. Биогеоценотические аспекты экскреторной маркировки лисицы *Vulpes vulpes* (Mammalia, Canidae) в лесных экосистемах юго-востока Украины **154**

Пилипенко Д. В. Гнездящиеся птицы байрачных лесов Донецкой области **163**
Прокопенко Е. В., Жуков А. В. Разнообразие герпетобионтных беспозвоночных на экспериментальном участке рекультивации земель, нарушенных горнодобывающей промышленностью **172**
Рева М. В., Усова З. В., Семушин Р. Д. Мошки (Diptera, Simuliidae) как биоиндикаторы чистоты водоемов юго-востока Украины **188**
Рязанцева А. Е., Маслодудова Е. Н. Биотопы преимагинальных фаз кровососущих двукрылых (Diptera: Culicidae, Simuliidae, Ceratopogonidae, Tabanidae) в условиях г. Донецка и его окрестностей **203**
Ярошенко Н. Н. Панцирные клещи и другие почвенные членистоногие отделения Украинского степного природного заповедника «Меловая флора» (Донецкая область) **211**

ФИЗИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ, МИКОЛОГИЯ

Демченко С. И., Деревянко А. Е., Швиндина Е. С. Исследование индивидуальной изменчивости природных штаммов *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kumm. **221**
Жуков С. П. Растения, устойчивые к повышенной кислотности почв, в фитоценозах отвалов Донбасса **230**
Ковтун-Водяницкая С. М. Способ проведения эксперимента по определению качества пыльцевых зерен видов рода *Nepeta* L. **235**
Миколайчук В. Г., Вергун Е. М., Рахметов Д. Б. Динамика фотосинтетических пигментов растений *Cyperus esculentus* L. при интродукции в Правобережной Лесостепи Украины **242**
Приседский Ю. Г., Корсун А. А. Влияние внесения торфа на ростовые процессы цветочно-декоративных растений на обедненных почвах **250**
Приседский Ю. Г., Миронова А. М. Влияние гумата натрия на ростовые процессы бархатцев мелкоцветных в условиях загрязнения почвы фторидами и сульфидами **254**
Усольцева О. Г., Демченко С. И. Динамика активности пероксидазы в побегах интродуцированных хвойных растений при черенковании и укоренении **261**
Федотов О. В. Физико-химические показатели микологических объектов в биоиндикации окружающей среды **265**
Хромых О. В. Влияние загрязнения почвы кобальтом и марганцем на ростовые показатели некоторый видов цветковых декоративных растений **275**

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОФИЗИКИ И ФИЗИОЛОГИИ

Билобров В. М., Богдан Н. М, Хомутова Е. В., Беспалова С. В., Гладий В. Л., Федченко Ю. А. Биофизические аспекты гомеостаза **291**
Говта Н. В., Котлярова И. В. ЭЭГ-паттерны уровня тревожности жителей Донбасса **304**
Мищенко А. М., Беспалова С. В. Моделирование частотных характеристик мышцы с использованием непрерывной пространственно распределенной модели **310**
Тарадина Г. В., Доценко О. И. Олигомерные интермедиаты каталазы в растворе при действии низкочастотной вибрации **323**
Кметко И. Л., Соболев В. И. Характеристика функционального состояния скелетной мышцы белых крыс при экспериментальном гипертиреозе **330**
Кустов Д. Ю., Кокина И. В., Тарапата Н. И. Исследование влияния трансплантации эмбриональных стволовых клеток на поведение крыс после облучения **338**
Труш В. В. Влияние хронического введения инозина на функциональное состояние скелетной мышцы белых крыс **348**
Правила для авторов **357**

C O N T E N T S

FUNDAMENTAL AND APPLIED PROBLEMS OF ECOLOGY

Bespalova S. V., Lyalyuk N. M., Afanasyev D. N., Romanchuk S. M., Vasilyev A. V. Automated monitoring of ecological state of surface waters using phytoplankton as a bioindicator **9**

Bespalova S. V., Goretsky O. S., Glukhov A. Z., Zlotin A. Z., Maksimovich V. A., Govta N. V., Ljaljuk N. M., Markina T. Yu., Maslodudova E. N., Mashtaler A. V., Safonov A. I., Fedotov O. V., Shtirts A. D. The criteria of assessment of ecological state of environment on thresholds of sensitivity of bioindicators **25**

FLORA, ECOLOGY AND PROTECTION OF THE PLANT KINGDOM

Glukhov O. Z., Kharkhota G. I., Prokhorova S. I., Agurova I. V. Spreading of rare vascular plants in technogenically transformed ecosystems in the south-east of Ukraine **44**

Gluhov A. Z., Strelnikov I. I. Phytoncidal efficiency and morphometric variability of species from genus *Ficus* L. **51**

Alokhina T. N., Gudzenko V. V. Modern condition bottom sediments of Karachuny water reservoir **58**

Kapeljus N. V. Influence of aerotechnogenic pollution on reproductive development of kind of *Platanus* L. **66**

Lysenko H. M. Ecotopic differentiation of the steppes Rostov Region **73**

Mashtaler A. V., Golik G. N. Specific of distributing of lichenes of the Donetsk region on ecological groups on the type of substrate **81**

Osipova L. M., Rabokon A. M. Cytomorphological features of *Pinus sylvestris* L. and *Pinus pallasiana* D. Don experimental and check plants in technologenic conditions of Donetsk **86**

Osipova L. M., Radchenko D. R., Krokhmal I. I. Selection varieties of genus *Hemerocallis* L. in conditions of Donbass **93**

Pavlova M. A., Kudina G. A., Kachur L. Yu. Decorative cereals of *Pennisetum* Rich. genus under the conditions of the souts-east of Ukraine **99**

Safonov A. I., Kolesnikov S. V. Assessment of current status and trends of steppe plant communities in RLP «Zuevsky» using remote sensing technologies **106**

Fedonenko O. V., Slabospitskaya E. V. Seasonal dynamics of water trophic-saprobiologic indexes of the middle part of Zaporozhskoye (Dnieprovskoye) reservoir **111**

Hablak S. G., Abdullaeva J. A. Structure of root system in the mutant *lines wooden leg-1* (*wol-1*) *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. **122**

Zhukov A. V., Shtirts Yu. A., Zhukov S. P. The estimation by methods of a geometrical morphometry of morphological variability of leaf blade *Betula pendula* Roth in ecosystems with a different degree of anthropogenous transformation **128**

FAUNA, ECOLOGY AND PROTECTION OF THE ANIMAL KINGDOM

Zolotuhin V. V., Sokolovskaya O. M., Maslodudova E. N., Sautkina T. S. The dynamics of the spread of giardiasis in the population in the Kievsky area of Donetsk **135**

Komarov A. S. Specialities of food preferences of *Poecilus versicolor* (Coleoptera, Carabidae) in biogeocenosesof south Steppeforest Poltava region **141**

Maslodudova E. N., Chursina T. A., Panchenko A. A. Variability of some morphological characters in larvae of blackflies *Odagmia ornata* (Mg.) (Diptera, Simuliidae) and their use in taxonomy **148**

Mikheyev A. V. Biogeocenotical aspects of red fox *Vulpes vulpes* (Mammalia, Canidae) excretory marking in forest ecosystems of the southeast of Ukraine **154**

Pilipenko D. V. Breeding birds bayrachnyh forests of Donetsk region **163**
Prokopenko E. V., Zhukov A. V. The diversity of the herpetobiont invertebrates community on the recultivation experimental site on the soil destroyed by the mining **172**
Reva M. V., Usova Z. V., Semushin R. D. Blackflies (Diptera, Simuliidae) as a bioindicators of water quality in the South-East of Ukraine **188**
Ryazantseva A. E., Maslodudova E. N. The biotopes of preimaginal stages of blood-suckingflies (Diptera: Culicidae, Simuliidae, Ceratopogonidae, Tabanidae) in the city of Donetsk and the surrounding area **203**
Yaroshenko N. N. The oribatid mites and others soil Arthropoda of separation of the Ukrainian steppe natural reserve «Melovaya flora» (Donetsk area) **211**

PHYSIOLOGY AND ECOLOGY OF THE PLANT, MYCOLOGY

Demchenko S. I., Derevjanko A. E., Shvindina K. S. The investigation of individual variability of *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kumm. natural strains **221**
Zhukov S. P. Plants resistant to increased acidity of the soil in dumps phytocenoses of Donbass **230**
Kovtun-Vodyanitska S. M. The method of conducting experiment to determine the quality of pollen grains species of the genus *Nepeta* L. **235**
Mikolajchuk V. G., Vergun O. M., Rakhmetov J. B. The dynamic of photosynthetic pigments *Cyperus esculentus* L., introducted in right-bank forest-steppe zone of Ukraine ... **242**
Prisedsky Yu. G., Korsun A. A. Using the physiologically active substances for the cultivation of ornamental plants in depleted soils **250**
Prisedsky Yu. G., Mironova A. M. Influence of a humate of sodium on the processes of stature *Tagetes patula* L. in the conditions of pollution of soil by fluorides and sulfites **254**
Usoltseva O. G., Demchenko S. I. The dynamics of peroxidase activity in innovation shoots of introduced coniferous plants at cutting and rooting **261**
Fedotov O. V. Physical and chemical indexes of mycological in bioindication of environment **265**
Hromyh O. V. The study of the influence of the pollution of soils with heavy metals on morphometric indexes of ornamental flowering plants **275**

FUNDAMENTAL AND APPLIED PROBLEMS OF BIOPHYSICS AND PHYSIOLOGY

Bilobrov V. M., Bogdan N. M., Khomutova K. V., Bespalova S. V., Gladiy V. L., Fedchenko Yu. A. Biological aspects of a homeostasis **291**
Govta N. V., Kotljarova I. V. EEG-pattern level of anxiety of habitants of Donbass **304**
Mishchenko A. M., Bespalova S. V. Simulation of the muscles frequency characteristics in continuous spatially distributed model **310**
Taradina G. V., Dotsenko O. I. Oligomeric intermediates of catalases in a solution at influence of low-frequency vibration **323**
Kmetko I. L., Sobolev V. I. Characteristic of functional state of skeletal muscle of white rats at experimental hyperthyroidism **330**
Kustov D. Yu., Kokina I. V., Tarapata M. I. Study of embryonic stem cell transplantation influence on rat behaviour after irradiation exposure **338**
Trush V. V. Iinfluence of chronic introduction of inosine on a functional condition of a skeletal muscle of white rats **348**
Guidelines for authors **357**

ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ТА ПРИКЛАДНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЇ
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ
FUNDAMENTAL AND APPLIED PROBLEMS OF ECOLOGY

УДК 574.502.3

© С. В. Беспалова, Н. М. Лялюк, Д. М. Афанасьєв, С. М. Романчук, О. В. Васильєв

АВТОМАТИЗОВАНИЙ МОНІТОРИНГ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД З ВИКОРИСТАННЯМ ФІТОПЛАНКТОНУ В ЯКОСТІ БІОІНДИКАТОРА

Донецький національний університет; 83001, м. Донецьк, вул. Університетська, 24
e-mail: res.pro-rector@donnu.edu.ua

Беспалова С. В., Лялюк Н. М., Афанасьєв Д. М., Романчук С. М., Васильєв О. В. **Автоматизований моніторинг екологічного стану поверхневих вод з використанням фітопланктону в якості біоіндикатора. –** Розглянуто питання організації моніторингу поверхневих вод в Україні, Донецькій області. Проаналізовано можливості автоматизації системи моніторингу та доведено необхідність включення біоіндикаторів у такі системи. Обґрунтовано доцільність використання в біоіндикації забруднень поверхневих вод флуоресценції водоростей планктону.

Ключові слова: біоіндикація, флуоресценція, фітопланктон, водойми Донецької області, автоматизований контроль.

Вступ

Україна є учасником понад 70 міжнародних двосторонніх та багатосторонніх угод і конвенцій, виконання яких потребує використання інформації щодо стану навколишнього природного середовища та прогнозування його змін. У зв'язку з цим розвиток системи моніторингу повинен здійснюватися з урахуванням загальноєвропейських вимог.

Комбіноване використання результатів різних видів досліджень та спостережень, зокрема фізичних, хімічних, біологічних, дає змогу розширювати можливості для виявлення причинно-наслідкових зв'язків стану об'єктів навколишнього природного середовища та факторів впливу на них. Такий підхід забезпечує всебічність, об'єктивність і підвищення рівня ефективності системи оцінки стану навколишнього природного середовища порівняно з підходом, що ґрунтується на визначенні концентрації забруднюючих речовин. Розробка та впровадження в Україні комплексу автоматизованого біомоніторингу (КАБ) є актуальним завданням розвитку державної системи моніторингу навколишнього середовища.

Технічне забезпечення єдиної мережі спостережень визначає її загальний рівень, тому передбачається системне постійне оновлення засобів вимірювальної техніки та обладнання служб спостережень, зокрема проведення аналізу та розроблення рекомендацій, впровадження багатофункціональних приладів, створення автоматизованих постів спостережень та уніфікація засобів вимірювальної техніки. Необхідність введення біоіндикації в системи комплексного моніторингу стану водних ресурсів була обґрунтована в Євросоюзі в 1980-90-і роки з урахуванням таких факторів:

а) інформація про забруднення водних ресурсів на підставі лише фізико-хімічних характеристик є недостатньою;

б) виникає необхідність аналізувати невідомі забруднювачі, що потребує специфічних методів аналізу, до того ж біоіндикатори реагують на широкий спектр впливів та дають відгук доволі швидко;

в) біомоніторинг, заснований на оцінці екологічного стресу, дозволяє на підставі реакції біоіндикаторів прогнозувати впливи полютантів саме на біоту.

Світовий досвід дозволив виявити унікальні можливості використання одноклітинних водоростей як біоіндикаторів якості водних ресурсів. Вимірювання концентрації хлорофілу та активності фотосинтезу визнано надійним та оперативним методом біомоніторингу. У зв’язку з цим системи моніторингу з використанням водоростей впроваджені на водних об’єктах практично всіх держав Євросоюзу і включені в міждержавні програми, зокрема, для річок, які протікають по територіях декількох стан ЄС.

Європейській вектор розвитку України, загальні кордони та наявність спільних водних ресурсів (крупних рік, морів) з ЄС у поєднанні з аналогічними проблемами контролю стану поверхневих вод і типовими забруднювачами, приводить до необхідності розвитку вищезазначених моніторингових систем у національному та міжнародному масштабах. Разом з впровадженням розробок, які основані на досвіді європейських країн, слід проводити перспективні дослідження, що спрямовані на створення власного науково-технічного продукту в цій галузі. Побудова розподіленої сітки автоматизованих біомоніторингових станцій в Україні повинна бути розповсюджена на всі регіони та має охоплювати всі водні ресурси з метою національної екологічної безпеки, з подальшою міжнародною інтеграцією.

Основна частина

Основними завданнями створення Державної системи моніторингу навколишнього середовища (ДСМНС) є забезпечення спостережень, збору, обробки, передачі, зберігання та аналізу інформації про стан навколишнього середовища, прогнозування його змін і розроблення науково-обґрунтованих рекомендацій для прийняття управлінських рішень в області охорони навколишнього середовища, раціонального використання природних ресурсів та екологічної безпеки. Основні принципи функціонування ДСМНС визначено в постанові Кабінету Міністрів України від 30.03.1998 № 391 «Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля». З огляду на досить великий обсяг екологічної інформації вона має накопичуватися в електронній базі даних у кожному регіоні Україні. Суб'єкти моніторингу повинні на регулярній основі збирати інформацію стосовно рекомендованих пріоритетних напрямків і забезпечувати вільний доступ до наявних даних для всіх зацікавлених сторін через мережу Інтернет. Регіональні системи екологічного моніторингу будуються за принципом відкритих, Web-орієнтованих ресурсів, що використовують структурований підхід за середовищами у формуванні функціональних підсистем моніторингу (моніторинг атмосферного повітря, поверхневих вод тощо). Прикладом побудови такої системи є інформаційна система екологічного моніторингу Донецької області OMOS. Подібні системи будуть впроваджуватися в інших регіонах України.

Суб’єктами моніторингу на державному рівні є Державна гідрометеорологічна служба, Державна екологічна інспекція, Державне агентство з водного господарства. Організаційна інтеграція суб’єктів екологічного моніторингу на всіх рівнях забезпечує Міністерство екології та природних ресурсів.

Державна гідрометеорологічна служба проводить моніторинг гідрохімічного стану вод 151 водного об'єкту, а також здійснює гідробіологічні спостереження на 45 водних об'єктах. Кількість стаціонарних постів гідрохімічних спостережень становить 374 одиниці, а гідробіологічні спостереження проводяться на 259 постах. Контроль здійснюється один раз на місяць за 30-40 параметрами, які дають можливість оцінити хімічний склад води, наявність зважених часток, органічних речовин, основних забруднюючих речовин, в тому числі важких металів, пестицидів, а також визначити біогенні параметри, у тому числі трофність, кількісний склад угруповань організмів та ін. Визначаються показники радіоактивного забруднення поверхневих вод. На 8 водних об'єктах аналізують хронічну токсичність води. 15 пунктів контролю відносяться до мережі транскордонних вод й мають особливий статус контролю. Проби для аналізу відбирають 4-12 разів на рік.

Крім того, Державна екологічна інспекція працює на більш ніж 2200 постах і отримує дані за 60 вимірюваними параметрами. Державне агентство з водного господарства проводить моніторинг річок, водосховищ, каналів, зрошувальних систем і водойм у межах водогосподарських систем комплексного призначення, систем водопостачання, транскордонних водотоків і водойм, у зонах впливу атомних електростанцій. Контроль якості води за фізичними та хімічними показниками здійснюється на 72 водосховищах, 164 річках, 14 зрошувальних системах, 1 лимані та 5 каналах комплексного призначення. Крім того, в рамках радіаційного моніторингу вод водогосподарськими організаціями

здійснюється контроль вмісту радіонуклідів у поверхневих водах. Кількість постів спостереження – 328, кількість параметрів, що контролюються, – більше 40, періодичність спостережень – 1 раз на місяць.

Міністерством екології та природних ресурсів визначено такі стратегічні напрямки розвитку національної системи екологічного моніторингу на сучасному етапі:

– розвиток регіональних автоматизованих систем моніторингу навколишнього середовища;

– інформаційна інтеграція локальних систем моніторингу підприємств-забруднювачів у Державну систему моніторингу, розвиток систем автоматизованого моніторингу джерел викидів підприємств;

– розширення мережі стаціонарних та автоматизованих пунктів контролю за станом атмосферного повітря, поверхневих і підземних вод, розширення мережі станцій фонового моніторингу;

– підвищення якості та кількості інформації про забруднення навколишнього середовища за рахунок впровадження сучасних вимірювальних та обчислювальних технологій в організаціях-суб'єктах моніторингу;

– використання даних дистанційного зондування Землі для моніторингу біорізноманіття, ландшафтів, ґрунтів, забруднення атмосферного повітря та поверхневих водних об'єктів;

– розширення сфери застосування при моніторингу навколишнього природного середовища переліку екологічних показників, рекомендованого ЄЕК ООН, і підвищення на цій основі рівня міжнародної порівнянності екологічної інформації;

– поліпшення якості екологічної інформації, створення аналітичних систем і баз екологічних даних колективного користування за основними компонентами навколишнього природного середовища для підготовки доповідей та звітності про стан навколишнього середовища;

– забезпечення вільного доступу до інтегрованої екологічної інформації на основі сучасних інформаційних технологій.

Виходячи зі стратегічних напрямків та принципів формування системи сумісної інтегрованої екологічної інформації, на державному рівні розроблено структуру Державної системи моніторингу навколишнього природного середовища (рис. 1).

Оцінка екологічної обстановки як стану навколишнього середовища здійснюється на основі двох підходів. По-перше, в якості критерію використовують санітарно-гігієнічні нормативи для води, повітря, ґрунту, при цьому перевищення граничнодопустимих концентрацій (ГДК) є основою для висновку про несприятливі умови функціонування екосистеми. Інший підхід передбачає біологічну оцінку середовища існування, що базується на аналізі стану окремих індивідів, популяцій видів, угруповань у природних чи лабораторних умовах.

Перший підхід реалізується хіміко-аналітичними, фізико-хімічними, фізичними, біологічними методами, що дозволяють вимірювати концентрації забруднюючих речовин у різних середовищах. Ці методи умовно можна віднести до опосередкованих методів оцінки, тому що при проведенні подібних досліджень до уваги дослідника потрапляє 5-10 компонентів середовища, концентрація яких перевищує норму ГДК, що, вочевидь, не може бути повноцінним маркером фактичного стану навколишнього середовища. У результаті комплексних робіт дослідник отримує лише поля концентрацій забруднюючих речовин, і такий результат потребує переходу до інтегральних екологічних показників (індекс сумарного забруднення).

Інший підхід передбачає використання біологічних методів, що можна вважати прямими чи інтегральними методами оцінки екологічного стану, тому що ці методи дають безпосередню оцінку стану навколишнього середовища та ступеню токсичності його компонентів, враховуючи всі фактори впливу, різної токсичної чи мутагенної дії, у різних концентраціях, різних періодах дії тощо.

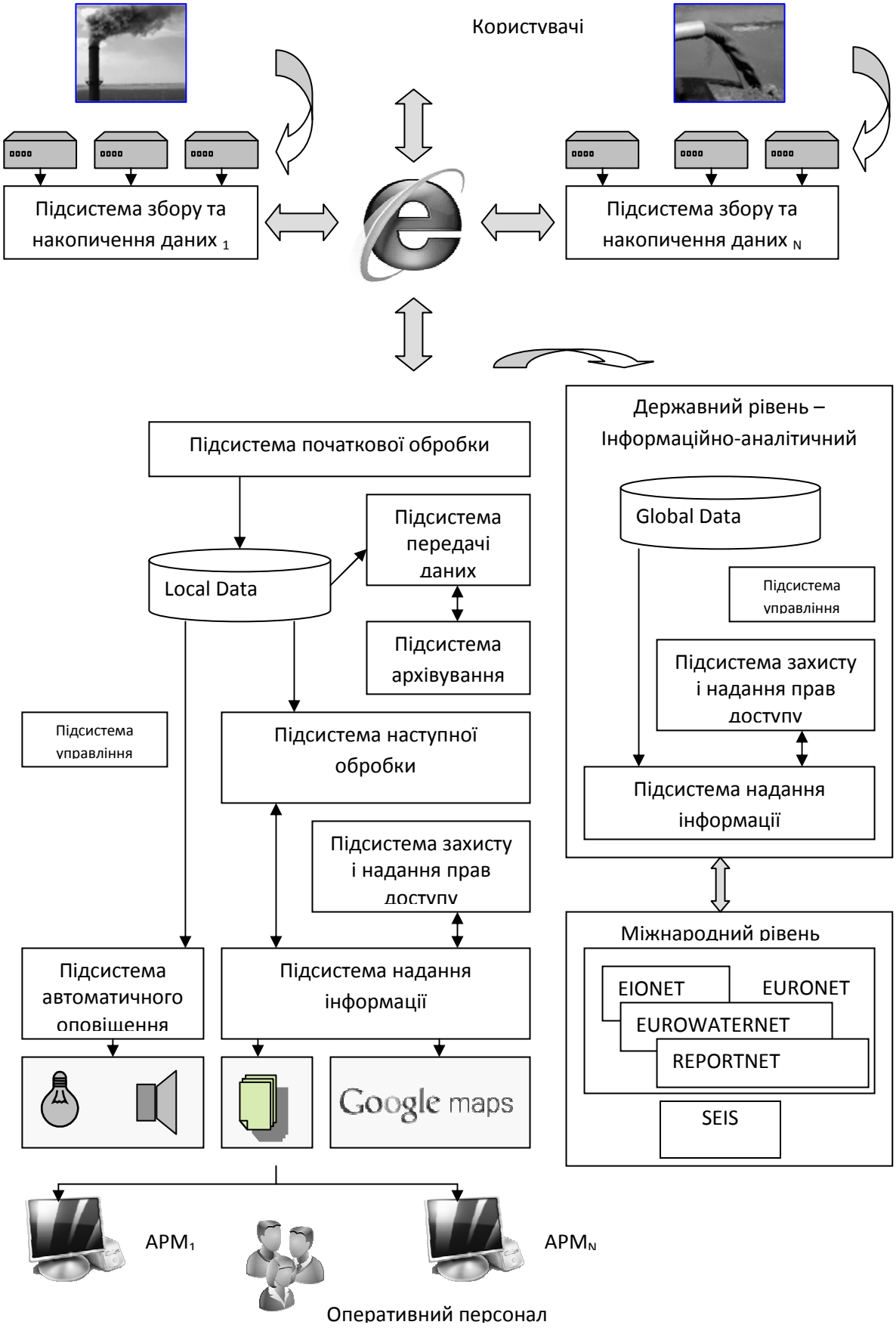


Рис. 1. Загальна структура Державної системи моніторингу навколишнього природного середовища.

Це методи біодіагностики стану навколишнього середовища. Глибина біоіндикації може бути різною: від простої візуальної діагностики живого організму до вивчення імунних, генетичних змін в організмі індикатора.

Вже багато років на біологічному факультеті проводяться наукові дослідження з біоіндикації забруднень техногенного регіону на прикладі Донбасу [1-5, 40, 41]. У рамках цих досліджень встановлено низку закономірностей реагування біоіндикаторних систем на комплексний вплив забруднень, розроблено системи біоіндикації забруднення ґрунтів, повітря, води на підставі відгуків різних організмів (грибів, вищих і нижчих рослин, мохів, комах, панцирних кліщів, людини тощо) та визначено особливості включення боіндикаторів у системи моніторингу, а також кількісно оцінено реакції організмів-біоіндикаторів на впливи факторів середовища [1, 3-5]. Підґрунтям для подібних досліджень слугувало створення широкої науково-практичної та освітньої Програми «Інноваційні технології контролю та управління біологічними процесами в екології, медицині, сільському господарстві та виробництві продукції для сталого розвитку України», що була схвалена Бюро Донецького наукового центру НАН України у квітні 2007 р. [2, 40, 41].

Реакції живих організмів на різноманітні хімічні та фізичні фактори та їх поєднання характеризуються інтегральністю та кумулятивністю впливів, наявністю парадоксальних ефектів слабких доз на організми, ланцюгових процесів та віддалених наслідків локальних впливів на різних ланках складноорганізованої надорганізменої системи [5, 9, 12, 13, 22]. До того ж, живим системам різного рівня організації притаманна здатність до саморегуляції, самоочищення, адаптації, що слід враховувати при оцінці стану системи в реальному часі.

Прямі (інтегральні) методи оцінки можна розділити на дві групи: біоіндикація та біотестування (токсикологічні методи). Кожний підхід до оцінки якості середовища має обмеження, тому для дійсно якісної оцінки та прогнозу стану навколишнього середовища слід поєднувати ці два підходи [1]. Фізико-хімічний та біологічний моніторинги не виключають, а доповнюють одне одного.

Біоіндиктори мають низку переваг:

– в умовах хронічних антропогенних навантажень можуть реагувати навіть на слабкі впливи внаслідок кумулятивного ефекту (реакції спостерігаються при накопиченні деяких критичних значень сумарних дозових навантажень);

– підсумовують вплив усіх без виключень біологічно важливих впливів та відображають стан середовища в цілому, включаючи забруднення та інші антропогенні впливи;

– не потребують реєстрації хімічних та фізичних параметрів, що характеризують стан навколишнього середовища;

– фіксують швидкість змін, що відбуваються;

– розкривають тенденції розвитку природного середовища;

– вказують шляхи та місця локалізації у живих системах (організменого та надорганізменого рівня організації) забруднювачів, токсичних речовин та можливі шляхи потрапляння їх в оточення людини;

– дозволяють зробити висновок про ступінь шкідливості синтезованих речовин для живої природи з метою контролю їхньої дії.

За допомогою рослин можна проводити індикацію будь-яких середовищ. За рослинами-індикаторами (фітоіндикатори) оцінюють механічний склад ґрунтів, кислотність, родючість, засолення, мінералізацію ґрунтових вод, ступінь забруднення атмосфери, евтрофікацію водойм та ступінь її забруднення полютантами. Фітоіндикатори використовують у двох аспектах: як індикатори-діагности забруднень та індикатори-акумулятори забруднюючих речовин [39].

Індикаторна значущість біоіндикатора визначається екологічною толерантністю біологічної системи [27]. У рамках такої толерантності організм здатний підтримувати свій гомеостаз. Фактор стресу викликає відповідну реакцію, виникнення якої є видоспецифічним і залежить від індикаторної значущості виду (рис. 2).

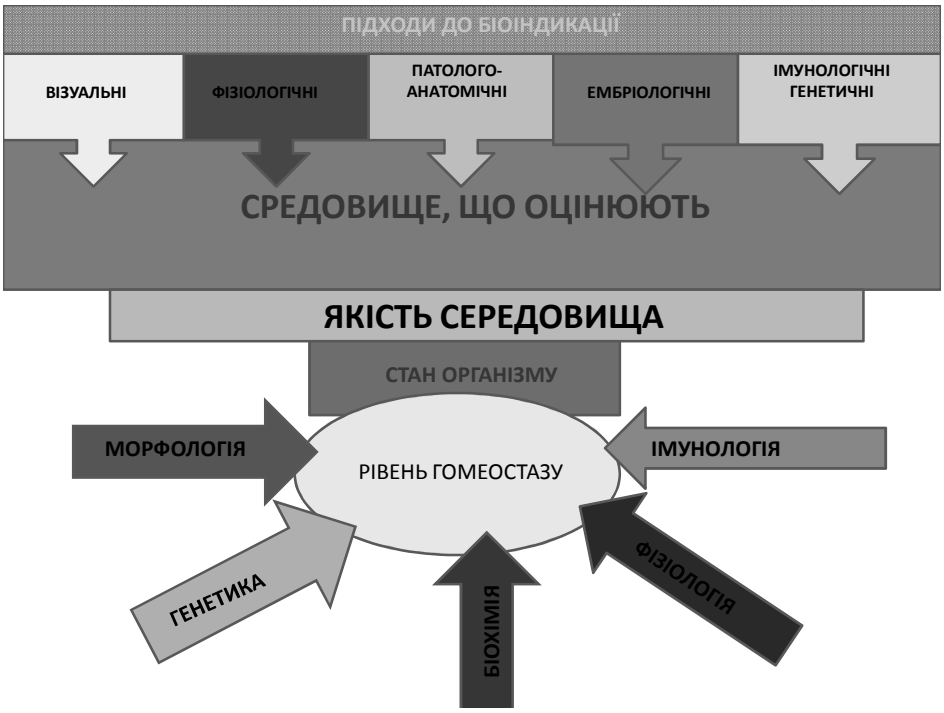


Рис. 2. Схема підходів до біоіндикації.

Саме відповідну реакцію визначають методами біоіндикації. До того ж така реакція повинна реєструватися візуально або інструментально.

До методів біоіндикації, що можуть бути використані при дослідженні екосистем, відноситься встановлення у дослідженій зоні рідких та зникаючих видів, тому що список таких видів є переліком найбільш чутливих індикаторів з найбільш вузькою екологічною валентністю. На рівні виду звичайно проводять специфічну індикацію певного забруднювача, а на рівні популяцій, угруповань и фітоценозів – загального стану природного чи антропогенно зміненого середовища.

Методи біоіндикації можна розділити на:

– методи візуальної оцінки (вивчення зовнішніх ознак фітоценозів, що відображають якісні зміни середовища існування);

– анатомічні та гістологічні методи (вивчення внутрішньої будови, репродуктивної системи, яка дуже чутлива до змін у середовищі, тощо);

– ембріональні методи (діагностика змін у організмів в ембріональні стадії розвитку).

Біологічні дослідження вивчають не воду, а водойму в цілому як єдину екосистему. При цьому визначають токсичність середовища існування на всіх рівнях організації живого, оцінюючи всі реакції гідробіонтів на забруднення будь-якого походження. Токсичність середовища включає не лише наявність стоків промисловості, комунального господарства, тощо, але й похідний рівень токсичності, тобто рівень токсичності до викидів відповідного стоку [14, 24, 25].

Для біологічної індикації якості води можуть бути використані практично всі групи організмів, що населяють водойми: планктонні, бентосні водорості, безхребетні, найпростіші, макрофіти, бактерії, риби, молюски [13, 22, 26]. Кожна з них в якості біоіндикатора має свої переваги та недоліки, що визначають області використання при розв’язанні конкретних завдань біоіндикації, тому що всі вони є складовими частинами єдиного кругообігу речовин та енергії у водоймі. Організми, що використовують як біоіндикатори, відповідають за процеси самоочищення водойми, беруть участь у створенні первісної продукції, здійснюють трансформацію речовин та енергії в екосистемах [39].

Заключення за результатами біологічного дослідження повинно базуватися на підставі сукупності всіх даних, інтегрувати всі результати, а не лише констатувати поодинокі знахідки індикаторних організмів [26]. При виконанні досліджень, оцінці отриманих даних слід враховувати й випадкові, місцеві забруднення у точках спостережень. Наприклад, мертві органічні залишки внутрішньоводоймених об'єктів (вищих рослин, мікроскопічних водоростей «цвітіння» при масовому відмиранні, риби тощо) можуть створювати зони з підвищеним вмістом розчинної органічної речовини, аномально зниженими концентраціями кисню, спалахами розвитку мікроорганізмів, в тому числі і патогенних.

Найбільш розробленою системою оцінки ступеню забруднення вод за індикаторами є система сапробності, що враховує відносну або абсолютну частоту трапляння індикаторного виду та індикаторне значення цього виду. Заключення про ступінь забруднення дають за системою балів від одного до шести [22, 25, 34].

Якість води може бути оцінена за допомогою біотичних індексів, наприклад Ф. Вудівіса [22].

Вищі водні рослини в системах біоіндикації якості води найменш досліджені, хоча мають низку переваг (дозволяють визначати трофічні властивості води, іноді специфіку її хімізму, що є особливо важливим при біоіндикації чистих вод).

Одним з найбільш перспективних напрямків гідроіндикації є визначення якості води за водоростями – первісними продуцентами органіки у водоймах. Кількість, фізіологічний стан водоростей окремих груп, окремі види-індикатори, загальний стан, первісна продукція органічної речовини альгоценозу – все це є основою різних систем і методик біоіндикації. Найбільш часто використовують методи кількісного обліку клітин водоростей (наприклад, пряма мікроскопія), урахування чисельності, біомаси водоростей, а також урахування кількості хлорофілу методами спектрофотометрії, флуориметрії [1, 4, 7].

У біоіндикаційних дослідженнях якості води широко використовують гідробіологічні методи. Враховуючи те, що основний підхід у таких дослідженнях базується на балансовому принципі (зберігання рівноваги речовини та енергії у екосистемах всіх рівнів), то важливими показниками для діагностики стану об'єкту стають дані про кількість автотрофів, їхнє співвідношення, внесок у створення органічної речовини тощо. До того ж для повноти інформації про стан водойми дослідження проводять на якомога більшій кількості екологічних угруповань. Рекомендовано аналізувати кількісний внесок фітопланктону як основного продуцента водойм всіх типів: як морських, так і прісних, фітонейстону як найбільш динамічного та пристосованого до екстремальних умов у водоймі, а також фітоперифітону та фітобентосу [8, 9, 15-19, 23, 25, 36, 37, 60].

Традиційними методами продукції органічної речовини в гідробіологічних дослідженнях є кількісний аналіз, що включає визначення чисельності та біомаси водоростей планктону [25].

Для екологічного моніторингу необхідна інформація, яка дозволяє на ранніх стадіях діагностувати зміни клітинного метаболізму під впливом зовнішніх факторів. Найбільш розробленими останнім часом є спектральні та люмінісцентні методи діагностики стану клітин, що діагностують пригнічуючий вплив забруднювачів на фотосинтетичний апарат водоростей, який остаточно відбивається на продуктивності всієї гідроекосистеми.

Ці методи ґрунтуються на тому положенні, що стан фотосинтетичних мембран клітин автотрофних водоростей є показником якості середовища. При погіршені стану змінюються оптичні властивості хлорофілу, які й використовуються в якості маркера для експрес-аналізу [28, 53, 68]. Сприяє індикаторній значущості показника й те, що у фотосинтетичному апараті водоростей фотосистема II (ФС-II), яка відповідає за розкладання води та виділення кисню, є чутливою до дії таких факторів, як екстремальні температури, надлишок світла, вміст солей важких металів, висушування, підвищення концентрації солей у середовищі [29, 31, 32]. Первісні стадії фотосинтезу водоростей при дії зовнішніх факторів не залишаються незмінними, а активно регулюються клітинами відповідно до їхнього фізіологічного стану.

Мета такої регуляції – оптимізація світлових та темнових стадій фотосинтезу, що є необхідним для підтримки певного метаболізму організмів.

Цей напрямок, за думкою А. Б. Рубіна [30-32], є дуже перспективним, тому що він забезпечує ранню діагностику стану клітин у природних умовах. Відомо, наприклад, що зміни оптичних властивостей рослинного покриву фіксують за допомогою штучних супутників Землі, й вони надають інформацію про стан рослинних угруповань. Але ці ефекти спостерігаються через проміжки часу, коли порушення стану вже відбулися й стали незворотними.

Люмінісцетні ж методи відображають зміни на рівні мембран органоїдів, що відповідають, наприклад, за процес фотосинтезу, ці зміни відбуваються на самих ранніх стадіях зовнішнього впливу. Перші стадії фотосинтезу водоростей при дії зовнішніх факторів середовища не залишаються незмінними, а активно взаємодіють відповідно до фізіологічного стану клітин або всього організму. Така регуляція зводиться до оптимального співвідношення світлових та темнових стадій фотосинтезу, що необхідно для підтримання певного рівня метаболізму у змінних умовах існування організму.

У дослідженнях первісних реакцій фотосинтезу використовують метод реєстрації характеристик уповільненої флуоресценції (післясвітіння). У 1951 р. Стрелер та Арнольд, вивчаючи процес фосфорилювання у хлоропластів методом хемілюмінесценції, випадково виявили власне слабке світіння хлоропластів, яке доволі довго зберігалося після вимкнення збуджуючого світла [38]. Пізніше було показано, що це явище властиве всім фотосинтезуючим організмам: вищим рослинам, водоростям та фотосинтезуючим бактеріям. Спектральний склад післясвітіння відповідає спектральному складу світла, що випускається в процесі швидкої флуоресценції хлорофілом антен. Час життя швидкої флуоресценції виявився 10^{-9}-10^{-8} с, а уповільнена флуоресценція тривала протягом декількох хвилин після зупинення освітлення [35, 38]. Було встановлено [38], що швидка флуоресценція є суто фотофізичним процесом та зумовлена світінням частини поглинутої хлорофілом антен енергії, яка не встигла мігрувати на реакційний центр. Уповільнена флуоресценція тісно пов’язана з фотохімічними реакціями, що протікають у реакційних центрах. Основний внесок в уповільнену флуоресценцію рослин вносить фотосистема II (ФС-II); уповільнена флуоресценція фотосистеми I (ФС-I) складає не більше 2% від загального виходу світіння.

Характер змін первісних стадій фотосинтезу безпосередньо відбивається на флуоресценції хлорофілу на фотосинтетичних мембранах клітини. Поглинання кванту світла переводить молекулу хлорофілу в збуджений стан, енергія якого у розчині при відсутності фотосинтезу переходить у тепло або флуоресценцію [10].

Первісним актом накопичення енергії при фотосинтезі є поглинання світла молекулами пігментів. При цьому молекула переходить з основного (незбудженого) стану у збуджений, що супроводжується переходом одного з двох р-електронів з низькоенергетичної орбіти на високоенергетичну без зміни спіну. Наявність у спектрі поглинання хлорофілу двох піків свідчить про те, що існують два вірогідні для молекули синглетних рівня. На перший, більш високий, молекула переходить, коли поглинає світло у синьому спектрі, на другий, більш низький, – коли молекула поглинає червоне світло.

Шляхом зняття збудження електрону є емісія світла, що називається флуоресценцією (рис. 3). Це енергія, що випускає електрон у вигляді електромагнітного випромінювання при переході молекули зі збудженого синглетного стану в основний. Флуоресценція для більшості органічних молекул триває близько 10^{-9} до 10^{-6} с. Флуоресценція є наслідком переходу з нижнього енергетичного рівня та підрівня, тому вона практично не залежить від довжини хвилі світла й зміщена у довгохвильову область по відношенню до червоного максимуму поглинання.

У живих клітинах водоростей (*in situ*) первісно світло поглинається пігментами, що входять до складу крупних пігмент-білкових комплексів: світлозбираючий комплекс (СЗК) та комплекси ФС-I і ФС-II [10, 28, 59]. Основна функція СЗК – це збирання світла та передача зібраної енергії на комплекси ФС-I та ФС-II. Останні поряд з функцією

світлозбірників за рахунок пігментів у антенних частинах комплексу забезпечують разом з відповідними реакціонними центрами Р680 та Р700 первісний акт розділення заряду, що є початковим етапом трансформації світлової енергії в енергію хімічних зв'язків первісних продуктів фотосинтезу. Енергія, що поглинули СЗК та антени ФС-І і ФС-ІІ, розподіляється за трьома основними каналами: температурна дезактивація, швидка флуоресценція, фотохімічні реакції [63].

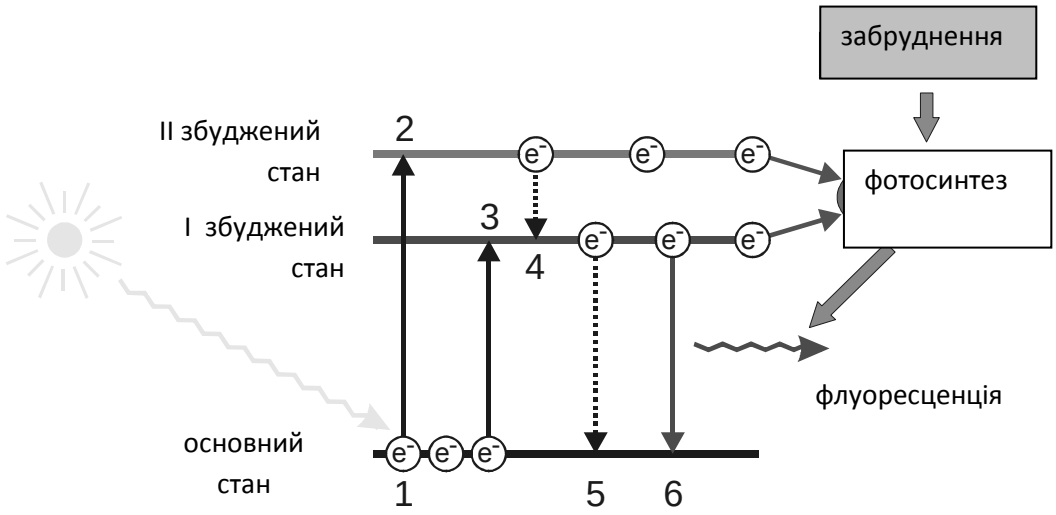


Рис. 3. Діаграма енергетичних рівнів хлорофілу а з ілюстрацією процесу флуоресценції.

Висока швидкість фотохімічних реакцій при невеликій кількості реакційних центрів (1-3% від загального хлорофілу *a*) забезпечується системою «фокусування» (внутрішньо- та міжкомплексна міграція енергії), за рахунок якої дифузійне світло концентрується у реакційні центри ФС-І та ФС-ІІ [44, 68]. Строге спрямування потоку енергії від збираючих пігментів у реакційні центри здійснюється за рахунок реалізації загального принципу: передача енергії йде від короткохвильових форм пігментів до довгохвильових (у межах одного комплексу) та від комплексів з короткохвильовими до комплексів з довгохвильовими формами пігментів. Міжкомплексна передача енергії є лімітуючим ланцюгом фотосинтезу й підлягає активній регуляції [10, 11, 30, 36, 42]. Саме тому при вивчені систем регуляції виходу флуоресценції особливу увагу приділяють міжкомплексним взаємодіям. Ефективність міжпігментної міжкомплексної передачі енергії залежить від природи пігменту, структурної організації фотосинтетичного апарату, умов середовища [51, 66].

Склад пігментів водоростей доволі різноманітний. Це перш за все хлорофіли (група *a, b, c, d*), до того ж наявність хлорофілу *a* – загальна риса всіх груп водоростей [70]. У окремих груп водоростей трапляються й інші пігменти, такі як фікобіліни (фікоеритріни червоного кольору, фікоціаніни та алофікоціаніни синього кольору), каротиноїди [43, 48, 50, 54, 55, 58, 64, 65. Так, у хроматофорах золотистих водоростей окрім хлорофілу міститься бурий пігмент (фукоксантін) та жовтий пігмент (лютеїн), що надає водоростям золотистого відтінку [46]. Тільки у діатомових водоростей зустрічається жовтий пігмент (діатомін) [59]. У зелених та евгленофітових водоростей забарвлення тіла визначає хлорофіл та каротиноїди (ксантофіл і каротин) [51, 56]. Наявність різних пігментів у водоростей та їхня видоспецифічність дозволяють використовувати це при розробці методів апаратної (невізуальної) диференціації водоростей, особливо при оцінці вкладу окремих груп водоростей у продукцію органічної речовини, виділенні та використанні біоіндикаторів тощо.

Пігмент-білкові комплекси автотрофних організмів характеризуються універсальністю організації, але їм притаманна варіабельність, яка найбільшою мірою проявляється для СЗК у різноманітності пігментів. У зелених та евгленофітових водоростей СЗК включає основну кількість хлорофілу *b*, короткохвильові форми хлорофілу *a* та каротиноїди; у синьозелених –

фікобіліпротеїди (фікоеритрин, фікоціанін, алофікоціанін); у діатомових – хлорофіл *a*/*c* білковий комплекс, водорозчинний фукоксантин. Отже, у межах конкретної систематичної групи склад пігментів генетично детермінований. Кількісне співвідношення окремих пігментів залежить від умов росту, розвитку водоростей (світловий режим, вміст біогенних елементів тощо). Тому існують і специфічні для основних таксонів водоростей відмінності у фотохімічних процесах та транспорті енергії [30-32].

Висока ефективність міграції енергії, структура енергетичних рівнів каротиноїдів та ксантофілів призводять до того, що при звичайних умовах середовища додаткові пігменти, за виключенням фікобіліпротеїнів, у звичайних умовах не виявляють флуоресценції. Здатність до флуоресценції характерна для молекул хлорофілу *a*, що входять до складу СЗК антени ФС-II (максимум флуоресценції на хвилі 665 нм). Здатність хлорофілу *a* та його попередників до флуоресцентної емісії дозволяє ідентифікувати їх та характеризувати у комплексному середовищі. Флуоресцентний метод допомагає визначити та швидко характеризувати пігменти, що флуоресціюють (хлорофіл), серед тих, що не виявляють флуоресценції (каротиноїди) без будь-якого розділення на компоненти (рис. 4). Флуоресценція спостерігається також для фікоціаніну та фікоеритрину [53]. Дуже слабка флуоресценція була виявлена для каротиноїдів *in vitro* [55].

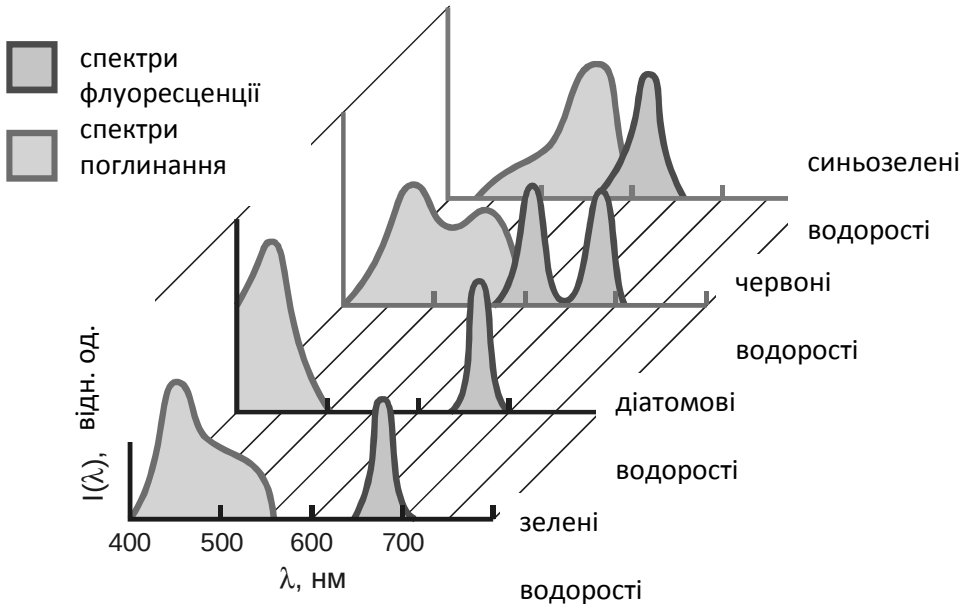


Рис. 4. Принципи диференціації мікроводоростей.

Фотосинтетичний апарат водоростей океанів, річок, озер здатний пристосовуватися до інтенсивності і спектрального складу світла. Доведено, що вміст всіх пігментів знижується при збільшенні інтенсивності світла. Найбільш сильно знижується вміст біліхромопротеїдів, потім – хлорофілу *a*, менше за все – каротиноїдів. Такий контроль допомагає найкращим чином реагувати на високі інтенсивності освітлення в області вище світлового насичення фотосинтезу. До того ж це дає можливість шляхом зниження активності пігментів (пропорційно зростанню інтенсивності освітлення) пристосовувати швидкість фотохімічних реакцій до швидкості темнових реакцій. Загальна трактовка такого контролю – зворотна регуляція, зменшення кількості активних пігментів як відповідь на збільшення активуючого впливу [60, 64].

Інтенсивність флуоресценції визначається також температурою, pH, солоністю, наявністю забруднювачів і залежить від процесів транспорту енергії та домішок, особливо неорганічних [69, 71].

У літературі [30, 66] визначено основні властивості спектрів: максимуми поглинання хлорофілу знаходяться у червоній та синьо-фіолетовій області спектру, а флуоресценція виникає лише у червоній, що пов'язане з електронними переходами (рис. 5).

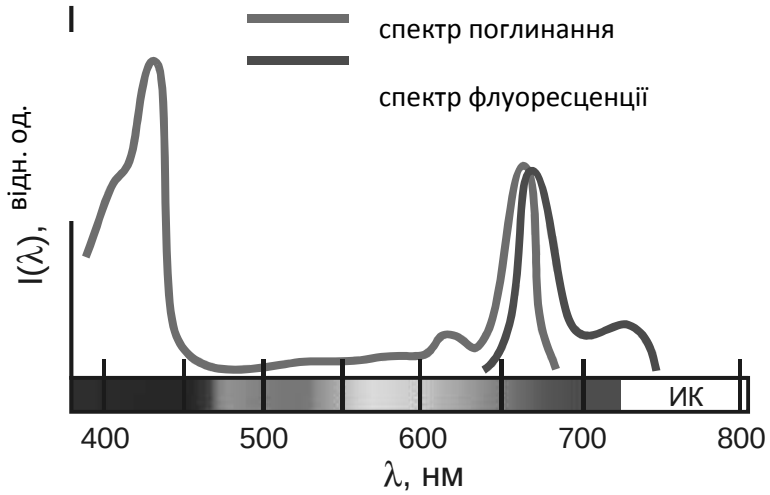


Рис. 5. Спектри поглинання і флуоресценції хлорофілу *a*.

Методи флуоресцентного аналізу використовують у різних напрямках досліджень. Наприклад, А. С. Літвінов та ін. [8] застосовували його для оцінки гумусової речовини при аналізі структури Рибінського водосховища та рекомендували цей метод для індикації гідрологічної структури водойми. І. Паунєва [10] проводила оцінку фізіологічного стану культур водоростей за методом флуресцентної мікроскопії. К. Хоффман пропонувала флуоресценцію хлорофілу водоростей як індикатора первісної продукції водойм. Дослідження проведені у Каліфорнії. Доведено, що флуоресцентні методи дозволяють накопичувати великі набори даних, що полегшує аналіз динаміки показників. Крім того, флуоресцентним методом можна доповнювати або замінювати традиційні радіоізотопні методи розрахунку первісної продукції.

Аналіз даних літератури показав, що методи флуоресцентного аналізу водоростей реалізовані в деяких діагностичних приладах. Наприклад, компанією bbeMoldaenke (biological biophysical engineering) представлений прилад для визначення флуоресценції хлорофілу фітопланктону та фітобентосу (AlgaeTorch BBE та BenthoTorch BBE). Ці прилади рекомендовані для ранньої діагностики якості води для річок та озер. Прилади протестовані на континентальних водоймах Німеччини. Тією ж компанією розроблений AlgaeOnlineAnalyser, що дозволяє в реальному часі аналізувати концентрацію хлорофілу, а також диференціювати водорості за систематичними групами. Для біотестування пропонується спеціальна лабораторія аналізу водоростей (bbe Algae Lab Analyser), яка дозволяє визначати за спектрами водорості різних класів, фотосинтетичну активність водоростей, концентрацію хлорофілу за групами. Цей прилад рекомендований для моніторингу забруднення та в режимі *online* передає інформацію.

У 2004 р. створена лабораторія на кораблі, що обстежував озера та річки Америки. На кораблі були встановлені одночасно декілька флуориметрів (Hydrolab sonde; YSI Sonde; Turner Design 10AU; Turner Design Algal and CyanoWatch; Turner Design Cyclops; AWI-Trios probes; BBE FluoroProbe; BBE Online Analyzer (future)). За даними досліджень побудовані профілі вертикального та горизонтального розподілу хлорофілу. Встановлено, що апробовані прилади мають серію переваг та недоліків, серед яких основний – необхідність калібрування в реальному контексті складу угруповань та ступеню його розвитку.

При дослідженнях *in situ* фітопланктону озера Іссик-Куль застосований імпульсний флуориметр, який за допомогою зонду дозволяв оцінити концентрацію хлорофілу на глибині 100 м. Н. М. Лялюк наводить дані, що флуориметричний аналіз разом з

спектрофотометричним дозволив встановити основні тенденції зміни концентрації хлорофілу *a* у фітонейстоні Азовського моря, також було доведено, що сонячна інсоляція є основною перешкодою для формування угруповань фітонейстону в літоралі моря.

У літературі [15-19, 23, 25, 28, 36, 37, 43, 60, 61, 64] міститься велика кількість інформації про використання методу флуоресценції хлорофілу водоростей в культурах або окремих штамів водоростей. Дослідження стосуються водоростей, що викликають «цвітіння» води (*Anabaena sp*., *Synechocystis sp*.), та інших типових видів планктону (види родів *Scenedesmus* Meyen, *Synedra* Ehrenb., *Monoraphydium* Komárk.-Legn., *Acutodesmus* (E. Hegew.) P. Tsarenko та ін.). Т. В. Паршикова використовувала флуориметричний аналіз для встановлення впливу поверхнево-активних речовин на культури водоростей різних систематичних груп.

Дж. Грегор та Б. Маршалек [59] проводили кількісне визначення хлорофілу прісноводного фітопланктону в порівнянні традиційних та флуоресцентних методів й довели, що метод визначення флуоресценції хлорофілу водоростей за точністю може бути зіставлений з традиційним методом спектрофотометрії (етанолові екстракти).

Таким чином, чисельність, біомаса, таксономічний склад, фізіологічна активність водоростей різних екологічних угруповань дозволяють зробити висновок про благополуччя водойми, тобто діагностувати якість води, збалансованість екологічного метаболізму, рівень забруднення, в тому числі антропогенного тощо. Ці показники можна встановити різними методами, які відрізняються точністю, складністю реалізації, вимогами до кваліфікації дослідника, складністю обладнання тощо. Флуоресцентний метод від більшості стандартних гідробіологічних методів відрізняється більшою точністю та меншою трудомісткістю, що дозволяє зменшувати час на аналіз проб, значно зменшує, а згодом і нівелює витрати висококваліфікованих кадрів, зменшує економічні витрати, оскільки не потребує високих енергетичних витрат, використання хімічних речовин, додаткових обробок тощо. Всі ці підстави дозволяють проводити експрес-аналізи стану водних екосистем, створювати великі масиви даних для проведення систематичних досліджень протягом ряду років. Безумовною перевагою методу є те, що в дослідженнях водорості не руйнуються й дослідження можна проводити як *in vitro*, так і на живих клітинах *in vivo* та *in situ*, діагностуючи фізіологічний стан водоростей планктону, перифітону, бентосу, нейстону. Флуоресцентні методи дозволяють працювати з природними об’єктами, оскільки при низькій інтенсивності світло, що збуджує флуоресценцію, незначно змінює фізіологічний стан клітин. Ці методи практично безінерційні, мають відносно високу чутливість та забезпечують реєстрацію динаміки процесів.

Висновки

Моніторинг основних гідрохімічних та гідрофізичних показників дає можливість аналізувати рівень забруднення, можливості самоочищення екосистеми, визначати ступінь порушення основних процесів трансформації речовини при надходженні забруднювача, допомагає вчасно діагностувати викиди різної етіології, а також додатково диференціювати сигнал у сукупності фонових відгуків системи та реагувати відповідними заходами. Моніторинг біоіндикаційних показників допомагає із серій діагностичних параметрів виділяти біологічно значущі й найбільш небезпечні для екосистеми ріки. Крім того, вони дозволяють у найбільш короткі строки визначити зміни в екосистемі.

Особливості комплексного забруднення в умовах м. Донецька (щільність промислових підприємств, урбанізація, особливості техногенного навантаження, його динаміка, наявність хронічного забруднення одночасно за декількома параметрами та ін.) потребують розширення системи моніторингових точок (постів контролю) з можливостями роботи в автоматичному режимі та передачі інформації на сервер із загальною спільною базою даних за всіма точками контролю. Така система дозволяє отримувати дані в єдиній системі, має загальну систему обчислення та порівняння, що забезпечує максимально об’єктивну, вірогідну оцінку стану водного об’єкта.

Список літератури

1. *Беспалова С. В.* Апробування способів біоіндикації екологічного стану Донбасу / С. В. Беспалова, О. С. Горецький, О. З. Глухов та ін. // Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону: міжвідомчий зб. наук. праць. – Донецьк: ДонНУ, 2008. – Вип. 8. – С. 24–34.

2. *Беспалова С. В.* Биотехнология для нормализации экологии (программа создания комплекса) / С. В. Беспалова // Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону: міжвідомчий зб. наук. праць. – Донецьк: ДонНУ, 2004. – Вип. 4. – С. 10–21.

3. *Беспалова С. В.* Визначення порогів чутливості біоіндикаторів на дію екологічно несприятливих факторів середовища / С. В. Беспалова, О. С. Горецький, О. З. Глухов та ін. // Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону. – 2010. – № 1 (10). – С. 9–26.

4. *Беспалова С. В.* Розробка способів біоіндикації екологічного стану Донбасу / С. В. Беспалова, О. С. Горецький, М. В. Говта та ін. // Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону: міжвідомчий зб. наук. праць. – Донецьк: ДонНУ, 2007. – Вип. 7. – С. 17–25.

5. *Беспалова С. В.* Розробка технології комплексної біоіндикаційної оцінки довкілля техногенного регіону / С. В. Беспалова, О. С. Горецький, О. З. Глухов та ін. // Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону: міжвідомчий зб. наук. праць. – Донецьк: ДонНУ, 2009. – Вип. 9. – С. 12–24.

6. *Бухов Н. Г.* Динамическая световая регуляция фотосинтеза / Н. Г. Бухов // Физиол. раст. – 2004. – Т. 51, № 6. – С. 825–837.

7. ГОСТ 17.1.04.02–90. Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла *а*. – Введ. 01.01.91. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 14 с.

8. *Елизаров В. А.* Хлорофилл как показатель биомассы фитопланктона / В. А. Елизаров // Изучение первичной продукции планктона внутренних водоемов. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1994. – С. 126–131.

9. *Емельянов И. Г.* Разнообразие и устойчивость биосистем / И. Г. Емельянов // Успехи современной биологии. – 1994. – Т. 115, вып. 3. – С. 304–316.

10. *Карапетян Н. В.* Переменная флуоресценция хлорофилла как показатель физиологического состояния растений / Н. В. Карапетян, Н. Г. Бухов // Физиол. раст. – 1986. – Т. 33. – С. 1013–1026.

11. *Климов В. В.* Окисление воды и выделение молекулярного кислорода при фотосинтезе / В. В. Климов // Соросовский образовательный журн. – 1996. – № 11. – С. 9–12.

12. *Коршун А. М.* Оценка последствий антропогенного воздействия на примере речных экосистем России: автореф. дис. ... канд. географ. наук: 11.00.07 / А. М. Коршун. – Ростов-на-Дону, 2000. – 20 с.

13. *Котова Л. И.* Биологический контроль качества вод / Л. И. Котова, Л. П. Рыжков, А. В. Полина – М.: Наука, 1989. – 144 с.

14. *Крючкова Н. М.* Экспериментальное изучение фито-, зоо- и бактериопланктона в загрязненных водах / Н. М. Крючкова, Т. М. Михеева, Р. З. Коваль, Г. А. Инкина // Биология самоочищения и формирования качества воды. – М.: Наука, 1975. – С. 38–40.

15. *Курейшевич А. В.* Некоторые факторы, влияющие на относительное содержание хлорофилла *а* в биомассе фитопланктона / А. В. Курейшевич, М. Н. Пахомова // Тез. докл. VIII конф. по споровым раст. Средней Азии и Казахстана (Ташкент, 4–6 сентября 1986 г.). – Ташкент: ФАН, 1989. – С. 61–62.

16. *Курейшевич А. В.* Динамика фитопланктона и хлорофилла *а* в Днестровском водохранилище (Украина) в 1991-1993 гг. / А. В. Курейшевич, Л. А. Сиренко, В. А. Медведь // Альгология. – 1997. – № 1. – С. 49–57.

17. *Лялюк Н. М.* К изучению фитонейстона шельфовой зоны Азовского моря / Н. М. Лялюк // Альгология. – 1998. – Т. 8, № 2. – С. 140–145.

18. *Лялюк Н. М.* Фитонейстон литорали Азовского моря как показатель степени сапробности акватории / Н. М. Лялюк // Вопросы биоиндикации и экологии. – Запорожье: ВПК «Запоріжжя» – РИО «Издатель», 1997. – С. 121–124.

19. *Лялюк Н. М.* Фітонейстон літоралі Азовского моря та перспективи його використання в моніторингу: дис. ... канд. биол. наук / Н. М. Лялюк. – К., 2001. – 168 с.

20. *Корнеев Д. Ю.* Информационные возможности метода индукции флуоресценции хлорофилла / Д. Ю. Корнеев. – К.: Альтерпрес, 2002. – 188 с.

21. *Кірпенко Н. І.* Механізм біотичного взаємовпливу прісноводних водоростей: автореф. дис. … докт. біол. наук: 03.00.17 / Н. І. Кірпенко. – К., 2011. – 39 с.

22. *Макрушин А. В.* Биологический анализ качества вод / А. В. Макрушин. – Л.: Изд-во Зоол. ин-та АН СССР, 1974. – 59 с.

23. *Маторин Д. Н.* Люминесценция хлорофилла в культурах микроводорослей и природных популяциях фитопланктона / Д. Н. Маторин, П. С. Венедиктов // Итоги науки и техн. ВИНИТИ. Сер. Биофизика. – 1990. – Т. 40. – С. 49–100.

24. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод відповідними категоріями / В. Д. Романенко, В. М. Жукинський, О. П. Оксіюк – К.: СИМВОЛ-Т, 1998. – 28 с.

25. Мониторинг фитопланктона / Л. Р. Изместьева, О. М. Кожова, Т. М. Михеева. – Новосибирск: Наука, 1992. – 141 с.

26. Оценка состояния и устойчивости экосистем / В. В. Снакин, В. Е. Мельниченко, Р. О. Бутовский и др. – М.: Изд-во ВНИИ природа, 1992. – 127 с.

27. *Павлова Е. В.* Экологические последствия антропогенного воздействия на прибрежные планктонные сообщества / Е. В. Павлова, Е. А. Куфтаркова // Тез. докл. II съезда гидробиол. общ-ва Украины. – К.: Изд-во Август, 1997. – Т. 1. – С. 40–41.

28. *Погосян С. И.* Состояние растительных организмов в природных условиях и окислительное повреждение фотосинтетического аппарата: автореф. дис. … докт. біол. наук / С. И. Погосян. – М., 2003. – 56 с.

29. *Погосян С. И.* Изменения фотосинтетического аппарата индивидуальных клеток микроводоросли *Ankisirodesmus falcatus* в норме и при УФ-облучении / С. И. Погосян, Э. В. Волкова, Ю. В. Казимирко, В. Н. Максимов, А. Б. Рубин // Докл. РАН. – 1998. – Т. 363. – С. 690–693.

30. *Рубин А. Б.* Принципы организации и регуляции первичных процессов фотосинтеза / А. Б. Рубин // Тимирязевские чтения. – Пущино: ОНТИ ПНЦРАН, 1995. – С. 38.

31. *Рубин А. Б.* Регуляция первичных процессов фотосинтеза / А. Б. Рубин, Т. Е. Кренделева // Успехи биол. химии. – 2003. – Т. 43. – С. 225–266.

32. *Рубин А. Б.* Регуляция первичных процессов фотосинтеза / А. Б. Рубин, Т. Е. Кренделева // Биофизика. – 2004. – Т. 49, вып. 2. – С. 239–253.

33. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. – 318 с.

34. *Сладечек В.* Общая биологическая схема качества воды / В. Сладечек // Санитарная и техническая гидробиология. – М., 1967. – С. 26–31.

35. *Тихонов А. Н.* Регуляция световых и темновых стадий фотосинтеза / А. Н. Тихонов // Соросовский образоват. журн. – 1999. – № 11. – С. 8–15.

36. *Федоров В. Д.* О методах изучения фитопланктона и его активности / В. Д. Федоров. – М.: Изд-во МГУ, 1979. – 168 с.

37. *Финенко З. З.* Адаптации планктонных водорослей к основным факторам океанической среды / З. З. Финенко // Биология океана – М.: Наука, 1977. – Т. 1. – С. 9–18.

38. Фотосинтез / Ю. К. Чемерис, Л. В. Шендерова, П. С. Венедиктов, А. Б. Рубин. – М.: Мир, 1987. – Т. 2. – 470 с.

39. *Христофорова Н. К.* Биоиндикация и мониторинг загрязнения морских вод тяжелыми металлами / Н. К. Христофорова. – М.: Наука, 1989. – 192 с.

40. *Шевченко В. П.* Міждисциплінарний науково-навчальний центр «Конвергенція нано-, біо- та інфотехнологій для збалансованого регіонального розвитку» як початок

розбудови університету дослідницького типу / В. П. Шевченко, С. В. Беспалова, О. С. Горецький та ін. // Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону: міжвідомчий зб. наук. праць. – Донецьк: ДонНУ, 2008. – Вип. 8. – С. 13–24.

41. *Шевченко В. П.* Проект національної програми з розробки біологічних технологій / В. П. Шевченко, С. В. Беспалова, В. О. Максимович // Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону: міжвідомчий зб. наук. праць. – Донецьк: ДонНУ, 2007. – Вип. 7. – С. 10–17.

42. *Adir N.* Photoinhibition a historical perspective / N. Adir, H. Zer, S. Shochat, I. Ohad // Photosyn. Res. – 2003. – V. 76. – P. 343–370.

43. *Arsalane W.* Influence of the pool size of the xanthophylls cycle on the effects of light stress in a diatom competition between photoprotection and photoinhibition / W. Arsalane, B. Rousseau, J. C. Duval // Photochem. Photobiol. – 1994. – 60. – P. 237–243.

44. *Barber J.* Photosystem Two / J. Barber // Biochim. Biophis. Acta. – 1998. – V. 1365. – P. 269–277.

45. *Bergo E.* Degradation of Dl-protein induced by UVB Light and its consequences of Photosystem II organization and Lateral distribution / E. Bergo, M. Giorgio Giacometti, R. Barbato // G. Garab Photosynthesis: Mechanisms and effects. – 1998. – Vol. III. – P. 2345–2348.

46. *Bjorkman O.* Xanthophylls and excess-energy dissipation: a genetic dissection in Arabidopsis / O. Bjorkman, K. N. Krishna // G. Garab. Photosynthesis: Mechanizms and effects. – 1998. – Vol. III. – P. 2085–2090.

47. *Chang-Cheng Xu.* Possible involvment of reversible phosphorylation in the regulation of zeaxanthin epoxidation in rice leaves / Chang-Cheng Xu, Hong Jin Hwang, Tae Hyong Rhew, Choon Hwan Lee // G. Garab. Photosynthesis: Mechanizms and effects. – 1998. – Vol. III. – P. 1907–1910.

48. *Choudhury N. K.* Photoinhibition of photosynthesis: role of carotenoids in photoprotection of chloroplast constituents / N. K. Choudhury, R. K. Behera // Photosynthetica. – 2001. – 39 (4). – P. 481–488.

49. *Crofts A.* Molecular mechanism for qE-quenching / A. Crofts, C. T. Yerkes // FEBS Lett. – 1994. – V. 352. – P. 265–270.

50. *DeCoster B.* Low lying electronic states of carotenoids / B. DeCoster, R. I. Christensen, R. Gebhard et al. // Biochim. Biophys. Acta. – 1992. – V. 1102. – P. 107–119.

51. *Demmig-Adams B.* Carotenoids and photoprotection in plants: a role for the xanthophylls zeaxanthin / B. Demmig-Adams // Biochim. Biophys. Acta. – 1990. – V. 1020. – P. 1–24.

52. *Elstner E. F.* Mechanisms of oxygen activation during plant stress / E. F. Elstner, W. Osswald // Oxygen and Environmental Stress in Plants / Eds. R. Watling, J. A. Allen. – Edinburgh: Royal Society of Edinburgh, 1994. – V. 102. – P. 131–154.

53. *Falkowski P. G.* Aquatic photosynthesis / P. G. Falkowski, J. A. Raven // Blackwell Science. – 1997. – 375 p.

54. *Frank H. A.* Photophysics of the carotenoids associated with the xanthophylls cycle in photosynthesis / H. A. Frank, A. Cua, V. Chynwat et al. // Photosynth. Res. – 1994. – V. 41. – P. 389–395.

55. *Frank H. A.* Photosynthetic carotenoids: structure and photochemistry / H. A. Frank, C. A. Violette, J. K. Trautman et al. // Pure Appl. Chem. – 1991. – V. 63. – P. 109–114.

56. *Gilmore A. M.* Mechanistic aspects of xanthophylls cycle dependent photoprotection in higher plant chloroplasts and leaves / A. M. Gilmore // Physiol. Plant. – 1997. – V. 99. – P. 197–209.

57. *Gilmore A. M.* Epoxidation of zeaxanthin and antheraxanthin reverse nonphotochemical quenching of photosystem II chlorophyll a fluorescence in the presence of a transthylakoid ApH / A. Gilmore, N. Mohanty, H. Y. Yamamoto // FEBS Lett. – 1994. – V. 350. – P. 271–274.

58. *Gilmore A.* Linear model relating xanthophylls and lumen acidity to non-photochemical fluorescence quenching. Evidence that antheraxanthin explains zeaxanthin-independent quenching / A. Gilmore, H. Y. Yamamoto // Photosynth. Res. – 1993. – V. 35. – P. 67–78.

59. *Gregor J.* Freshwater phytoplankton quantification by chlorophyll *a*: a comparative study of *in vitro*, *in vivo* and *in situ* methods / J. Gregor, B. Maršalek // Water Research. – 2004. – 38 (3). – P. 517 – 522.

60. *Hader D.-P.* Role of protective and repair mechanisms in the inhibition of photosynthesis in marine Macroalgae / D.-P. Hader, M. Lebert, R. P. Sinha, E. S. Barbieri, E. W. Helbling // Photochem. and Photobiol. Sci. – 2002. – V. 10 (1). – P. 809–814.

61. *He Y.-Y.* Involvement of reactive oxygen species in the UV-B damage to the cyanobacterium Anabena sp.ll / Y.-Y. He, D.-P. Hader // J. Photochem. Photobiol. B: Biol. – 2002. – 66 (1). – P. 73–80.

62. *Hideg E.* The irreversible photoinhibition of the photosystem II complex in leaves of Vicia faba under strong light / E. Hideg, N. Murata // Plant Sci. – 1997. – V. 130. – P. 151–158.

63. *Horton P.* Regulation of the photochemical efficiency of photosystem II: consequences or the light response of field photosynthesis / P. Horton, K. Oxborough, D. Reeds, J. D. Scholes // Plant Physiol. and Biochem. – 1980. – V. 26 – P. 453–460.

64. *Jahnke L. S.* Massive carotenoid accumulation in Dunaliella bardawil induced by ultraviolet-A radiation / L. S. Jahnke// J. Photochem. Photobiol. B: Biol. – 1999. – 48. – P. 68–74.

65. *Koyama Y.* Structures and functions of carotenoids in photosynthetic systems / Y. Koyama // J. Photochem. Photobiol. B: Biol. – 1991. – 9. – P. 265–280.

66. *Krause G. H.* Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basic / G. H. Krause, E. Weis // Ann. Rev. Plant. Physiol. Plant Mol. Biol. – 1991. – V. 42. – P. 313–349.

67. *Krause G. H.* Chlorophyll fluorescence as a tool in plant physiology: 11. Interpretation of fluorescence signals / G. H. Krause, E. Weis // Photosynth. Res. – 1984. – V. 5. – P. 139–157.

68. *Lazar Dusan* Chlorophyll a fluorescence induction / Dusan Lazar // Biochimica et Biophysica Acta. – 1999. – 1412. – P. 1–28.

69. *Mahalingam R.* Stress response, cell death and signaling: the many faces of reactive oxygen species / R. Mahalingam, N. Fedoroff // Physiol. Plantarum. – 2003. – V. 119 (1). – P. 56–68.

70. *Schreiber U.* Chlorophyll fluorescence assay of ozone injury in intact plants / U. Schreiber, W. Vidayer, V. C. Runeckles, P. Rosen // Plant Physiol. – 1978. – V. 61. – P. 80–84.

71. *Spetea C.* The quinine electron acceptors are not the main sensitizers of UV-B induced protein damage in isolated photosystem II reaction center and core complexes / C. Spetea, E. Hideg, I. Vass // Plant science. – 115 (2). – P. 207–215.

72. *Strid Ake* UV-B damage and protection at the molecular level in plants / Ake Strid, Chow Wah Soon, Jan M. Anderson // Photosynthesis Research. – 1994. – V. 39. – P. 475–489.

73. *Thiele A.* Increased xanthophylls cycle activity and reduced D1 protein inactivation related to photoinhibition in two plant systems acclimated to excess light / A. Thiele, K. Schirwitz, K. Winter, G. H. Krause // Plant science. – 1996. – 115 (2). – P. 237–250.

74.*Yamamoto H. Y.* Biochemistry of the Xanthophyll cycle in higher plants / H. Y. Yamamoto // Pure Appl. Chem. – 1979. – V. 51. – P. 639–648.

Беспалова С. В., Лялюк Н. М., Афанасьев Д. Н., Романчук С. М., Васильев А. В. **Автоматизированный мониторинг экологического состояния поверхностных вод с использованием фитопланктона в качестве биоиндикатора.** – Рассмотрены вопросы организации мониторинга поверхностных вод в Украине, Донецкой области. Проанализированы возможности автоматизации системы мониторинга и доказана необходимость включения биоиндикаторов в подобные системы. Обоснована целесообразность использования в биоиндикации загрязнений поверхностных вод флуоресценции водорослей планктона

Ключевые слова: биоиндикация, флуоресценция, фитопланктон, водоемы Донецкой области, автоматизированный контроль.

Bespalova S. V., Lyalyuk N. M., Afanasyev D. N., Romanchuk S. M., Vasilyev A. V. **Automated monitoring of ecological state of surface waters using phytoplankton as a bioindicator.** – Issues of development of surface waters monitoring in Donetsk region of Ukraine are discussed. Abilities of automated monitoring system are analyzed and necessity of bioindicators inclusion in such system is established. A background is given for the use of microalgae as bioindicators of surface waters pollution.

Key words: bioindication, fluorescence, phytoplankton, water reservoirs of Donetsk Region, automated monitoring.

УДК 504 : 57.08

© С. В. Беспалова, О. С. Горецький, О. З. Глухов, О. З. Злотін, В. О. Максимович, М. В. Говта, Н. М. Лялюк, Т. Ю. Маркіна , К. М. Маслодудова, О. В. Машталер, А. І. Сафонов, О. В. Федотов, А. Д. Штірц

КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ СЕРЕДОВИЩА ЗА ПОРОГАМИ ЧУТЛИВОСТІ БІОІНДИКАТОРІВ

Донецький національний університет; 83050, м. Донецьк, вул. Щорса, 46
e-mail: eco99@i.ua

Беспалова С. В., Горецький О. С., Глухов О. З., Злотін О. З., Максимович В. О., Говта М. В., Лялюк Н. М., Маркіна Т. Ю., Маслодудова К. М., Машталер О. В., Сафонов А. І., Федотов О. В., Штірц А. Д. **Критерії оцінки екологічного стану середовища за порогами чутливості біоіндикаторів.** – Вперше визначено характеристики порогової чутливості біоіндикаторів (водоростей, грибів, мохоподібних, квіткових рослин, кліщів, комах та людини) на дію екологічно несприятливих факторів середовища, за якими розроблено критерії оцінки екологічного стану довкілля. Підготовлено матеріали для формування бази даних порогів чутливості відповідних біоіндикаторів на дію екологічно несприятливих факторів середовища.

Ключові слова: критерії оцінки, пороги чутливості, біоіндикація, екологічний стан середовища.

Вступ

Для оцінки екологічного стану середовища з використанням біоіндикаторів передбачалась розробка критеріїв оцінки за порогами чутливості відповідних біоіндикаторів, які були визначені на попередньому етапі [1]. Визначенні критерії можна буде застосовувати для обґрунтування і розробки нормативів якості довкілля та здійснення заходів, спрямованих на покращення стану середовища, здоров'я населення і біосфери.

Матеріал і методи дослідження

Для дослідження видового складу мікроводоростей використовували стандартні методи [2]. Визначення видового складу фітопланктону проводили шляхом мікроскопічного аналізу зразків водоростей за допомогою мікроскопу МБІ-3 при збільшенні 40х і 90х та мікроскопу Zeiss Primo Star (Німеччина). Для визначення видової приналежності використовували визначники водоростей для прісних вод. Для встановлення порогів чутливості до дії факторів середовища виділяли екологічні групи, використовуючи класифікаційні схеми С. С. Баринової [3]. Критерієм для визначення порогу чутливості водоростей були обрані абсолютні показники наявності чи відсутності виду в даних умовах існування. Оцінку порогів проводили за декількома параметрами: пристосованість до умов існування, температурна пристосованість, реофільність, галобність, сапробність, pH води.

Об'єктами дослідження були плодові тіла та штам F-610 базидіального гриба *F. velutipes*. Для вивчення динаміки росту і інтенсивності процесів ПОЛ штам F-610 культивували поверхнево на глюкозо-пептонному середовищі при 27,5°С протягом 20 діб. Початкове pH живильного середовища 6,0-6,5 од. Ріст культури оцінювали за накопиченням біомаси (абсолютно сухий міцелій) ваговим методом, а активність процесів ПОЛ – тестом з тіобарбітуровою кислотою (ТБК) за вмістом ТБК-активних продуктів ПОЛ (ТБК-АП) [4]. pH розчинів визначали потенціометричним методом. Одержані цифрові дані обробляли за методом дисперсійного аналізу, порівняння середніх величин проводили за методом Дункана із застосуванням пакету програм для проведення статистичної обробки результатів біологічних експериментів.

Камеральна обробка матеріалів бріофлори проводилася в лабораторії на кафедрі ботаніки та екології Донецького національного університету. Гербарні зразки визначали стандартним порівняльно-морфологічним методом за визначниками та флорами, а також за окремими монографічними обробками. Проведення географічного аналізу бріофлори дослідженої території виконано на підставі основних принципів класифікації А. С. Лазаренка з доповненнями М. Ф. Бойка. Ідентифікацію мохоподібних та анатомо-морфологічні

дослідження проводили за допомогою бінокулярних мікроскопів «Ergaval» та МБІ-3, а також стереоскопічного мікроскопу МБС-1 за загальноприйнятою методикою.

Визначення порогу чутливості рослин до стресових умов проводили вимірюванням довжини кореня та надземної частини рослин відносно контролю, зміну яких залежно від діючих доз факторів стресу визначали у разі пригнічення життєдіяльності. За допомогою лінійних приладів вимірювали довжину надземної та підземної частин рослин злаково-бобової травосуміші (*Elytrigia repens* (L.) Desv. ex Nevski та *Trifolium pratense* L.) та визначали їх співвідношення, порівнювали данні з еталонними екземплярами та за допомогою підрахунку спеціального сумарного коефіцієнту співвідношення, що дорівнює 1,00, робили висновок про ступінь навантаження на природні умови. Вказаний спосіб визначення порогу чутливості рослин до стресових умов було проведено на рослинах *E. repens* та *T. pratense*, що зростали в однакових пропорціях не менш ніж 10 особин на м^2. Пробні площі було закладено у 1-км зоні впливу підприємств: Донецький металургійний завод, Металургійний комбінат «Азовсталь», ВАТ «Маріупольський металургійний комбінат ім. Ілліча», Єнакіївський металургійний завод, Макіївський металургійний комбінат ім. С. М. Кірова, Краматорський металургійний завод ім. В. В. Куйбишева, Костянтинівський металургійний завод, а також у контрольних фонових умовах, де вплив токсичних факторів на середовище існування рослин мінімальний: с. Серебрянка та с. Дронівка Артемівського району Донецької області. Рослини в кількості по 15 особин кожного виду збирали у третій декаді червня. Після викопування рослин за допомогою лінійки вимірювали довжину надземної (а) та підземної (в) частини, визначали індекс співвідношення (k) за формулою: k = а : в для кожної рослини окремо, а потім сумарний коефіцієнт співвідношення як середнє між двома індексами. Таким чином, за лінійними показниками здійснювали діагностику пригнічення або стимулювання життєдіяльності рослин. Дані достовірні на 0,95%-вому інтервалі вірогідності. Повторність експерименту – 15 зразків. Альтернативний спосіб оснований на тому, що готували однорідну вибірку насінного матеріалу рослини-індикатора. Тест-об'єкти вирощували в умовах територій металургійного, хімічного та коксохімічного промислових комплексів та підраховували максимальні показники кількості утворених за два вегетаційні сезони (з квітня до жовтня наступного року) пагонів для кущових злаків та визначали максимальні розміри діаметру проективного покриття куща злаку, утвореного однією насіниною, за допомогою спеціально розробленої 5-бальної шкали встановлювали комбінований вплив забруднюючих об’єктів промисловості на рослини. При цьому такий спосіб визначення комбінованого ефекту промислового забруднення на рослини було апробовано на рослинах *Dactylis glomerata* L., *Bromus arvensis* L. та *Bromopsis inermis* (Leys.) Holub, що висаджували в квітні на пробних площах, які характеризувалися різним ступенем техногенного навантаження на природне середовище [1], а шкалу оцінки розробили саме для критеріальної бази порогів чутливості.

Оцінку якості навколишнього середовища і його зміни при антропогенному впливі здійснено за допомогою аналізу екологічної структури угруповань панцирних кліщів на прикладі відвалів гірничо-видобувної промисловості Донецької області. Проаналізовано матеріал, зібраний на техногенних катенах: териконах шахт «Трудівська», ім. М. Горького, «Панфіловська», № 5/6, № 29 м. Донецька, «Червоногвардейська» м. Макіївки, шахт № 12 і № 30 м. Шахтарська та відвалах Новотроїцького доломітного комбінату. Загалом оброблений матеріал за техногенними катенами становив 755 ґрунтових проб та 6600 екз. дорослих панцирних кліщів. Для порівняння використано матеріал, що був зібраний на контрольних ділянках природних катен: байрачна балка лісопарку «Путилівський ліс» м. Донецька (45 ґрунтових проб, з яких вилучено 2221 екз. дорослих панцирних кліщів) та степова балка відділення Українського природного степового заповідника «Хомутовський степ» (210 ґрунтових проб, з яких вилучено 8320 екз. дорослих панцирних кліщів). Збір ґрунтових проб (об‘ємом 250 см^3) та обробка матеріалу проводились за загальноприйнятою методикою Е. М. Буланової-Захваткіної [5]. Збір проб виконувався по трансекті вздовж катени у 5-15-кратній повторності на кожній позиції: вершина – елювіальна, схил –

транзитна і підніжжя – акумулятивна позиція. Видова належність панцирних кліщів встановлювалась при мікроскопіюванні за допомогою стереоскопічних бінокулярних мікроскопів PZO (Польща) та Zeiss Primo Star (Німеччина). Для дослідження структури домінування угруповань панцирних кліщів використовували індекс домінування за шкалою Г. Енгельмана [6]. Розподіл угруповань панцирних кліщів за життєвими формами наведено відповідно до робіт Д. О. Криволуцького [7, 8]. Для оцінки екологічного різноманіття панцирних кліщів досліджуваних ділянок використано інформаційно-статистичний індекс Шеннона [9]. Розрахунки проведено з використанням оригінальної комп'ютерної програми, розробленої у пакеті MS Excel.

У дослідах з визначення меж чутливості тест-об’єкта до дії інсектициду використовували гусениць-мурашів шовковичного шовкопряда одного часу виходу з яєць у день їх відродження. Для досліджень було обрано стабільно високу за життєздатністю породу шовковичного шовкопряда Білококонна-2 поліпшена (Б-2 пол.) [10-12]. Проведено 3 серії дослідів. Брали широкий діапазон концентрацій фосфор-органічного інсектициду фосфаміду (від 0 до 0,1 мг/л), що забезпечило загибель гусениць від 0 до 100%. Кожна концентрація випробовувалась у 5-кратній повторності (по 30 гусениць-мурашів у повторності). Для визначення практичних меж чутливості біоіндикатору гусениць-мурашів використовували метод сухої плівки [13]. Спостереження за виживанням гусениць-мурашів проводили до початку загибелі гусениць у контролі. Облік загиблих гусениць проводили щодня. Результати спостережень обробляли статистично (достовірність відмінностей визначали за допомогою t-критерію Стьюдента). Отримані результати (значення відсотку загиблих) переводили в пробіти для встановлення лінійної залежності і визначення ефекту (смертності) від певної дози токсиканту. За отриманою кореляційною залежністю визначали межі чутливості біоіндикатору до дози токсиканту [14].

Обстежено 100 осіб у віці 18-24 років. З них 70 осіб жіночої статі і 30 – чоловічої, які довгостроково (більше 10 років) мешкали на техногенно-трансформованих територіях. За загальноприйнятими методами [15-17] реєстрували психофізіологічні показники людини. Оцінка екологічного стану територій Донецької області базувалася на експертних оцінках фахівців у певних галузях. Розрахунок показників проводили загальноприйнятими статистичними критеріями, із застосуванням відповідного програмного забезпечення (MedStat 3-я версія № MS 000015 і програми для математичних підрахунків MatLab 6.0).

Результати та обговорення

Критерії оцінки екологічного стану середовища за порогами чутливості водоростей.

Вперше більш-менш повно проаналізовано пороги чутливості водоростей континентальних водойм [1, 18-23]. Вперше для південного сходу України досліджено пороги чутливості водоростей-індикаторів забруднення й створено бази даних порогів для таких факторів: температури, мінералізації, pH води на підставі повного альгологічного аналізу альгофлори закритих штучних водойм різного цільового призначення та різного типу експлуатації [18, 22]. Створена база даних, яка включає списки видів водоростей-індикаторів забруднення водойм Донбасу за блоками основних екологічних факторів водойм (температура, мінералізація, pH). Перевага розробки над аналогами полягає у більш повному врахуванні більшості екологічних чинників у континентальних водоймах Донбасу. Для визначення порогів чутливості водоростей до умов існування були з’ясовані відповідні характеристики (табл. 1, 2).

На підставі отриманих результатів розроблена шкала оцінки стану водойм за різними критеріями, наприклад, за сумісними критеріями (табл. 3).

Система оцінки екологічних параметрів апробована на водоймах різних типів: річках (Сіверський Донець, Кальміус, Нижня Кринка, ріки Північного Приазов’я та ін.), водосховищах (Павлопольське, Старобешівське, Клебан Бик, Волинцівське та ін.), ставках (міст Донецьк, Макіївка, Димитров, Шахтарськ та ін.), Слов’янських солоних озерах.

Таблиця 1

Пристосованість водоростей до умов існування

Умовне позначення	Характеристика умов існування	Морфологічні характеристики водоростей
B	бентосний у широкому значенні, пов'язаний із субстратом у водному середовищі	наявність морфологічних структур до прикріпленого способу життя (підошви, слизові утворення тощо)
S	ґрунтовий, наземні субстрати	наявність морфологічних структур до прикріпленого способу життя (підошви, слизові утворення тощо) та пристосування до наземного способу життя (слизові піхви, чохли)
pB	фікобіонт (лишайник)	специфічні структури та пристосування до симбіонтного способу життя
P-B	планктонно-бентосний	має утворення для планктонного способу життя, здатний пересуватися по поверхні донних відкладень, переважно має видовжену форму тіла
P	планктонний	має пристосування до планктонного способу життя (вирости, шипи, краплі жиру та ін.)
Ep	епіфіт	має вирости для прикріплення до поверхні рослин або утворення для пересування по поверхні

Таблиця 2

Пристосованість водоростей до динаміки вод (реофільність)

Умовне позначення	Характеристика динаміки вод
st	стоячі
str	тікучі
st-str	стоячо-тікучі та/або індиферент
aer	аерофільний
reoph	реофільний

Таблиця 3

Шкала оцінки екологічного стану середовища за діагностичними критеріями водоростей

Клас якості	Умови існування організмів	Значення індексу сапробності (за Пантлє і Буком)	Підзона сапробності	Значення pH води
I	сприятливі	< 1,0	β-олігосапобна	6,5 – 8,0
II	нормальні	1,0 – 1,5	α-олігосапробна	6,5 – 8,5
		1,6 – 2,0	β-мезосапробна	
III	субнормальні	2,1 – 2,5	β-α-мезосапробна	7,0 – 8,0
IV	несприятливі	2,6 – 3,0	α-мезосапробна	6,0 – 8,5
		3,1 – 3,5	α- полісапробна	6,0 – 9,0
V	вкрай несприятливі	> 3,5	полісапробна	

Отримані результати баз даних порогів чутливості водоростей були апробовані на фітопланктоні середньої течії р. Нижня Кринка. Результати визначення пристосованості видів до певного біотопу представлені в табл. 4.

Таблиця 4

Пристосованість визначених видів р. Нижня Кринка до певного біотопу

Систематичний відділ	B*	S	Pb	P-B	P	Ep
Cyanoprokaryota	1	2	0	6	5	0
Euglenophyta	0	0	0	2	0	0
Bacillariophyta	25	1	0	10	1	0
Chlorophyta	3	4	1	22	9	2
Загальна кількість видів	29	6	1	41	15	2

Примітка. * – скорочення екологічних типів відповідно до табл. 1.

Основу угруповань фітопланктону ріки становили планктонно-бентосні види (44% від загального числа видів). Менш представленими були бентосні форми (31% від загального числа індикаторних видів). У складі певних видів водоростей були виявлено фікобіонт (*Chlorella vulgaris*) і 2 епіфітні види (*Chaetopeltis orbicularis* і *Characium ornithocephalum*). Типовими представниками планктонно-бентосної групи були *Monoraphidium arcuatum, M. contortum, M. griffithii, M. minutum, Oocystis borgei, Scenedesmus falcatus, S. intermedius, Microcystis pulverea, Oscillatoria limosa, O. tenuis*. Серед бентосних видів можна вказати *Amphora lineolata, A. veneta, Caloneis amphisbaena, Cylindrotheca gracilis, Cymbella cymbiformis, C. tumida*. У цілому домінували планктонно-бентосні види (41), субдомінантами були бентосні види (29), на третьому місці – планктонні види (15).

Аналіз порогу температурної пристосованості показав (табл. 5), що домінували водорості, які пристосовані до помірних температурних умов (9 видів).

Таблиця 5

Пороги чутливості визначених видів водоростей до температури

Систематичний відділ	warm	cool	temp	eterm
Cyanoprokaryota	1	0	0	0
Bacillariophyta	0	1	9	0
Chlorophyta	0	0	0	0
Euglenophyta	0	0	0	2
Загальна кількість видів	1	1	9	2

Примітка. warm – теплолюбні види, cool – холодолюбні види, temp – помірні та/або індиферентні види, eterm – евритермні види.

Серед представників відділу Cyanoprokaryota був виявлений один теплолюбний вид (*Phormidium abiguum* Gom.). Серед представників відділу Bacillariophyta більше було помірних або індиферентних видів (9): *Cymbella ventricosa* Ktz., *C. cymbiformis, C. tumida, Gomphonema laenceolatum* Ehr. та ін. Також для представників даного відділу був виявлений один холодолюбний вид – *Gyrosigma acuminatum* (Ktz.) Rabh. Серед представників відділу Chlorophyta не було виявлено видів, що пристосовані до певного термічного режиму; обидва види, що належать до відділу Euglenophyta, були еврітермними.

Реофільность виду – це вимогливість до умов рухливості середовища існування. Із числа визначених видів всього було виявлено 2 індикаторні групи за реофільністю: види, що характерні для стоячих вод, і види, що характерні для стоячо-тікучих умов або індиферентні до рухливості середовища, до того ж друга група була більш чисельною (29 видів водоростей з 40 індикаторних). Основу цієї групи склали представники відділу Chlorophyta (76% від загального числа індикаторів стоячо-тікучих умов). Із цієї індикаторної групи можна назвати: *Oscillatoria limosa, Cymbella tumida, Navicula radiosa, Surirella capronii* Breb. Не було виявлено аерофільних, реофільних видів.

Вивчення галобності видів (табл. 6) показало, що найбільш численною була група олігогалобов-індиферентний (76% від загального числа індикаторів галобності). Менше представленими були групи олігогалобів-галофілів (10 видів) і мезогалобів (5 видів).

Таблиця 6

Галобність визначених видів водоростей

Систематичний відділ	mh	i	hl	hb
Cyanoprokaryota	0	7	4	1
Bacillariophyta	4	26	5	1
Chlorophyta	0	20	1	0
Euglenophyta	1	0	0	0
Загальна кількість видів	5	53	10	2

Примітка. mh – мезогалоби, i – олігогалоб-індиференти, hl – олігогалоб-галофіли, hb – олігогалоб-галофоби.

Серед представників відділу *Cyanoprokaryota* найбільше виявлено олігосапробів-індиферентів (7 видів): *Anabaena sphaerica, Merismopedia glauca, M. punctata, Dactylococcopsis irregularis* та ін. Також для даного відділу було визначено 4 олігогалоба-галофіла (*Merismopedia tenuissima, Microcystis aeruginosa, Oscillatoria limosa, O. tenuis*) і один олігогалоб-галофоб (*Dactylococcopsis acicularis*).

Для відділу *Bacillariophyta* найбільше було визначено олігогалобів-індиферентів (26 видів). Субдомінантами були олігогалоби-галофіли (5 видів): *Caloneis amphisbaena, C. bacillum, Diatoma elongatum* та ін. Також для цього відділу було визначено 4 види-мезогалоби (*Amphora lineolata, Nitzschia closterium, Pleurosigma elongatum, Entomoneis alata*) і 1 олігогалоб-галофоб (*Encyonema elginense*). Серед представників відділу Chlorophyta найбільше було виявлено олігогалобів-індиферентів (20 видів), а також 1 вид олігогалоб-галофоб (*Chlorella vulgaris*). Серед представників відділу Euglenophyta відзначений 1 вид мезогалоб (*Euglena clara* Ehr.). Серед визначених водоростей відсутні полігалоби, олігогалоби і еврігалінні види.

За ацидофільність видів (приуроченості до умов pH) були відзначені всі індикаторні групи (табл. 7).

Таблиця 7

Пристосованість видів до умов pH (ацидофільність)

Систематичний відділ	ind	alf	alb	acf
Cyanoprokaryota	3	0	0	0
Bacillariophyta	8	17	2	1
Chlorophyta	4	0	0	0
Euglenophyta	1	0	0	0
Загальна кількість видів	16	17	2	1

Примітка. ind – індіференти-нейтрофіли, alf – алкаліфіли, alb – алкалібіонти, acf – ацидофіли.

Основу складали алкаліфіли (17 видів) і індіференти-нейтрофіли (16 видів). Із числа діатомових водоростей відмічений один вид ацидофіл (*Encyonema elginense*).

За розподілом водоростей за зонами сапробності найбільше видове різноманіття спостерігали серед олігосапробіонтів і β-мезосапробіонтів (по 13 и 17 видів відповідно).

Таким чином, у фітопланктоні середньої течії р. Нижня Кринка домінували планктонно-бентосні види, що характерні для стоячо-тікучих олігогалобних водойм з нейтрально-слабколужною реакцією і помірним температурним режимом. Характер забруднення за сапробністю помірний з непорушеними процесами самоочищення.

Результати роботи впроваджені в роботу санітарно-епідеміологічних станцій м. Донецька (Кіровський, Київський райони), екологічних лабораторій м. Донецька та області та можуть бути рекомендовані для включення в існуючу систему екологічного моніторингу.

Критерії оцінки екологічного стану середовища за порогами чутливості грибів.

Численні роботи щодо використання вищих грибів у якості біоіндикаторів, які відкривають новий напрямок їх практичного застосування, не враховують біохімічні показники цих організмів [24-26].

Динаміка росту (накопичення біомаси) та інтенсивність процесів ПОЛ у міцелії та КФ штаму F-610 встановлені у попередніх дослідженнях [4] та використовувались в подальшому з метою вивчення як впливу бензопірену на ПОЛ культури *F. velutipes*, так і з'ясування порогів її чутливості до цього полютанту.

Результати вивчення інтенсивності процесів ПОЛ штаму F-610 залежно від часу експозиції у культуральній рідині бензопірену у концентрації 0,01% представлені у табл. 8. Штам F-610 культивували протягом 5 діб – до досягнення максимальної інтенсивності процесів ПОЛ, після цього в колби вносили бензопірен.

Таблиця 8

Вміст продуктів ПОЛ штаму F-610 гриба *Flammulina velutipes* залежно від часу експозиції бензопірену в концентрації 0,01%

Час експозиції бензопірену, доба	Вміст ТБК-АП, нмоль/ г (мл)			
	Міцелій		КФ	
	Дослід	Контроль	Дослід	Контроль
1	15,50 ± 0,01	16,77 ± 0,05	26,75 ± 2,00	11,70 ± 0,20
2	69,05 ± 1,88	16,20 ± 0,10	28,30 ± 3,68	11,00 ± 0,68
3	48,75 ± 0,92	16,20 ± 0,05	68,40 ± 1,84	10,65 ± 0,92
4	40,05 ± 6,29	15,15 ± 0,03	70,25 ± 0,92	10,50 ± 0,27
5	38,10 ± 3,25	14,85 ± 0,13	40,35 ± 1,34	9,55 ± 0,05

Зіставлення отриманих показників у порівнянні з контролем показує достовірний вплив бензопірену на вміст ТБК-АП як в міцелії, так і в культуральному фільтраті. Дослідні культури мали вищі показники інтенсивності ПОЛ міцелію, за виключенням першої доби експозиції діючої речовини. Максимальна активність ПОЛ в міцелії, що перевищувала в 4,3 рази контроль, була зафіксована на 2 добу експозиції бензопірену. Максимальний вміст продуктів ПОЛ у КФ дослідних культур, який перевищував в 6,4-6,7 рази контроль, зафіксовано на 3 і 4 добу після внесення бензопірену.

Далі вивчали вплив різних концентрацій бензопірену на інтенсивність процесів ПОЛ штаму F-610 (табл. 9). Штам культивували в стандартних умовах протягом 5 діб, після чого в колби вносили полютант у кінцевій концентрації від 0,005 до 0,15%. Обрані концентрації перевищують ГДК бензопірену для ґрунту (згідно з ГН МОЗ СРСР від 19.11.1991 № 6229-91) – 0,02 мг/кг. Вміст продуктів ПОЛ визначали через 24 години експозиції полютантів.

Культури, у культуральну рідину яких вносили бензопірен, мали вищі показники ТБК-АП в порівнянні з контролем. Поріг чутливості на бензопірен – найменша концентрація, яку може фіксувати штам F-610 в умовах досліду, є 0,005%. При цій концентрації вміст ТБК-АП у міцелії перевищує контрольний у 2,17 рази, а у культуральній рідині – у 1,77 рази. Максимальна кількість продуктів ПОЛ – ТБК-АП в міцелії (в 9,9 рази вища за контроль) та культуральному фільтраті (в 7,9 рази вища за контроль) була зафіксована при концентрації бензопірену 0,05%. Подальше збільшення концентрації бензопірену у КФ від 0,1 до 0,3% веде до поступового зниження інтенсивності процесів ПОЛ порівняно з максимумом, однак вміст ТБК-АП не є меншим за контроль. Отже, в ході досліду верхній поріг чутливості дослідної культури до цього полютанту не встановлено.

Таблиця 9

Вплив різних концентрацій бензопірену на вміст продуктів перекісного окислення ліпідів штаму гриба F-610 *Flammulina velutipes*

Концентрація бензопірену, %	Вміст ТБК-АП, нмоль МДА/г (мл)	
	Міцелій	КФ
0,005	39,36 ± 0,52	20,67 ± 0,95
0,01	48,75 ± 0,92	68,40 ± 1,84
0,05	167,50 ± 0,05	93,30 ± 0,45
0,1	62,03 ± 0,82	57,68 ± 0,45
0,15	52,93 ± 0,07	48,87 ± 0,21
0,3	34,23 ± 0,68	20,57 ± 0,82
контроль (0)	16,77 ± 0,05	11,70 ± 0,20

З метою встановлення екологічного стану довкілля розроблені критерії його оцінки з використанням показників рівня каталазної активності (КА) і перекісного окиснення ліпідів міцелію плодових тіл *Flammulina velutipes* [4, 27], які представлені в табл. 10.

Таблиця 10

Оцінка екологічного стану довкілля з використанням міцелію плодових тіл *Flammulina velutipes*

Критерії оцінки		Бал	Екологічний стан
КА, мкат/г	ПОЛ, нмоль МДА/г		
до 80	до 15	1	відносно сприятливий
81-130	16-20	2	нормальний
131-180		3	субнормальний
181-230	21-35	4	несприятливий
вище 230	вище 35	5	вкрай несприятливий

Діапазон зміни каталазної активності в 6,6 рази перевищує спектр інтенсивності процесів ПОЛ міцелію плодових тіл досліджуваного базидіоміцету, що дозволяє більш детально провести мікоіндикацію навколишнього середовища.

Критерії оцінки екологічного стану середовища за порогами чутливості бріофлори.

Аналіз ценотичної структури досліджених мохоподібних насамперед передбачає розподіл усіх видів досліджених мохів на групи, головним критерієм розподілу яких є ценотична приуроченість та ступінь активності видів на дослідженій території. Активність виду пов’язана з успішністю його зростання в певних ландшафтно-кліматичних умовах, що свідчить про те, що дані умови відповідають еколого-біологічним властивостям цього виду. Величина активності виду визначається за широтою його екологічної амплітуди, ступенем постійності та проективного покриття [28].

Для встановлення ценотичної структури досліджених мохоподібних південного сходу України нами була вивчена ценотична приуроченість та ступінь активності видів на даній території. Нами враховувалось зустрічання виду не тільки в різноманітних типах ценозів і в екотопах, а і чисельність популяції виду та роль мохових угруповань у всіх місцезростаннях.

Для визначення активності видів використовували розроблену нами бальну оцінку фітоценотичних показників (табл. 11), відповідно до якої кожний вид моху має свою суму балів у залежності від ступеня приуроченості виду до того чи іншого фактору навколишнього середовища. Саме вона була основним критерієм, за яким було визначено активність видів.

Таблиця 11

Бальна оцінка фітоценотичних показників

Фактори навколишнього середовища	Бали				
	1	2	3	4	5
Вологість	Гігрофіт	Мезогігрофіт	Мезофіт	Мезоксерофіт	Ксерофіт
Трофність	Оліготроф	Олігомезотроф	Мезотроф	Мезоевтроф	Евтроф
Освітленість	Геліофіт	–	Геліосциофіт	–	Сциофіт
Хімізм субстрату	Нітрофіл Галофіт	Еврифіл Сіліціофіл	Кальцефоб Ацидофіл	Кальцефіл	Інцертофіл

Примітка. 1 бал – вид вимогливий до умов існування; 2-4 бали – вид, який нормально розвивається при дефіциті або надлишку деяких факторів; 5 балів – вид невимогливий до умов існування.

У результаті проведеного дослідження на південному сході України було виявлено п’ять груп ценотичної активності видів мохоподібних [29] (табл. 12).

Таблиця 12

Ценотична активність досліджених мохоподібних південного сходу України

Групи активності видів	Кількість видів	%
Надтоактивні види	4	10,53
Високоактивні види	9	23,68
Середньоактивні види	6	15,79
Малоактивні види	4	10,53
Неактивні види	15	39,47

1. ***Надтоактивні види*** – 5 балів. До цієї групи віднесено чотири види мохоподібних, що складає 10,53% від загальної кількості досліджених мохоподібних. Це космополітні види – *Ceratodon purpureus*, *Bryum argenteum*, *B. caespiticium* та аридний біполярний вид *Tortula ruralis*. Серед них переважають мезоксерофітні (75%), дводомні (100%), геліофітні (100%) види з життєвою формою низьких дернинок (*Bryum argenteum*, *B. caespiticium*, *Tortula ruralis*) та подушкоподібних дернинок (*Ceratodon purpureus*). Більшість з надтоактивних видів мохоподібних (75%) мезотрофи, тобто рослини з помірними вимогами щодо вмісту поживних речовин у субстраті, зокрема зольних речовин [30].

2. ***Високоактивні види*** – 4 бали. До цієї групи нами було віднесено дев’ять видів мохоподібних (23,68%). Серед цих видів переважають інцертофільні мохи (77,78%), які не мають чітких проявів залежності від хімізму субстрату. За відношенням до умов трофності та зволоження субстрату переважають мезотрофи та мезоксерофіти, які складають 55,56% кожний. Стосовно освітленості місцезростань найбільша частина припадає на геліофіти (44,44%), що пов’язано із зростанням більшої кількості мохів цієї групи на відкритих ділянках. Види *Leskea polycarpa* та *Amblystegium serpens* – сціофіти, які найбільш активні в умовах затінення: темних лісах, на затінених скелях, у щілинах. Вони можуть існувати і на більш освітлених місцезростаннях, але в умовах південного сходу України проявляють себе лише як сціофіти. У багатьох видів відмічено життєву форму – плаский килим (66,67%). Серед високоактивних видів переважають дводомні види (55,56%), але у мохових зростаннях домінують саме однодомні – *Barbula unguiculata* та *Brachythecium campestre*.

3. ***Середньоактивні види*** – 3 бали. До них відноситься шість видів мохоподібних (15,79%). Окрім політріхових, до цієї групи належать *Funaria hygrometrica*, *Mnium marginatum* та печіночник *Marchantia polymorha*. Серед видів цієї групи переважають мезоксерофіти (66,67%). На відміну від попередніх груп ценотичної активності видів, тут вперше з’являється представник печіночників – *Marchantia polymorha*, який ми, враховуючи

його залежність від зволоження місцезростання, віднесли до мезогігрофітів. Стосовно трофності субстрату та освітленості місцезростань переважають мезотрофи та геліосціофіти, які складають по 66,67%. У порівнянні з попередніми групами серед середньоактивних видів мохоподібних збільшилась участь інших екологічних груп за відношенням до хімічного складу субстрату – в однакових кількостях (33,33%) мохи представлені ацидофілами, еврифілами та нітрофілами, дводомні та однодомні види також виявлені у рівних пропорціях. Значна кількість мохів (83,33%) представлена видами з життєвою формою рихла дерновина, таломно-килимову синузію утворює печіночник *Marchantia polymorha*.

4. ***Малоактивні види*** − 2 бали. Ця група представлена чотирма видами мохоподібних (10,53%), життєва форма яких – подушкоподібна дернинка. Більшість з них (75%) – однодомні мохи, лише *Atrichum undulatum* – багатодомний вид. У рівних кількостях наявні геліосціофіти та геліофіти. Відносно трофності та хімізму субстрату переважають мезотрофи та інцертофіли (по 50%), по одному виду представлені оліготрофи та олігомезотрофи, ацидофіли та кальцефіли.

5. ***Неактивні види*** – 1 бал. Складають найбільшу частину серед досліджених мохоподібних – 15 видів (39,47%), більшість з яких бореальні види (66,67%). За відношенням до рівня зволоженості місцезростань переважають мезоксерофітні (46,67%) та мезофітні види (40,00%). Також був визначений один ксерофіт *Grimmia pulvinata* та нехарактерний для південного сходу України мезогігрофітний вид *Aulacomnium palustre*. Відносно трофності та хімізму субстрату мезотрофи та інцертофіли представлені у рівних кількостях (по 33,33%), оліготрофи та мезоевтрофи мають по 20,00% кожний, а переважають серед досліджених мохоподібних ацидофіли – 53,33%. Вважаємо, що це пов'язано з тим, що більша частина мохоподібних цієї групи зростає в соснових лісах, де, як відомо, субстрат має кислу реакцію. Цей факт також пояснює і переважання геліосціофітів, які зростають у напівтіні. Життєві форми неактивних видів мохоподібних представлені: 1) рихлою дернинкою, для якої характерні переважно нерозгалужені стебельця, вертикальні та часто покриті ризоїдною повстю. Деревоподібну життєву форму утворює *Climacium dendroides*; 2) плетивом – системою рихлих сплетінь, різноманітно і рясно розгалужених стебел, вертикальних, лежачих чи висхідних, із небагатьма ризоїдами або зовсім без них (*Abietinella abietina, Hylocomium splendens, Pleurosium schreberi, Rhytidiadelphus triquetrus*) [29, 31].

Таким чином, при дослідженні ценотичної структури мохоподібних, знайдених нами на території південного сходу України, виявлено переважання неактивних видів (23,68%). Надтоактивні та малоактивні види знаходяться в рівних кількостях (по 10,53%), середньоактивні складають 15,79%. За даними М. Ф. Бойка [28], для бріофлори степової зони характерне переважання неактивних та малоактивних видів, але даних щодо вивчення ценотичної структури мохоподібних не так багато. За нашими даними, також переважають неактивні види, але малоактивні поступилися своїм місцем високоактивним, більшість з яких добре пристосувалися до умов існування в урбанізованому середовищі.

Слід зауважити, що саме надтоактивні види мохів відрізняються великою широтою екологічної амплітуди – зростають у різноманітних екотопах, у багатьох ценозах, усі вони є домінантами мохових угруповань у тих, чи інших ценозах та складають основну частку мохового покриву, визначають його характер, особливості [28]. Не дивлячись на малу кількість (4 види), вони колонізують територію південного сходу України та зустрічаються майже в усіх районах. Цьому сприяє те, що представники цієї групи мають мінімальні потреби для існування: більшість оселяється на мезотрофних субстратах, менш вимогливі до умов зволоження – три з них мезоксерофіти, а один – ксерофіт. У зв'язку з цим саме серед представників мохів цієї групи нами було обрано види *Bryum argenteum* Hedw. та *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid. для дослідження впливу забруднення навколишнього середовища на морфометричні показники листкової пластинки та визначення порогів чутливості мохів-індикаторів (табл. 13).

Таблиця 13

Оцінка екологічного стану середовища за критеріями чутливості мохів-індикаторів

Екологічний стан середовища (бали)	Критерії оцінки	
	Ширина листкової пластинки, мм	Довжина листкової пластинки, мм
відносно сприятливий (1 бал)	0,35-0,34	0,51-0,52
нормальний (2 бали)	0,33-0,32	0,50-0,49
субнормальний (3 бали)	0,31-0,29	0,48-0,46
несприятливий (4 бали)	0,28-0,27	0,45-0,41
вкрай несприятливий (5 балів)	< 0,27	< 0,41

Отримані дані дали змогу розробити шкалу оцінки якості навколишнього середовища за діагностичними критеріями на підставі визначення порогів чутливості мохів-біоіндикаторів *Bryum argenteum* Hedw. та *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid. до дії несприятливих факторів середовища.

Критерії оцінки екологічного стану середовища за порогами чутливості рослин-індикаторів.

Експериментальним шляхом будо доведено, що порогом чутливості рослин до дії несприятливих доз хімічних речовин вважається значення сумарного коефіцієнту співвідношення – 1,00.

У табл. 14 наведено абсолютні розміри кореневої системи та надземної частини виду *E. repens* та співвідношення цих показників у різних умовах зростання

Таблиця 14

Морфометричні характеристики кореневої системи та надземної частини виду *Elytrigia repens* (L.) Desv. ex Nevski

Пробні площі зростання	Надземна частина, см	Підземна частина, см	Співвідношення надземної та підземної частин
Донецький металургійний завод	25,06±0,75	12,31±0,12	2,04
Металургійний комбінат «Азовсталь»	23,29±0,37	11,46±0,14	2,03
ВАТ «Маріупольський металургійний комбінат ім. Ілліча»	23,78±0,94	12,79±0,19	1,86
Єнакіївський металургійний завод	20,30±0,65	14,01±0,17	1,45
Макіївський металургійний комбінат	25,09±0,68	13,34±0,13	1,88
Краматорський металургійний завод	27,84±1,04	17,68±0,45	1,57
Костянтинівський металургійний завод	27,98±1,07	18,94±0,77	1,48
с. Серебрянка	36,88±1,07	42,30±0,81	0,87
с. Дронівка	38,41±1,12	44,89±0,98	0,86

У табл. 15 наведено абсолютні розміри кореневої системи та надземної частини виду *T. pratense* та відповідні співвідношення в різних умовах зростання.

Сумарний коефіцієнт співвідношення надземної та підземної частин *E. repens* та *T. pratense* у разі пригнічення життєдіяльності дорівнює середньому значенню, отриманому за двома рослинами для пробних площ: Донецький металургійний завод (1,63), Металургійний комбінат «Азовсталь» (1,56), ВАТ «Маріупольський металургійний комбінат ім. Ілліча» (1,51), Єнакіївський металургійний завод (1,26), Макіївський металургійний комбінат ім. С. М. Кірова (1,54), Краматорський металургійний завод ім. В. В. Куйбишева (1,38), Костянтинівський металургійний завод (1,38) та в контрольних фонових умовах, де

вплив токсичних факторів на середовище існування рослин мінімальний: с. Серебрянка (0,88) та с. Дронівка (0,86) Артемівського району Донецької області.

Таким чином, коефіцієнти співвідношення для різних видів можуть відрізнятися. Проте комплексний коефіцієнт за злаково-бобовою травосумішшю дає більш інтегровану оцінку реакції рослини на дію факторів, що в сукупності зумовлюють стресове становище.

Запропонований спосіб дозволяє мати інтегровану оцінку дії факторів стресу та ранжувати за коефіцієнтами більш токсикогенні впливи.

Таблиця 15

Морфометричні характеристики кореневої системи та надземної частини виду *Trifolium pratense* L.

Пробні площі зростання	Надземна частина, см	Підземна частина, см	Співвідношення надземної та підземної частин
Донецький металургійний завод	12,45±0,23	10,31±0,10	1,21
Металургійний комбінат «Азовсталь»	11,63±0,24	10,75±0,15	1,08
ВАТ «Маріупольський металургійний комбінат ім. Ілліча»	12,42±0,20	10,79±0,11	1,15
Єнакіївський металургійний завод	10,10±0,19	9,56±0,10	1,06
Макіївський металургійний комбінат	10,96±0,19	9,14±0,09	1,20
Краматорський металургійний завод	10,73±0,12	9,10±0,08	1,18
Костянтинівський металургійний завод	16,66±0,22	12,99±0,10	1,28
с. Серебрянка	23,43±1,04	26,30±0,09	0,89
с. Дронівка	28,91±1,07	33,78±0,08	0,86

За допомогою такого розрахунку можна встановлювати пороги витривалості та чутливості рослин до дії несприятливих факторів середовища. Якщо сумарний коефіцієнт співвідношення надземної та підземної частин *E. repens* та *T. pratense* більше 1,00, то сукупність факторів розвитку рослин вважається несприятливою.

Запровадження такого підходу дозволить більш точно проводити інтегральну діагностику та експрес-оцінку якості середовища за допомогою рослин природної флори на техногенно змінених територіях.

Експериментально встановлені значення пагоноутворення дерновинних злаків відображають реакцію рослин на дію стресових факторів в різних умовах зростання. Для спрощення сприйняття результатів та інтегрованості стресових факторів результати представляємо за групами підприємств-забруднювачів.

Розроблена шкала для оцінки комбінованого впливу стресових факторів для злаків індикаторів (табл. 16).

Таблиця 16

Шкала оцінки екологічного стану середовища за критеріями чутливості злаків-індикаторів

Бал	Екологічний стан	Критерії оцінки	
		Кількість пагонів	Діаметр проективного покриття, см
1	відносно сприятливий (1)	більше 12,0	більше 7,0
2	нормальний (2)	10,0-11,9	6,0-6,9
3	субнормальний (3)	7,0-9,9	5,0-5,9
4	несприятливий (4)	4,0-6,9	4,0-4,9
5	вкрай несприятливий (5)	менше 3,9	менше 3,9

Таким чином, комбінований вплив забруднюючих об’єктів промисловості на рослини встановлено наступним чином: для підприємств металургійної промисловості відповідає недопустимим умовам (5 балів), хімічної – перевищеним за токсичне навантаження (3 бали за кількістю пагонів) та недопустимим умовам (5 балів за діаметром проективного покриття), а коксохімічної промисловості – (недопустимі (3 бали) та перевищені (5 балів) за відповідними показниками.

Позитивний ефект проявляється в тому, що запропонований спосіб фітоквалиметрії дозволяє мати інтегровану оцінку комбінованого ефекту промислового забруднення в польових умовах при використанні рослин-індикаторів. За допомогою такого розрахунку можна визначати ступінь токсичного впливу на даній території та специфіку забруднення відповідно до окремих підприємств-забруднювачів.

Використання способу дозволить більш детальніше здійснювати програми токсикологічного моніторингу та експертизи на об'єктах промислового забруднення, проводити оцінку та корекцію екологічного стану в промислових районах [32, 33].

Критерії оцінки екологічного стану середовища за порогами чутливості угруповань панцирних кліщів.

У результаті проведеного аналізу складу та екологічної структури угруповань панцирних кліщів досліджених техногенних ландшафтів запропоновано схему оцінки якості навколишнього середовища за порогами чутливості біоіндикаторів на дію екологічно несприятливих факторів середовища (табл. 17).

За даною схемою на підставі розроблених порогів чутливості угруповань панцирних кліщів [1] проаналізовано екологічну структуру угруповань панцирних кліщів і проведено оцінку якості навколишнього середовища на прикладі техногенних катен гірничо-видобувного комплексу Донбасу та проведено порівняння отриманих даних зі структурою угруповань орібатид природних катен.

Таблиця 17

Індикаційна шкала оцінки якості навколишнього середовища за порогами чутливості угруповань панцирних кліщів

Величина інтегрального показника порогів чутливості угруповань панцирних кліщів (бали)	Екологічний стан середовища
1 (21-25)	відносно сприятливий
2 (16-20)	нормальний
3 (11-15)	субнормальний
4 (6-10)	несприятливий
5 (0-5)	вкрай несприятливий

У результаті проведених досліджень складу та структури угруповань панцирних кліщів техногенних катен встановлено, що характер рельєфу та рослинності має значний вплив на розподіл угруповань та екологічну структуру населення орібатид.

Встановлено, що за інтегральним показником порогів чутливості угруповань панцирних кліщів екологічний стан досліджених техногенних ділянок гірничо-видобувного комплексу Донбасу загалом є субнормальним (3 бали). Це стосується показників як навесні, так й літом і восени (рис. 1).

Несприятливий та вкрай несприятливий екологічний стан середовища (4 та 5 балів відповідно) відзначено на всіх позиціях катени шахт ім. М. Горького (навесні) та № 29 (літом), а також на елювіальних позиціях териконів шахт «Трудівська» (протягом року) і шахти № 12 м. Шахтарська (восени). Останнє значною мірою пов’язано з тим, що вершина цих териконів «гола», дерева та інша рослинність практично відсутні.

На відвалах Новотроїцького доломітного комбінату літом та восени екологічний стан середовища за інтегральним показником можна охарактеризувати як нормальний (2 бали).

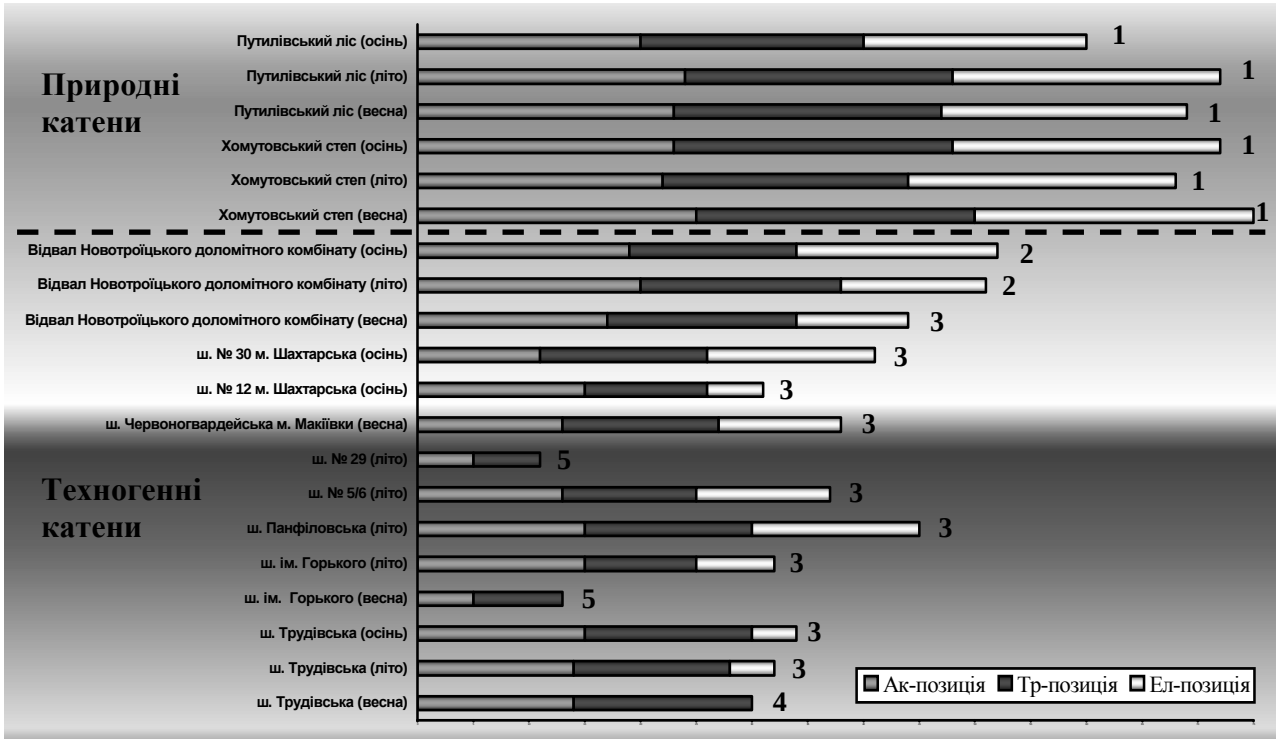


Рис. 1. Оцінка якості середовища за порогами чутливості угруповань панцирних кліщів (бали) техногенних та природних катен.

Показники порогів чутливості угруповань панцирних кліщів контрольних ділянок як байрачної («Путилівський ліс»), так і степової природних катен («Хомутовський степ») протягом усього року відповідають відносно сприятливому екологічному стану середовища (1 бал).

Критерії оцінки екологічного стану середовища за порогами чутливості гусениць-мурашів шовковичного шовкопряда.

Використання шовковичного шовкопряда як тест-об’єкта для біоіндикації екологічного стану середовища потребує врахування впливу факторів довкілля на межі чутливості даного виду. Наші дослідження показали існування прямої залежності меж чутливості гусениць шовковичного шовкопряда і температурного фактора. Це пов'язано з пойкілотермією шовковичного шовкопряда, всі фізіологічні процеси якого залежать від температури довкілля (інтенсивність метаболізму, швидкість розвитку, чутливість до стресорів та ін.).

У результаті попередніх досліджень було встановлено, що при визначені меж чутливості комах до токсикантів (інсектицидів) та інших стресорів, а також при розробці діагностичних критеріїв екологічного стану обов'язковим є дотримання стабільних температурних умов тестування.

Проведені дослідження дали змогу розробити шкалу оцінки якості навколишнього середовища за діагностичними критеріями на підставі визначення порогів чутливості біоіндикатора (шовковичного шовкопряда) до дії несприятливих факторів середовища (на прикладі фосфорорганічних інсектицидів). Побудувавши графік залежності смертності гусениць шовковичного шовкопряда від концентрації токсиканту, ми отримали математичне вираження цієї залежності (рис. 2), що дало змогу визначити концентрації забруднювача, які відповідали певним діагностичним критеріям (табл. 18).

Таким чином, у результаті досліджень та математичної обробки отриманих даних розроблена шкала оцінки екологічного стану середовища (на прикладі забруднення фосфорорганічними інсектицидами) за порогами чутливості шовковичного шовкопряда до дії стресорів антропогенного походження, яка дозволяє встановити ступінь забруднення

навколишнього середовища. При зміні температурних умов середовища межі чутливості біоіндикатору до стресору можуть змінюватись, але діагностичні ознаки залишаються стабільними і чітко відображають залежність від концентрації токсиканту.

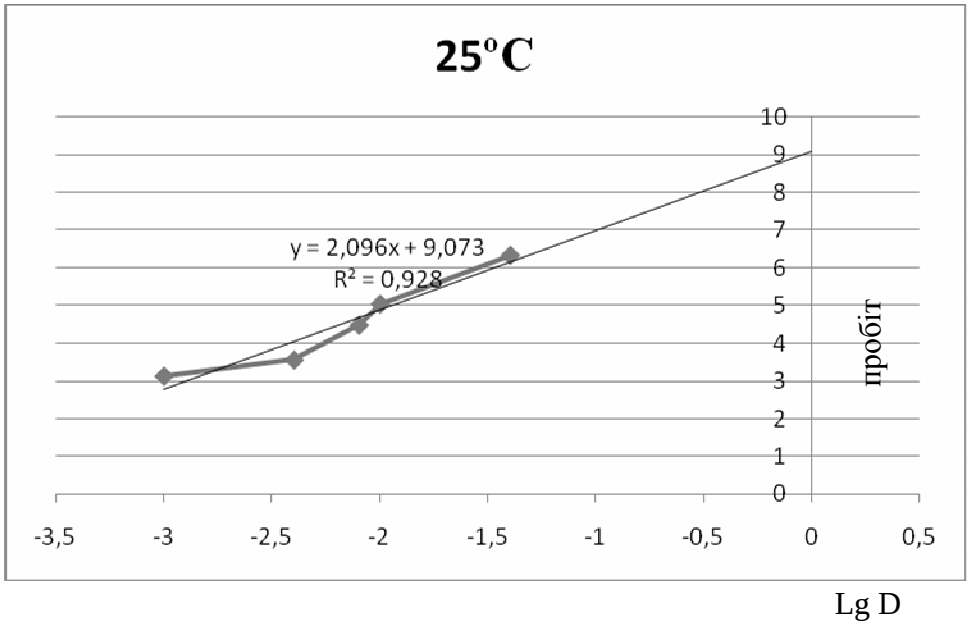


Рис. 2. Залежність смертності гусениць-мурашів шовковичного шовкопряда від концентрації токсиканту (пробіт-аналіз).

Таблиця 18

Шкала оцінки якості навколишнього середовища за діагностичними критеріями тест-об'єкту (шовковичного шовкопряда)

Концентрація забруднювача, мг/л	Екологічний стан середовища (бали)	Критерії оцінки
0 – 0,01	відносно сприятливий (1 бал)	Зміна поведінки біоіндикатора та загибель особин не спостерігаються.
0,07	нормальний (2 бали)	Підвищена рухливість 15% особин біоіндикатора, параліч та загибель не менш 10% особин протягом 18-24 годин.
0,14	субнормальний (3 бали)	Підвищена рухливість не менш ніж 50% особин, параліч та загибель 40% протягом 8-17 годин.
0,20	несприятливий (4 бали)	Збудження 90-95% особин біоіндикатора, тремор, блювальний акт, параліч та загибель 75% протягом 4-6 годин.
0,26	вкрай несприятливий (5 балів)	Тремор, параліч та загибель більш ніж 90% особин біоіндикатора протягом 2 годин.

Критерії оцінки екологічного стану середовища за порогами психофізіологічної чутливості людини.

За результатами проведених досліджень виявлено діагностичні критерії змін порогових значень швидкості переробки інформації людини, що відбивається в зміні її психофізіологічного стану в середньому на 5-7% упродовж десятирічного терміну перебування її в умовах екологічної шкідливості (табл. 19).

Тобто за 10 років проживання людини в екологічно несприятливих умовах показник швидкості переробки інформації зменшився на 50% (див. табл. 19). Проте вірогідні ($p < 0,05$) зміни цього показника реєструвалися вже за 2 роки мешкання від ($88,4 \pm 0,7$) до ($52,1 \pm 0,2$) ум. од., $p < 0,05$.

Таблиця 19

Швидкість переробки інформації у людей, що мешкають на несприятливих за екологічним станом територіях

Психофізіологічний показник, ум. од.	Час мешкання на техногенно трансформованих територіях, роки				
	1	2	3	4	5
Швидкість переробки інформації	$81,7 \pm 0,03^*$	$52,2 \pm 0,12^*$	$47,1 \pm 0,10$	$41,3 \pm 0,5$	$35,6 \pm 0,4$

Примітка. * – $p < 0,05$.

Отже, вірогідні ($p < 0,05$) зміни показника швидкості переробки інформації в людини відбуваються через 2 роки проживання на екологічно несприятливих територіях. Частково неповоротні зміни відбуваються в психофізіологічному стані людини: пограничні (непсихотичні) форми психопатологій, порушення уваги, гіперактивність спостерігаються після 6 років проживання в екологічно несприятливих умовах.

Порівняльна оцінка порогових величин психофізіологічного показника зі шкалою екологічної шкідливості, з урахуванням часових інтервалів показала, що порогова величина в 2 бали при проживанні на даній території 1,5-2 роки свідчить про вірогідну ($p < 0,05$) зміну цього показника на 46%. Така величина вірогідно властива для 56% людей. Тобто за два роки мешкання на несприятливих за екологічним станом територіях у кожної другої людини змінюється показник швидкості переробки інформації майже в два рази.

За результатами досліджень було встановлено, що абсолютним порогом чутливості психофізіологічного стану людини є мінімальні зміни показника швидкості переробки інформації як за величиною, так і за часом.

За величиною цього показника розроблено шкалу оцінки якості середовища (рис. 3).

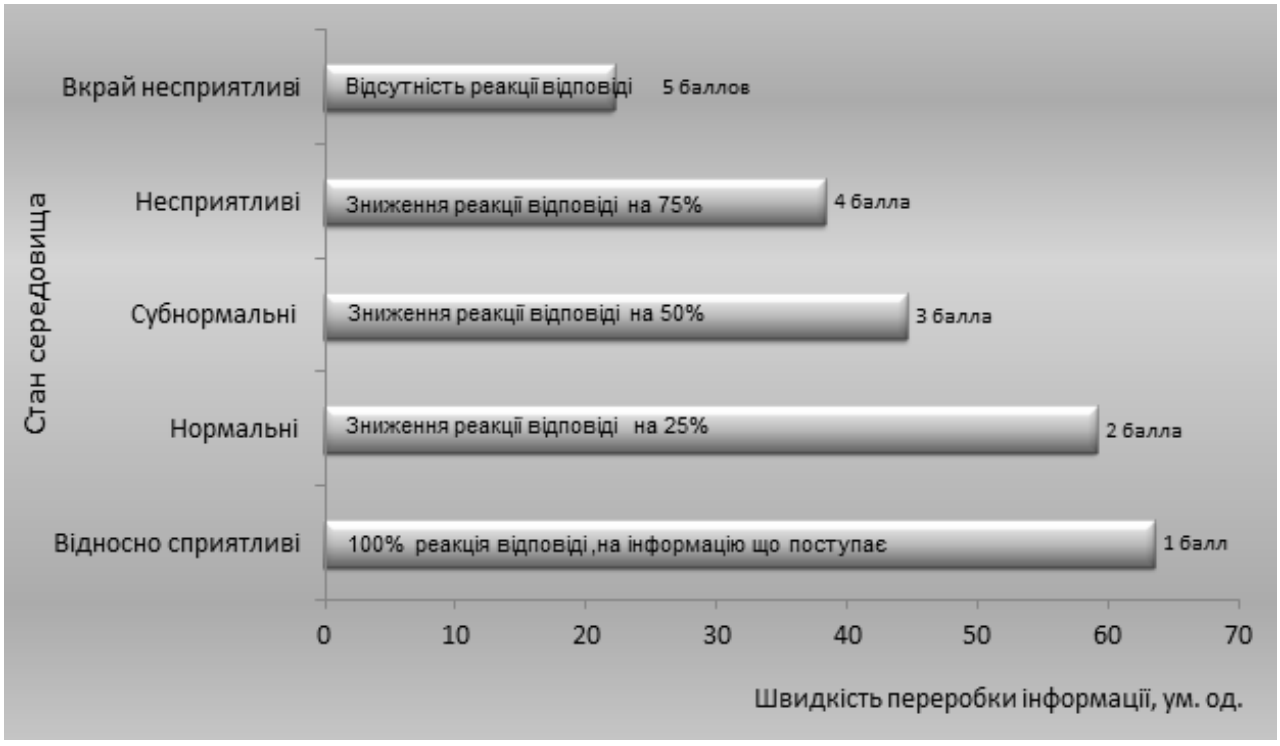


Рис. 3. Шкала оцінки стану середовища за інтегральним психофізіологічним показником.

Висновки

1. Вперше визначено характеристики порогової чутливості біоіндикаторів (водоростей, грибів, мохоподібних, квіткових рослин, кліщів, комах та людини) на дію екологічно несприятливих факторів середовища та розроблено критерії оцінки екологічного стану довкілля за порогами чутливості. Підготовлено матеріали для формування бази даних порогів чутливості відповідних біоіндикаторів на дію екологічно несприятливих факторів довкілля.

2. Досліджено і створено бази даних порогів чутливості водоростей водойм південного сходу України для таких факторів: температури, мінералізації, pH води. Розроблено критерії оцінки екологічних чинників у водоймах за параметрами водоростей (морфологічні, фізіологічні, систематичні та різноманіття видів). Апробовано комплексну оцінку за розробленими критеріями на штучних водоймах та річках Донецької області.

3. Встановлена порогова чутливость міцеліальної культури штаму F-610 їстівного лікарського гриба *F. velutipes* на дію полютантів (фенол і бензопірен) за показниками інтенсивності процесів перекисного окиснення ліпідів. Розроблено критерії оцінки екологічного стану навколишнього середовища за величиною зміни перекисного окиснення ліпідів та каталазної активності плодових тіл базидіоміцета *F. velutipes*.

4. Вперше на екологічно забруднених територіях південного сходу України за морфологічною мінливістю мохоподібних *Bryum argenteum* Hedw. та *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid. встановлено порогову чутливість бріоіндикаторів, на підставі якої розроблено критерії оцінки екологічного стану середовища.

5. Зміна фітоіндикаційних показників за кількістю пагонів, діаметром проективного покриття та коефіцієнт співвідношення надземної та підземної частин *Elytrigia repens* (L.) Desv. ex Nevski та *Trifolium pratense* L. є критеріями для оцінки різних за техногенним навантаженням екотопів.

6. Критерієм оцінки екологічного стану довкілля є величина інтегрального показника порогів чутливості угруповань панцирних кліщів (середня щільність населення, видове багатство, структура домінування, співвідношення життєвих форм, індекс екологічного різноманіття Шеннона). У техногенних катенах вона значно більша, ніж у природних.

7. Експериментально визначено пороги чутливості гусениць-мурашів шовковичного шовкопряда до дії фосфорорганічних інсектицидів та синтетичних перетроїдів. Розроблена шкала критеріїв оцінки екологічного стану середовища, яка дозволяє встановити ступінь забруднення навколишнього середовища за показниками смертності, поведінки та ознаків патології гусениць-мурашів шовковичного шовкопряда.

8. Абсолютним порогом чутливості психофізіологічного стану людини на дію екологічно несприятливих факторів середовища є показник швидкості переробки інформації, який визначається за результатами реєстрації концентрації уваги, моторної реакції, прийняття рішень. Встановлена вірогідна часова межа проживання людини (більше 1,5 років), яка відбиває зміни психофізіологічного стану людини. Зниження показника швидкості переробки інформації спостерігається у 56% людей, що проживають на екологічно несприятливих територіях. Критерієм оцінки екологічного стану середовища є зміни величин показника швидкості переробки інформації.

Список літератури

1. *Беспалова С. В.* Визначення порогів чутливості біоіндикаторів на дію екологічно несприятливих факторів середовища / С. В. Беспалова, О. С. Горецький, О. З. Глухов та ін. // Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону. – 2010. – № 1 (10). – С. 9–25.

2. *Вассер С. П.* Водоросли. Справочник / С. П. Вассер, Н. В. Кондратьева, Н. П. Масюк и др. – К.: Наук. думка, 1989. – 608 с.

3. *Баринова С. С.* Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды / С. С. Баринова, Л. А. Медведева, О. В. Анисимова. – Тель-Авив, 2006. – 498 с.

4. Спосіб мікотестування забруднення навколишнього середовища фенолом /

Федотов О. В., Перцевой М.С. Патент 57945 Україна МПК (2011.01), A01G7/00, A01H15/00, Донецький національний університет, № u201009019, заявл. 19.07.2010, опубл. 25.03.2011 // Бюл. № 6.

5. *Буланова-Захваткина Е. М.* Панцирные клещи – орибатиды / Е. М. Буланова-Захваткина. – М.: Высш. шк., 1967. – 254 с.

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

7. *Криволуцкий Д. А*. Морфо-экологические типы панцирных клещей (Acariformes, Oribatei) / Д. А. Криволуцкий // Зоол. журн. – 1965. – Т. 44, вып. 8. – С. 1176–1189.

8. *Панцирные клещи:* морфология, развитие, филогения, экология, методы, исследования, характеристика модельного вида *Nothrus palustris* C. L. Koch, 1839 / [Д. А. Криволуцкий, Ф. Лебрен, М. Кунст и др.] / Под ред. Д. А. Криволуцкого. – М.: Наука, 1995. – 224 с.

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

10. *Без'язична О. З.* Шовковичний шовкопряд як біоіндикатор для визначення залишків інсектицидів у субстратах / О. З. Без'язична, О. З. Злотін, В. О. Головко. – Харків: РВИ «Оригінал», 1997. – 88 с.

11. *Злотін О. З.* Новий тест-об'єкт для біологічної оцінки залишкових кількостей інсектицидів / О. З. Злотін, О. В. Без'язична // Доп. АН України. – 1994. – № 3. – С. 175–177.

12. Патент України на корисну модель № 60667. Спосіб визначення граничних меж чутливості біоіндикатора до дії стресорів / Злотін О. З., Беспалова С. В., Горецький О. С., Маркіна Т. Ю., Маслодудова К. М.; Заявл. 02.12.10, Опубл. 25.06.11. – Бюл. № 12.

13. *Гар К. А*. Методы испытаний токсичности и эффективности инсектицидов / К. А. Гар. – М.: Сельхозиздат, 1963. – 217 с.

14. Химическая защита растений / Г. С. Груздев, В. А. Зинченко, В. А. Калинин, Р. И. Словцов. – М.: Колос, 1980. – 448 с.

15. *Макаренко Н. В.* Основы профессионального психофизиологического отбора / Н. В. Макаренко, Б. А. Пухов, Н. В. Кольченко. – К.: Наук. думка, 1987. – 244 с.

16. *Малхазов О. Р.* Психологія та психофізіологія управління руховою діяльністю / О. Р. Малхазов. – К.: Євролінія, 2002. – 320 с.

17. *Панов В. И.* Введение в экологическую психологию: учеб. пособие / В. И. Панов. – М.: Изд-во МНЭПУ, 2001. – 144 с.

18. *Лялюк Н. М.* Видове різноманіття водоростей планктону ставків м. Донецьк / Н. М. Лялюк, М. Ю. Омельяненко // Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону. – 2010. – № 1 (10). – С. 74–78.

19. *Лялюк Н. М.* Діатомові водорості штучних водойм Донецької області / Н. М. Лялюк // Матер. XIII з'їзду Укр. ботан. тов-ва (Львів, 19-23 вересня 2011 р.). – Львів, 2011. – С. 302.

20. *Лялюк Н. М.* Особливості альгоіндикації в умовах Донбасу / Н. М. Лялюк // Збалансований (сталий) розвиток України – пріоритет національної політики: матер. Всеукр. наук. екол. конф. (Київ, 26 жовтня 2010 р.). – К.: Центр екол. освіти та інф., 2010. – С. 206–208.

21. *Лялюк Н. М.* Перспективы использования водорослей для автоматизированной системы контроля качества среды / Н. М. Лялюк // Матер. наук. конф. проф.-викл. складу, наук. співробітників і аспірантів Донецького нац. ун-ту за підсумками наук.-досл. роботи за період 2009-2010 рр. – Донецьк, 2010. – Т. 1. – С. 255.

22. *Лялюк Н. М.* Угруповання водоростей деяких ставків Донецької області / Н. М. Лялюк // Ботаніка та мікологія: проблеми та перспективи на 2011-2020 роки: матер. Всеукр. наук. конф. (Київ, 6-8 квітня 2011 р.) / Під ред. І. О. Дудки, С. Я. Кондратюка. – К.: Ін-т ботаніки ім. М. Г. Холодного, 2011. – С. 196–197.

23. *Омельяненко М. Ю.* Особливості складу та кількісного розвитку фітопланктону малих річок Північного Приазов'я / М. Ю. Омельяненко, Н. М. Лялюк // Наук. зап.

Тернопільського нац. ун-ту ім. В. Гнатюка. Сер. Біол., спецвип. Гідроекологія. – 2010. – № 2 (43). – С. 380–383.

24. *Гродзинська Г. А.* Макроміцети – біоіндикатори забруднення радіоцезієм лісових екосистем України / Г. А. Гродзинська, С. О. Сирчин, М. Д. Кучма, В. В. Коніщук // Вісник НАН України. – 2008. – № 9. – С. 26–37.

25. *Дудка І. О.* Мікологічний моніторинг як засіб оцінки і прогнозування фітосанітарного стану лісових екосистем / І. О. Дудка, Т. О. Мережко, В. П. Гайова // Укр. ботан. журн. – 1994. – Т. 51, № 6. – С. 53–59.

26. *Марфенина О. Е.* Антропогенная экология почвенных грибов / О. Е. Марфенина. – М.: Медицина для всех, 2005. – 196 с.

27. Спосіб визначення стресового стану базидіоміцетів та екологічного стану місця їх зростання за вмістом продуктів перекисного окиснення ліпідів / Федотов О. В. Патент 12384 Україна МПК A01G 7/00, C30B 28/00, C04B 35/00, A01H 3/00, Донецький національний університет, № u200504732; заявл. 20.05.2005; опубл. 15.02.2006. // Бюл. № 2.

28. *Бойко М. Ф.* Анализ бриофлоры степной зоны Европы / М. Ф. Бойко. − К.: Фитосоциоцентр, 1999. − 180 с.

29. *Глухов О. З.* Бріоіндикація техногенного забруднення навколишнього середовища південного сходу України / О. З. Глухов, О. В. Машталер. – Донецьк: Вебер, 2007. – 156 с.

30. *Бойко М. Ф.* Характеристика мохоподібних як індикаторів стану навколишнього середовища / М. Ф. Бойко // Чорноморський ботан. журн. – 2010. – Т. 6, № 1. – С. 35–40.

31. *Бойко М. Ф.* Про синузії мохоподібних / М. Ф. Бойко // Укр. ботан. журн. – 1978. – Т. 35, № 1. – С. 87–92.

32. Спосіб визначення комбінованого ефекту промислового забруднення на рослини / Беспалова С. В., Глухов О. З., Горецький О. С., Сафонов А. І. Патент 61105 UA, МПК A01G7/00. – Патент на корисну модель № u 201014613; Заявл. 06.12.10, Опубл. 11.07.11. – Бюл. № 13.

33. Спосіб визначення порога чутливості рослин до стресових умов / Беспалова С. В., Глухов О. З., Горецький О. С., Сафонов А. І. Патент 61950 UA, МПК A01G7/00. – Патент на корисну модель № u 201014543; Заявл. 06.12.10, Опубл. 10.08.11. – Бюл. № 15.

Беспалова С. В., Горецкий О. С., Глухов А. З., Злотин А. З., Максимович В. А., Говта Н. В., Лялюк Н. М., Маркина Т. Ю., Маслодудова Е. Н., Машталер А. В., Сафонов А. И., Федотов О. В., Штирц А. Д. **Критерии оценки экологического состояния среды по порогам чувствительности биоиндикаторов.** – Впервые определены характеристики пороговой чувствительности биоиндикаторов (водорослей, грибов, мохообразных, цветковых растений, клещей, насекомых и человека) на действие экологически неблагоприятных факторов среды, по которым разработаны критерии оценки экологического состояния окружающей среды. Подготовлены материалы для формирования базы данных порогов чувствительности соответствующих биоиндикаторов на действие экологически неблагоприятных факторов среды.

Ключевые слова: критерии оценки, пороги чувствительности, биоиндикация, экологическое состояние среды.

Bespalova S. V., Goretsky O. S., Glukhov A. Z., Zlotin A. Z., Maksimovich V. A., Govta N. V., Ljaljuk N. M., Markina T. Yu., Maslodudova E. N., Mashtaler A. V., Safonov A. I., Fedotov O. V., Shtirts A. D. **The criteria of assessment of ecological state of environment on thresholds of sensitivity of bioindicators.** – Characteristics of thresholds of sensitivity of bioindicators (algae, fungi, bryophytes, flowering plants, oribatid mites, insects and man) to ecologically unfavourable environmental factors have been identified for the first time. Criteria of assessment of ecological state of the environment have been elaborated. Materials for database on thresholds of sensitivity of corresponding bioindicators detecting ecologically unfavourable environmental factors have been prepared.

Key words: criteria of assessment, thresholds of sensitivity, bioindication, ecological state of the environment.

ФЛОРА, ЕКОЛОГІЯ Й ОХОРОНА РОСЛИННОГО СВІТУ
ФЛОРА, ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА
FLORA, ECOLOGY AND PROTECTION OF THE PLANT KINGDOM

УДК 502.7 : 581.5 : 581.9 (477.60)

© О. З. Глухов, Г. І. Хархота, С. І. Прохорова, І. В. Агурова

ПОШИРЕННЯ РІДКІСНИХ СУДИННИХ РОСЛИН У ТЕХНОГЕННО ТРАНСФОРМОВАНИХ ЕКОСИСТЕМАХ ПІВДЕННОГО СХОДУ УКРАЇНИ

Донецький ботанічний сад НАН України; 83059, м. Донецьк, пр. Ілліча, 110
e-mail: donetsk-sad@mail.ru, s.prokh@mail.ru

Глухов О. З., Хархота Г. І., Прохорова С. І., Агурова І. В. **Поширення рідкісних судинних рослин у техногенно трансформованих екосистемах південного сходу України. –** Наведено коротку характеристику рідкісних видів рослин та їхніх місцезростань у техногенно трансформованих екосистемах на південному сході України.

Ключові слова: рідкісні рослини, техногенні екосистеми, місцезростання, південний схід України.

Вступ

Глобальним наслідком антропогенної діяльності є зниження видового багатства рослинного компоненту екосистем і різноманітності рослинних угруповань, що призводить до зменшення стійкості рослинності і первинної біологічної продуктивності біосфери, до зменшення потенційної можливості використання рослинних ресурсів Землі. У зв'язку з цим головним завданням всього людства є відновлення та збереження одного з суттєвих компонентів біорізноманітності – фіторізноманітності.

Виявлення та збереження зникаючих видів флори посідає важливе місце в комплексі заходів щодо раціонального використання й охорони рослинного світу [16]. Природоохоронні пріоритети останніми роками щоразу більше переорієнтовують з видової охорони [9, 11] на користь оселищної концепції збереження фіторізноманітності [10]. Відповідно до цього підходу головним чинником зниження чисельності та вимирання популяцій вразливих видів рослин є порушення їхніх місцезростань чи оселищ, тобто ділянок, де поєднано ресурси й умови довкілля, що сприяє заселенню таких ділянок особинами даного виду (чи його популяції) і дає змогу цим особинам виживати і розмножуватись.

Більшість рідкісних рослин є стенотопними, а під їхньою охороною мається на увазі охорона того місцезростання (оселища) та угруповання, до якого вони приурочені. Разом з тим невелика кількість рідкісних рослин є евритопними, високоактивними, вони зростають у різних природних зонах та рослинних угрупованнях, інколи займаючи порушені місцезростання (стежки, узбіччя доріг тощо), та проявляють тенденцію до розширення свого ареалу, маючи широку екологічну амплітуду [12, 25].

Останнім часом в різних країнах світу збільшується кількість публікацій стосовно знахідок рідкісних рослин у порушених людиною типах місцезростань. Відмічається, що рідкісні види та види, що охороняються, наприклад, види р. *Valeriana*, деякі рідкісні орхідні тощо часто знаходять притулок на територіях міст (в парках, на ділянках природної рослинності), оголеннях різних порід [1, 2, 4, 5, 14, 15, 21, 23, 24]. В умовах такого промислово розвиненого регіону, як південний схід України рідкісні та ендемічні види рослин неодноразово відмічалися нами в техногенних неоедафотопах [17-20].

Виходячи з цього, поведінка рідкісних видів рослин вкладається в теорію відтиснення реліктів, згідно з якою поняття релікту й заселення ним порушених екотопів не тільки не є несумісними (взаємовиключними), але навіть доповнюють одне одного. Популяції реліктових видів розглядаються як динамічні системи: при наявності придатних абіотичних факторів та при відсутності конкуренції з боку інших видів вони здатні збільшувати свою чисельність та розширювати ареал, тобто виявляють процвітаючу та навіть експансивну активність [6].

Ступінь стійкості (або антропотолерантність) рідкісних та зникаючих рослин розраховують за коефіцієнтом гемеробії, а також оцінюють за життєвими формами та типами стратегії. Ряд авторів відмічає, що деякі високоантропотолернтні рідкісні види рослин мають на антропогенних територіях популяції із значно більшою кількістю особин, ніж у природних біотопах, та інколи навіть повністю переходять на антропогенні місцезростання [3, 7, 15].

Вивчення поширення рідкісних видів у різних місцезростаннях в межах регіону з погляду фітосозології є необхідним для визначення категорій раритетності видів, встановлення можливості та пріоритетності їхньої охорони та підвищення її ефективності.

Мета досліджень – виявити особливості поширення рідкісних видів рослин в місцезростаннях техногенно порушених екосистем на південному сході України. Основні завдання досліджень: інвентаризація видового складу рідкісних видів рослин в різних типах місцезростань та його аналіз за систематичною та біоморфологічною структурами.

Матеріали і методи дослідження

Досліджували рідкісні види рослин у місцезростаннях техногенно трансформованих екосистем південного сходу України, таких як:

- урбанізовані (внутрішньоміські зелені насадження загального користування: парки, сквери, пустирі; рудеральні ділянки; ділянки напівприродної рослинності);
- транспортні (автодороги, залізниці);
- території промислових підприємств;
- техногенні новоутворення: породні відвали вугільних шахт; відвали розкривних порід із видобування мергелю, глини, кар'єрно-відвальні комплекси гірничорудних розробок.

Біоморфологічну паспортизацію рідкісних видів рослин здійснювали за власними натурними спостереженнями з використанням даних літературних джерел [22]. Назви видів рослин наведено за сучасними номенклатурними зведеннями [13]. Созологічний (охоронний) статус видів позначали таким чином: «B» – вид охороняється згідно з Бернською конвенцією, «W» – вид, занесений до Червоного списку МСОП; «E» – вид, занесений до Європейського Червоного переліку; «U» – вид, занесений до Червоної книги України (2009 р.); «D» і «L» – види, занесені до переліків рослин, що охороняються згідно з рішеннями Донецької і Луганської обласних рад.

Результати дослідження

На сьогодні відмічено 36 видів созофітів, тобто рідкісних видів рослин різних охоронних категорій, в оселищах техногенних екосистем. З них 5 видів належать до родини Ranunculaceae; до родин Fabaceae, Hyacinthaceae – 4 види; до родини Liliaceae – 3 види; до родин Fumariaceae, Iridaceae, Lamiaceae, Caryophyllaceae, Poaceae – по 2 види; до родин Rosaceae, Araceae, Veronicaceae, Convallariaceae, Brassicaceae, Asteraceae, Boraginaceae, Paeoniaceae, Solanaceae, Crassulaceae – по 1 виду рослин.

Складні взаємовідношення виду та умов середовища знаходять своє відображення в життєвій формі рослин. Тому для визначення характерних рис раритетної флори антропогенно трансформованих територій необхідно на основі всебічного аналізу з'ясувати тип життєвих форм видів, що утворюють дану флору. За життєвою формою серед знайдених рослин переважають багаторічники – 27 видів; кущі – 2; напівкущики – 2; кущики – 1; однорічники – 2; дворічники – 2 (табл. 1).

Нижче наводимо коротку характеристику созофітів та їхніх оселищ у техногенно трансформованих екосистемах на південному сході України.

Amygdalus nana L. – мигдаль низький. Родина Розові – Rosaceae. Природно зростає в степових ценозах на верхівках та схилах пагорбів річкових долин, узліссях байрачних дібров. Кущ. Зустрічається у підніжжя відвалів вугільних, на відвалах флюсово-доломітних розробок. D.

Таблиця 1

Рідкісні види рослин в оселищах техногенно порушених екосистем південного сходу України

Життєва форма	Техногенно порушені території			
	урбанізовані	транспортні	промислових підприємств	техногенні новоутворення
Кущі	1/2,78*	0	0	1/2,78
Напівкущики	0	0	0	2/5,56
Кущики	1/2,78	0	0	0
Однорічні трави	0	0	0	2/5,56
Дворічні трави	2/5,56	0	0	0
Багаторічні трави	19/52,78	1/2,78	1/2,78	6/6,67

Примітка. * – кількість видів / відсоток від загальної кількості видів.

Anemone sylvestris L. – ветеринка лісова. Родина Жовтецеві – Ranunculaceae. Зростає в лісах, узліссях, степах. Трав'янистий багаторічник. Поширений в урбаноекотопах, утворює стійкі популяції. DL.

Arum elongatum Steven – арум видовжений. Родина Ароїдні – Araceae. Зростає в байрачних дібровах. Трав'янистий багаторічник. Поширений в урбаноекотопах. DL.

Astragalus pubiflorus DC. – астрагал пухнастоквітковий. Родина Бобові – Fabaceae. Зростає в степах. Напівкущик. Знайдено в урбаноекотопах, техногенних новоутвореннях (відвали розкривних порід). DL.

Calophaca wolgarica (L.f.) DC. – калофака волзька. Родина Бобові – Fabaceae. Зростає на кам'янистих відслоненнях, крейдяних схилах. Кущ. Знайдено в урбанізованих екотопах (напівприродні ділянки). EUDL.

Caragana scythica (Kom.) Pojark. – карагана скіфська. Родина Бобові – Fabaceae. Зростає на еродованих схилах та скелетних ґрунтах на відслоненнях кам'янистих порід, нерідко – на звичайних чорноземах та каштанових ґрунтах, що сформувалися на карбонатних лесах. Кущик. Знайдено в урбанізованих екотопах (напівприродні ділянки). DL.

Chaenorhinum klokovii Kotov – хенорінум Клокова. Родина Веронікові – Veronicaceae. Зростає на крейдяних відслоненнях. Однорічник. Знайдено на відвалах флюсодоломітних розробок (смт. Новотроїцьке), де він самовідновлюється протягом понад 30 років. D.

Chrysocyathus wolgensis (Steven) Holub. – жовтоцвіт волзький. Родина Жовтецеві – Ranunculaceae. Зростає в степах, на степових схилах, узліссях байрачних дібров. Трав'янистий багаторічник. Знайдено на порушених степових ділянках урбаноекосистем. UDL

Convallaria majalis L. – конвалія звичайна. Родина Конвалієві – Convallariaceae. Зростає в широколистяних та змішаних лісах. Трав'янистий багаторічник. Зустрічається в екотопах урбанізованих територій (парки, ділянки біля будинків). D.

Corydalis marschalliana (Pall. ex Willd.) Pers. – ряст Маршалла. Родина Руткові – Fumariaceae. Зростає в лісах. Трав'янистий багаторічник. Знайдено в урбанізованих екотопах (парки, напівприродні ділянки). D.

Corydalis solida (L.) Clairv. – ряст щільний. Родина Руткові – Fumariaceae. Зростає в лісах. Трав'янистий багаторічник. Знайдено в урбанізованих екотопах (парки, напівприродні ділянки). D.

Crambe tatarica Sebeok – катран татарський. Родина Капустяні – Brassicaceae. Зростає у степах, крейдяних відслоненнях. Трав'янистий багаторічник. Поширений на відвалах вугільних шахт Донецька та Макіївки. D.

Crocus reticulatus Steven ex Adams – шафран сітчастий. Родина Півникові – Iridaceae. Зростає в дібровах, степах, узліссях, галявинах. Трав'янистий багаторічник. Поширений на урбанізованих територіях (парки). D.

Delphinium sergii Wissjul. – дельфініій Сергія. Родина Жовтецеві – Ranunculaceae. Зростає на узліссях, розріджених байрачних дібровах, вапнякових схилах. Трав'янистий багаторічник. Поширений в урбаноекотопах Донецька. UD.

Fritillaria ruthenica Wikstr. – рябчик руський. Родина Лілійні – Liliaceae. Зростає на узліссях, в заплавних і байрачних лісах. Трав'янистий багаторічник. Знайдено в Донецьку в урбаноекотопах.UDL.

Hedysarum grandiflorum Pall. – слодушка великоквіткова. Родина Бобові – Fabaceae. Зростає на вапнякових та крейдяних відслоненнях. Трав'янистий багаторічник. Знайдено в Донецьку в урбаноекотопах, на техногенних новоутвореннях (Амвросіївський кар'єр з видобування мергелю). DL.

Hyacinthella pallasiana (Steven) Losinsk. – гіацинтик Палласів. Родина Гіацинтові – Hyacinthaceae. Зростає на кам'янистих степах, глинистих та вапнякових схилах. Трав'янистий багаторічник. Знайдено в Донецьку в урбаноекотопах (напівприродні ділянки), на відвалах розкривних порід. WUDL.

Hyssopus cretaceus Dubjan – гісоп крейдяний. Родина Губоцвіті – Lamiaceae. Зростає на крейдяних схилах. Напівкущик. Знайдено на території кар'єрно-відвальних комплексів. D.

Inula helenium L. – оман високий. Родина Астрові – Asteraceae. Зростає на узліссях, луках, по берегах річок, вогких місцях. Трав'янистий багаторічник. Знайдено на урбанізованих територіях (парки, двори, рудеральні ділянки). DL.

Iris halophila Pall. – півники солончакові. Родина Півникові – Iridaceae. Зростає в степах, степових схилах, засолених луках. Трав'янистий багаторічник. Знайдено в Донецьку в урбаноекотопах. DL.

Myosotis pineticola Klokov et Des.-Shost. – незабудка борова. Родина Огірочникові – Boraginaceae. Зростає на борових пісках, болотах, знижених місцях. Однорічник. Знайдено на проммайданчиках та на територіях транспортних шляхів м. Донецька. D.

Muscari neglectum Guss. – гадюча цибулька занедбана. Родина Гіацинтові – Hyacinthaceae. Зростає в степах, трав'янистих схилах. Трав'янистий багаторічник. Знайдено в урбаноекотопах Донецька, на відвалах вугільних шахт. DL.

Ornithogalum fischerianum Krasch. – рястка Фішера. Родина Гіацинтові – Hyacinthaceae. Зростає на степових схилах, гранітних відслоненнях. Трав'янистий багаторічник. Знайдено на проммайданчиках та територіях транспортних шляхів м. Донецька. D.

Ornithogalum boucheanum (Kunth) Asch. – рястка Буша. Родина Гіацинтові – Hyacinthaceae. Зростає в байрачних та заплавних лісах, луках. Трав'янистий багаторічник. Знайдено в урбаноекотопах Донецька. UD.

Otites donetzika (Kleopow) Klokov. – вуханка Донецька. Родина Гвоздикові – Caryophyllaceae. Зростає на узліссях, карбонатних відслоненнях. Дворічник. Знайдено в Донецьку в урбаноекотопах. DL.

Otites hellmannii (Claus) Klokov – вуханка Гельмана. Родина Гвоздикові – Caryophyllaceae. Зростає на глинистих та кам'янистих відслоненнях різних порід. Дворічник. Знайдено в Донецьку в урбаноекотопах. EDL.

Paeonia tenuifolia L. – півонія тонколиста. Родина Півонієві – Paeoniaceae. Зростає в степах, степових схилах, плакорних ділянках, галявинах, узліссях байрачних дібров. Трав'янистий багаторічник. Поширений в урбаноекотопах, на узбіччях автодоріг. BUD.

Physalis alkekengi L. – фізаліс звичайний. Родина Пасльонові – Solanaceae. Зростає в лісах, узліссях. Трав'янистий багаторічник. Знайдено в урбаноекотопах, на проммайданчиках та територіях транспортних шляхів. D.

Pulsatilla bohemica (Scalycky) Tzvelev. – сон богемський. Родина Жовтецеві – Ranunculaceae. Зростає на кам'янистих та піщаних степах, узліссях. Трав'янистий багаторічник. Знайдено в напівприродних екотопах. UD.

Ranunculus auricomus L. – жовтець золотистий. Родина Жовтецеві – Ranunculaceae. Зростає в лісах, узліссях та заплавних луках. Трав'янистий багаторічник. Знайдено в Донецьку в урбаноекотопах. DL.

Salvia stepposa Des.-Shost. – шавлія степова. Родина Губоцвіті – Lamiaceae. Трав'янистий багаторічник. Знайдено на відвалах вугільних шахт. D.

Sempervivum ruthenicum Schnittsp. et C.B. Lehm. – молодило руське. Родина Товстянкові – Crassulaceae. Зростає на піщаних і кам'янистих місцях, скелях. Трав'янистий багаторічник. Знайдено на відвалах вугільних шахт. D.

Stipa capillata L. – ковила волосиста. Родина Злакові – Poaceae. Зростає в степах, узліссях. Трав'янистий багаторічник. Знайдено на відвалах вугільних шахт та флюсодоломітних розробок. UD.

Stipa lessingiana Trin. Et Rupr. – ковила Лессінга. Родина Злакові – Poaceae. Зростає на схилах річкових долин, балок, відслоненнях кам'янистих порід. Трав'янистий багаторічник. Знайдено на відвалах вугільних шахт Донецька. UD.

Tulipa ophyophylla Klokov et Zoz – тюльпан змієлистий. Родина Лілійні – Liliaceae. Зростає на кам'янистих степах, відслоненнях пісковиків, сланців, крейди, мергелю, вапняку. Трав'янистий багаторічник. Знайдено в Донецьку в урбаноекотопах. D.

Tulipa quercetorum Klokov et Zoz – тюльпан дібровний. Родина Лілійні – Liliaceae. Зростає в заплавних дібровах, байрачних лісах. Трав'янистий багаторічник. Знайдено в Донецьку в урбаноекотопах.UDL.

Найбільша кількість рідкісних рослин (26 видів) зустрічається в урбанізованих екотопах. Далі, в порядку зменшення кількості видів, йдуть техногенні новоутворення (13 видів) → транспортні шляхи (4 види) → проммайданчики (3 види).

На особливу увагу заслуговують так звані граничні угруповання, що виникають на межі природного та урбанізованого середовища, – урбаноекотони [8]. Так, наприклад, при дослідженні екотону «місто – ліс» у Брюсселі відмічено підвищення багатства раритетних видів порівняно із кількістю їх у самому лісі [23].

В умовах південного сходу України зменшення площ природних ценозів в результаті діяльності людини приводить до збільшення кількості рідкісних та зникаючих рослин. Ті з них, які володіють широкою екологічною амплітудою, є пластичними та достатньо антропотолерантними, знаходять відповідність своїм вимогам у різних типах техногенно трансформованих екосистем. Починаючи з екотонів, що межують з їхніми природними місцезростаннями, рідкісні рослини поступово поширюються вздовж транспортних шляхів, проникаючи на урбанізовані території, промислові підприємства тощо. Техногенні новоутворення, де повністю відсутня конкуренція з боку інших видів, є взагалі «ареною» для подальшого розповсюдження рідкісних рослин, які в природі приурочені до зростання на схилах, різних типах відслонень, оголеннях. Наприклад, ті види, які в природі зростають на кам’янистих відслоненнях, в техногенному середовищі знаходять фітоекологічну відповідність в оселищах кар’єрно-відвальних комплексів з видобування мергелю, вапна й крейди – *Hyssopus cretaceus*, *Matthiola fragrans*, флюсово-доломітних розробок – *Chaenorhinum klokovii*, *Ephedra distachya*, на відвалах вугільних шахт – *Calophaca wolgarica*, *Amygdalus nana*, *Sempervivum ruthenicum* тощо. В урбанізованих екотопах із сильним затіненням, підвищеною вологістю ґрунту (парки, сквери, ділянки біля ставків) відповідність до існування та формування популяцій знаходять рідкісні рослини, що в природі зростають у лісах, дібровах, на узліссях, луках, по берегах річок, вогких місцях: *Physalis alkekengi*, *Inula helenium*, *Fritillaria ruthenica*, *Corydalis solida*, *C. marschalliana*. В оселищах інших техногенних екосистем (проммайданчики, транспортні шляхи) досить широко розповсюджені *Salvia stepposa*, *Ornithogalum fischerianum*, *Paeonia tenuifolia*, *Myosotis pineticola* та ін. Вказані види є стійкими в умовах техногенно трансформованого середовища. Щорічно цвітуть та плодоносять такі види, як *Crocus reticulatus*, *Hyacinthella pallasiana*, *Tulipa ophyophylla*, *T. quercetorum*, а *Crambe tatarica*, *Convallaria majalis*, *Muscari neglectum* дають масовий самосів.

У розповсюдженні созофітів, які мають виражений декоративний ефект, наприклад: *Chrysocyanthus wolgensis*, *Inula helenium*, *Salvia stepposa*, *Fritillaria ruthenica* та ін., на урбанізовані території важливу роль відіграє стихійна, аматорська, інтродукція, тобто неконтрольований переніс рідкісних рослин із природних місцезростань у приватні квітники. Ці види доцільно використовувати в озелененні населених пунктів шляхом створення декоративно-пізнавальних куточків природної флори з метою знайомства населення з раритетними видами рослин задля активізації процесу їхньої охорони.

Висновки

У техногенних екосистемах знаходить відповідні оселища, своєрідні резервати досить велика кількість созофітів, багато з яких активно розмножуються, формують популяції в цих умовах, підвищуючи, таким чином, видове багатство флори техногенних екотопів. З іншого боку, такі спонтанні осередки созофітів на порушених землях (відвали різних типів, смуги відводу автошляхів, залізниць, урбанотериторії) можуть слугувати як «коридори» для зв'язку між «ядрами» природної рослинності у формуванні регіональної екологічної мережі південного сходу України. З огляду на зазначене мають актуальність подальші дослідження особливостей популяційної структури, морфологічної мінливості, адаптивних реакцій та стратегії созофітів в умовах техногенних екосистем.

Список літератури

1. *Аркушина Г. Ф.* Раритетні судинні рослини в урбанофлорі Кіровограда / Г. Ф. Аркушина, О.М. Попова // Вісник Одеськ. нац. ун-ту. – 2002. – Т. 7, вип. 1. – С. 27–30.

2. *Барышникова Н. И.* Редкие виды рода *Valeriana* в Республике Башкорстан / Н. И. Барышникова // Проблемы Красных книг регионов России: матер. междунар. межрегион. науч.-практ. конф. (г. Пермь, Россия, 30 ноября – 1 декабря 2006 г.). – Пермь, 2006. – С. 128–129.

3. *Березуцкий М. А.* Толерантность сосудистых растений к антропогенным местообитаниям (на примере флоры окрестностей г. Саратова) / М. А. Березуцкий // Ботан. журн. – 1998. – Т. 83, № 9. – С. 77–83.

4. *Вахрамеева М. Г.* Виды евроазиатских наземных орхидных в условиях антропогенного воздействия и некоторые проблемы их охраны / М. Г. Вахрамеева, Т. И. Варлыгина, И. В. Татаренко и др. // Бюл. МОИП. Отд. биол. – 1997. – Т. 102, вып. 4. – С. 35–43.

5. *Горбачев Б. Н.* К флоре мергелистых обнажений Ворошиловградской области / Б. Н. Горбачев, А. И. Луценко, Т. И. Абрамова // Бюл. МОИП. Отд. биол. – 1981. – Т. 86, вып. 3. – С. 106–116.

6. *Дидух Я. П.* Эколого-ценотические особенности поведения некоторых реликтовых и рідких видов в свете теории оттеснения реликтов / Я. П. Дидух // Ботан. журн. – 1988. – Т. 73, № 12. – С. 1686–1698.

7. *Заугольнова Л. Б.* Типы функционирования популяций редких видов растений / Л. Б. Заугольнова, С. В. Никитина, Л. В. Денисова // Бюл. МОИП. Отд. биол. – 1992. – Т. 97, вып. 3. – С. 80–91.

8. *Ильминских Н. Г.* Флорогенез в условиях урбанизированной среды (на примере городов Вятско-Камского края): автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.05 / Н. Г. Ильминских. – СПб., 1993. – 36 с.

9. *Ишбирдин А. Р.* Некоторые направления и итоги исследований редких видов флоры Республики Башкортостан / А. Р. Ишбирдин, М. М. Ишмуратова // Вестн. Удмурт. ун-та. Биол. Науки о земле. – 2009. – Вып. 1. – С. 59–72.

10. *Кобів Ю. Й.* Екологічні особливості оселищ рідкісних видів рослин Українських Карпат / Ю. Й. Кобів // Укр. ботан. журн. – 2010. – Т. 67, № 3. – С. 355–372.

11. *Кондратюк Є. М.* Охорона рослин на південному сході України / Є. М. Кондратюк, Р. І. Бурда // Укр. ботан. журн. – 1987. – Т. 44, № 5. – С. 85–89.

12. *Королева Н. Е.* Растительность Мурманской области как компонент биоразнообразия / Н. Е. Королева // Вестник МГТУ. – 2009. – Т. 12, № 1. – С. 153–166.

13. *Остапко В. М.* Сосудистые растения юго-востока Украины / В. М. Остапко, А. В. Бойко, С. Л. Мосякин. – Донецк: Изд-во «Ноулидж», 2010. – 247 с.

14. *Пушай Е. С.* Новые данные о распространении орхидных в Тверской области / Е. С. Пушай, С. М. Дементьева, И. В. Рождественская // Ботанические исследования в Тверском регионе. – Тверь: Изд-во ГЕРС, 2003. – Вып. 1. – С. 45–47.

15. *Суюндуков И. В.* Устойчивость некоторых видов семейства *Orchidaceae* к антропогенным воздействиям на южном Урале / И. В. Суюндуков // Изв. Самарского науч. центра РАН. – 2011. – Т. 13, № 5 (3). – С. 108–112.

16. *Сытник К. М.* Актуальные задачи охраны биосферы и ее важнейшего компонента растительного мира / К. М. Сытник, С. М. Стойко // Охрана важнейших ботанических объектов Украины, Белоруссии, Молдавии. – К.: Наук. думка, 1980. – С. 11–21.

17. *Хархота А. И.* Современные тенденции в развитии растительности Донбасса и необходимость ее охраны / А. И. Хархота // Растения и промышленная среда: матер. III науч. конф. – К.: Наук. думка, 1976. – С. 26–28.

18. *Хархота Г. І.* «Червона книга України» і проблеми охорони видів рослин та грибів / Г. І. Хархота // Укр. ботан. журн. – 1992. – Т. 49, № 6. – С. 88–89.

19. *Хархота Г. І.* Поширення рідкісних та цікавих рослин в техногенних екосистемах Донбасу / Г. І. Хархота // Досягнення ботанічної науки на Україні 1974–1975 рр. – К.: Наук. думка, 1977. – С. 223–224.

20. *Хархота Г. І.* Созофіти в техногенних екосистемах південного сходу України / Г. І. Хархота, С. І. Прохорова, І. В. Агурова // Відновлення порушених природних екосистем: матер. IV міжнар. наук. конф. (Донецьк, 18–21 жовтня 2011 р.). – Донецьк, 2011. – С. 381–383.

21. *Хмелев К. Ф.* Состояние и тенденции развития флоры антропогенно-трансформированных экосистем / К. Ф. Хмелев, М. А. Березуцкий // Журн. общ. биол. – 2001. – Т. 62, № 4. – С. 339–351.

22. *Червона* книга Донецької області: рослинний світ (рослини, що підлягають охороні в Донецькій області) / Під заг. ред. В. М. Остапка. – Донецьк: Новая печать, 2010. – 432 с.

23. *Godefroid S.* Distribution pattern of the flora in a peri-urban forest: an effect of the city-forest ecotone / S. Godefroid, N. Koedram // Landscape and Urban Planning. – 2003. – № 65. – P.169–183.

24. *Lippe M.* Do cities export biodiversity? Traffic as dispersal vector across urban-rural gradients / M. Lippe, I. Kowarik // Diversity and Distributions. – 2008. – № 14. – P. 18–25.

25. *Nowak A.* Anthropogenic habitats can shelter threatened plants / A. Nowak, S. Nowak // Nature conservation. P. 3. – Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2006. – P. 107–115.

Глухов А. З., Хархота А. И., Прохорова С. И., Агурова И. В. **Распространение редких сосудистых растений в техногенно трансформированных экосистемах юго-востока Украины.** – Приведены краткие характеристики редких видов растений и их местообитаний в техногенно трансформированных экосистемах юго-востока Украины.

Ключевые слова: редкие растения, техногенные экосистемы, местообитания, юго-восток Украины.

Glukhov O. Z., Kharkhota G. I., Prokhorova S. I., Agurova I. V. **Spreading of rare vascular plants in technogenically transformed ecosystems in the south-east of Ukraine.** – The article presents a brief description of rare plant species and their habitat in technogenically transformed ecosystems in the south-east of Ukraine.

Key words: rare plants, technogenic ecosystems, habitats, south-east of Ukraine.

УДК 613.5

© А. З. Глухов, И. И. Стрельников

ФИТОНЦИДНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И МОРФОМЕТРИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВИДОВ РОДА *FICUS* L.

Донецкий ботанический сад НАН Украины; 83059, г. Донецк, пр. Ильича, 110
e-mail: ivanstrel87@gmail.com

Глухов А. З., Стрельников И. И. **Фитонцидная эффективность и морфометрическая изменчивость видов рода *Ficus* L.** – Оценена фитонцидная активность восьми видов *Ficus* spp., а также установлена зависимость биометрических показателей листовых пластинок и особенностей распределения устьиц от условий освещенности. В результате исследований установлено, что виды с наивысшей фитонцидностью обладают большей пластичностью морфометрических показателей.

Ключевые слова: род *Ficus* L., фитонцидность, биометрия, экологическая пластичность.

Введение

В настоящее время научно-технический прогресс оказывает значительное влияние на жизнедеятельность человека. Микроэкологические условия помещений: химический состав воздушной среды, влажность, температурный режим, химическое и микробное загрязнение воздуха воздействуют на здоровье человека. В условиях возрастающего антропогенного прессинга проблемы охраны и оптимизации окружающей среды становятся все более актуальными, так как распространение промышленного производства и нарушение функционального пространства человека ухудшают условия его существования в природной среде.

На сегодняшний день имеется достаточное количество технологических методов очистки закрытого воздушного пространства: вентиляция, кондиционирование, использование воздухоочистителей. Наука и практика показывают, что проблему охраны и оздоровления среды, окружающей человека, следует решать в первую очередь на основе и с помощью биологических систем [10]. В настоящий момент наиболее природным и экологически чистым является метод биологического оздоровления воздушной среды помещений с помощью растений с выраженными газопоглотительными и фитонцидными функциями и свойствами [3, 8].

Несмотря на большое количество работ, связанных с изучением растений закрытого грунта, многие таксоны флоры тропиков и субтропиков остаются малоизученными с позиции их санирующего эффекта на воздушную среду. Именно поэтому наиболее актуальными становятся вопросы поиска перспективных видов и разработка рекомендаций относительно оптимизации жизненного пространства с их помощью [9]. Кроме санирующей эффективности следует учитывать и такие качества растений, которые являются первичными условиями при внедрении растений в практику фитодизайна, – высокую декоративность, стойкость к негативным микроклиматическим условиям и отсутствие требовательности к технике выращивания [2, 3].

Объектами исследования стали виды рода *Ficus*, по отношению к которым имелись предварительные сведения о наличии у них выраженных фитонцидной и газопоглотительной способностей [5, 11, 12, 14]. К роду *Ficus* относятся более 800 видов, но до последнего времени в озеленении интерьеров активно использовалось только 5 видов [2]. На наш взгляд, в литературе недостаточно освещены вопросы, касающиеся использования фикусов как видов обладающих выраженными фитонцидными свойствами. Также отсутствуют конкретные рекомендации по применению фикусов в фитодизайне.

В представленной работе исследовалась зависимость между экоморфологическими показателями и фитонцидной эффективностью представителей рода *Ficus.*

Материалы и методы исследования

Работа начата в летний период 2010 г. Для проведения первого этапа работы нами были отобраны 8 видов фикусов, один из которых представлен 2 культиварами: *Ficus benjamina*

(Linnaeus, 1767), *F. binnendijkii* (Miquel, 1867) cv. Amstel King, *F. binnendijkii* Miq. cv. Ali, *F. elastica* (Roxburgh, 1819), *F. erecta* (Thuberg, 1791), *F. laurifolia* (Lamarck, 1788), *F. lucida* (Aiton, 1789), *F. retusa* (Linnaeus, 1767), *F. rubiginosa* (Desfontaines, 1803). Отобранные виды проявили высокую пластичность по отношению к неблагоприятным факторам во время выращивания.

В своей работе мы основывались на положении о том, что адаптационные амплитуды вида формируются в процессе филогенеза и являются комплексом приспособлений к экологическим условиям территорий естественного произрастания [6]. В связи с этим мы отобрали характерные виды, представляющие основные ботанико-географические районы Земли, в которых встречаются представители данного рода. Исходя из этого, можно предположить, что изучаемые нами растения обладают различными адаптационными потенциалами и могут в высокой степени характеризовать весь род *Ficus* L.

Отбор проб листьев проводили по общепринятым методикам из участков кроны с максимальным и минимальным освещением. Во всех случаях отбирали только здоровые, полностью сформировавшиеся листья. В зависимости от исследуемого вида с одной ветви отбирали два или три листа. Для достижения однородности выборки для каждого вида листья отбирали с одинаковых по счету узлов от апекса ветви [1]. Суммарный размер одной пробы колебался в соответствии с количеством материала необходимого для последующих анализов.

Интенсивность освещения измеряли с помощью люксметра непосредственно вблизи места отбора пробы растительного материала. Измерения производились в середине июля и января в 12.00 в безоблачный день. Для расчета средних уровней освещенности пользовались данными многолетних наблюдений оранжерейного комплекса ДБС НАН Украины. Световыми листьями считали те, освещенность которых составляла в среднем 1,1 клк и которые не находились в существенном затенении на протяжении светового дня. Показатель освещенности теневых листьев составлял 0,3 клк, и они, напротив, находились преимущественно в затенении от других растений или элементов конструкции оранжерей. Для повышения однородности выборки листья отбирались только с тех ветвей, на которых все листья находились приблизительно в одинаковых условиях освещения. Кроме того, пытались не использовать листья из внутренних участков кроны, так как считали, что их развитие протекало в существенно отличающихся условиях температурного режима и влажности.

После сбора листьев измерялись их площадь и линейные размеры. Для осуществления данных измерений нами предложена методика обработки фотографических изображений листьев на персональном компьютере. Для этого каждый лист фотографировали трижды на фоновом объекте с заранее известной площадью (в данном случае фоновым объектом служил лист бумаги стандартного размера А4). После, каждая фотография обрабатывалась с помощью программы «Universal desktop ruler», которая свободно распространяется в сети Internet. Данная программа позволяет измерять линейные и площадные размеры цифрового изображения в пикселях. Для каждого изображения определялись площадь, длина и ширина листовой пластины, а также площадь и линейные размеры фонового объекта. Далее, зная истинные размеры фонового объекта и найдя отношения линейных и площадных размеров листовой пластины и фонового объекта на изображении, определили истинные размеры листовой пластины. Предложенный нами метод является более эргономичным и надежным в сравнении с методом взвешивания рисунков.

Характер поверхности листовых пластинок определяли путем микроскопирования парадермальных срезов [4]. Срезы изготавливались вручную с помощью лезвий опасной бритвы. Количество срезов составило 1-2 с 3-4 листов. Такая повторность была сочтена нами достаточной для установления типа эпидермальных клеток и особенностей устьичного аппарата. Для определения параметров устьичных аппаратов их длины и плотности распределения использовали метод лаковых слепков. Для этого на средней части листа, заключенной между центральной жилкой и краем, наносили мазок бесцветного лака.

Количество анализируемых листьев с одинаковыми условиями освещения для каждого вида составило 5 штук. Слепки снимали с помощью пинцета через 3 часа и монтировали на предметном стекле. Микроскопирование проводили на микроскопе SZM-45T2. Микрофотографии образцов изготовляли при помощи тубусной насадки к микроскопу. Для каждого образца изготавливали три снимка с разных участков слепка. Подсчет количества устьиц на единицу площади и установление их линейных размеров производили в среде пакета прикладных программ AxioVision Rel.4.7, который является базовым программным обеспечением используемого микроскопа. На каждой фотографии размер устьиц измеряли для трех случайно выбранных устьиц.

Относительную фитонцидность растений определяли по действию летучих выделений листьев на микрофлору воздуха [7]. Для этого сидементационным методом готовили микробиологические посевы из воздуха на МПА. Посевы произвели в учебных помещениях биологического факультета ДонНУ в один и то же день недели, в одинаковое время. Время посева составило 5 минут. Далее посевы опаряли летучими выделениями листьев представителей рода *Ficus.* Для этого листья исследуемых растений измельчали на лабораторной мельнице М-2Е. Для проведения опыта использовали навеску измельченных листьев весом 1 г. Перевернутые чашки Петри с посевами располагали над навеской листьев так, чтобы избежать непосредственного контакта между средой культивирования и растительным материалом. Контролем служили засеянные чашки Петри, не контактирующие с растительным материалом. Культивирование проводили в термостате в течение 48 часов при температуре 28ºС. По завершении культивирования подсчитывалось количество колоний микроорганизмов на контрольных чашках Петри и на различных вариантах опыта. По разнице в количестве колоний устанавливался процент выживших колоний под действием фитонцидов. Опыт проводился в пятикратной повторности. Количество листьев с одного вида растений с одинаковой освещенностью варьировало от 5 до 10 в зависимости от размеров листовых пластинок.

Статистическую обработку проводили с помощью пакета прикладных программ StatSoft Statistica 6.0, а также в среде MS Office 2003 Excel на персональном компьютере. Использовали методы описательной статистики и метод сравнения средних по Дункану.

Результаты и обсуждение

Для определения основных санирующих свойств фикусов нами было проведено определение действия фитонцидов 7 видов и 2 культиваров рода *Ficus* (табл. 1).

Результаты исследования указывают на достоверное бактерицидное действие летучих биоактивных выделений всех рассматриваемых видов. Также установлены достоверные различия в фитонцидной активности листьев из разных условий освещений для следующих видов: *F. benjamina*, *F. elastica*, *F. retusa* и *F. rubiginosa*. Во всех вариантах опыта активность выделений световых листьев была выше, чем аналогичные показатели теневых листьев. Данный факт может свидетельствовать в пользу общепринятого предположения о первостепенной связи интенсивности проявления пассивного иммунитета растений с активностью протекания биосинтетических реакций. Наибольшую фитонцидную активность проявил *F. elastica*, а наименьшую – *F. erecta*. Следует отметить, что разница в фитонцидной активности *F. binnendijkii* практически отсутствовала, что может быть объяснено высокими адаптационными способностями биосинтетических аппаратов данного вида.

По данным исследований фитонцидности *Ficus* spp., анализируемые виды были разделены на три категории. К первой категории отнесены виды, бактерицидный эффект которых составил более 55% погибших колоний микроорганизмов. В эту группу вошли: *F. benjamina*, *F. elastica* и *F. rubiginosa*. Во вторую категорию вошли виды с бактерицидным эффектом от 40 до 55%. К этой категории относится большинство исследованных видов: *F. binnendijkii* cv. Amstel King, *F. binnendijkii* cv. Ali, *F. lucida* и *F. retusa*. В третью категорию вошли виды с низкой фитонцидной эффективностью – меньше 40% погибших колоний: *F. erecta* и *F. laurifolia*.

Таблица 1

Фитонцидная активность видов рода *Ficus*

Вид	Количество колоний			Выжившие колонии, %	
	контроль	тень	свет	тень	свет
F. benjamina	28,1	13,5	9,0	48	32
F. binnendijkii cv. Amstel King		14,1	13,8	50	49
F. binnendijkii cv. Ali		13,8	13,2	49	47
F. elastica	24,3	10,2	7,0	42	29
F. erecta		20,2	19,2	83	79
F. laurfolia		15,3	13,6	63	56
F. lucida	29,4	14,4	13,8	49	47
F. retusa		13,2	11,2	45	38
F. rubiginosa		13,8	10,6	47	36

В дальнейшем, для выяснения связи таких показателей, как фитонцидность и особенности адаптации к световому режиму исследовались биометрические показатели листовых пластинок *Ficus* spp. (табл. 2).

Таблица 2

Размеры листовых пластинок видов рода *Ficus*

Вид	Усло-вия	Площадь, мм²	Отношение тень/свет, %	Длина, мм	Отношение тень/свет, %	Ширина, мм	Отношение тень/свет, %
F. benjamina	тень	2322	95	59	97	43	98
	свет	2432		61		44	
F. binnendijkii cv. Amstel King	тень	3005	73	185	92	22	82
	свет	4124		200		27	
F. binnendijkii cv. Ali	тень	3197	75	190	98	22	72
	свет	4285		195		30	
F. elastica	тень	29950	157	299	122	134	125
	свет	19022		245		107	
F. erecta	тень	3452	73	126	85	38	89
	свет	4725		148		43	
F. laurfolia	тень	2234	105	54	104	32	97
	свет	2121		52		33	
F. lucida	тень	2441	92	53	95	42	91
	свет	2648		56		46	
F. retusa	тень	2931	111	72	113	54	110
	свет	2648		64		49	
F. rubiginosa	тень	7665	139	134	126	73	108
	свет	5518		107		68	

По результатам исследования размеров листьев фикусов было установлено, что площадь листовых пластинок световых и теневых листьев достоверно отличается у большинства исследованных видов, исключением являются *F. benjamina* и *F. laurifolia*.

Опираясь на полученные данные о площадных и линейных размерах листовых пластинок, нами было предложено разделить исследованные виды на три группы. К первой группе отнесены *F. elastica*, *F. retusa*, *F. rubiginosa*. Для данных видов характерно значительное превосходство в размерах теневых листьев относительно световых. Данная особенность выделенных видов может быть объяснена, с одной стороны, филогенетическими адаптациями к условиям затенения и высокой влажности, с другой – возможным приобретением световыми листьями признаков ксероморфизации.

Ко второй группе по особенностям размеров листовых пластинок были отнесены виды, теневые листья которых были меньшими относительно световых. Описанная группа представлена следующими видами: *F. binnendijkii* cv. Amstel King, *F. binnendijkii* cv. Ali, *F. erecta* и *F. lucida*. Подобная особенность также может быть объяснена процессами ксероморфизации, но в данном случае – теневых листьев, которые теоретически могут испытывать недостаток влаги из-за избыточной влажности воздуха, которая существенно затрудняет транспирацию. В третью группу вошли виды, листья которых не имели достоверных отличий связанных с условиями освещения: *F. benjamina* и *F. laurifolia*.

Следует отметить, что виды, которые входят в первую и третью группы, проявили максимальную фитонцидную активность. Данный факт может потенциально свидетельствовать о наличии связи между фитонцидностью и особенностями адаптации представителей рода *Ficus* к условиям освещения и водного обеспечения ассимиляционных органов.

Исследование парадермальных срезов нижнего эпидермиса показало, что все виды имеют листья гипостоматического типа. Основные эпидермальные клетки гнутостенчатые. Устьица сфероидные равномерно утолщенные у всех видов, кроме *F. erecta* и *F. laurifolia*, для которых характерны чечевицеобразные устьица. Хотя в задачи работы и не входило определение типа устьичного аппарата, но стоит все же отметить, что у представителей рода *Ficus* данный показатель различался даже для отдельного растения. Так, у *F. benjamina* были обнаружены как диацитные устьичные аппараты, так и анизоцитные, и полицитные. Отметим, что соотношение количества устьиц с тем или иным типом устьичного аппарата предлагается считать систематическим признаком рода *Ficus* [13]. На наш взгляд, подобная вариабельность признака, функционально связанного с регуляторными процессами, потенциально подтверждает высказанный ранее тезис о высокой экологической пластичности представителей рода. Результаты исследования распределения устьиц на листе и их размеров представлены в табл. 3.

Исходя из показателей коэффициентов вариации признаков, представленных в табл. 3, можно сделать вывод, что показатель плотности распределения устьиц на единицу поверхности является более устойчивым признаком и, следовательно, может с большей достоверностью быть использован для идентификации стратегии адаптаций вида.

Плотность распределения устьиц у большинства видов выше на световой стороне листа, за исключением таких видов, как *F. erecta* и *F. laurifolia*. Следует отметить, что величина плотности распределения устьиц не отличается в достоверном уровне у большинства видов, кроме *F. erecta* и *F. rubiginosa*, для которых данный показатель был существенно ниже. Данная особенность может быть объяснена особенностями экологической пластичности, связанной с фотосинтетическим аппаратом. Так, при классическом рассмотрении данного вопроса следует предположить, что для видов, которым свойственна высокая интенсивность фотосинтеза, характерно наличие большого количества устьиц. Учитывая данные о линейных размерах устьиц, можно предположить, что малое количество устьиц компенсируется их размерами. Что касается *F. rubiginosa*, то для данного вида характерно наличие плотного опушения на нижней стороне листа, что может свидетельствовать о наличие адаптивных механизмов к условиям водного режима, терморегуляции, а следовательно, и механизмов регуляции интенсивности фотосинтеза.

Как следует из табл. 3, отношение размеров устьиц на световых и теневых листьях проявляют те же зависимости, что и показатель плотности распределения устьиц. То есть размеры устьиц на теневых листьях были меньше у всех видов, кроме *F. erecta* и *F. laurifolia*.

Сравнивая данные по фитонцидности изученных видов и результаты исследования морфологии нижнего эпидермиса листа, можно констатировать, что виды, для которых было свойственно превышение плотности распределения устьиц на теневых листьях по отношению к световым, обладали наименьшей фитонцидной активностью и были отнесены нами к третьей группе по данному признаку.

Таблица 3

Величина и плотность распределения устьиц видов рода *Ficus*

Вид	Условия	Кол-во устьиц на 1 мм²	CV%	P, %	Длина устьиц, мкм	CV%	P, %
F. benjamina	тень	338	19	4	11,3	14	5
	свет	287	11	2	10,5	9	3
F. binnendijkii cv. Amstel King	тень	322	23	5	11,5	17	3
	свет	264	18	3	11,1	5	2
F. binnendijkii cv. Ali	тень	329	16	3	9,8	21	4
	свет	271	10	2	9,5	19	4
F. elastica	тень	329	16	3	9,8	21	4
	свет	271	10	2	9,5	19	4
F. erecta	тень	118	16	5	13,7	26	5
	свет	156	12	4	15,6	9	1
F. laurfolia	тень	267	12	3	12,2	23	5
	свет	278	9	2	12,6	17	4
F. lucida	тень	318	16	4	11,2	8	2
	свет	296	14	2	10,6	23	4
F. retusa	тень	297	11	3	13,2	19	4
	свет	259	13	2	12,1	14	3
F. rubiginosa	тень	149	8	2	16,4	12	3
	свет	124	11	3	15,1	10	1

Следует также отметить, что представленные в таблицах данные в некоторой мере противоречат стандартным представлениям о том, что гелиоморфные световые листья приобретают ксероморфные признаки и у них, в частности, уменьшаются размеры устьиц при увеличении их общей плотности распределения. Данная особенность видов рода фикус может быть объяснена наличием двух противоположно направленных процессов, а именно: процесса ксероморфизации и адаптации к условиям чрезмерного увлажнения воздуха. Кроме того, как известно, большинство видов рода *Ficus* в онтогенезе способны изменять жизненную форму с эпифитной до формы укореняющегося дерева верхнего яруса. Данный факт может свидетельствовать о присущей фикусам высокой пластичности по отношению к фактору освещенности. Основываясь на этом, можно предположить, что в условиях оранжерейного комплекса Донецкого ботанического сада НАН Украины интенсивность данного фактора не вызывает адаптационных изменений растений, которые приближаются к границам нормы реакции представленных видов.

Выводы

1. Все исследованные виды проявили фитонцидную активность. По данному признаку они были разделены нами на три группы.
2. Наибольшая фитонцидность характерна для *F. benjamina, F. elastica, F. rubiginosa,* бактерицидный эффект летучих выделений данных видов превышал 55%.
3. Все виды проявили наивысшую фитонцидность в условиях полного освещения.
4. Виды, которым присуща высокая фитонцидность, относятся к группе мезофитов с ксеро- и/или гелиофитными признаками.
5. *F. benjamina, F. elastica, F. retusa, F. rubiginosa* проявили наибольшую экологическую пластичность.
6. К практике внутреннего озеленения с позиций устойчивости и санирующей эффективности нами рекомендованы две группы фикусов. Наиболее перспективными

видами являются *F. benjamina*, *F. elastica*, *F. rubiginosa*, менее перспективными – *F. binnendijkii* cv. Ali, *F. binnendijkii* cv. Amstel King, *F. lucida, F. retusa.*

7. Рекомендованные виды целесообразно использовать в условиях полного освещения, благодаря чему будет достигаться максимальный санирующий эффект.

Список литературы

1. *Васильев Б. Р.* Строение листа древесных растений различных климатических зон / Б. Р. Васильев / Под ред. В. М. Шмидта. – Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1988. – 208 с.

2. *Горницкая И. П.* Итоги интродукции тропических и субтропических растений в Донецком ботаническом саду НАН Украины / И. П. Горницкая, Л. П. Ткачук. – Донецк: Донбасс, 1999. – 288 с.

3. *Гродзинский А. М.* Фитодизайн. Научное использование высших растений в среде обитания человека / А. М. Гродзинский, В. В. Снежко. – К.: Б. и., 1987. – 37 с.

4. *Мирославов Е. А.* Структура и функции эпидермиса листа покрытосеменных растений / Е. А. Мирославов. – Л.: Наука, 1974. – 184 с.

5. *Серая А. С.* Интродукция некоторых видов рода *Ficus* L. и использование их в фитодизайне: автореф. дис. … канд. биол. наук: 03.00.05 / А. С. Серая. – Новосибирск, 2008. – 22 с.

6. Строение листа древесных растений различных климатических зон / Под ред. В. М. Шмидта. – Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1988. – 208 с.

7. Фитонциды в медицине / Отв. ред. А. М. Гродзинский. – К.: Наук. думка, 1990. – 216 с.

8. Фитонциды в эргономике / А. М. Гродзинский, Н. М. Макарчук, Я. С. Лещинская и др. – К.: Наук. думка, 1986. – 188 с.

9. *Харитонова І. П.* Біологічні особливості тропічних і субтропічних рослин в умовах інтер'єрів різного типу: автореф. дис. … канд. біол. наук: 03.00.05 / І. П. Харитонова. – К., 2005. – 20 с.

10. *Cornejo J. A.* Studies on the decontamination of air by plants / J. A. Cornejo, F. Mucoz, C. Ma, A. Stewart // Ecotoxicology. – 1999. – № 6. – P. 182–293.

11. *Geron C.* Volatile organic compounds from vegetation in southern Yunnan Province, China: Emission rates and some potential regional implications / C. Geron, S. Owen, A. Guenther, J. Greenberg // Atmospheric Environment. – 2006. – № 40. – pp. 1759–1773.

12. *Nair R.* Antibacterial Activities of Some Medicinal Plants of the Western Region of India / R. Nair, V. Chanda Sumitra // Turkish Journal of Biology. – 2007. – Vol. 31, № 4. – P. 231–236.

13. *Ogunkunle A. T. J.* Leaf epidermal studies in some Nigerian species of *Ficus* L. (Moraceae) / A. T. J. Ogunkunle, F. A. Oladele // Plant Syst Evol. – 2008. – Vol. 274. – P. 209–221.

14. *Wolverton B. C.* A Study of interior landscape plants for indoor air pollution abatement. An Interim Report / B. C. Wolverton. – Stennis Space Center: National Aeronautics and Space Administration, 1989. – 14 p.

Глухов О. З., Стрельніков І. І. **Фітонцидна ефективність та морфометрична мінливість видів роду *Ficus* L.** – Оцінено фітонцидну активність восьми видів *Ficus* spp., а також встановлено залежність біометричних показників листових пластинок й особливостей розподілення продихів від умов освітлення. За результатами дослідів виявлено, що види з найбільшою фітонцидністю мають більшу пластичність морфометричних показників.

Ключові слова: рід *Ficus* L., фітонцидність, біометрія, екологічна пластичність.

Gluhov A. Z., Strelnikov I. I. **Phytoncidal efficiency and morphometric variability of species from genus *Ficus* L.** – Phytoncide activity of eight species *Ficus* spp. was estimated. As well as the dependence of biometric performance of the leaf blades and stomatal distribution characteristics from the lighting conditions. According to research species with the highest phytoncide activity had greater plasticity of morphometric parameters.

Key words: genus *Ficus* L., phytoncides, biometric, ecological plasticity.

УДК 551.464.3 : 552.5

© Т. М. Альохіна[1], В. В. Гудзенко[2]

СУЧАСНИЙ СТАН ДОННИХ ОСАДКІВ КАРАЧУНІВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА

[1]Криворізький відділ проблем екологічної геології та розробки рудних родовищ ВМГОР НАН України; 50000, м. Кривий Ріг, вул. Пушкіна, 37
[2]Інститут геологічних наук НАН України; м. Київ-601, вул. Олеся Гончара, 55-б
e-mail: Alohkina@gmail.com

Альохіна Т. М., Гудзенко В. В. **Сучасний стан донних осадків Карачунівського водосховища. –** Наведено результаті досліджень донних осадків Карачунівського водосховища, що розташоване в м. Кривий Ріг. У донних осадках, що були відібрані із трьох профілів водосховища, проаналізовано хімічний склад, вміст важких металів та радіонуклідів. Зроблено висновок, що за час існування водосховища в ньому накопичились значні обсяги седиментаційного матеріалу, що містить важкі метали та радіонукліди. Найбільше накопичення важких металів та ^{137}Cs визначено в малопроточних ділянках водосховища.

Ключові слова: донні осадки, Карачунівське водосховище, важкі метали, радіонукліди.

Вступ

Донні осадки як продукт седиментогенезу є невід'ємною частиною аквальних екосистем. Слід мати на увазі, що осадконакопичення у різних водоймах відбувається різним чином, – швидкість утворення донних осадків в першу чергу визначається ступенем проточності. Збільшення об'ємів донних осадків у водосховищах, крім суто гідротехнічних проблем, актуалізує питання накопичення та впливу полютантів, особливо в регіонах із значним техногенним навантаженням.

Склад донних осадків як найбільш важливих компонентів аквальних ландшафтів відображає геохімічні особливості водозбірної території та визначає ряд їх властивостей, таких як: сорбційна здатність, гідрофільність, щільність, рухомість, токсичність та інші [1, 2]. Завдяки цьому донні осадки використовуються як індикатори для визначення: стану гідроекосистеми, інтенсивності та масштабів техногенного забруднення ландшафтів, мінерального і петрографічного складу поширених на водозбірній площі порід. Окрім того, донні осадки є джерелом мінеральної складової трофічних ланок водних екосистем та середовищем існування бентосних організмів.

Функції донних осадків різноманітні. Вони одночасно виконують роль як накопичувача забруднень, так і їх трансмітера в більш безпечні місця. Накопичення полютантів, особливо важких металів (ВМ) та радіонуклідів, у донних осадках може опосередковувати токсичний вплив не лише на субаквальну екосистему [3], але й на всю гідросистему. Донні відклади являють собою депо, вилуговування з якого токсичних компонентів може зумовити вторинне забруднення поверхневих водойм, особливо малопроточних (озер, ставків, водосховищ). Цей процес здатний суттєво впливати на якість води у водоймі, іноді обмежуючи її використання як питної чи для зрошення [4].

Матеріал і методи дослідження

Нами досліджувався хімічний склад, вміст важких металів та радіоізотопний склад донних осадків Карачунівського водосховища, що розташовано в м. Кривий Ріг. Це водосховище є замикаючим у каскаді водосховищ на р. Інгулець і завдяки найбільшому об'єму служить основним регулятором стоку ріки. Використовується для питного водопостачання, а також для зрошення прилеглих земель. Площа дзеркала водосховища при нормальному підпертому рівні (НПР) становить 44,8 км^2, об'єм води при НПР – 308,5 млн. м^3. Водосховище експлуатується з 1939 р. і тому накопичило величезний об'єм донних осадків [5]. Гідросистема, до складу якої входить Карачунівське водосховище, знаходиться під суттєвим антропогенно-техногенним впливом з боку численних промислових підприємств Кривого Рогу.

Для відбору проб донних осадків на Карачунівському водосховищі (рис. 1) було закладено 3 профілі.



Рис. 1. Супутникове фото Карачунівського водосховища у Кривому Розі.

І профіль було закладено в північній частині водосховища, проти с. Інгулець, довжина профілю – 500 м; ІІ профіль – нижче мису, довжина профілю – 2000 м; ІІІ профіль – вздовж південного берега, довжина профілю – 1000 м (рис. 2-4). Мінімальна глибина при відборі проб (біля берегу) – 0,5 м, максимальна глибина (по старому руслу Інгульця) – 20 м. Товщина шару відкладень, що відбиралася для аналізу, – 0,1-0,65 м. Відібрані проби після висушування піддавалися усередненню за точками відбору.

Хімічний аналіз проб донних осадків проводився за стандартними методиками. Визначали загальний вміст Fe; Fe_2O_3; FeO; SiO_2; Al_2O_3; P_2O_5 та витрати при пропалюванні (ВПП).



Рис. 2. Супутникове фото І профілю та місць відбору проб донних осадків.

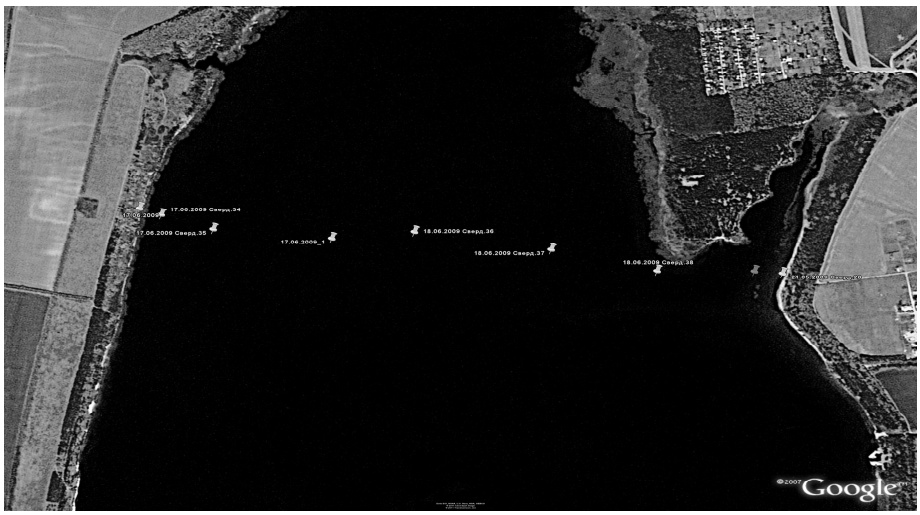


Рис. 3. Супутникове фото II профілю та місць відбору проб донних осадків.

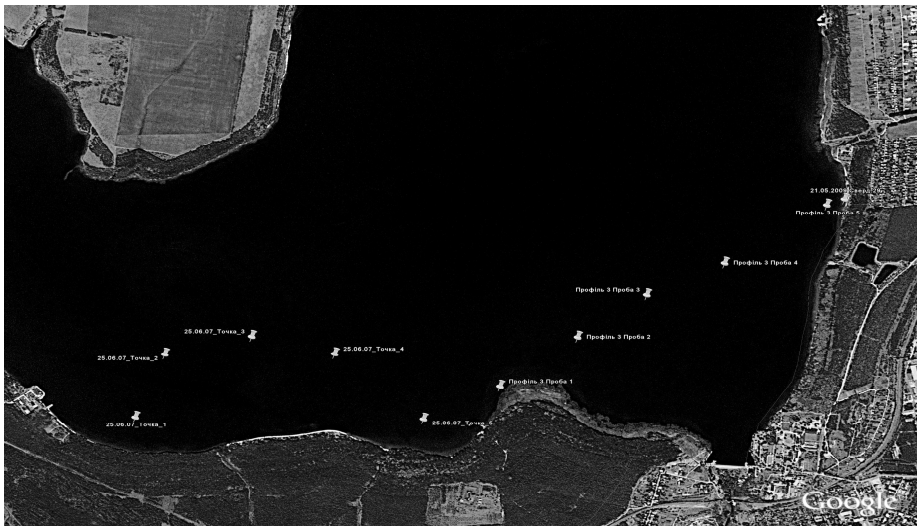


Рис. 4. Супутникове фото III профілю та місць відбору проб донних осадків.

Визначення валового вмісту ВМ у пробах здійснювалося методом кількісного емісійного спектрального аналізу на спектрографі ІСП – 28 [6]. Оцінки рівня забруднення донних осадків виконувались шляхом порівняння середнього вмісту важких металів у пробах (мг/кг) із ГДК [7] та регіональними фоновими рівнями [8].

Сумарна β-активність визначалася за допомогою пристрою УМФ-1500М (у тонких шарах з лічильником СБТ-13); концентрація ^{90}Sr – на селективному β-радіометрі РУБ-91; концентрація природних (члени рядів ^{238}U, ^{235}U, ^{232}Th, а також ^{40}K) та штучних (^{137}Cs) γ-випромінювачів – на напівпровідниковому гама-спектрометрі високої роздільної здатності СЭГ-50 із Ge(Li) детектором ДГДК-110. Вимірювання на спектрометрі проводились в геометрії «сосуд Маринелі» об’ємом 1 дм^3, що забезпечував максимальну чутливість.

Результати та обговорення

Верхня частина перерізу донних відкладів представлена мулом темно-сірого кольору; стулками дрейсени або їх залишками й, зрідка, піском. Багато зразків являють собою суміш цих компонентів. Отже йдеться про полігенетичні зразки: біогенні – дрейсена, певною мірою мул, у складі якого присутні залишки водоростей та аквафауни; та абіогенні – пісок та зважені часточки ґрунту.

Результати визначення хімічного складу донних осадків Карачунівського водосховища свідчать, що всі досліджені показники мають широкий діапазон коливань. Так, вміст (мас.%) $Fe_{заг}$ у пробах донних осадків змінюється від 0,5 до 4,8%; Fe_2O_3 – від 0,4 до 4,15%; FeO – від 0,3 до 3,2%; SiO_2 – від 34,06 до 93,24%; Al_2O_3 – від 1,16 до 13,9%; P_2O_5 – від 0,053 до 0,348%. Найбільш неоднорідним є ВПП, що зумовлюється характером седиментогенезу у водосховищі. На затопленому руслі р. Інгулець нами визначено найбільший вміст кремнезему та найменші показники ВПП, а ближче до берегів – навпаки. Обрані показники (табл. 1) дозволяють певною мірою характеризувати склад донних осадків, що зумовлює їх властивості та здатність брати участь у внутрішніх процесах водойми.

Таблиця 1

Результати хімічних аналізів донних осадків Карачунівського водосховища

Показники	Кількість вимірювань	Діапазон коливань значень показників, %	M±m
$Fe_{заг.}$	17	0,50-4,80	3,36±1,32
Fe_2O_3	17	0,40-4,15	2,77±1,25
FeO	17	0,30-3,20	1,83±0,72
SiO_2	17	34,06-93,24	57,06±15,45
Al_2O_3	17	1,16-13,90	10,42±3,96
P_2O_5	17	0,053-0,348	0,26±0,09
ВПП	17	1,45-28,83	15,34±6,45

Задля аналізу отриманих даних нами були розраховані парні коефіцієнти кореляції. Так, кремнезем має високі від`ємні коефіцієнти кореляції з усіма дослідженими показниками. Максимальний від`ємний коефіцієнт кореляції (-0,972) визначено між вмістом кремнезему та ВПП, що є цілком логічним з огляду на фізичну природу цих показників. Привертає увагу високий позитивний коефіцієнт кореляції (0,881) між п`ятиокисом фосфору та ВПП та водночас високий від`ємний коефіцієнт кореляції цього показника із вмістом кремнезему (-0,915). В осадових породах найбільш розповсюджені дві форми P_2O_5 – теригенна у вигляді апатиту, який наближений до кварцових пісків та розсипів, та біогенна чи органогенна. Отримані нами зв`язки свідчать про біогенну природу фосфору в осадках. Найбільш цікавою, на наш погляд, є різниця майже в 2 рази в коефіцієнтах кореляції Fe_2O_3 та FeO із ВПП. Так, коефіцієнт кореляції пари ВПП – Fe_2O_3 становить 0,451, тоді як пари ВПП – FeO становить 0,842. Високий позитивний коефіцієнт кореляції між останньою парою може свідчити про можливість формування відновних умов у верхньому шарі донних осадків. Це явище можна використовувати як специфічний показник для виділення застійних ділянок водосховища та, за їх кількістю, оцінювати стан водойми.

Що стосується ВМ, то результати досліджень виявили присутність у субаквальних осадках Карачунівського водосховища низки хімічних елементів таких, як Fe, Ti, Mn, Cr, V, Ni, Cu, Pb, Zn, Zr. Вміст ряду металів перевищував регіональний фоновий рівень або ГДК у ґрунтах (в Україні відсутні ГДК для донних осадків, тому використані ГДК для ґрунтів).

Аналізуючи результати досліджень, треба визначити значну просторову неоднорідність та великі коливання показника вмісту ВМ у донних відкладах. Загалом можна відзначити, що в II профілі визначалася найбільша кількість ВМ та найбільші їх концентрації (табл. 2). Винятком стала лише мідь, найбільші концентрації якої нами зареєстровано в III профілі. Для заліза визначено збільшення його вмісту з глибиною точки відбору проби. Так, загальний вміст заліза коливався від 19000 до 48000 мг/кг, що перевищує $ГДК_г$ від 38 до 96 разів відповідно, але водночас не перевищує регіонального фонового рівня [8].

Таблиця 2

Вміст важких металів у донних осадках Карачунівського водосховища

Елементи	ГДК, (мг/кг)	Регіональ-ний фон, (мг/кг)	Концентрації важких металів min, max, M±m, за профілями (мг/кг сухої маси)								
			I профіль			II профіль			III профіль		
			min	max	M±m	min	max	M±m	min	max	M±m
Fe	500	89650	36000	44000	40400±3049**	5000	48000	30143±15837**	5000	40000	31600±14943**
Mn	1500	700	500	1000*	840,0±230,3*	700	2000**	985,7±467,0*	500	1000*	720,0±178,9*
Cu	100	30	2	20	9,4±6,8	5	20	9,4±4,9	10	50*	30,5±14,1*
Ni	100	40	сліди	10	7,0±4,5	5	30	12,8±10,7	сліди	10	5,0±4,9
Pb	30	20	-	-	-	сліди	50**	18,6±15,7	-	-	-
Ti		5000	1000	3000	2400,0±894,4	1000	3000	2285,7±951,2	1000	2000	1800,0±447,2
Cr	100	60	сліди	10	4,0±5,5	сліди	50	17,2±17,9	сліди	30	10,0±12,2
Zn	300	70	-	-	-	сліди	100*	42,8±53,4	сліди	100	20,0±44,7
Zr		300	10	20	12,0±4,5	10	30	18,3±7,5	сліди	20	8,0±8,4

Примітка. * – перевищення регіонального фонового рівня;** – перевищення $ГДК_{грунтів}$ (у зв’язку із відсутністю ГДК для донних осадків)

Середній валовий вміст марганцю у водосховищі становить 848,5 ± 205,8 мг/кг, що перевищує регіональний фоновий рівень для цього металу в 1,2 рази. Але коливання вмісту Mn визначалися від 500-1000 мг/кг для I та III профілів, до 700-2000 мг/кг для II профілю (перевищуючи в останньому випадку $ГДК_г$). Аналогічна картина спостерігалась щодо свинцю: у II профілі визначено найбільші концентрації – понад 50 мг/кг. Вміст міді у субаквальних відкладеннях водосховища суттєво коливався від місця відбору проб. Так, у I та II профілях середні значення цього металу не перевищували регіональний фоновий рівень, тоді як у III профілі цей показник складав від 30 до 50 мг/кг. Вміст цинку в донних відкладах був стабільним і визначався на рівні 100 мг/кг.

Походження донних відкладів має суттєве значення при інтерпретації результатів γ-спектрометричних вимірювань високої роздільної здатності. Адже від того, яким чином утворились ті чи інші відклади – шляхом механічного осадження суспензії або хімічним чи біохімічним з розчину – залежить стан рівноваги в природних ланцюжках розпаду урану і торію.

Якщо така рівновага існує, питомі активності всіх членів радіоактивного ланцюжка дорівнюють одна одній, і навпаки, коли відклади утворюються за рахунок хімічної акумуляції з водних розчинів тих чи інших радіонуклідів, відмінних за хімічними властивостями, вікова рівновага не може існувати принципово. З огляду на суттєво відмінні виходи гамма-квантів на розпад того чи іншого радіонукліду, чутливості їх визначення γ-спектрометричним методом варіюють в дуже широкому діапазоні. За однакових умов вимірювання з найбільшою чутливістю визначаються дочірні продукти ^{226}Ra: ^{214}Pb та ^{214}Bi; ^{137}Cs; дочірні продукти ^{232}Th: ^{212}Pb, ^{228}Ac, ^{212}Bi та ^{40}K. Набагато гірші умови визначення найближчих продуктів розпаду урану: ^{234}Th та ^{234m}Pa. Втім за високих концентрацій цього елементу в досліджуваних зразках використання ^{234m}Pa цілком доцільне та виправдане, оскільки цей нуклід практично завжди перебуває в рівновазі з материнським ^{238}U.

У досліджуваних пробах донних осадків привертає увагу надзвичайно цікава поведінка ^{137}Cs чорнобильського походження. Вміст цього нукліду варіює в широких межах. Оскільки радіоцезій мігрує переважно у вигляді суспензії (адсорбований на глинистих частинках), місця його накопичення в донних відкладах співпадають із застійними зонами, де течія мінімальна й зважені частинки випадають з води. Натомість природний ^{226}Ra, що належить до другої групи таблиці Д. І. Менделєєва, певною мірою подібний за хімічними властивостями до кальцію і стронцію. Відомо, що молюски будують свої мушлі із сполук кальцію й здатні також захоплювати з розчинів сполуки стронцію і радію. В такий спосіб радій-226 може бути елімінований з розчину й зв′язаний в матеріалі мушлі. Сполуки урану, торію і калію звичайно не використовуються живими організмами для будівництва скелету. Накопичення вищезгаданих елементів в біогенних відкладах здебільшого пов′язане з пізнішими етапами літогенезу й відбувається за рахунок суто хімічних процесів.

Після досліджень проб донних осадків з II профілю, що містили велику кількість детриту мушель, пробу було поділено на фракції «мул» й «мушлі» шляхом сепарації. Дані фракції суттєво відрізнялись як за вмістом природних радіонуклідів, так і за сумарною β-активністю (табл. 3, 4).

Таблиця 3

Вміст природних радіонуклідів у пробах донних осадків Карачунівського водосховища

Профіль	Вміст радіонуклідів, Бк / кг (у дужках похибка вимірювань, %)							
	^{238}U	^{235}U	^{214}Pb	^{214}Bi	^{228}Ac	^{212}Pb	^{212}Bi	^{40}K
II	126 (15)	4,0 (18)	15 (12)	14 (16)	19 (14)	20 (10)	нмв	240 (14)
IIа*	132 (42)	2,7 (35)	19 (21)	20 (31)	22 (37)	20 (17)	10 (155)	297 (28)
IIб*	34 (94)	нмв	6 (48)	5 (86)	9 (45)	3 (45)	нмв	94 (69)
III	38 (14)	1,4 (31)	8 (14)	8 (20)	16 (14)	15 (11)	17 (24)	161 (14)

Примітка. нмв – нижче межі вимірювань; * – IIа – фракція «мул», II б – фракція «мушлі».

Як видно з табл. 3, вміст ^{238}U в II профілі у 3,3 рази перевищує аналогічний показник III профілю. Серед природних радіонуклідів найбільш показовою є поведінка в пробах донних осадків Карачунівського водоховища ^{40}K. Вміст цього нукліду мінімальний в мушлях і максимальний в мулі. Привертає на себе увагу розподіл за профілями ^{214}Pb. Зауважимо, що вміст Pb як важкого металу також переважає в II профілі.

Загалом, що стосується природних нуклідів, їх загальний вміст у пробах, відібраних у II профілі, є вищім, ніж в аналогічних пробах III профілю (винятком є ^{212}Bi, але ж він виміряний з великою похибкою).

Таблиця 4

Сумарна β-активность (кг$^{-1}$с$^{-1}$) та вміст техногенних радіонуклідів у пробах донних осадків, Бк/кг та ізотопні відношення

Профіль	Σ_β	^{137}Cs	^{90}Sr	$^{232}Th/^{238}U$	$^{238}U/^{226}Ra$
II	-	41 ± 4	52 ± 26	0,23 ± 0,06	5,7 ± 1,7
IIа*	62 ± 6	42,5 ± 4,2	нмв	0,35 ± 0,17	3,0 ± 1,7
IIб*	16 ± 4	3,3 ± 0,7	нмв	0,26 ± 0,34	5,7 ± 8,0
III	20 ± 4	5,5 ± 0,6	нмв	0,39 ± 0,10	4,8 ± 1,3

Примітка. * – IIа – фракція «мул», II б – фракція «мушлі».

Як свідчить табл. 4, сумарна β-активність мулу в 3,8 разів перевищує відповідний показник мушлів дрейсени. Ще більш значною є різниця у вмісті радіоцезію між фракцією мушель та мулу – вона становить 12,8 разів. Крім того цікавим є факт значної (у 7,4 разів) різниці між вмістом радіоцезію в II та III профілях. Другий профіль характеризується значною кількістю застійних ділянок.

Як відомо, будівництво Карачунівського гідровузла розпочалося в 1932 р. Протягом 1955-1958 рр. водосховище отримало сучасні обриси. Отже вік донних відкладів найбільш застійної части водоймища перевищує 50 років – час цілком достатній для встановлення вікової рівноваги серед членів радіоактивних ланцюжків. У той же час в зразках, що досліджувались, вміст урану звичайно помітно переважає вміст радію. Відомо, що рухливість останнього в зоні гіпергенезу дещо обмежена, за винятком середовищ з низькими значеннями pH.

Висновки

Внаслідок антропогенного-техногенного впливу, що зазнає гідросистема р. Інгулець та відповідно Карачунівського водосховища, в субаквальних відкладеннях останнього накопичились надмірні обсяги седиментаційного матеріалу з великою питомою вагою, саме вони містять ВМ та радіонукліди. Результати проведених досліджень з визначення хімічного складу донних осадків та розрахунки коефіцієнтів кореляції між досліджуваними показниками свідчать про можливість формування відновних умов у верхньому шарі донних осадків. Цей факт можна використовувати як специфічний показник для виділення застійних ділянок водосховища, та за їх кількістю оцінювати стан водойми.

Зазначено, що валовий вміст важких металів у субаквальних відкладеннях водосховища в середньому в 10 разів перевищує аналогічний показник для проточної частини р. Інгулець [9]. При цьому концентрації таких елементів, як Fe, Mn, Pb перевищують $ГДК_г$.

Вміст природних радіонуклідів має залежність від місць відбору проб та фракцій. Поведінка ^{137}Cs чорнобильського походження свідчить, що місця його накопичення в донних осадках збігаються із застійними зонами, де течія мінімальна й зважені частинки випадають з води.

Таким чином, проблема проточності водосховищ на прикладі розглянутого нами Карачунівського водосховища на р. Інгулець, що є джерелом питного водопостачання м. Кривий Ріг, прямо корелює з проблемою накопичення полютантів у донних осадках та можливим вторинним забрудненням води.

Список літератури

1. *Законнов В. В.* Пространственная и временная трансформация донных отложений водохранилищ средней Волги / В. В. Законнов, Д. В. Иванов, А. В. Законнова и др. // Водные ресурсы. – 2007. – Т. 34, № 5. – С. 573–581.

2. *Агаджанов М. Є.* Літологія сучасних донних осадків поверхневих водойм Криворізького залізорудного басейну / М. Є. Агаджанов, А. О. Бобко, І. М. Малахів та ін. – Кривий Ріг: «Октан Прінт», 2008. – 110 с. (Сер.: Геологічне середовище антропогенної екосистеми).

3. *Линник П. Н.* Формы миграции металлов в пресных водах / П. Н. Линник, Б. И. Набиванец. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 270 с.

4. *Боев М. В.* Содержание микроэлементов в донных отложениях открытых водоемов западной части Оренбургской области / М. В. Боев, И. С. Красиков, С. В. Перепелкин и др. // Гигиена и санитария. – 2003. – № 5. – С. 19–22.

5. *Багрій І. Д.* Гідроекосистема Криворізького басейну – стан і напрямки поліпшення / І. Д. Багрій, П. Ф. Гожик, Е. В. Самоткал та ін. – К.: Фенікс, 2005. – 213 с.

6. *Арнаутов Н. В.* Прямые методы количественного эмиссионного спектрального анализа природных объектов и оценка их правильности / Н. В. Арнаутов. – Тамбов, 1987.

7. Державні санітарні правила і норми. 2.2.7.029-99. Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров`я населення.

8. Учет и оценка природных ресурсов и экологического состояния территории различного функционального пользования: Методические рекомендации. – М.: ИМГРЭ, 1996. – 96 с.

9. *Алёхина Т. Н.* Тяжелые металлы в донных осадках рек индустриальных регионов / Т. Н. Алёхина, А. А. Бобко, И. Н. Малахов // Довкілля та здоров`я. – 2007. – № 3. – С. 9–13.

Алёхина Т. Н., Гудзенко В. В. **Современное состояние донных осадков Карачуновского водохранилища.** – Приведены результаты исследований донных осадков Карачуновского водохранилища, расположенного в г. Кривой Рог. В донных осадках, отобранных из трёх профилей водохранилища, определялся химический состав, содержание тяжелых металлов и радионуклидов. Сделан вывод о том, что за годы существования водохранилища в нем накопились значительные объёмы седиментационного материала, который содержит тяжелые металлы и радионуклиды. Наибольшее накопление тяжелых металлов и ^{137}Cs отмечено в малопроточных участках водохранилища.

Ключевые слова: донные осадки, Карачуновское водохранилище, тяжелые металлы, радионуклиды.

Alokhina T. N., Gudzenko V. V. **Modern condition bottom sediments of Karachuny water reservoir. –** The results of investigation bottom sediments Karachuny water reservoir (Kryvoy Rog city) are considered. Three profiles of bottom sediments was determined: chemical composition, heavy metals concentration and radionuclides. It was concluded that water reservoir had accumulated considerable amount of sedimental matter with heavy metals and radionuclides. Heavy metals and ^{137}Cs the biggest accumulation was registered in a low flowing areas of water reservoir.

Key words: bottom sediments, Karachuny water reservoir, heavy metals, radionuclides.

УДК 581.61

© Н. В. Капелюш

ВПЛИВ АЕРОТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ НА РЕПРОДУКТИВНИЙ РОЗВИТОК ПРЕДСТАВНИКІВ РОДУ *PLATANUS* L.

Запорізький національний університет; 69600, м. Запоріжжя, МСП-41, вул. Жуковського, 66
e-mail: kapel72@rambler.ru

Капелюш Н. В. **Вплив аеротехногенного забруднення довкілля на репродуктивний розвиток представників роду *Platanus* L.** – Проведено аналіз впливу аеротехногенного забруднення довкілля на інтенсивність цвітіння досліджуваних видів роду *Platanus*, кількість стерильних пилкових зерен та показник стерильності пилку. Розглянуто закономірність зміни стерильності пилку видів роду *Platanus* L. залежно від характеру забруднення. Визначено, що більш чутливим до забруднення середовища викидами металургійних підприємств з досліджуваних видів є *Platanus orientalis* L.

Ключові слова: інтенсивність цвітіння, стерильність пилкових зерен, рослини роду *Platanus.*

Вступ

Проблема інтенсифікації процесів озеленення міст сьогодні, на жаль, вирішується дуже повільно. Про користь зелених насаджень у містах написано дуже багато, і, безумовно, заходи щодо організації і збільшення міських рекреаційних зон проводяться практично в кожному місті країни, але їх обсяг є малим, і створення парків і приміських лісозон не вирішує повною мірою основних проблем поліпшення екологічних умов житлового середовища [1]. Результати досліджень свідчать, що важливою складовою є не тільки загальна площа зелених насаджень у структурі міста, а й рівномірний їх розподіл по всій території міських поселень, особливо у складі житлових мікрорайонів [1].

Відомо, що екологічні умови суттєво впливають на репродукцію рослин [2-4]. Для визначення адаптивних реакцій рослин у нових екологічних умовах необхідним є дослідження особливостей їх репродуктивного розвитку, оскільки його успішне здійснення – це показник вдалого пристосування організму [5, 6]. Деякі дослідники дійшли висновку, що промислові викиди суттєво впливають на показники генеративної системи [7-9].

У зв’язку з цим мета нашої роботи – аналіз впливу аеротехногенного забруднення довкілля на інтенсивність цвітіння деяких видів роду *Platanus*, кількість стерильних пилкових зерен та показник стерильності пилку платанів.

Матеріал та методи дослідження

Дослідна ділянка 1 розташована в 1-2 км зоні впливу емісій промислових підприємств чорної металургії (ВАТ «Запоріжсталь», ВАТ «Дніпроспецсталь», ВАТ «Запоріжкокс»), де використовують агломерацію, вогнетривке, доменне, мартенівське виробництво [10]. Перевищення ГДК за сірчаним газом, оксидом азоту, оксидом вуглецю, пилом та ін. агресивними речовинами на промислових майданчиках металургійних підприємств в районі цих виробництв у 3,1-12,1 рази, а під час неорганізованих викидів – більше ніж у 20 разів [11].

Ділянка 2 розташована поряд з трансформаторним заводом, який викидає 107,317 т інгредієнтів промислових викидів на рік. Максимальну концентрацію у цих викидах складають оксид нітрогену, оксид вуглецю та сірчаний ангідрид [11].

Між двома автострадами з рухом автомобільного транспорту 116621 машина за добу було закладено ділянку 3. Основними забруднювачами на цій ділянці є оксиди вуглецю, двооксид азоту та вуглеводень, концентрація яких перевищувала ГДК у 3,8-6,2 рази, концентрація сполук свинцю перевищувала ГДК у 5,2-7,6 рази [12].

Контрольна ділянка знаходиться у штучному насадженні Комунарського району м. Запоріжжя на віддаленні 90 км від джерела промислового забруднення, де, за даними обласної санітарно-епідеміологічної служби, перевищень ГДК забруднюючих речовин не виявлено.

Об'єктами дослідження були види роду *Platanus* L.: платан східний (*P. orientalis* L.) та платан кленолистий (*P. acerifolia* Willd.) у віці 25-35 років, що зростали на ділянках з різним типом та ступенем забруднення.

Коефіцієнт плодоношення та кількість плодів модельної гілки, характеристики плодів та показники якості насіння визначали згідно із загальноприйнятими методиками [13, 14].

Статистичну обробку отриманих даних проводили за Г. Ф. Лакіним [15], дані є вірогідними при $P \leq 0,05$.

Результати та обговорення

Нами досліджено інтенсивність цвітіння рослин *P. orientalis* і *P. acerifolia* залежно від різних параметрів довкілля (табл. 1).

Таблиця 1

Вплив забруднення довкілля на інтенсивність цвітіння *P. orientalis* і *P. acerifolia*

Рік	Варіант	Кількість суцвіть на погонному метрі, шт.	t	% до контролю
P. orientalis				
2003	Контроль	22,8±1,31		100
	Ділянка 1	16,6±1,41	3,25	72,8
	Ділянка 2	21,3±1,62	0,73	93,4
	Ділянка 3	18,5±1,22	2,43	81,1
2004	Контроль	18,5±1,24		100
	Ділянка 1	13,2±1,53	2,76	71,3
	Ділянка 2	16,1±1,32	1,36	87,0
	Ділянка 3	14,71,42	2,06	79,4
2005	Контроль	28,6±1,61		100
	Ділянка 1	21,6±1,41	3,64	75,5
	Ділянка 2	26,2±1,51	1,67	91,6
	Ділянка 3	24,3±1,31	2,17	84,9
2006	Контроль	22,4±1,52		100
	Ділянка 1	14,6±1,22	4,53	56,2
	Ділянка 2	17,6±1,41	2,24	78,5
	Ділянка 3	16,3±1,30	3,58	72,7
P. acerifolia				
2003	Контроль	13,5±0,61		100
	Ділянка 1	10,1±0,71	2,60	82,2
	Ділянка 2	11,8±0,51	1,15	93,3
	Ділянка 3	10,4±0,70	2,93	80,0
2004	Контроль	11,4±0,52		100
	Ділянка 1	8,7±0,73	3,14	76,3
	Ділянка 2	10,6±0,41	1,25	92,9
	Ділянка 3	9,4±0,64	2,56	82,4
2005	Контроль	14,8±0,40		100
	Ділянка 1	11,9±0,60	4,02	80,4
	Ділянка 2	13,7±0,72	1,36	92,5
	Ділянка 3	12,2±0,61	3,61	82,4
2006	Контроль	14,1±0,61		100
	Ділянка 1	10,8±0,70	3,58	76,5
	Ділянка 2	12,9±0,70	1,30	91,5
	Ділянка 3	11,6±0,41	3,47	82,3

Закладання та формування бруньок відбувається наприкінці літа, тому кількість суцвіть весною залежить від вологості та кількості опадів у літній та осінній період, а також від зимових температур.

Найсуворішою була зима 2005-2006 рр., коли в січні температура сягала –38,7°С. Тому в 2006 р. кількість суцвіть становила 95,27% у *P. acerifolia*, порівняно з 2005 р., що пов'язано з підмерзанням квіткових бруньок. Рослини *P. orientalis* через великі ушкодження цвіли дуже слабо, і кількість суцвіть на них становила 78,32% порівняно з 2005 р.

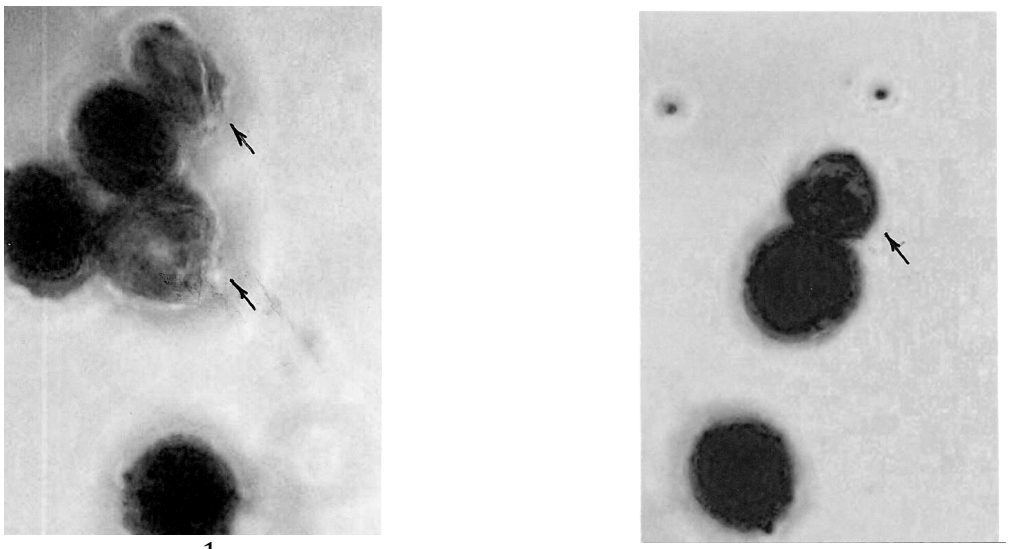
На характер цвітіння платанів також впливають ранньовесняні заморозки, що завдають негативного впливу на життєздатність пилкових зерен. Найменшою кількість суцвіть виявили весною 2004 р., бо закладання бруньок відбувалося в 2003 р. – найпосушливішому за час наших досліджень, для *P. orientalis* цей показник на 23,24% менший ніж у 2003 р. та на 54,59 та 42,71% менший ніж у 2005 та 2006 рр. відповідно.

Така ж тенденція була відмічена й для рослин *P. acerifolia*. У цього виду також відбулося зниження кількості суцвіть у 2004 р., воно становило 18,4% до 2003 р. та 29,8% до 2005 р. відповідно.

Забруднення довкілля викидами промислових підприємств та автомобільного транспорту завдало негативного впливу на інтенсивність цвітіння досліджуваних дерев (див. табл. 1). Найбільше це було помітно на ділянці 1, де більш агресивні забруднюючі інгредієнти металургійних підприємств, та на ділянці 3, яка розташована в зоні дії вихлопів автомобільного транспорту, де кількість забруднюючих агентів менша, ніж біля заводів. Мінімальна кількість суцвіть була відмічена нами на ділянці 1 у 2006 р., коли поєдналися негативні чинники: сувора зима та забруднення довкілля викидами металургійних підприємств на цій ділянці, цей показник становив для *P. orientalis* 56,25% й для *P. acerifolia* 76,59% відносно контрольних значень.

Процеси утворення мікроспор та проростання пилку чутливі до дії забруднювачів довкілля [16-21]. Вивчення питання впливу інгредієнтів промислових і автомобільних викидів на життєдіяльність пилку є необхідним, бо воно дозволить ближче підійти до розуміння генеративного розвитку і насіннєвої продуктивності деревних рослин. Нами відмічено вплив забруднення оточуючого середовища автомобільними та промисловими викидами на стан пилку та його морфометричну різноякісність *P. orientalis* і *P. acerifolia* (рис. 1). Під впливом аеротехногенного забруднення пилкові зерна *P. orientalis* і *P. acerifolia* змінюють форму та якість.

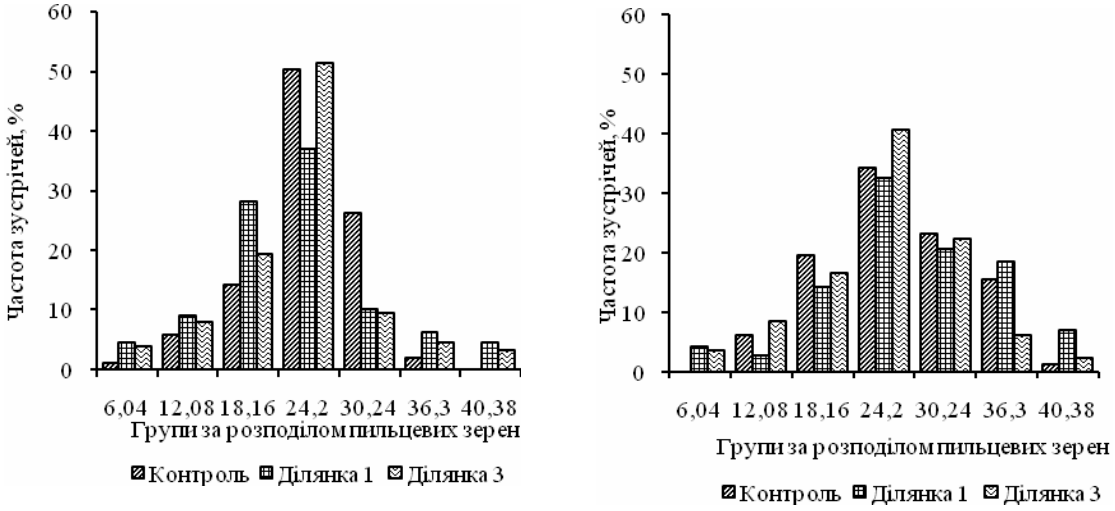
На рис. 2 відображені результати розподілу пилкових зерен за їх розмірами. Як у контрольному, так і в дослідних варіантах найбільша кількість пилкових зерен у *P. orientalis* має розміри 24,2±0,23 мкм. Найменші пилкові зерна, які було виявлено, мали діаметр 6,0±0,53 мкм. В умовах дії на рослини промислових і автомобільних викидів спостерігаються зміни розподілу зерен за класами. Якщо в контролі зерен з діаметром 18,2±0,41 мкм виявлено 14,3% пилку, а з діаметром 30,2±0,16 мкм – 26,3%, то на ділянці 1 (біля металургійних підприємств) кількість перших збільшується до 28,3%, а других зменшується до 10,31%. Але відсоток зерен з цим діаметром з 50,3% у контролі зменшується до 37,1% у рослини, на які діють полютанти металургійного комбінату. Подібна спрямованість змін розподілу пилкових зерен за цими групами стосовно контролю спостерігається і за дії вихлопів автомобільного транспорту (ділянка 3), хоча зміни за кількістю пилкових зерен в розмірних групах III та VI менші, ніж на ділянці 1, а в групі IV майже не змінюється відносно контрольних значень.



1 2

P. orientalis *P. acerifolia*

Рис. 1. Морфометрична різноякісність пилку *P. orientalis* (1) і *P. acerifolia* (2) в умовах забруднення довкілля (стрілками позначені стерильні пилкові зерна).



P. orientalis *P. acerifolia*

Рис. 2. Характеристика пилкових зерен за розмірами у видів роду *Platanus* L.

В екземплярів виду *P. acerifolia* розподіл пилкових зерен за розмірними класами в контролі такий. Найбільша кількість пилку має діаметр 24,2±0,21 мкм. Кількість пилкових зерен у цьому класі становить 34,2%. Кількість пилкових зерен на ділянці 1 у класах з найменшим діаметром становить 4,2 та 3,6% на ділянці 3. Кількість пилку з найбільшим діаметром 36,3±0,26 та 40,4±0,13 мкм, навпаки, стає більшим у рослин, що зростали на ділянці з високим рівнем різноякісного забруднення викидами металургійних підприємств, й меншим у рослин придорожньої зони порівняно з контролем. Слід зазначити, що в обох видів як найменші, так і дуже великі пилкові зерна часто є стерильними.

Отже, забруднення довкілля викликає порушення розподілу пилку за розмірними класами. Сильніше на цей процес впливають емісії промислового забруднення (ділянка 1). Підвищення рівня морфологічної різноякісності пилку за дії інгредієнтів викидів металургійних підприємств (абрикос звичайний, горіх грецький, кінський каштан звичайний, тополя гостролиста) спостерігала В. П. Бессонова [18].

Життєздатність пилку є важливим фактором для проростання пилкових трубок і насіннєвої продуктивності. Нами вивчено негативний вплив промислових та автомобільних викидів на життєздатність пилку видів роду *Platanus* L. Отримані дані можуть бути використані й для оцінки стану середовища при моніторингових дослідженнях.

Як видно з табл. 2, стерильність пилку в контрольних рослин *P. acerifolia* становить 4,1% в середньому за 4 роки. За умов хронічного впливу на рослини інгредієнтів промислових викидів кількість стерильних пилкових зерен зростає. В умовах ділянки 1 стерильність пилку становить 16,6%, ділянки 2 – 6,3%. Отже, найтоксичніше впливають на формування пилку викиди металургійних підприємств, значно меншу негативну дію мають промислові викиди ділянки 2. У вуличних насадженнях кількість стерильних зерен перевищує контрольний показник й становить 9,5%.

Аналогічна закономірність зміни стерильності пилку залежно від характеру забруднення встановлена для *P. orientalis*.

Таблиця 2

Вплив аерополютантів на стерильність пилку *P. orientalis* та *P. acerifolia*

Варіант	Стерильність пилку, %	
	P. acerifolia	*P. orientalis*
Контроль	4,1±1,21	1,8±1,02
Ділянка 1	16,6±2,08	10,7±3,18
Ділянка 2	6,3±1,16	2,8±2,04
Ділянка 3	9,5±1,08	7,4±2,16

Відсоток стерильного пилку в досліджуваних видів у контролі відрізняється. Тому для зіставлення абортивності пилку рослин *P. orientalis* та *P. acerifolia* використовували коефіцієнт стерильності (рис. 3). Це відношення стерильності пилку в дослідних точках до цього показника в контролі [18]. Більш чутливим до забруднення середовища викидами металургійних підприємств за показником стерильності пилку є *P. orientalis*. У цього виду коефіцієнт стерильності на ділянці 1 становить 5,5±0,31, у *P. acerifolia* він дорівнює 4,0±0,39. Біля трансформаторного заводу цей показник однаковий для обох досліджуваних видів. На ділянці 1 сильно підвищують стерильність пилку фториди, двооксид нітрогену, фенол, сірчаний ангідрид. На ділянці 3 негативну дію виявляє свинець та інші забруднювачі. Підвищення рівня стерильності пилку за дії вихлопних газів автомобілів спостерігали і інші дослідники у таких видів, як *Acer platanoides* та *Tilia cordata* [7, 18].

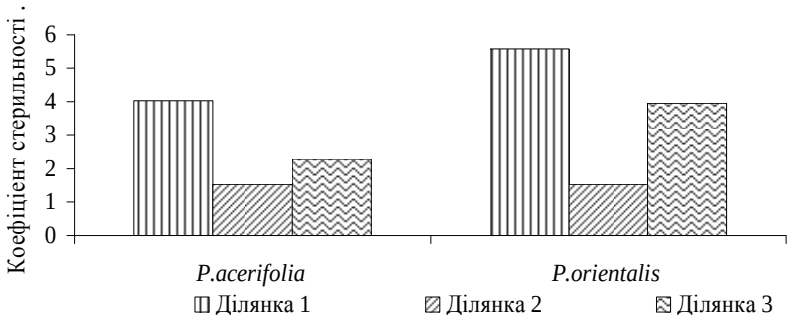


Рис. 3. Коефіцієнт стерильності видів роду *Platanus* L. за різних умов зростання.

Таким чином, інгредієнти промислових викидів та вихлопів автотранспорту призводять до порушення формування макроспор у рослин видів роду *Platanus* L., у результаті чого у них зростає морфометрична різноякісність пилкових зерен та їх стерильність. Отже, за рівнем мутагенності середовища найбільша кількість стерильних пилкових зерен в пиляках *P. orientalis* та *P. acerifolia* виявлена біля металургійних підприємств, найменша – на

території трансформаторного заводу. Аерополютанти впливають більш негативно на пилок *P. orientalis*, ніж *P. acerifolia*.

У подальших дослідженнях планується здійснити визначення впливу забруднення довкілля на якісні показники плодоношення видів роду *Platanus*.

Висновки

1. Мінімальна кількість суцвіть була відмічена нами на ділянці 1 у 2006 р., коли поєдналися негативні чинники: сувора зима та забруднення довкілля викидами металургійних підприємств на цій ділянці, цей показник становив для *P. orientalis* 56,3% й для *P. acerifolia* 76,6% відносно контрольних значень.

2. За умов хронічного впливу на рослини інгредієнтів промислових викидів кількість стерильних пилкових зерен зростає. Найтоксичніше впливають на формування пилку викиди металургійних підприємств (стерильність пилкових зерен становить 16,6%), значно меншу негативну дію мають промислові викиди ділянки 2 (6,3% відповідно). У вуличних насадженнях кількість стерильних зерен перевищує контрольний показник й становить 9,5%.

3. Більш чутливим до забруднення середовища викидами металургійних підприємств за показниками якості, стерильності та розмірами пилку є *P. orientalis*.

Список літератури

1. *Шкурко В. В.* Еколого-гігієнічні проблеми сучасного урбанізованого міського середовища / В. В. Шкурко // Екологічний вісник. – 2005. – № 4. – С. 8–10.

2. *Смит У. Х.* Лес и атмосфера / У. Х. Смит. – М.: Прогресс, 1985. – 430 с.

3. *Ставрова Н. И.* Влияние атмосферного загрязнения на семеношение хвойных пород / Н. И. Ставрова // Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. – Л.: Наука, 1990. – С. 115–121.

4. *Бессонова В. П.* Семенное возобновление древесных растений и промышленные поллютанты (SO_2 и NO_2) / В. П. Бессонова, Т. И. Юсыпива. – Запорожье: ЗГУ, 2001. – 193 с.

5. *Бессонова В. П.* Динамика пигментов и углеводов в листьях акации белой, произрастающей в различных лесорастительных условиях / В. П. Бессонова, О. Ф. Михайлов, А. И. Коритова // Вопр. степного лесоведения. – Днепропетровск, ДГУ, 1976. – С. 100–105.

6. *Мазепа В. Г.* Вплив техногенного забруднення атмосфери на репродуктивні особливості *Pinus sylvestris* L. / В. Г. Мазепа // Укр. ботан. журн. – 1995. – Вип. 52, № 5. – С. 654–657.

7. *Бессонова В. П.* Интенсивность плодоношения древесных растений в условиях загрязнения среды / В. П. Бессонова, З. В. Грицай. – Днепропетровск: ДГУ, 1993. – 11 с. – Библиогр.: 9 назв. – Рус. – Деп. В УкрИНТЭИ 23.03.93, № 643–Ук93.

8. *Грицай З. В.* Интенсивность цветения кленов в условиях промышленного загрязнения / З. В. Грицай // Вопросы степного лесоведения и рекультивации земель. – Днепропетровск: Изд-во Днепропетровского ун-та, 1996. – С. 159–164.

9. *Селянкина К. П.* О репродуктивной функции основных лесообразующих пород Урала в условиях воздействия промышленных выбросов, содержащих агрессивные соединения / К. П. Селянкина, О. Д. Шкарлет, С. А. Мамаев // Загрязнение атмосферного воздуха предприятиями цветной и черной металлургии и меры по его защите. – Челябинск, 1972. – С. 102–109.

10. *Калверта С. В.* Защита атмосферы от промышленных загрязнений. – Справ. в 2-х ч. / С. В. Калверта, Г. М. Инглунда. – М.: Металлургия, 1988. – Ч. 2. – 721 с.

11. Програма моніторингу довкілля Запорізької області. – Запоріжжя, 2001. – 182 с.

12. *Илькун Г. М.* Загрязнители атмосферы и растения / Г. М. Илькун. – К.: Наук. думка, 1978. – 247 с.

13. *Никитинский Ю. И. Д*екоративное древоводство / Ю. И. Никитинский, Т. А. Соколова. – М.: ВО Агропромиздат, 1990. – 256 с.

14. Международные правила определения качества семян / Под ред. И. Г. Леурда. – М.: Агропромиздат, 1969. – 184 с.

15. *Лакин Г. Ф.* Биометрия: Уч. пособие для биол. спец. вузов / Г. Ф. Лакин. – М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.

16. *Кулагин Ю. З.* Индустриальная дендрология и прогнозирование / Ю. З. Кулагин. – М.: Наука, 1985. – 118 с.

17. *Бессонова В. П.* Состояние пыльцы как показатель загрязнения среды тяжелыми металлами / В. П. Бессонова // Экология. – 1992. – № 4. – С. 5–50.

18. *Бессонова В. П.* Можливості оцінки екологічної ситуації у промисловому місті за гаметоцидною дією на рослини промислових емісій / В. П. Бессонова, З. В. Грицай, І. І. Лисенко // Екологія і освіта: Проблеми теорії і практики. Тези доп. міжнар. наук.-практ. конф. (м. Умань, 20–21 квітня 1994 р.). – Умань, 1994. – Т. ІІ. – С. 10–11.

19. *Горовая А. И.* Цитогенетическая оценка мутагенного фона в промышленном Приднепровье / А. И. Горовая, В. М. Дигурко, Т. В. Скворцова // Цитол. и генет. – 1995. – № 6. – С. 16–22.

20. *Бессонова В. П.* Влияние загрязнения окружающей среды на мужскую фертильность декоративных цветочных / В. П. Бессонова, Л. М. Фендюр // Бот. журн. – 1997. – Т. 85, № 5. – С. 38–44.

21. *Рангалис Н. В.* Регуляция чувствительности высших растений к мутагенным факторам / Н. В. Рангалис. – Рига: Мокслас, 1978. – 188 с.

Капелюш Н. В. **Влияние аэротехногенного загрязнения среды на репродуктивное развитие представителей рода *Platanus* L.** – Проведен анализ влияния загрязнения среды на интенсивность цветения исследуемых деревьев, количество стерильных пыльцевых зерен и показатель стерильности пыльцы. Рассмотрена закономерность изменения стерильности пыльцы видов рода *Platanus* L. в зависимости от характера загрязнения. Установлено, что наиболее чувствительным к загрязнению среды выбросами металлургических предприятий является *Platanus orientalis.*

Ключевые слова: интенсивность цветения, стерильность пыльцевых зерен, растения рода *Platanus.*

***Kapeljus N. V. Influence of aerotechnogenic pollution on reproductive development of kind of Platanus* L.** – Analysis of the impact of pollution on the intensity of the flowering of trees, number of sterile pyl′cevyh grains and pollen sterility rate. Considered pattern changes of pollen sterility of species of *Platanus* L., depending on the nature of the pollution. Found that the most sensitive to pollution emissions smelters is *Platanus orientalis*.

Key words: intensity of flowering, sterility of pollen grains, plants of sort *Platanus.*

УДК 574.4 : 212.6 : 502.4(470)

© Г. Н. Лысенко

ЭКОТОПИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ СТЕПЕЙ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Нежинский государственный университет имени Николая Гоголя
16602, г. Нежин, ул. Крапивянского, 2; e-mail: lysenko_gena@yahoo.com

Лысенко Г. Н. **Экотопическая дифференциация степей Ростовской области.** – Результаты синфитоиндикационных расчетов позволяют определить отличия экотопических характеристик местопроизрастаний, репрезентирующих разнотравно-дерновиннозлаковые, дерновиннозлаковые (Приазовско-Причерноморская степная подпровинция) и полукустарничково-дерновиннозлаковые (Эргенинско-Заволжская степная подпровинция) степи. Как и следовало ожидать, более существенные различия большинства исследуемых экологических факторов характеризуют полукустарничково-дерновиннозлаковые степи, так как они относятся к Заволжско-Казахстанской степной провинции, тогда как два первых варианта степей – к Причерноморской степной провинции. Это объясняется как существенными отличиями флористического состава соответствующих фитоценозов, так и особенностями преобладающих фитоценоструктур, которые прежде всего характеризуют полукустарничково-дерновиннозлаковые степи.

Ключевые слова: синфитоиндикация, экологические факторы, типологические варианты степей, природно-зональная дифференциация.

Введение

Степная область Евразии, протянувшаяся более чем на 8 тыс. км (от 27° до 127° в.д.), отличается не только значительным флористическим и ценотическим разнообразием, но и существенным варьированием величин экологических факторов, определяющих систему ботанико-географического разделения Палеарктики. Многими научными школами разработаны теоретические подходы к проблеме зональной дифференциации степей, обоснованы флористические и фитоценотические критерии разделения Евразийской степной области на подобласти, блоки провинций и подпровинций [3-8]. Вместе с тем тесная связь ценопопуляций и растительных сообществ с величинами лимитирующих экологических факторов позволяет познать не только закономерности географического распределения, но и экологическую специфику различных типологических вариантов степей даже в пределах провинций и подпровинций. Поэтому, по мнению ряда авторов [10, 12], одной из задач, стоящих перед степеведами, является изучение экологической специфики типологических вариантов степей. Известно, что основные ботанико-географические закономерности смен растительности связаны с явлениями широтной (солярной) зональности. По широтному градиенту при движении с севера на юг увеличивается количество тепла, что сопряжено с усилением аридности климата, с одной стороны, и уменьшением годовой суммы осадков, с другой. Отмеченные колебания гидротермического коэффициента провоцирует количественные и качественные флористические и ценотические изменения растительности степей, проявляющиеся в смене формационного состава сообществ и внутри формационных синтаксонов. Вместе с тем базисом означенных изменений является и экотопическая неоднородность местообитаний, связанная не только с изменением гидротермического фактора, но и с мозаикой почвенных разностей, тесная связь которых с растительным покровом не вызывает никаких сомнений.

Целью настоящей работы было определение экотопических отличий различных типологических вариантов степей, распространенных в Ростовской области: разнотравно-дерновиннозлаковых, дерновиннозлаковых и полукустарничково-дерновиннозлаковых, формирующих своеобразный широтный профиль в пределах Ростовской области.

Материал и методы исследования

Для анализа было задействовано 117 геоботанических описаний стандартных площадок (100 м^2), выполненных в августе 2009 г. и мае-июне 2010 г. на территории Ростовской области в Чертковском, Красносулинском, Орловском и Ремонтненском районах, репрезентирующих исследуемые типологические варианты степей. С использованием метода синфитоиндикации экологических факторов [2] были рассчитаны величины ряда параметров среды: климатические – обобщенный терморежим климата (Tm), континентальность (Kn),

гумидность (Om), морозность (Cr) и эдафические – кислотный (Rc), общий солевой (Tr), азотный (Nt) и карбонатный (Ca) режимы, а также влажность (Hd) и переменность влажности (fH) почв. Полученные величины были статистически обработаны. В пределах генеральной совокупности данных были сформированы три выборки, соответствующие разнотравно-дерновиннозлаковым, дерновиннозлаковым и полукустарничково-дерновиннозлаковым степям. С целью определения положения исследуемых типологических вариантов степей в координатах экологических факторов среды был использован метод ординации [13].

Результаты и обсуждение

Ростовская область расположена в Причерноморско-Казахстанской подобласти степной области Евразии. Согласно геоботаническому районированию [5, 6, 8] преобладающая часть исследуемой территории находится в пределах Приазовско-Причерноморской степной подпровинции Причерноморской (Понтической) степной провинции, и лишь незначительные площади крайнего юго-востока области приурочены к западной границе Эргенинско-Заволжской степной подпровинции Заволжско-Казахстанской степной области.

Климат исследуемого региона умерено континентальный. В течение вегетационного периода максимум осадков приходится на июнь. Весна (апрель – май) относительно теплая, со значительным количеством осадков. Среднегодовая температура воздуха колеблется в пределах от +6,6°С в северных до +9,4°С в южных районах. Зима достаточно мягкая, средняя температура января составляет –2-9°С. Средняя температура июля – +23,0°С. Среднегодовое количество осадков колеблется от 400 мм на юге до 650 мм на севере области. Средняя продолжительность периода с температурами выше 0°С увеличивается от 230 дней на севере до 260 дней на юге, а безморозного периода – соответственно со 150 до 180 дней [11].

В этом регионе большие площади заняты черноземами: выщелоченными, мощными, тучными, типичными (обыкновенными) и южными. Лишь на юге распространены каштановые (темно-каштановые, каштановые и светло-каштановые) почвы, для некоторой части которых характерна значительная засоленность. В степных сообществах господствуют виды рода *Stipa* L. (*Stipa pennata* L. s. str., *S. tirsa* Stev., *S. ucrainica* P. Smirn., *S. zalesskii* Wilenski, *S. pulcherrima* C. Koch, в несколько меньшей степени – *S. capillata* L., *S. sareptana* A. Beck) [7, 8]. Кроме того, к числу преобладающих ковылей во всей подобласти принадлежит *S. lessingiana* Trin. et Rupr. Из мелкодерновинных злаков в составе ценозообразователей необходимо отметить виды рода *Festuca* L. (*Festuca valesiaca* Gaud., *F. rupicola* Heuff. и др.), виды родов *Agropyron* Gaertn., *Poa* L., *Koeleria* Pers. В опустыненных степях наряду с дерновинными злаками доминируют виды рода *Artemisia* L. из секции *Seriphidium* (*Artemisia santonica* L., *A. taurica* Willd., *A. lerchiana* Web. ex Stechm. и др.). В составе фитоценозов представлены многочисленные эфемеры и эфемероиды (виды роды *Tulipa* L. – *T. scherkii* Regel., *T. biebersteiniana* auct. p. p., *T. biflora* Pall.; виды родов *Crocus* L., *Bellevalia* Lapeyr., *Bulbocodium* L. и многие другие).

В Ростовской области выделяют три типологических варианта степей: разнотравно-дерновиннозлаковые (РДЗ), дерновиннозлаковые (ДЗ) и полукустарничково-дерновиннозлаковые (ПДЗ) степи [1, 14]. Вместе с тем каждый из вариантов подразделяется на несколько подтипов. Так, среди РДЗ степей выделяют богаторазнотравные, разнотравные и бедноразнотравные подтипы. Первые приурочены к наименее засушливым районам области и занимают наиболее высокие плоские водоразделы в районах Доно-Донецкой возвышенности и Донецкого кряжа, формирующиеся на обыкновенных, южных и западнопредкавказких черноземах. Разнотравные подтипы наиболее широко представлены в Ростовской области, доминируя в ее северной части, где занимают пологие склоны и большую часть водораздельных пространств. Вместе с тем данный подтип степи также занимает значительные площади и на юге области в западной менее засушливой части Сало-Манычской равнины, создавая, таким образом, сложнейшую мозаику с более южными типчаково-ковыльными степями. Бедноразнотравные РДЗ представляют собой переход к настоящей дерновиннозлаковой степи, формирующейся на маломощных, зачастую

солонцеватых почвах черноземного типа и переходных от черноземных к темно-каштановым почвам. Этот подтип, как правило, встречается в районе Сало-Манычской равнины.

Генезис дерновиннозлаковой степи тесно связан с областью распространения «коричневых» (солонцеватых) южных черноземов и темно-каштановых почв. ДЗ степь разделяют на умеренно сухую с ксерофильным и умеренно ксерофильным разнотравьем и сухую степь с ксерофильным разнотравьем. Первая из них распространена в восточной части Доно-Чирской, средней части Сало-Манычской и в небольшой степени на восточной окраине Ейско-Егорлыкской равнин. Однако по долинам Сала и Маныча умеренно сухая степь заходит далеко на запад. Следует заметить, что второй подтип степи распространен в тех же природных районах, что и предыдущая, отличаясь от нее лишь флористически по отсутствию умеренно ксерофильных видов.

На крайнем юго-востоке области распространены полукустарничково-дерновиннозлаковые (опустыненные) степи, относящиеся к Заволжско-Казахстанской степной провинции. Они в свою очередь подразделяются на две подзоны: типчаково-ковыльно-полынную (полупустынную) и пустынную полынно-типчаково-ковыльную степи. Типчаково-ковыльно-полынную степь часто ассоциируют с полупустыней, хотя дискуссии по поводу проведения границ между подзонами еще не завершены [9, 10]. Этот подтип степей встречается в бассейнах верхнего течения Сала и Маныча, климатические и эдафические характеристики которых близки к полупустыням Прикаспия.

Исследуемые участки расположены в Чертковском, Красносулинском, Новочеркасском, Орловском и Ремонтненском районах Ростовской области, репрезентирующих различные типологические варианты степей. Сформированные выборки соответствующие разнотравно-дерновинозлаковым, дерновинозлаковым и полукустарничково-дерновинозлаковым степям были статистически обработаны. Результаты расчетов представлены в табл. 1-3.

Таблица 1

Основные статистические показатели экологических факторов, характеризующие экотопы разнотравно-дерновиннозлаковых степей

№ п/п	Основные статистические показатели	Экологические факторы									
		Rc	Tr	Nt	Hd	fH	Tm	Kn	Om	Cr	Ca
1	X	8,55	8,12	4,78	8,66	4,52	8,34	8,72	6,83	7,39	8,56
2	x	0,07	0,07	0,10	0,18	0,16	0,06	0,09	0,10	0,08	0,14
3	Me	8,60	8,13	4,86	8,50	4,60	8,38	8,78	6,74	7,44	8,56
4	σ	0,17	0,18	0,23	0,45	0,40	0,14	0,21	0,24	0,19	0,33
5	min	8,34	7,92	4,49	8,30	3,79	8,08	8,33	6,68	7,11	8,07
6	max	8,74	8,36	5,06	9,48	5,02	8,48	8,95	7,32	7,65	9,06

Таблица 2

Основные статистические показатели экологических факторов, характеризующие экотопы дерновиннозлаковых степей

№ п/п	Основные статистические показатели	Экологические факторы									
		Rc	Tr	Nt	Hd	fH	Tm	Kn	Om	Cr	Ca
1	X	8,72	8,52	4,98	8,55	4,55	8,70	9,49	6,84	7,63	8,94
2	x	0,03	0,06	0,07	0,08	0,26	0,04	0,04	0,13	0,11	0,05
3	Me	8,72	8,52	4,98	8,55	4,55	8,70	9,49	6,84	7,63	8,94
4	σ	0,08	0,14	0,16	0,20	0,64	0,10	0,11	0,31	0,26	0,12
5	min	8,62	8,34	4,79	8,27	3,39	8,53	9,36	6,49	7,18	8,79
6	max	8,83	8,68	5,17	8,76	5,08	8,84	9,66	7,19	7,88	9,09

Таблица 3

Основные статистические показатели экологических факторов, характеризующие экотопы полукустарничково-дерновиннозлаковых степей

№ п/п	Основные статистические показатели	Экологические факторы									
		Rc	Tr	Nt	Hd	fH	Tm	Kn	Om	Cr	Ca
1	X	8,51	8,68	5,01	7,87	3,87	9,08	9,63	6,83	8,02	8,65
2	x	0,03	0,05	0,06	0,10	0,07	0,03	0,04	0,04	0,04	0,06
3	Me	8,53	8,66	5,04	7,75	3,88	9,10	9,66	6,83	8,06	8,72
4	σ	0,19	0,27	0,33	0,55	0,38	0,25	0,24	0,24	0,24	0,36
5	min	8,17	8,16	4,16	7,01	2,96	8,36	9,19	6,40	7,51	7,68
6	max	8,79	9,55	5,67	9,24	4,67	9,47	10,07	7,52	8,42	9,19

Средние значения обобщенного терморежима экотопов исследуемых типов сообществ при продвижении с севера на юг формируют ряд: РДЗ степи (8, 34 балла) → ДЗ степи (8,70 балла) → ПДЗ степи (9,08 балла), что полностью согласуется с широтным распределением тепла [11]. Более того, подобная закономерность характерна и для распределения минимальных и максимальных значений, которые практически не перекрываются (за исключением достаточно низких минимальных значений Tm, характеризующих ПДЗ степи) (см. табл. 1-3). Отмеченные различия термического режима экотопов прямо указывают на дифференциацию исследуемых типологических вариантов степей по данному фактору [4].

Подобной линейной зависимостью описывается и распределение средних величин континентальности климата. Следует отметить, что из климатических факторов разница между наибольшими и наименьшими величинами континентальности наиболее существенна и составляет 0,91 балла. Наименьшие средние, минимальные и максимальные значения характеризуют экотопы разнотравно-дерновиннозлаковых степей (см. табл. 1). Вместе с тем средние значения Kn экотопов дерновиннозлаковых и полукустарничково-деновиннозлаковых степей оказались достаточно близкими (9,49 и 9,63 балла соответственно). При этом необходимо отметить, что максимальные значения континентальности (10,07 балла) характеризуют ПДЗ степи, что объясняется их наиболее восточным расположением (42° 26′ – 43° 24′ в.д.) в сравнении с РДЗ и ДЗ участками степей (40° 09′ – 40° 46′ в.д.).

Наряду с отмеченными выше закономерностями распределения режима тепла и континентальности климата, которые полностью согласуются с теоретическими расчетами, средние величины гумидности климата, характеризующие исследуемые степные участки, отличаются практически одинаковыми величинами: 6,83; 6,84 и 6,83 балла для РДЗ, ДЗ и ПДЗ степей соответственно, что в абсолютных показателях соответствует субаридному типу климата. Минимальные и максимальные значения Om исследуемых участков также достаточно близки (см. табл. 1-3).

Величины морозности климата (Cr) отличаются линейной зависимостью. Наименьшие средние значения характеризуют экотопы разнотравно-дерновиннозлаковых степей (7,39 балла), наибольшие – экотопы полукустарничково-дерновиннозлаковых степей (8,02 балла). Дерновиннозлаковые степи занимают промежуточное положение (7,63 балла), однако более тяготеют к РДЗ степям (Δ = 0,24 балла), чем к ПДЗ (Δ = 0,39 балла).

Среди эдафических факторов наибольшей разницей средних значений характеризуется влажность почв (Δ = 0,79 бала). При увеличении средних значений Hd-фактора экотопов исследуемых степных участков они формируют следующий ряд: ПДЗ (X = 7,87 балла) → ДЗ (X = 8,55 балла) → РДЗ степи (X = 8,66 балла), что полностью совпадает с природно-зональной изменчивостью данного параметра среды. Вместе с тем следует отметить, что средние значения РДЗ и ДЗ степей достаточно близки (Δ = 0,11 балла), тогда как ПДЗ степи характеризуются более сухими почвами, что выражается в смене как доминирующих видов, так и их ценотического окружения. По фактору переменности увлажнения почв более

близкие средние значения отмечены для разнотравно-дерновиннозлаковых и дерновиннозлаковых степей (4,52 и 4,55 балла соответственно). Более южные полукустарничково-дерновиннозлаковые степи характеризуются более низкими средними величинами fH-фактора (3,87 балла).

Кислотность почв всех типологических вариантов степей демонстрирует очень плотное распределение средних значений. Разница средних несущественна и составляет всего 0,21 балла, что объясняется широким распространением различных вариантов черноземных почв, pH которых колеблется в пределах 7. Подобными закономерностями характеризуется и распределение содержания в почвах минерального азота. Средние значения исследуемых участков при увеличения показателей формируют ряд: РДЗ (4,78 балла) → ДЗ (4,98 балла) → ПДЗ (5,01 балла) степи. Разница между крайними средними незначительна (Δ = 0,23 балла). Вариабельность средних значений карбонатного режима почв исследуемых участков также незначительна и составляет 0,38 балла.

Распределение средних значений общего солевого режима почв (Tr) характеризуется линейной зависимостью. Наиболее обеспеченными солями являются почвенные разности полукустарничково-дерновиннозлаковых степей (8,68 балла), наименее – экотопы разнотравно-дерновиннозлаковых степей (8,12 балла). Дерновиннозлаковые степи занимают промежуточное положение (8,52 балла), но тяготеют к средним данным ПДЗ степей.

Показатели содержания соединений кальция в почвах исследуемых участков не отражают линейной зависимости. Наивысшими средними величинами (8,94 балла) характеризуются экотопы дерновиннозлаковых степей, тогда как два других типологических варианта достаточно близки по Ca-фактору (8,56 и 8,65 балла соответственно для ДЗ и ПДЗ степей). Это объясняется широким распространением черноземных почв, сформированных на лессовой основе, с содержанием карбонатов от 1,5 до 5%.

Рис. 1 и 2 наглядно иллюстрируют распределение амплитуд и средних значений климатических и эдафических факторов вдоль градиентов среды.

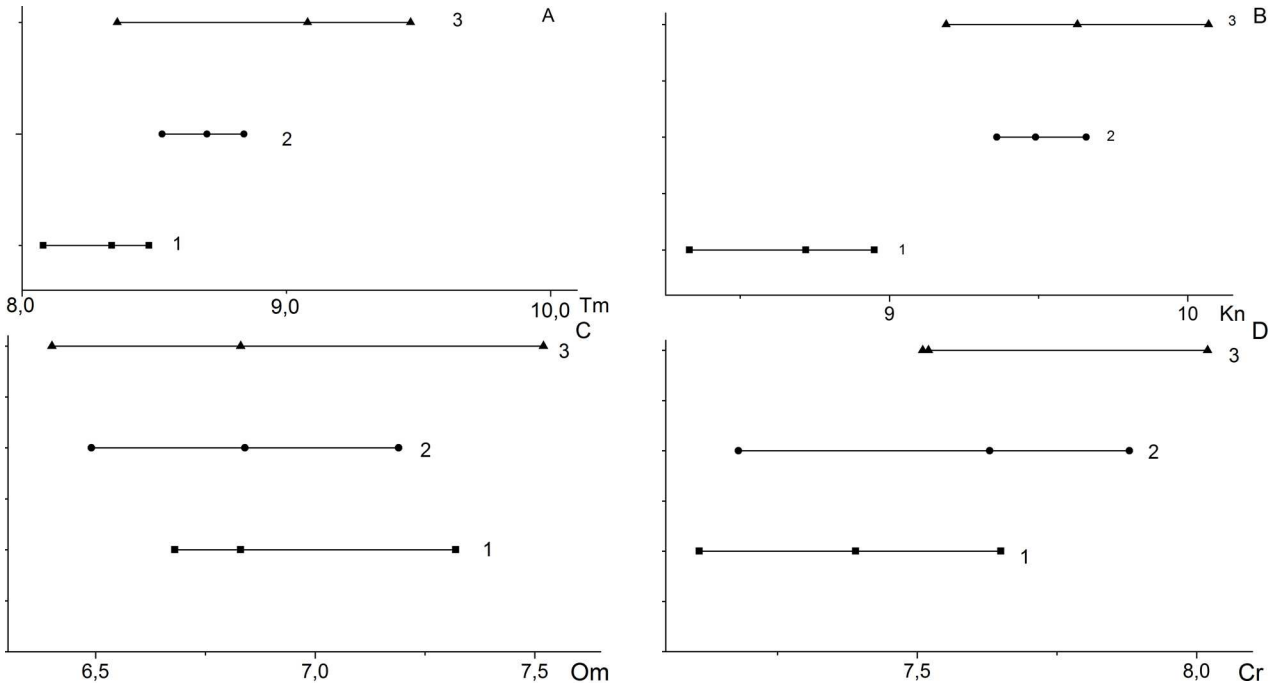


Рис. 1. Распределение амплитуд и средних значений типологических вариантов степей Ростовской области относительно климатических градиентов среды: A – обобщенного терморежима; B – континентальности климата; C – гумидности климата; D – морозности климата.

Условные обозначения (здесь и для рис. 2): 1 – разнотравно-дерновиннозлаковые степи; 2 – дерновиннозлаковые степи; 3 – полукустарничково-дерновиннозлаковые степи.

Как видно из рис. 1, дифференциация амплитуд и средних значений обобщенного терморежима (A), континентальности (B) и морозности (D) климата анализируемых участков, репрезентирующих различные типологические варианты степей, полностью совпадает с природно-зональным распределением основных климатических факторов, определяющих основные ботанико-географические закономерности смен растительности вдоль широтного градиента.

На рис. 2 представлены результаты ординации эдафической группы исследуемых экологических факторов.

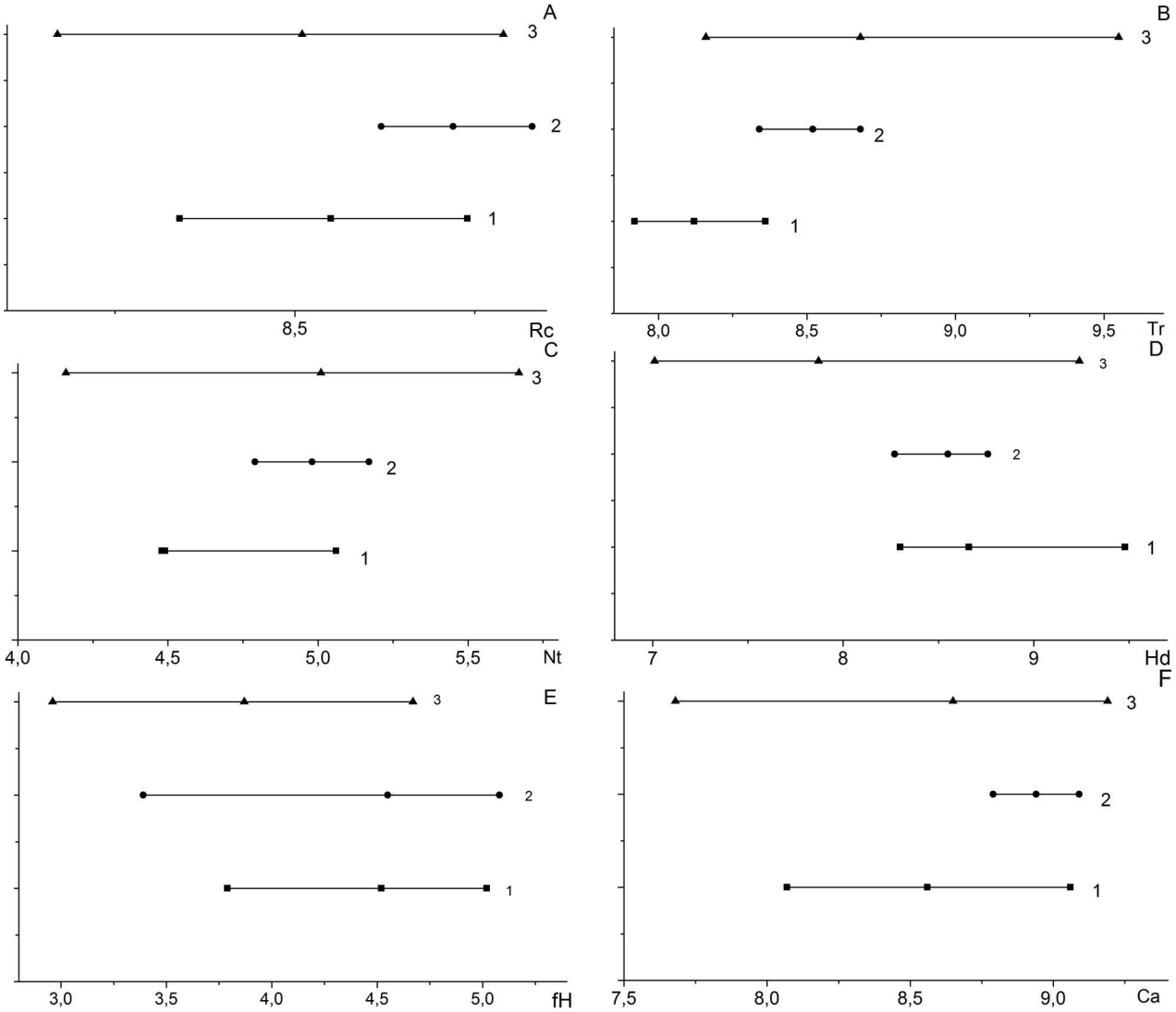


Рис. 2. Распределение амплитуд и средних значений типологических вариантов степей Ростовской области согласно эдафическим климатическим факторам: A – кислотности почв; B – общего солевого режима почв; C – содержание в почве минерального азота; D – влажности почв; E – переменности влажности почв; F – содержания в почве соединений кальция.

Из всех эдафических параметров четкой линейной зависимостью распределения экстремумов и средних значений вдоль градиента фактора характеризуется лишь общий солевой режим почв (B), что полностью совпадает со спецификой почвообразовательного процесса в аридных экосистемах и количеством содержащихся в почве солей (см. рис. 2). Это в свою очередь объясняет тяготение полукустарничково-дерновиннозлаковых степей к эвторофным почвам, характеризующимся разной степенью засоленности. Вместе с тем следует отметить достаточно плотное распределение минимальных, максимальных и

средних величин преобладающей группы эдафических факторов, формирующих экологический континуум исследуемых типологических вариантов степей, с одной стороны, и пеструю мозаичность растительного покрова – с другой.

Выводы

Таким образом, полученные нами результаты синфитоиндикационных расчетов позволяют определить различия экотопических характеристик местопроизрастаний, репрезентирующих разнотравно-дерновиннозлаковые и дерновиннозлаковые степи, относящиеся к Приазовско-Причерноморской степной подпровинции, и полукустарничково-дерновиннозлаковые степи Ергенинско-Заволжской степной подпровинции. Как и следовало ожидать, более существенные отличия средних значений и экстремумов большинства из исследуемых экологических факторов характерны для полукустарничково-дерновиннозлаковых степей, что объясняет их более обособленное положение в системе геоботанического районирования. В тоже время разнотравно-дерновиннозлаковые и дерновиннозлаковые степи оказались экотопически более близкими не только между собой, но и со степями Причерноморской (Понтической) провинции, расположенными западнее исследуемых участков. Это объясняется как существенными различиями флористического состава соответствующих фитоценозов, так и ценотическими особенностями преобладающих фитоценоструктур, характерных прежде всего для полукустарничково-дерновиннозлаковых степей.

Список литературы

1. *Горбачев Б. Н.* Растительность и естественные кормовые угодья Ростовской области (пояснительный текст к картам) / Б. Н. Горбачев. – Ростов-на-Дону: Ростиздат, 1974. – 152 с.

2. *Дідух Я. П.* Фітоіндикація екологічних факторів / Я. П. Дідух, П. Г. Плюта. – К.: Наук. думка, 1994. – 280 с.

3. *Исаченко Т. И.* Основные зональные типы степей / Т. И. Исаченко, Е. И. Рачковская // Труды БИН АН СССР. – М., Л.: Изд-во АН СССР, 1961. – Серия III. Геоботаника. Вып. 13. – С. 133–397.

4. *Карамышева З. В.* Ботаническая география степей Евразии / З. В. Карамышева // Степи Евразии: проблемы сохранения и восстановления. – СПб.; М.: Институт географии РАН, 1993. – С. 6–29.

5. *Лавренко Е. М.* О провинциальном разделении Евразиатской степной области / Е. М. Лавренко // Ботан. журн. – 1942. – Т. 27, № 6. – С. 136–142.

6. *Лавренко Е. М.* Евразиатская степная область / Е. М. Лавренко // Геоботаническое районирование СССР. – М.; Л: Изд-во АН СССР, 1947. – С. 95–110.

7. *Лавренко Е. М.* Степи и сельскохозяйственные земли на месте степей / Е. М. Лавренко // Растительный покров СССР. – М., Л.: Изд-во АН СССР, 1956. – Т. 2. – С. 595–730.

8. *Лавренко Е. М.* Степи Евразии / Е. М. Лавренко, З. В. Карамышева, Р. И. Никулина. – Л.: Наука, 1991. – 146 с.

9. *Мирошниченко Ю. М.* Степи Евразии и новые границы между степями и пустынями / Ю. М. Мирошниченко // Фиторазнообразие Восточной Европы. – 2006. – № 1. – С. 215–231.

10. *Сафронова И. Н.* Проблемы проведения подзональных границ в европейских степях России / И. Н. Сафронова // Степи Северной Евразии: матер. V междунар. симп. – Оренбург: ИПК «Газпромпечать», 2009. – С. 100–102.

11. *Смагина Т. А.* Климат и агроклиматические ресурсы / Т. А. Смагина, Ю. П. Хрусталев // Природные условия и естественные ресурсы Ростовской области. – Ростов-на-Дону: Батайское кн. изд-во, 2002. – С. 90–118.

12. *Ткаченко В. С.* Екотопічна диференціація заповідних степів України за даними синфітоіндикації / В. С. Ткаченко // Вісті Біосферного заповідника Асканія-Нова. – 2006. – Т. 8. – С. 5–14.

13. *Уиттекер Р.* Сообщества и экосистемы / Р. Уиттекер. – М.: Прогресс, 1980. – 328 с.

14. *Федяева В. В.* Растительный покров / В. В. Федяева // Природные условия и естественные ресурсы Ростовской области. – Ростов-на-Дону: Батайское кн. изд-во, 2002. – С. 226–282.

Лисенко Г. М. **Екотопічна диференціація степів Ростовської області.** – Результати синфітоіндикаційних розрахунків дозволяють встановити відмінності екотопічних характеристик місцезростань, що репрезентують різнотравно-дерновиннозлакові, дерновиннозлакові (Приазовсько-Причорноморська степова підпровінція) і напівчагарничково-дерновиннозлакові (Ергенінсько-Заволжська степова підпровінція) степи. Як і очікувалось, більш суттєві відмінностями переважної більшості досліджуваних екологічних чинників притаманні напівчагарничково-дерновиннозлаковим степам, оскільки вони належать до Заволжсько-Казахстанської степової провінції, тоді як два перші степові різновиди – до Причорноморської степової провінції. Це пояснюється як суттєвими відмінностями флористичного складу відповідних фітоценозів так і особливостями переважаючих фітоценоструктур, що характеризують передусім напівчагарничково-дерновиннозлакові степи.

Ключові слова: синфітоіндикація, екологічні фактори, типологічні варіанти степів, природно-зональна диференціація.

Lysenko H. M. **Ecotopic differentiation of the steppes Rostov Region.** – Results synphyitoindikatin calculations allow us to identify differences ecotopic habitat characteristics that represent forb-bunchgrass, bunchgrass (Azov-Black Sea steppe subprovince) and sagebrush-bunchgrass (Ergeninsko-Zavolzhsky steppe subprovince) steppes. As one might expect more significant differences of most studied environmental factors characterize sagebrush-bunchgrass steppe, as they relate to Zavolzhsky-Kazakhstan steppe province, whereas the first two versions of the steppes to the Black Sea steppe province. This is explained by significant differences in floristic composition of the phytocoenosis and features of the prevailing phytosenostruktures, which are primarily characterized by sagebrush-bunch-grass steppe.

Key words: synphytoindication, ecological factors, typological variants of the steppes, natural-zones differentiation.

УДК 582.29 : 581.52 (477.60)

© О. В. Машталер, Г. М. Голик

СПЕЦИФІКА РОЗПОДІЛУ ЛИШАЙНИКІВ ДОНЕЦЬКОЇ ОБЛАСТІ НА ЕКОЛОГІЧНІ ГРУПИ ЗА ТИПОМ СУБСТРАТУ

Донецкий национальный университет; 83050, г.Донецк, ул. Щорса, 46
e-mail: mashtaler_alex@mail.ru

Машталер О. В., Голик Г. М. **Специфіка розподілу лишайників Донецької області на екологічні групи за типом субстрату. –** Досліджено видовий склад та специфіку розподілу лишайників Донецької області (смт. Удачне Красноармійського району, с. Дронівка Краснолиманського району та Ворошилівський район м. Донецька) на екологічні групи за типом субстрату. З´ясовано, що найбільш придатним типом субстрату для заселення лишайниками у всіх досліджених районах області є кора дерев.

Ключові слова: лишайники, Донецька область, видовий склад, субстрат.

Вступ

Лишайники є невід'ємною частиною рослинного царства, тому дослідження у цій області є важливою складовою для розвитку науки та розуміння сутності лишайників як ботанічних об'єктів. Вони часто виступають піонерами заселення різних субстратів навіть в екстремальних умовах пустель, степів і високогір'я. Видовий склад та екологія розповсюдження даних організмів дозволяють робити певні висновки про ті чи інші угрупування, а також процеси, що відбуваються в середині певного фітоценозу, особливо на територіях, що постійно зазнають антропогенного впливу [3, 4]. Тому вивчення ліхенофлори Донецької області є перспективним та актуальним напрямком дослідження сьогодення.

Мета роботи – визначити видовий склад лишайників та з'ясувати специфіку їх розподілу за екологічними групами за типом субстрату на територіях Донецької області з різним ступенем антропогенного навантаження.

Матеріали та методи дослідження

Камеральну обробку матеріалів проводили в лабораторії на кафедрі ботаніки та екології біологічного факультету Донецького національного університету протягом 2006-2011 рр. Об'єкти дослідження збирали на територіях Донецької області з різним ступенем антропогенного навантаження: смт. Удачне Красноармійський району, с. Дронівка Краснолиманський району та Ворошилівський район м. Донецька. Гербарні зразки визначали стандартним порівняльно-морфологічним методом за визначниками та флорами [1, 2, 6-10]. Ідентифікацію лишайників, їх морфологічні та анатомічні дослідження проводили за допомогою бінокулярних мікроскопів «Ergaval» та МБИ-3, а також стереоскопічного мікроскопу МБС-1 за загальноприйнятою методикою [3, 5]. Використовували окуляри зі збільшенням 15× та об'єктиви зі збільшенням 8× і 20× з апертурою 0,20 і 0,65 відповідно.

Результати та обговорення

Видовий склад лишайників Донецької області (в межах дослідженої території) нараховує 24 види, які мають таку таксономічну структуру: 1 відділ, 1 клас, 1 порядок, 9 родин, 12 родів та 24 види. Провідними родинами досліджених територій є родини Cladoniaceae (7 видів, 29,17%), Parmeliaceae (5 видів, 20,83%) та Teloschistaceae (3 види, 12,5%) (табл. 1).

Решта родин є малочисельними для Донецької області і представлені лише 1-2 видами. Кількість родів також не відрізняється чисельністю. З табл. 1 видно, що основу спектру за кількістю родів складають 3 родини – Lecideaceae, Parmeliaceae, Teloschistaceae. Значна кількість родин представлена 1 родом. Найбільшу кількість родин виявлено на території Краснолиманського району (с. Дронівка) – 8, на території Красноармійського району (смт. Удачне) – 7, а найменшу – на території Ворошилівського району м. Донецька.

Характер та властивості субстрату для багатьох лишайників є першорядними умовами для їх існування. Найчастіше видове різноманіття лишайників значною мірою залежить від складу та структури субстратів придатних для їх існування.

Таблиця 1

Спектр родин ліхенофлори Донецької області

№	Родина	Кількість видів	%	Кількість родів	%
1	Lecanoraceae	2	8,33	1	8,33
2	Lecideaceae	2	8,33	2	16,67
3	Cladoniaceae	7	29,17	1	8,33
4	Parmeliaceae	5	20,83	2	16,67
5	Teloschistaceae	3	12,5	2	16,67
6	Physciaceae	2	8,33	1	8,33
7	Ramaliniaceae	1	4,17	1	8,33
8	Usneaceae	1	4,17	1	8,33
9	Buelliaceae	1	4,17	1	8,33
Всього		24	100	12	100

Лишайники можуть брати участь у перетворенні поверхні субстрату (механічне та хімічне). Є такі види лишайників, які здатні заселяти декілька типів субстрату. Лишайники поселяються навіть на тих субстратах, що на перший погляд є непридатними для життя: на поліетилені, черепиці та різних кам'янистих субстратах. За результатами наших досліджень визначені лишайники було розподілено за такими екологічними групами: епіліти (ростуть на камінні), епігеїди (ростуть на ґрунті), епіфіти (стовбури та гілля дерев), епіфітореліквіти (на мертвій деревині, рослинних рештках, відмерлих мохах), еврисубстратні (на різних типах субстратів, мають широку екологічну амплітуду) (табл. 2). Існують й більш детальні класифікації [5], але їх детальність залежить від завдань, що вирішуються конкретними дослідниками, особливостей території дослідження або об'єкту.

Таблиця 2

Екологічні групи лишайників за типом субстрату

Вид лишайнику	Екологічні групи				
	Епіліти	Епігеїди	Епіфіти	Епіфіто-реліквіти	Еври-субстратні
Lecanora dispersa (Pers.) Rohl.	-	-	+	-	-
L. crenulata (Dicks.) Th. Fr.	+	-	-	-	-
Scoliciosporum chlorococcum (Stenh.) Vêzda	-	-	+	-	-
Psora ostreata Hoffm.	-	-	+	+	-
Cladonia basillaris Nyl.	-	+	+	+	+
C. cornutoradiata (Coem.) Standst.	-	+	+	+	+
C. fimbriata (L.) Fr.	-	+	+	+	+
C. deformis Hoffm.	-	+	+	+	+
C. coniocraea (Flk.) Sandst.	-	+	+	+	+
C. digitata (L.) Schaer.	-	+	+	+	+
C. pyxidata (L.) Fr.	-	+	+	+	+
Parmelia caperata (L.) Ach.	-	-	+	+	-
P. cetrarioides Del.	-	-	+	-	-
P. sulcata Tayl.	-	-	+	+	-
Parmeliopsis ambigua (Wulf.) Nyl.	+	-	+	+	+
P. pallescens (Hoffm.) Hillm.	+	-	+	+	+
Caloplaca aurantiaca (Lighth.) Th. Fr.	+	-	+	-	-
C. citrine (Hoffm.) Th. Fr.	+	-	-	-	-
Xanthoria parietina (L.) Belf.	+	-	+	+	+
Physcia hispida (Scheb.)	+	-	+	+	+
Ph. nigricans (Filk.) Du Rietz.	-	-	+	-	-

Вид лишайнику	Екологічні групи				
	Епіліти	Епігеїди	Епіфіти	Епіфіто-реліквіти	Еври-субстратні
Ramalina dilacerata (Hoffm.) Vain.	-	-	+	-	-
Evernia prunastri (L.) Ach.	-	-	+	-	-
Buellia punctata (Hoffm.) Massal.	-	-	+	-	-
Разом видів	7	7	22	14	11

Примітка. Знаком «+» позначена присутність виду, знаком «–» – його відсутність.

Було визначено, що найбільша кількість лишайників належить до епіфітів – 22 види (див. табл. 2), тобто 36% від загальної кількості, на другому місці епіфітореліквіти – 14 видів (23%), на третьому місці – еврисубстратні (еврисубстратними вважаються ті лишайники, які ростуть на 3-х і більше типах субстратів) – 11 видів (18%), четверте місце – епіліти та епігеїди по 7 видів кожна група, тобто 12% від загальної кількості видів.

Окремо для кожної території нами було отримано такі показники (рис. 1).

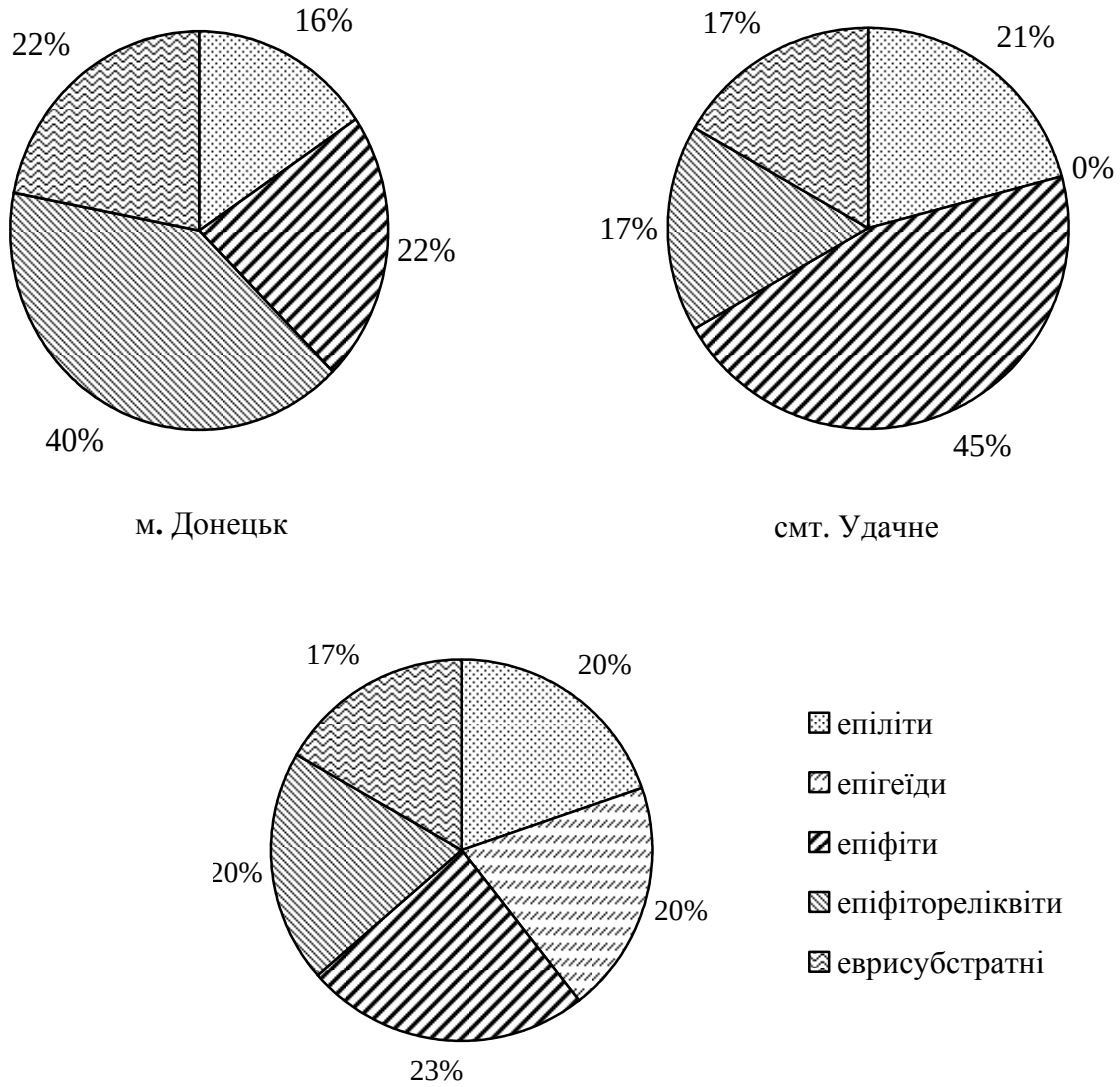


Рис. 1. Спектри розподілу лишайників за типом субстрату на досліджуваних територіях Донецької області.

1. м. Донецьк: переважаючою екологічною групою за типом субстрату виявилися епіфітні види лишайників, що складають 47%, другими є епіліти – 33%, меншою кількістю представлені епіфітореліквіти та еврисубстратні види, що відповідно складають 13 та 7%. Також не було знайдено видів, які ростуть на ґрунті. Цей факт відсутності таких видів можна пояснити несприятливими умовами для лишайників: відсутній шар листяної підстилки (особливо у містах, де постійно відбувається прибирання та спалювання опалого листя), недостатня кількість світла, забруднення верхнього шару ґрунту викидами автомобілів та підприємств.

2. смт. Удачне: найчисельнішими є епіфітні види лишайників (49%), однаковою кількістю представлені епіфіти, епіфітореліквіти та еврисубстратні види (по 17% кожний). Відсутні епігеїди.

3. с. Дронівка: було визначено, що найбільш чисельною є група епіфітних лишайників – 30% від загальної кількості видів. Друге місце посідають епіфітореліквіти (24%), наступними є еврисубстратні лишайники (20%). Однаковою кількістю видів представлені такі групи, як епіліти та епігеїди (по 13% кожна).

Висновки

1. Визначено, що залежно від субстрату найбільша кількість лишайників належить до епіфітів – 22 види (36%), на другому місці – епіфітореліквіти – 14 видів (23%), на третьому місці – еврисубстратні – 11 видів (18%), четверте місце посідають епіліти та епігеїди – по 7 видів кожна група (12%). Найбільша кількість лишайників оселяється на корі таких дерев, як *Acer negundo* L. (36% від загальної кількості), *Populus nigra* L. (32%), *A. platanoides* L. та *Ulmus* caprinifolia Rupp ex G. Suckow (23%).

2. Найбільш придатним типом субстрату для заселення лишайниками у всіх досліджених районах області є кора дерев. На відміну від інших субстратів, на яких можуть існувати лишайники, кора дерев має найбільший вміст елементів живлення органічної природи та характеризується неоднаковою структурою поверхні, що створює більш привабливі умови для заселення, росту та розвитку лишайників.

Список літератури

1. Водоросли, лишайники и мохообразные СССР (справочник – определитель географа и путешественника) / Л. В. Гарибова, Ю. К. Дундин, Т. Ф. Коптяева, В. Р. Филин. – М.: Мысль, 1978. – 365 с.

2. *Горбач Н. В.* Лишайники Белоруссии. Определитель / Н. В. Горбач. – М.: Наука и техника, 1973. – 368 с.

3. *Димитрова Л. В.* Епіфітні лишайники та мохоподібні як індикатори стану атмосферного повітря міста Києва: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук: спец. 03.00.16 «Екологія» / Л. В. Димитрова. – К., 2009. – 23 с.

4. *Кондратюк С. Я. Scoliciosporum chlorococcum* (Graewe ex Stenh.) Vezda – токсикотолерантний лишайник України / С. Я. Кондратюк, О. Ф. Соломіна // Укр. ботан. журн. – 1990. – Т. 47, № 3. – С. 37–41.

5. *Лиштва А.В.* Лихенология: учеб.-метод. пособие / А. В. Лиштва. – Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2007. – 121 с.

6. *Окснер А. М.* Визначник лишайників УРСР / А. М. Окснер. – К.: Вид-во АН УРСР, 1937. – 341 с.

7. *Окснер А. М.* Флора лишайників України: в 2-х т. / А. М. Окснер. – К.: Вид-во АН УРСР, 1956. – Т. 1. – 495 с.

8. *Окснер А. М.* Флора лишайників України: в 2-х т. / А. М. Окснер. – К.: Наук. думка, 1968. – Т. 2., вип. 1. – 500 с.

9. Определитель высших растений Украины / Д. Н. Доброчаева, М. И. Котов, Ю. Н. Прокудин и др. – К.: Наук. думка, 1987. – 548 с.

10. Определитель лишайников России. Вып. 8. Бацидневые, Катилярнивые, Леканоровые, Мегалориевые, Микобилимбиевые, Ризокарповые, Трапелиевые. – СПб.: Наука, 2003. – 277 с.

Машталер А. В., Голик Г. Н. **Специфика распределения лишайников Донецкой области на экологические группы по типу субстрата.** – Исследован видовой состав и специфика распределения лишайников Донецкой области (пгт. Удачное Красноармейский района, с. Дроновка Краснолиманского района и Ворошиловский район г. Донецка). Выяснено, что наиболее пригодным типом субстрата для заселения лишайниками во всех исследованных районах области является кора деревьев.

Ключевые слова: лишайники, Донецкая область, видовой состав, субстрат.

Mashtaler A. V., Golik G. N. **Specific of distributing of lichenes of the Donetsk region on ecological groups on the type of substrate.** – Species composition and specific character of distribution of lichenes of the Donetsk region is investigated (village Udachnoe, Krasnoarmeiskiy district; village Dronovka, Krasnolimanskiy district and Voroshilovskiy district of Donetsk,) on ecological groups on the type of substrate. It is found out that by the most suitable type of substrate for settling of lichenes on all investigational districts of area is a bark of trees.

Key words: lichenes, Donetsk region, species composition, substrate.

УДК 581.4 : 504.05 (477.6)

© Л. М. Осипова, А. Н. Рабоконь

ЦИТОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОПЫТНЫХ И КОНТРОЛЬНЫХ РАСТЕНИЙ *PINUS SYLVESTRIS* L. И *PINUS PALLASIANA* D. DON В ТЕХНОГЕННЫХ УСЛОВИЯХ Г. ДОНЕЦКА

Донецкий национальный университет; 83050, г. Донецк, ул. Щорса, 46
e-mail: nastya-rabokon@rambler.ru

Осипова Л. М., Рабоконь А. Н. **Цитоморфологические особенности опытных и контрольных растений *Pinus sylvestris* L. и *Pinus pallasiana* D. Don в техногенных условиях г. Донецка**. – Получены экспериментальные данные в результате изучения биологических особенностей видов *P. sylvestris* и *P. pallasiana* в техногенных условиях. Исследования растений проводились на морфологическом и цитологическом уровнях. Анализ полученных экспериментальных данных показал, что *P. pallasiana* обладает меньшей чувствительностью к загрязнению воздуха, чем *P. sylvestris*. Результаты исследований позволяют рекомендовать сосну обыкновенную в качестве биоиндикатора окружающей среды.

Ключевые слова: митоз, митотический индекс, семенное размножение, всхожесть, энергия прорастания, прирост побега, биоиндикатор.

Введение

Решение экологических проблем в регионах с высоким промышленным потенциалом стало неотложной задачей общегосударственной и межгосударственной значимости. Концентрация производства в индустриальных центрах неизбежно приводит к росту урбанистических тенденций и ухудшению качества окружающей человека среды. Загрязнение атмосферного воздуха здесь отрицательно влияет на флору, фауну, почвенные комплексы и здоровье населения [3].

Значение древесных насаждений в крупных индустриальных центрах неизмеримо возрастает, возникает настоятельная необходимость создания эффективно действующей системы городских культур дендроценозов и санитарнозащитных насаждений.

В Донбассе, расположенном на юго-востоке Украины, сложилась специфическая техногенная среда с постоянным увеличением антропогенных нагрузок на природные экосистемы. Это создает напряженный экологический баланс и дискомфортность среды обитания на прилегающих к источникам загрязнения территориях, приводит к снижению стабильности и эффективности защитно-декоративных насаждений [6].

Роль древесных насаждений в городах велика – это поглощение из воздуха избытка диоксида углерода, выделение кислорода, выделение листьями и цветами деревьев фитонцидов.

Неспособность растений к активным оперативным перемещениям в пространстве делает их очень удобными объектами для картирования загрязненных территорий на основе оценок изменения у них отдельных биоиндикационных показателей или в целом жизненного состояния. Наиболее удобными биоиндикаторами атмосферного загрязнения среды являются именно хвойные деревья, т. к. они отличаются высокой чувствительностью к повышенным концентрациям токсических веществ в окружающей среде, а также возможностью проведения исследований в течении всего года [7].

Повреждающие эффекты воздействия поллютантов доступны для визуального учета. В степной зоне Украины, где подавляющее число видов древесных растений – интродуценты, для биоиндикации пригодны те виды, которые не только отличаются хорошей чувствительностью на действие поллютантов, но и имеют широкое распространение. Данному критерию отвечают сосна крымская (*Pinus pallasiana* D. Don) и сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) [8], активно используемые во второй половине XX века в лесоразведении, мелиорации и озеленении индустриальных городов степной зоны. Сосна является не только хорошим биоиндикатором окружающей среды, но и имеет важное значение в зелёном строительстве отдельных регионов благодаря высокой декоративности и

долговечности, а также высоким санитарно-оздоровительным качествам и благотворному эмоциональному влиянию на человека [2].

В связи с этим цель нашей работы – анализ цитоморфологических особенностей растений сосны крымской (*P. pallasiana*) и сосны обыкновенной (*P. sylvestris*) в техногенных условиях г. Донецка.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования стали деревья сосны крымской возрастом 8-10 лет, произрастающие вблизи проезжей части в Ворошиловском районе г. Донецка (опыт) и на территории дендрария Донецкого ботанического сада НАН Украины (контроль). Основные исследования проводили в октябре – ноябре 2010 г.

Морфологические исследования сосны обыкновенной проводились согласно методике «Определения состояния окружающей среды по комплексу признаков хвойных» [4]. Ветви сосны срезались на высоте 2-х метров с определенной части кроны, примыкающей к зонам загрязненным воздухом. В ходе исследований измеряли длину хвои на побеге прошлого года. Повторность 10-кратная, так как биометрические признаки довольно изменчивы. Вычисляли вес 1000 шт. абсолютно сухих хвоинок сосны. Для этого отсчитывали 2 раза по 500 шт. хвоинок, они высушивались в термостате и взвешивались. Также вычисляли количество хвоинок на 10 см бокового побега. Для этого брали 10 см побега прошлого года и подсчитывали число хвоинок. Измеряли длину прироста каждого года, начиная от последнего, двигаясь по междоузлиям от года к году. Продолжительность жизни хвои контрольных и опытных растений устанавливали визуально.

Возможность семенного размножения зависит от качества продуцируемых семян, которое оценивали при помощи единых методик, принятых в системе семенного контроля и сформулированных в ряде ГОСТов.

Вес 1000 шт. семян вычисляли пропорционально их общему числу. Для этого производили отсчет и взвешивание двух проб по 100 семян в каждой и умножали суммы массы на 5.

Процент всхожести устанавливали отношением проросших семян к общему их количеству, взятому для проращивания. Энергия прорастания – дружность прорастания семян за определенный срок, установленный для каждой культуры.

Для анализа на всхожесть брали 3-4 пробы чистых семян по 25-50 с последующим пересчетом. Каждую пробу закладывали в чашку Петри. По результатам проращивания устанавливали средний арифметический процент энергии прорастания и всхожести семян [1].

Для изучения опытных и контрольных растений на цитологическом уровне использовали модифицированную методику приготовления давленных препаратов из кончиков корешков проростков и из меристемы молодых чешуй [5].

Семена проращивали в термостате при 25-26°С. Затем кончики корешков фиксировали в уксусно-спиртовой смеси (1 : 3) в течении суток и хранили до окрашивания в 70°С спирте. Материал окрашивали реактивом Шиффа по Фельгину.

Из фиксатора корешки или молодые чешуи помещали на 5 минут в 1н раствор HCl, затем для гидролиза переносили на 30 минут в 50% раствор соляной кислоты. Время гидролиза должно быть предельно точным. Далее материал помещался в реактив Шиффа на 50-60 минут до окрашивания в малиновый цвет. После окрашивания корешки или чешуи отмывали в проточной воде. Из них готовились давленные препараты.

На препаратах под микроскопом изучали процесс митоза. Определение митотического индекса проводится следующим образом: подсчитывается количество делящихся клеток и общее количество клеток в поле зрения (повторность десятикратная) – отношение делящихся клеток к их общему количеству умноженное на $1000^0/_{00}$ и будет митотическим индексом. Определение относительной продолжительности каждой фазы митоза

определяется в процентах как соотношение клеток, находящихся на определённом этапе деления, к количеству всех делящихся клеток.

Вся математическая обработка данных проводилась с помощью программного обеспечения MS Excel 2007.

Результаты и обсуждение

Исследование морфометрических параметров.

Были изучены длина хвои, количество хвоинок на 10 см побега, вес сухой 1000 хвоинок, а также продолжительность жизни хвои. Данные приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Морфометрические особенности хвои контрольных и опытных растений *P. sylvestris*

№ п/п	Варианты опыта	Длина хвои, см		Количество хвои на 10 см побега		Вес сухой хвои (1000 шт.), г	
		M±m	t	M±m	t	M±m	t
1	Контроль	64,33±1,78	-	46,50±0,83	-	16,40±0,5	-
2	Опыт	51,60±1,17	5,98	53,60±1,71	3,74	21,27±0,4	7,61

Таблица 2

Морфометрические особенности хвои контрольных и опытных растений *P. pallasiana*

№ п/п	Варианты опыта	Длина хвои, см		Количество хвои на 10 см побега		Вес сухой хвои, г (1000 шт.)	
		M±m	t	M±m	t	M±m	t
1	Контроль	138,33±1,03	-	77,67±1,51	-	43,72±0,70	-
2	Опыт	129,87±1,19	5,39	82,13±1,27	1,15	54,31±0,90	9,29

Как видно из табл. 1, длина хвои контрольных растений *P. sylvestris* достоверно превышает длину опытных, что составляет соответственно 64,33±1,78 см и 51,60±1,17 см. Количество хвоинок на 10 см побега у опытных растений (46,50±0,83) достоверно меньше, чем у контрольных (53,60±1,71).

Анализ экспериментальных данных морфометрических особенностей хвои *P. pallasiana* показывает незначительное уменьшение длины хвои опытных растений (контроль: 138,33±1,03 см; опыт: 129,87±1,19 см) и незначительное увеличение количества хвоинок на 10 см побега (контроль: 77,67±1,51; опыт: 82,13±1,27). Разница данных опыта и контроля не достоверна.

По литературным данным [3], при неблагоприятных условиях отмечается увеличение веса хвои и количества ее на побеге (в результате ухудшения роста побега в загрязненной зоне пучки хвоинок более сближены и на 10 см побега их больше, чем в чистой зоне), т. е. это может быть результатом адаптации к неблагоприятным условиям обитания. Результаты наших исследований согласуются с данными выводами.

Интересной особенностью полученных результатов является значительное увеличение веса сухой абсолютно сухой хвои у опытных растений и *P. sylvestris,* и *P. pallasiana* сравнительно контроля. Разница является достоверной.

Что касается продолжительности жизни хвои, то у контрольных растений она составляет два года, а у опытных – всего один год. Это свидетельствует о том, что среда, в которой произрастают опытные деревья, сильно загрязнена. Однако следует отметить и то, что продолжительность жизни хвои контрольных растений составляет всего 2 года, хотя в относительно чистой среде произрастания хвоя у сосны живёт до четырёх лет. Данный факт свидетельствует о фоновом загрязнении среды обитания контрольных растений.

Исследование динамики роста побегов сосны.

В задачу наших исследований входило изучение интенсивности роста боковых побегов опытных и контрольных растений сосны обыкновенной и сосны крымской за период с 2006 г. по 2010 г. включительно. Результаты исследований приведены в табл. 3 и 4, а также на рис. 1 и 2.

Таблица 3

Прирост побега опытных и контрольных растений *P. sylvestris*

№	Варианты опыта	2010 г.		2009 г.		2008 г.		2007 г.		2006 г.	
		X±m	t	X±m	t	X±m	t	X±m	t	X±m	t
1	Контроль	41,9± 0,29	-	47,4± 0,25	-	20,9± 1,5	-	22,9± 1,5	-	18,1± 1,9	-
2	Опыт	15,2± 1,6	8,39	30,6± 0,96	3,62	44,8± 0,65	9,5	50,4± 11,45	8,41	63,0± 1,19	15,6

Таблица 4

Прирост побега опытных и контрольных растений *P. pallasiana*

№	Варианты опыта	2010 г.		2009 г.		2008 г.		2007 г.		2006 г.	
		X±m	t	X±m	t	X±m	t	X±m	t	X±m	t
1	Контроль	44,8± 1,6	-	37,6± 1,76	-	20,0± 1,5	-	19,0± 1,78	-	16,4± 1,82	-
2	Опыт	32,0± 0,82	2,56	31,8± 1,0	0,59	33,73± 1,80	4,1	29,87± 1,80	4,56	33,07± 3,53	7,02

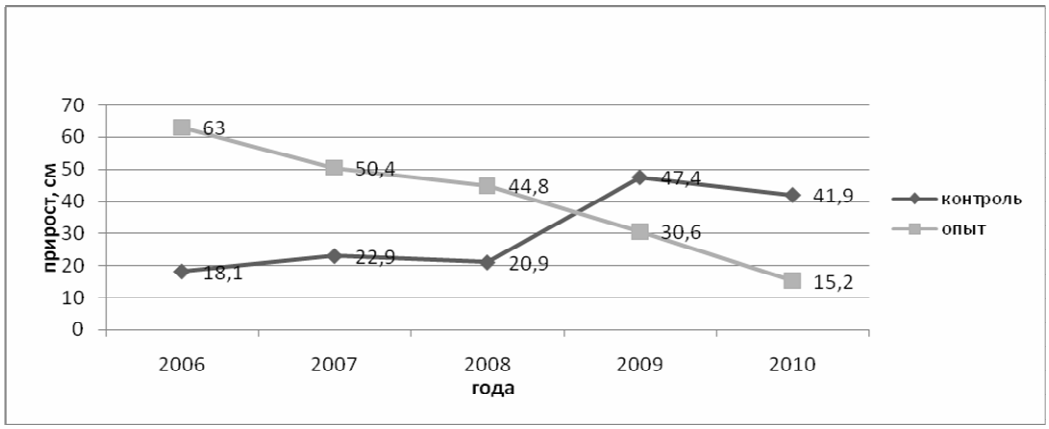


Рис. 1. Прирост побега опытных и контрольных растений *P. sylvestris.*

Сравнительный анализ параметров, характеризующих прирост *P. sylvestris* и *P. pallasiana*, показал, что опытные растения данного вида сосны начиная с 2006 г. существенно уменьшают величину прироста вплоть до 2010 г. Что касается контрольных растений, то начиная с 2006 г. прирост начинает значительно увеличиваться. С 2007 г. по 2008 г. заметных изменений величины данного показателя не обнаружено, т.е. остаётся на уровне 2007 г. Начиная с 2008 г. прирост контрольных растений резко возрастает и приблизительно на таком же уровне остаётся и до 2010 г.

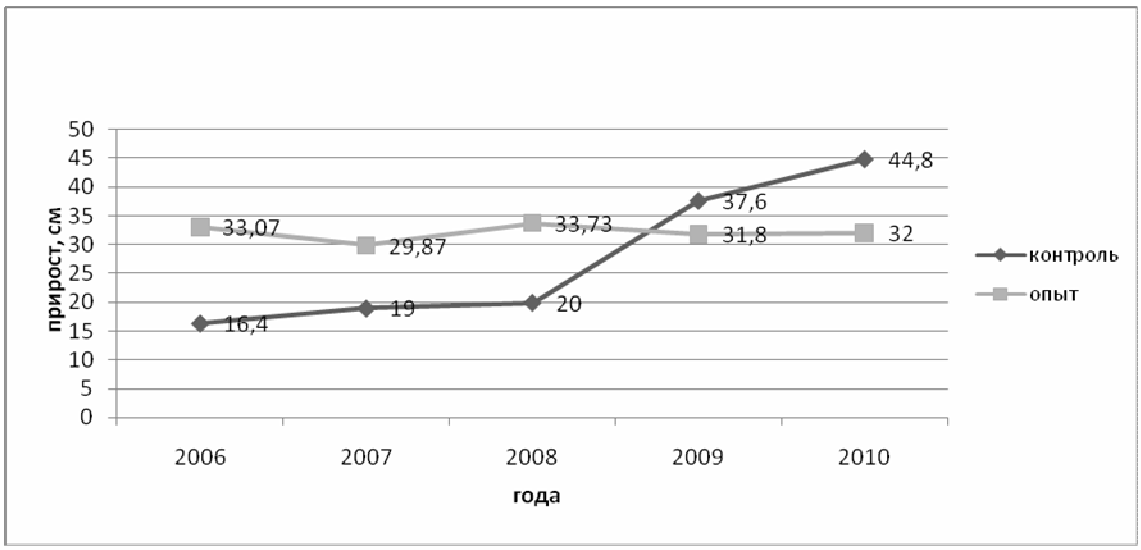


Рис. 2. Прирост побега опытных и контрольных растений *P. pallasiana.*

Результаты анализа прироста контрольных и опытных растений сосны крымской позволили установить, что у опытных растений с 2006 г. по 2007 г. величина данного показателя незначительно уменьшается. Затем возрастает до уровня 2006 г. и приблизительно на таком же уровне остается до 2010 г., т. е. резких изменений в величине данного показателя не обнаружено. У контрольных растений величина этого показателя с 2006 г. по 2008 г. остаётся приблизительно на одном и том же уровне, с 2008 г. по 2009 г. резко возрастает и небольшой подъём величины показателя наблюдается до 2010 г.

Характерной особенностью опытных и контрольных растений данных видов сосны является то, что абсолютная величина прироста опытных растений с 2006 г. по 2008 г. значительно выше контроля, а начиная с 2008 г. у обоих видов сосны контрольные растения по величине данного параметра значительно превышают опытные.

Анализ экспериментальных данных позволил установить, что опытные растения сосны крымской по величине изучаемого параметра более стабильны, а у сосны обыкновенной величина прироста с 2008 г. по 2010 г. резко падает.

Определение параметров массы, всхожести и энергии прорастания семян.

Для более полной характеристики исследуемых растений нами были определены такие параметры, как масса 1000 семян, всхожесть и энергия прорастания. Результаты приведены в табл. 5 и 6.

Таблица 5

Параметры массы, всхожести и энергии прорастания семян опытных и контрольных растений *P. sylvestris*

№ п/п	Вариант опыта	Масса 1000 семян, г	Всхожесть, %		Энергия прорастания, %	
			X±m	t	X±m	t
1	Опыт	9,07	90±1,78	1,4	60±1,85	0,6
2	Контроль	10,00	90±1,74	-	60±2,10	-

Таблица 6

Параметры массы, всхожести и энергии прорастания семян опытных и контрольных растений *P. pallasiana*

№ п/п	Вариант опыта	Масса 1000 семян, г	Всхожесть, %		Энергия прорастания, %	
			X±m	t	X±m	t
1	Опыт	22,53	80±2,10	1,6	60±2,40	1,2
2	Контроль	25,37	80±1,56	-	60±0,99	-

Масса семян, всхожесть и энергия прорастания у опытных растений и сосны обыкновенной, и сосны крымской совпадают с величиной данных параметров контрольных растений. Однако стоит отметить, что масса семян у *P. pallasiana* превышает данный параметр у *P. sylvestris*, а всхожесть и энергия прорастания семян, наоборот, выше у растений вида *P. sylvestris*.

Изучение на цитологическом уровне.

Для более глубоко анализа адаптивных особенностей опытных растений сосны в задачу наших исследований входило изучение данного процесса на цитологическом уровне.

Нами были определены митотический индекс и продолжительность каждой фазы митоза опытных растений относительно контрольных (табл. 7).

Таблица 7

Митотический индекс и продолжительность фаз митоза у *P. sylvestris*

№ п/п	Варианты опыта	Продолжительность фаз митоза, ‰ (X±m)				Митотический индекс, ‰	
		профаза	метафаза	анафаза	телофаза	X±m	t
1	Опыт	66,39±2,10	7,6±0,91	2,94±0,41	7,2±0,32	336,8±3,20	5,3
2	Контроль	85,71±3,60	7,4±0,29	3,84±0,21	7,6±1,90	406,2±2,69	-

Таблица 8

Митотический индекс и продолжительность фаз митоза у *P. pallasiana*

№ п/п	Варианты опыта	Продолжительность фаз митоза, ‰ (X±m)				Митотический индекс, ‰	
		профаза	метафаза	анафаза	телофаза	X±m	t
1	Опыт	83,36±1,56	6,06±0,78	3,03±0,25	6,06±0,78	298,3±1,85	2,25
2	Контроль	86,88±2,51	5,6±1,10	5,6±0,59	9,36±1,02	349,8±1,45	-

Анализ полученных экспериментальных данных показал у растений недостоверное уменьшение митотического индекса у опытных растений сосны крымской (298,3±1,85‰) по сравнению с контрольными (349,8±1,45‰). Изучение продолжительности фаз митоза позволило установить, что наиболее продолжительной у опытных и контрольных растений была профаза (соответственно 83,36 и 86,88‰), а наиболее короткой – анафаза (соответственно 3,03 и 5,6‰).

Анализ аналогичных параметров у опытных и контрольных растений сосны обыкновенной показал достоверное уменьшение митотического индекса у опытных растений (336,8±3,2‰) относительно контроля (406,2±2,69‰). Относительная продолжительность фаз митоза у опытных и контрольных растений данного вида согласуется с литературными данными (наиболее продолжительной является профаза (66,39±2,1; 85,71±3,6‰), короткой – анафаза (7,20±0,32; 7,60±1,9‰) [5].

Сравнительное изучение величин митотического индекса и интенсивностью роста побегов опытных и контрольных растений позволил установить корреляционную связь между данными параметрами. С увеличением скорости роста побегов увеличивается значение митотического индекса.

Выводы

1. Анализ морфометрических особенностей хвои у опытных и контрольных растений *P. sylvestris* позволил установить достоверное уменьшение длины хвои, а также увеличение количества и веса сухой хвои у опытных растений. У опытных растений *P. pallasiana* достоверно увеличивается вес сухой хвои.

2. Цитологический анализ показал уменьшение величины митотического индекса у опытных растений сосны обыкновенной относительно контрольных растений. Величина данного параметра у опытных растений сосны крымской остается на уровне контроля.

3. Цитоморфологический анализ опытных и контрольных растений сосны показал, что деревья *P. pallasiana* обладают малой чувствительностью к действию аэрополлютантов, и их нельзя использовать в качестве биоиндикатора. Однако данный вид может быть использован в озеленении городов.

4. Сосна обыкновенная (*P. sylvestris*) отличается более повышенной чувствительностью к загрязнению воздуха, что дает возможность рекомендовать её в качестве объективного биоиндикатора окружающей среды.

Список литературы

1. *Зорина М. С.* Определение семенной продуктивности и качества семян интродуцентов / М. С. Зорина, С. П. Кабанов // Бот. журн. – 1985. – № 1. – С. 75-85.

2. *Коршиков И. И.* Адаптация растений к условиям техногенно загрязненной среды / И. И. Коршиков. – К.: Наук. думка, 1996. – 359 с.

3. *Коршиков И. И.*. Взаимодействие растений с техногенно загрязненной средой / И. И. Коршиков, В. С. Котов, И. П. Михеенко. – К.: Наук. думка, 1995. – 427 с.

4. *Осипова Л. М.* Сборник лабораторных работ по экологии и охране окружающей среды / Л. М. Осипова. – Донецк: ДонНУ, 2000. – 49 с.

5. *Паушева З. П.* Практикум по цитологии растений / З. П. Паушева. – М.: Агропромиздат, 1988. – 226 с.

6. *Поляков А. К.* Хвойные на юго-востоке Украины / А. К. Поляков, Е. П. Суслова. – Донецк: Альфа, 2009. – 356 с.

7. *Правдин Л. Ф.* Сосна обыкновенная / Л. Ф. Правдин. – М.: Наука, 1964. – 242 с.

8. *Шостаковский С. А.* Систематика высших растений / С. А. Шостаковский. – М.: Высш. шк., 1971. – 351 с.

Осипова Л. М., Рабоконь А. М. **Цитоморфологічні особливості дослідних і контрольних рослин видів *Pinus sylvestris* L. та *Pinus pallasiana* D. Don в техногенних умовах м. Донецька. –** Отримані експериментальні дані в результаті вивчення біологічних особливостей видів *P. sylvestris* і *P. pallasiana* в техногенних умовах. Дослідження рослин проводилися на морфологічному і цитологічному рівнях. Аналіз отриманих експериментальних даних показав, що *P. pallasiana* має меншу чутливість до забруднення повітря, ніж *P. sylvestris*. Результати досліджень дозволяють рекомендувати сосну звичайну як біоіндикатор довкілля.

Ключові слова: мітоз, мітотичний індекс, насінне розмноження, схожість, енергія проростання, приріст пагону, біоіндикатор.

Osipova L. M., Rabokon A. M. **Cytomorphological features of *Pinus sylvestris* L. and *Pinus pallasiana* D. Don experimental and check plants in technologenic conditions of Donetsk. –** Obtained experimental data as a result of studying biological characteristics of *P. sylvestris* and *P. pallasiana* species in the terms of technogenic conditions. Plant researches were held both at morphological and cytologic levels. The analysis of received experimental data has shown the fact that *P. pallasiana* is much less sensitive to air pollution, than *P. sylvestris* is. Research results permit to recommend *P. sylvestris* as an environment bioindicator.

Key words: mitosis, mitotic index, seed reproduction, energy of germination, a gain of runaway, the bioindicator.

УДК 576.32/36 (477.6)

© Л. М. Осипова[1], Д. Р. Радченко[1], І. І. Крохмаль[2]

СЕЛЕКЦІЯ СОРТІВ РОДУ *HEMEROCALLIS* L. В УМОВАХ ДОНБАСУ

[1]Донецький національний університет; 83050, м. Донецьк, вул. Щорса, 46
e-mail:radchenko.d.r@gmail.com
[2]Донецький ботанічний сад НАН України; 83059, м. Донецьк, пр. Ілліча, 110

Осипова Л. М., Радченко Д. Р., Крохмаль І. І. **Селекція сортів роду *Hemerocallis* L. в умовах Донбасу**. – Отримано експериментальні дані за міжсортовим схрещуванням рослин роду *Hemerocallis* L. Дослідження вихідних батьківських форм, а також гібридних і контрольних рослин проводились на цитофізіологічному рівні. Результати дослідження дозволяють рекомендувати сорти ‘Autumn Red’, ‘Bonanza’, ‘Agnes Shumate’ для подальшої селекційної роботи.

Ключові слова: гібридизація, мітотичний індекс, насіннєва продуктивність, схожість, реципрокне схрещування.

Вступ

На Донбасі, як й у будь-якому промисловому регіоні, багато уваги має приділятися питанню озеленення. Рослинність як система, що відновлює середовище, забезпечує комфортність умов проживання людей у місті, регулює (у певних межах) газовий склад повітря й ступінь його забруднення, кліматичні характеристики міських територій і має життєво необхідне значення для людини. Особливою популярністю для озеленення міських територій завжди користувалися гарноквітучі багаторічники, які мають високі декоративні якості, слугують джерелом естетичного відпочинку й виконують функції формування мікроклімату. До цієї групи рослин відносять і лілейники – р. *Hemerocallis* (Linnaeus, 1753) [6].

Зараз у ландшафтних композиціях нашого міста частіше за все використовується лілейник рудий – *Hemerocallis fulva* L. Рідше поширені старі сорти 40-50-х років минулого сторіччя, що за своїм зовнішнім виглядом не мають значних відмінностей від дикого типу. При цьому без належної уваги залишається той факт, що культивари лілейника дуже чисельні, мають неймовірно широкий спектр різноманітних декоративно цінних ознак і при цьому відрізняються високою екологічною пластичністю.

При вирішенні проблеми збагачення асортименту культиварів на перше місце виходить селекція, що дозволяє виявити, отримати і закріпити бажані ознаки. За допомогою цілеспрямованої гібридизації і подальшого відбору можна отримати високодекоративні форми рослин, пристосовані до ґрунтово-кліматичних умов південного сходу України. Тому метою нашого дослідження було виявлення перспективних для селекції сортів *Hemerocallis* hybr. за допомогою метода гібридизацій. У межах встановленої мети розв’язувались завдання визначення насіннєвої продуктивності, схожості насіння і біоцитологічних особливостей проростків.

Матеріали та методи дослідження

На базі Донецького ботанічного саду НАН України (ДБС) у колекції родового комплексу *Hemerocallis* із сортів, що успішно пройшли інтродуктивні випробовування і показали високий адаптивний потенціал в умовах нашої місцевості, було відібрано 6 сортів для подальшої гібридизації. Вибір батьківських пар здійснювався за такими критеріями: у рослин мали збігатися строки розвитку генеративної фази і час розпускання квіток, і вони, одночасно, повинні були чітко відрізнятися за певною декоративно цінною ознакою. Були сформовані три батьківські пари для реципрокного схрещування: ‘Black plush’ х ‘Warner house’, ‘Autumn Red’ х ‘var. rosea’, ‘Agnes Shumate’ х ‘Bonanza’. Саме реципрокне схрещування було обране тому, що при прямих та зворотних комбінаціях можна отримати різні результати як за зав’язуванням насіння, так і за якістю гібридів [1]. Контрольні рослини піддалися вільному запиленню.

Насіннєва продуктивність визначалася за методикою Т. А. Работнова з доповненнями Вайнагія [2, 5]. Схожіть насіння визначалися за стандартною методикою в умовах закритого грунту. Для проведення цитологічного дослідження були виготовлені тимчасові давлені препарати, забарвлені реактивом Шиффа за Фьольгеном. Мітотичний індекс розраховувався за стандартною формулою [3, 4].

Результати та їх обговорення

Вивчення процесів, пов'язаних із насіннєвим розмноженням, та їх кінцевий результат важливі як в теоретичному, так і в практичному відношенні. На даному етапі роботи дослідження особливостей плодів та насіння при гібридизації дозволить виявити перспективні батьківські пари, які зможуть давати великі обсяги якісного матеріалу для подальшої селекції

Усі три батьківські пари сортів показали підвищення як потенціальної, так і реальної насіннєвої продуктивності в умовах реципрокного схрещування (табл. 1). Коефіцієнт насіннєфікації було підвищено для пари 'Warner house' та 'Black plush' на 5,1%, 'var. rosea' та 'Autumn Red' – на 25,5%, 'Bonanza' та 'Agnes Shumate' – на 14,4%.

Таблиця 1

Насіннєва продуктивність досліджуваних сортів *Hemerocallis* hybr.

Варіанти досліду	Вид схрещування							t	Контроль			
	Пряме схрещування (1)			t	Реципрокне схрещування (2)							
	ПНП	РНП	КН		ПНП	РНП	КН		ПНП	РНП	КН	t
(1) 'Warner house' x 'Black plush'	5,9±0,1	4,5±0,1	76,3	5,1	7,0±0,1	5,7±0,1	83,4	5,0	7,9±0,6	6,0±0,5	75,9	4,8
(2) 'Black plush x 'Warner house'								4,9	8,5±0,4	7,3±0,5	85,9	
(1) 'var. Rosea' x 'Autumn Red'	4,3±0,2	3,0±0,4	69,7	4,5	2,1±0,1	2,0±0,2	95,2	4,2	6,0±0,3	5,3±0,4	88,3	4,5
(2) 'Autumn Red' x 'var. Rosea'								4,4	5,4±0,2	4,0±0,3	74,1	
(1) 'Agnes Shumate' x 'Bonanza'	5,5±0,1	3,5±0,2	63,6	4,4	5,0±0,1	4,0±0,1	80	3,9	5,2±0,2	4,1±0,4	78,8	4,1
(2) 'Bonanza' x 'Agnes Shumate'								4,2	6,0±0,2	5,5±0,3	91,6	

Примітка. ПНП – потенціальна насіннєва продуктивність, РНП – реальна насіннєва продуктивність, КН – коефіцієнт насіннєфікації.

Максимальний відсоток насіннєфікації при вільному схрещуванні становив 91,6% ('Bonanza'), при реципрокному схрещуванні – 95,2% ('Bonanza'), мінімальний – 74,1% для вільного запилення ('Autumn Red') і 63,6,1% для реципрокного ('Agnes Shumate'). Сорти 'var. rosea', 'Autumn Red', 'Bonanza' і 'Agnes Shumate' при реципрокному схрещуванні показали покращення своєї насіннєвої продуктивності на 17,4, 21,1, 15,2 і 11,6% відповідно.

Для більш детального дослідження процесу схожості проростки досліджувалися також на цитологічному рівні

Лілейники сорту 'Black plush' показали найкращій показник схожості насіння, коли використовувалися в якості материнської особини – 83% (рис. 1). При цьому відсоток схожості насінин від тієї ж материнської рослини, але при вільному запиленні виявився значно меншим і становив лише 69%. Сорт 'Warner house' виявився продуктивним лише в якості донору пилку. Отримане безпосередньо на рослинах цього сорту насіння характеризувалося схожістю 69% в досліді і 80% в контролі.

Цікавою особливістю досліду є те, що на кривій динаміки схожості (рис. 2) видно два слабко виражені піки – на 15-й і на 45-й день проростання. Аналогічна картина спостерігається і при дослідженні мітотичної активності кореневих меристем. При цьому за перші 20 днів проростання спостерігається стабільне зростання як динаміки схожості, так і мітотичної активності кореневих меристем проростків. До 50-го дня проростання схожість зростає не так інтенсивно, а потім досягає свого максимального значення та стабілізується. А мітотичний індекс після свого максимуму незначно знижується і стабілізується, досягаючи приблизно однакового рівня для всіх проростків одного типу. Максимум мітотичного індексу спостерігається на 15-й день проростання (441 ‰) при вільному запиленні для сорту ‘Warner house’. Мінімальне значення – 361‰ при реципрокному схрещуванні.

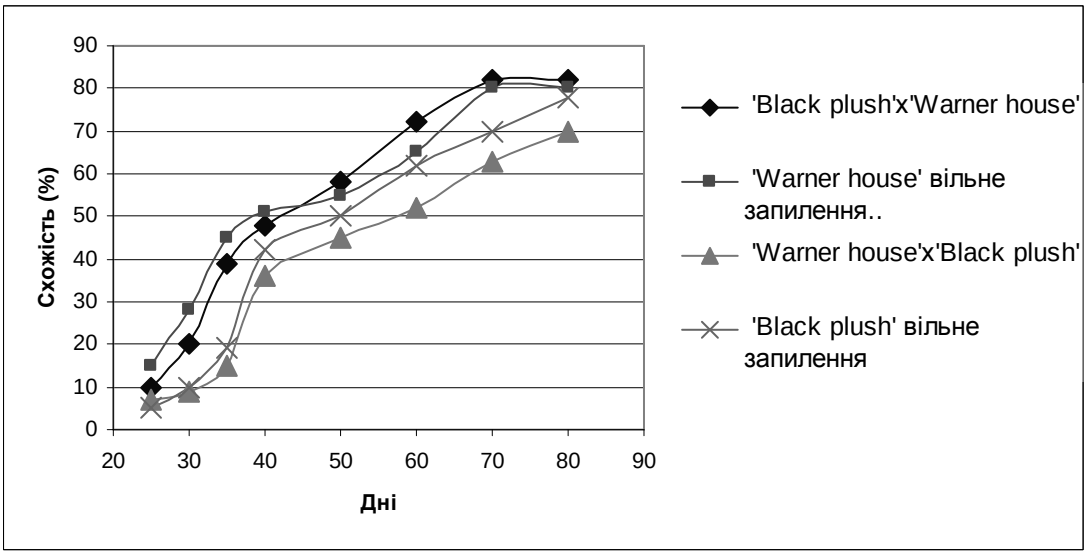


Рис. 1. Схожість насіння від схрещування в парі ‘Black plush’ х ‘Warner house’.

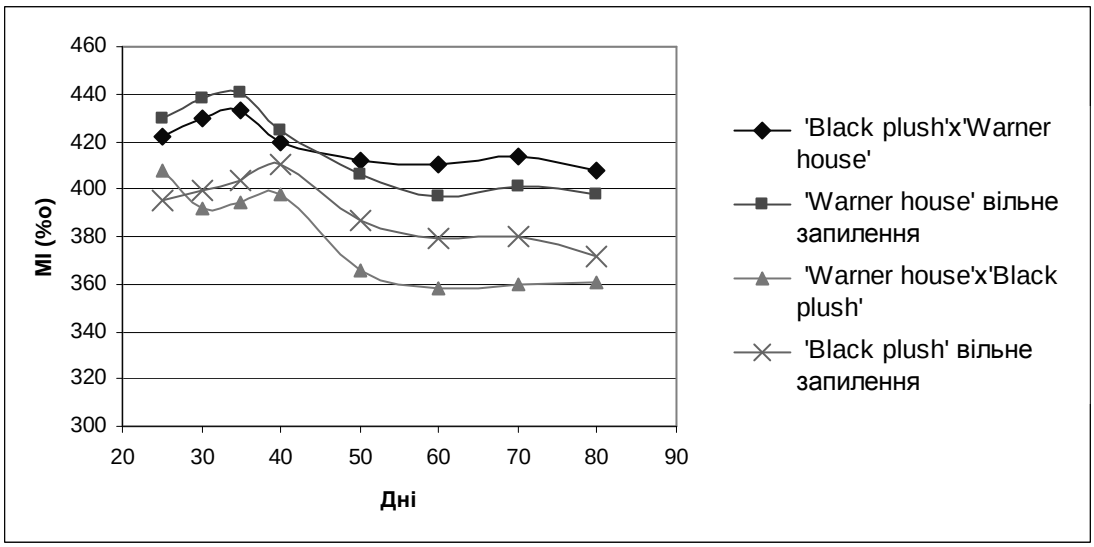


Рис. 2. Мітотична активність кореневої меристеми гібридних проростків ‘Black plush’ х ‘Warner house’.

Як видно на рис. 3, в парі ‘Bonanza’ х ’Agnes Shumate’ дуже високий показник схожості спостерігався у насінин, отриманих шляхом реципрокного схрещування – 95% при прямому і 92% при зворотному схрещуванні. Контрольне насіння при пророщуванні показало менші результати в межах 85-90%. Протягом всього періоду проростання насіння, отримане від цієї батьківської пари як при реципрокному, так і при вільному запиленні, демонструє найбільшу дружність сходів. Відсоток схожих насінин з часом зростає швидко і стабільно.

Мітотична активність кореневих меристем проростів корелює з динамікою схожості, і на графіку (рис. 4) можна помітити більш чіткі відмінності між дослідними і контрольними гібридами. Найбільшою мітотичною активністю відрізняються меристеми проростків від прямого схрещування батьківських сортів (до 475‰).

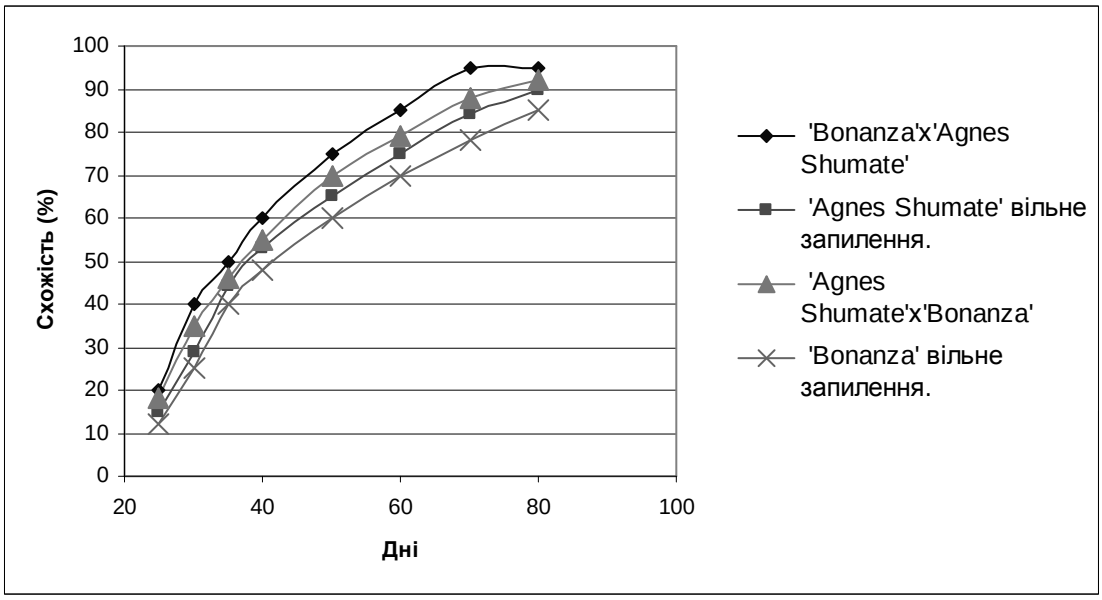


Рис. 3. Схожість насіння від схрещування в парі ‘Bonanza’ х ‘Agnes Shumate’.

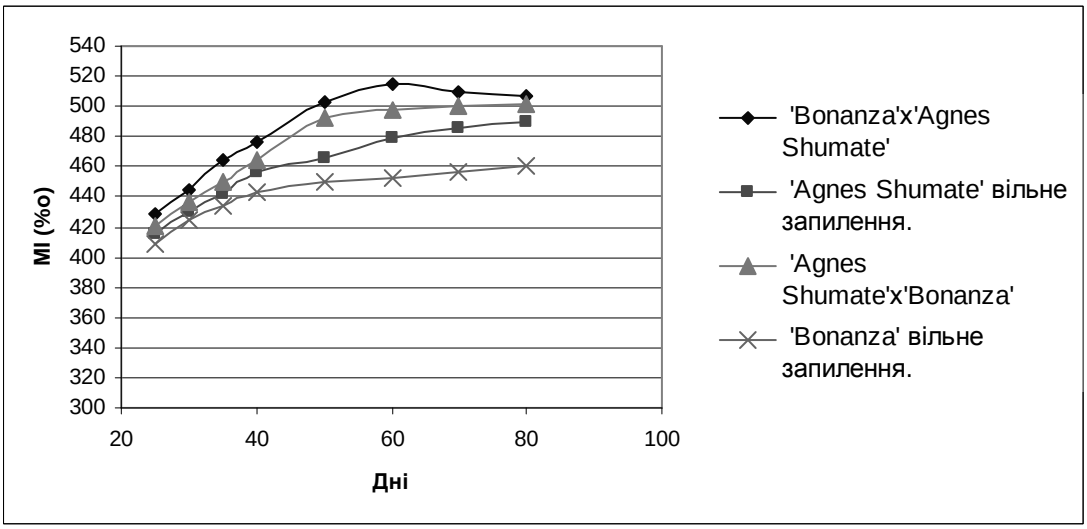


Рис. 4. Мітотична активність кореневої меристеми гібридних проростків ‘Bonanza’ х ‘Agnes Shumate’.

У випадку гібридизації сортів ‘Autumn red’ х ‘var. rosea’ отримане насіння відрізнялося високою схожістю (рис. 5). Проте показники контролю переважали над показниками в досліді (85 і 77% для материнської особини ‘Autumn red’, 94 і 82% для ‘var. rosea’). З ілюстрації видно, що насіння, отримане шляхом вільного запилення, відрізнялося більшою життєздатністю.

Максимум мітотичної активності також спостерігався у проростків контрольного, вільного запилення (515‰) (рис. 6). При пророщуванні насіння, отриманого при вільному запиленні обох батьківських сортів, спостерігалася схожа картина – мітотичний індекс поступово підвищувався, стабілізуючись приблизно на 40-й день проростання. В досліді показники трохи нижчі і стабілізуються вже на 25-й – 30-й день проростання.

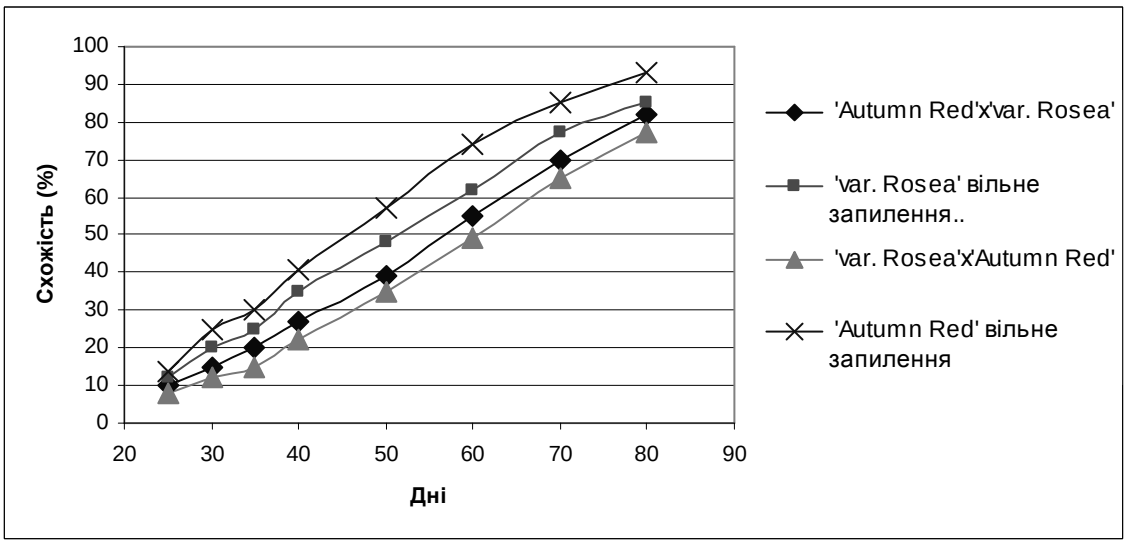


Рис. 5. Схожість насіння від схрещування в парі ‘Autumn Red’ х ‘var. Rosea’.

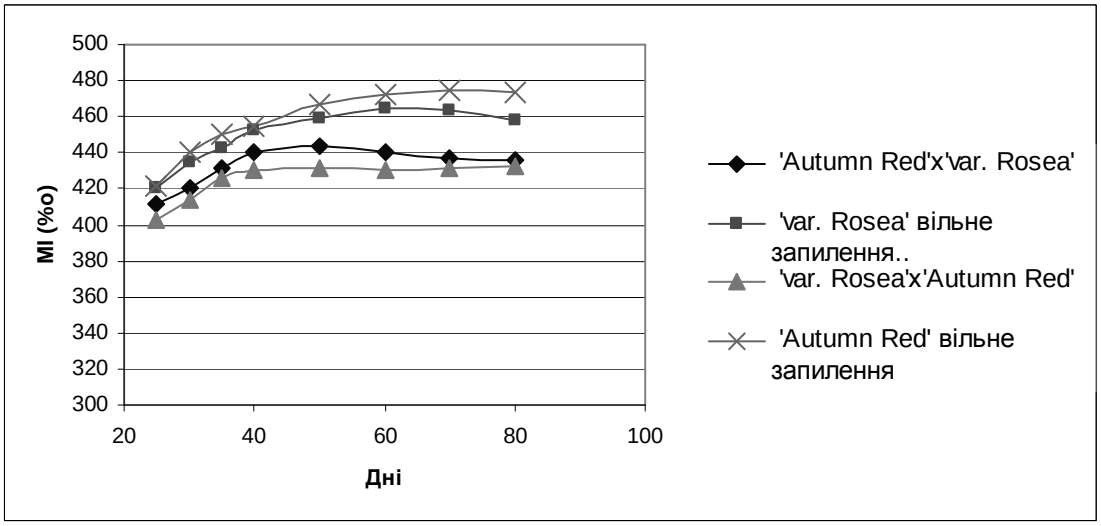


Рис. 6. Мітотична активність кореневої меристеми гібридних проростків ‘Autumn Red’ х ‘var. Rosea’.

Висновки

1. Експериментальні дослідження насіннєвої продуктивності трьох пар сортів дозволили встановити достовірне підвищення її в реципрокному схрещуванні. Аналіз отриманих даних коефіцієнту насіннєфікації відносно контролю показав достовірне підвищення цього параметру тільки для пари ‘Autumn Red’ х ‘var. rosea’. Показники насіннєвої продуктивності дослідних рослин відносно контролю були нижчі.

2. Вивчення схожості насіння дослідних рослин виявило максимум даний параметру у гібридних рослин, отриманих шляхом реципрокного схрещування в парі ‘Agnes Shumate’ х ‘Bonanza’. У гібридів, отриманих від схрещувань ‘Autumn Red’ х ‘var. rosea’ та ‘Black plush’ х ‘Warner house’, схожість була на рівні з контролем, або нижче його.

3. Результати цитологічних досліджень показали корелятивний зв’язок між динамікою схожості насіння та мітотичним індексом, що узгоджується з літературними даними.

4. Аналіз експериментальних даних, отриманих шляхом міжсортових схрещувань в роді *Hemerocallis* L., дозволяє рекомендувати використовувати в якості вихідної материнської форми сорт ‘Autumn Red’, а також в якості перспективної батьківської пари для подальшої продуктивної селекційної роботи сорти ‘Agnes Shumate’ і ‘Bonanza’.

Список літератури

1. *Гужов Ю. А.* Селекция и семеноводство культивируемых растений / Ю. А. Гужов, А. Фукс, П. Валичек. – М.: Мир, 2003. – 536 с.

2. *Вайнагий И. В.* О методике изучения семенной продуктивности растений / И. В. Вайнагий // Ботан. журнал. – 1974. – С. 826–831.

3. *Паушева З. П.* Практикум по цитологии растений / З. П. Паушева. – М.: Колос, 1980. – 304 с.

4. *Пухальский В. А.* Практикум по цитологии и цитогенетике растений / В. А. Пухальский. – М.: Колос, 2007. – 198 с.

5. *Работнов Т. А.* Методы изучения семенного размножения в сообществах / Т. А. Работнов // Полевая геоботаника. – М., Л.: Изд-во АН СССР, 1960. – Т. 2. – С. 20–40.

6. *Stout A. B.* Daylilies: The Wild Species and Garden Clones, Both Old and New, of the Genus *Hemerocallis* / A. B. Stout. – Sagapress: Revised edition, 1986. – 173 p.

Осипова Л. М., Радченко Д. Р., Крохмаль И. И. **Селекция сортов рода *Hemerocallis* L. в условиях Донбасса**. **–** Получены экспериментальные данные по межсортовому скрещиванию растений рода *Hemerocallis* L. Исследования исходных родительских форм, а также гибридных и контрольных растений проводились на цитофизиологическом уровне. Результаты исследования позволяют рекомендовать сорта ‘Autumn Red’, ‘Bonanza’, ‘Agnes Shumate’ для дальнейшей селекционной работы.

Ключевые слова: гибридизация, митотический индекс, семенная продуктивность, всхожесть, реципрокное скрещивание.

Osipova L. M., Radchenko D. R., Krokhmal I. I. **Selection varieties of genus *Hemerocallis* L. in conditions of Donbass**. **–** Experimental data by intervarietal hybridization within the genus *Hemerocallis* L. was obtained. Research of initial parental forms, as well as hybrid and control plants was conducted on cytophisiological level. Results of the research allow to recommend varieties ‘Autumn Red’, ‘Bonanza’, ‘Agnes Shumate’ for further breeding work.

Key words: hybridization, mitotic index, seed productivity, germination, reciprocal crosses.

УДК 582.542.1 (477.62)

© М. А. Павлова[1], Г. А. Кудина[1], Л. Ю. Качур[2]

ДЕКОРАТИВНЫЕ ЗЛАКИ РОДА *PENNISETUM* RICH. В УСЛОВИЯХ ЮГО-ВОСТОКА УКРАИНЫ

[1]Донецкий ботанический сад НАН Украины; 83059, г. Донецк, пр. Ильича, 110
e-mail: donetsk-sad@mail.ru
[2]Донецкий национальный университет; 83050, г. Донецк, ул. Щорса, 46

Павлова М. А., Кудина Г. А., Качур Л. Ю. **Декоративные злаки рода *Pennisetum* Rich. в условиях юго-востока Украины**. – Изучены биоморфологические особенности 6 видов и 2 сортов рода *Pennisetum* Rich., интродуцированных в Донецком ботаническом саду НАН Украины: морфология вегетативных и генеративных органов, сезонный ритм развития, способность к репродукции, устойчивость к неблагоприятным факторам. Установлена перспективность представителей рода в качестве декоративных растений на юго-востоке Украины, определены пути их использования в зеленом строительстве региона.

Ключевые слова: *Pennisetum* Rich., интродукция, морфология, сезонный ритм развития, успешность интродукции.

Введение

Неотъемлемым элементом современных цветников ландшафтного типа являются декоративные злаки. Отличаясь разнообразием форм и размеров, различной окраской листьев, ажурными оригинальными соцветиями, они прекрасно сочетаются с камнями в рокариях и с другими многолетниками и однолетниками в миксбордерах. Серебристо-голубая, ярко-зеленая, бронзовая, золотисто-зеленая окраска листвы и тонкие стебли с оригинальными соцветиями делают декоративные злаки привлекательными в любое время года. Постоянное расширение ассортимента декоративных злаков в большинстве случаев осуществляется за счет привлечения новых видов мировой флоры. Значительный интерес в этом плане представляет род *Pennisetum* Rich. – перистощетинник.

Материал и методы исследования

Род насчитывает, по разным источникам, от 50 [4] до 140 [2] видов, из которых многие используются в качестве декоративных растений. Большинство видов распространено в тропических и субтропических странах. Название рода происходит от латинских слов *penna* (перо) и *seta* (щетинка), дано оно по перисто-волосистым щетинкам общих соцветий. Пушистые колосовидные соцветия напоминают лисьи хвосты. В коллекции Донецкого ботанического сада НАН Украины (ДБС) произрастает 6 видов и 2 сорта этого рода: *P. alopecuroides* (L.) Spreng., *P. purpureum* Schum., *P. setaceum* (Forsk.) Chiov., *P. villosum* R. Br., *P. japonicum* Schur, *P. orientale* Rich., *P. glaucum* (L.) R. Br. cv Purple majesty и Маэстро.

Целью наших исследований было определение перспективности представителей рода *Pennisetum* Rich. для цветоводства и зеленого строительства на юго-востоке Украины.

Комплексные интродукционные исследования, включающие изучение морфологических особенностей, сезонного ритма развития, репродуктивную биологию, оценку успешности интродукции, проводили согласно общепринятым методикам [1, 3, 6].

Результаты и обсуждение

В условиях культуры открытого грунта в Донецком ботаническом саду НАН Украины изученные виды характеризуются следующими параметрами.

Pennisetum alopecuroides – перистощетинник лисохвостовидный (рис. 1).

Его еще называют болотистый лисохвост, или фонтан-трава (Fountain grass), поскольку растение напоминает фонтан. Его родина – Азия, Австралия, Кавказ, Япония, Китай, Индия, где он произрастает на плантациях субтропических культур, у дорог, в населенных пунктах в качестве заносного сорного растения.



Рис. 1. *Pennisetum alopecuroides* (L.) Spreng.

В условиях юго-востока Украины это многолетнее травянистое растение, образующее мощные, крупные, плотные дерновины. Приподнимающиеся темно-зеленые листья достигают длины 24-60 см. Соцветия – прямостоячие колосовидные щетинистые метелки темно-пурпурного цвета. Ось метелки волосистая, шероховатая, щетинки до 3 см длиной. Это теплолюбивое растение отрастает поздно – в мае, колошение и цветение – в августе. Семена в условиях Донбасса не успевают вызреть, но растения хорошо размножаются делением куста как весной, так и осенью. Растение засухоустойчиво и зимостойко. Отмершие листья и соцветия необходимо срезать весной.

Рекомендуется в качестве солитеров на газоне, в групповых посадках, в миксбордерах и рокариях. Соцветия можно использовать во флористике – при составлении свежих и сухих букетов.

P. glaucum – перистощетинник сизый.

Родина – тропическая Африка, Пакистан, Индия. В качестве кормового растения культивируется в Крыму, на Кавказе, в Средней Азии.

Однолетник до 50-70 см высотой. Листья 8-10 мм шириной, до 40 см длиной, плоские или свернутые. Соцветия – метелки 8-10 см длиной, 2-5 см шириной, цилиндрические или эллипсоидальные, очень густые. Щетинки обверток шероховатые, перистые, равные колоскам или лишь немного длиннее их. Семена в открытый грунт высевают поздно весной, в конце апреля. Если есть возможность, лучше высеять их в теплицу в первой половине марта, а в середине мая распикировать сразу на постоянное место. Колошение и цветение отмечено в конце августа. Семена созревают ежегодно, но реальная семенная продуктивность сильно колеблется в зависимости от режима увлажнения в течение лета, падая при длительной засухе до 15-30 семян с одного генеративного побега. Созревшие семена не опадают и остаются в соцветии до весны следующего года.

Растения нуждаются в плодородной, достаточно влажной почве. В условиях Донбасса сеянцы иногда страдают от поздних весенних заморозков в начале мая, а потому при заморозках молодые всходы требуют укрытия. В коллекции ДБС культивируются два сорта (рис. 2).

cv Purple majesty – исключительно декоративный сорт с бронзово-бордовыми стеблями и листьями шириной до 4 см и длиной до 57 см. Высота растения достигает 90-120 см. Соцветия темно-пурпурные, длиной до 28 см и шириной до 3,5-4,0 см.

cv Маэстро очень похож на предыдущий, только более мелких размеров. Высота растений достигает 65-87 см. Темно-бордовые листья достигают ширины 3-4 см и длины 37-45 см. Гораздо мельче темно-пурпурные соцветия: их длина достигает 15-25, а ширина – 2,8 см.



A **B**

Рис. 2. *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. cv Purple majesty (A) и Маэстро (B).

Рекомендуется в качестве солитеров на газоне, в моногруппах и смешанных посадках, в рокариях и гравийных садах. Незаменим в качестве акцента в букетах и композициях из сухоцветов.

P. orientale – перистощетинник восточный (рис. 3).

Растет на каменистых склонах, осыпях, скалах и галечниках до среднего горного пояса в тропической и субтропической зонах Закавказья, Передней и Средней Азии, Пакистана, Индии и Северо-Восточной Африки. Корневищный многолетник 25-30 см высотой, образует плотные дерновины 15-30 см диаметром. Листья линейные, узкие, до 0,3 см шириной. Генеративные побеги 30-35 см высотой, метелки колосовидные, густые, с фиолетовым оттенком, 10,0-12,5 см длиной, 1,5 см в диаметре, колоски окружены шероховатыми щетинками 1,5 см длиной. Вегетацию начинает во второй половине мая, колошение и цветение – в середине июля – начале августа. Растение засухоустойчивое и зимостойкое. Размножается вегетативно, делением куста весной.



Рис. 3. *Pennisetum orientale* Rich.

P. purpureum Schum. – перистощетинник пурпурный (рис. 4).

Его еще называют Elephant grass – слоновья трава. Родина – субтропики и тропики Азии, Африки. Как заносное растение встречается в Северной Америке и Австралии. Этот корневищный многолетник достигает на родине 3 м высоты, а в условиях юго-востока Украины – 1,2-1,8 м. Колоски окружены длинными, нередко перистыми щетинками (бесплодные веточки), которые опадают вместе с колосками. Соцветия узкоцилиндрические, темно-бордового или пурпурного цвета, 14-16 см длиной, по мере отцветания тускнеют.



Рис. 4. *Pennisetum purpureum* Schum.

Растения теплолюбивые: отрастают в конце мая, колошение и цветение – в конце июля – начале сентября. Семена вызреть не успевают, поэтому растения размножают вегетативно, делением куста весной. Вид зимостойкий и засухоустойчивый: растения без видимых изменений переносят зимние температуры до –20ºС без укрытия и не страдают от высоких летних температур и суховеев. Предпочитает питательные, рыхлые, умеренно влажные почвы. При длительной засухе необходим полив. Растение не агрессивное, однако при длительном произрастании на одном месте «расползается», поэтому при посадке желательно установить ограничители. В декоративном садоводстве рекомендуется для солитерных посадок, живых изгородей, растения хорошо смотрятся в рокариях и возле водоемов.

P. setaceum – перистощетинник щетинистый (рис. 5).

Его также называют африканской фонтан-травой. Родина – тропические и субтропические зоны северо-востока Африки и полуострова Аравия. Растет на каменистых склонах и осыпях в среднегорном поясе.

Корневищный многолетник 70-100 см высотой, образующий густые дерновины 18-45 см диаметром. Стебли шершавые и грубые. Листовые пластинки узкие, шероховатые, плоские, 1,0-1,2 см шириной, серовато-зеленого цвета. Метелки колосовидные, 15-20 см длиной, более-менее поникающие, розовато-пурпурные, относительно рыхлые. Колоски окружены перисто-волосистыми щетинками до 3-4 см длиной. Соцветия сохраняют декоративность всю зиму. В условиях Донбасса отрастает очень поздно – во второй половине мая, колошение и цветение – в конце июля – августе, семена не вызревают, но растения хорошо размножаются делением куста в весенний и осенний период. Растение зимостойко и относительно засухоустойчиво, но при длительной засухе требуется полив.



Рис. 5. *Pennisetum setaceum* (Forsk.) Chiov.

P. villosum R. Br. – перистощетинник мохнатый (рис. 6).

Его еще называют Feather top – перистый волчок. Родина – Абиссиния, Восточная Африка. Растет на каменистых скалах и осыпях в горах. Многолетнее растение 30-60 см высотой, образующее красивые широкие кусты с нежными серебристыми соцветиями. Листовые пластинки плоские, достигающие 35 см длины. Метелки колосовидные, 6,5-11 см длиной, 1-5 см шириной, яйцевидные или цилиндрические. Колоски окружены многочисленными перисто-волосистыми щетинками длиной 4-5 см, окрашенными в белый или коричневый цвет.



Рис. 6. *Pennisetum villosum* R. Br.

Растение незимостойкое и в условиях Донбасса часто вымерзает. Культивировать его можно, выкапывая на зиму и сохраняя в теплице. Высаживать в грунт нужно во второй половине мая, когда миновала угроза поздних весенних заморозков. Колошение и цветение наступает во второй половине августа. Растение засухоустойчиво и нуждается в поливе только во время продолжительной засухи. В конце сентября растения выкапывают, высаживают в контейнеры и заносят в теплицу. В условиях открытого грунта семена не успевают вызреть, но после дозаривания в условиях защищенного грунта растения можно размножать и семенным путем. Кроме того, *P. villosum* хорошо размножается весной делением куста. Предпочитает солнечные места и легкие почвы. Растение очень декоративно в солитерных и групповых посадках на газоне, в рокариях, гравийных садах, низких миксбордерах, в контейнерной культуре. Высаженные в контейнеры кусты могут украшать балконы, террасы и т.п. Срезанные в период цветения соцветия не рассыпаются и сохраняют декоративность в течение ряда лет, поэтому с успехом используются во флористике.

Выводы

Первичные интродукционные испытания в условиях ДБС позволяют сделать вывод о возможности использования видов рода *Pennisetum* в озеленении Донбасса. Эти растения могут служить украшением рокария, гравийного сада или водоема, придать динамичность и оригинальность клумбам и миксбордерам, использоваться в качестве бордюрных растений или солитеров. В качестве партнеров можно сажать эхинацею, георгины, монарду, нивяник, очиток видный, рудбекию и другие многолетники. Введение в культуру видов этого рода на юго-востоке Украины будет способствовать расширению ассортимента декоративных растений, используемых в зеленом строительстве.

Список литературы

1. *Баканова В. В.* Цветочно-декоративные многолетники открытого грунта / Валентина Васильевна Баканова – К.: Наук. думка, 1984. – 155 с.

2. Декоративные травянистые растения для открытого грунта СССР: В 2 т. – Л.: Наука, 1977. – Т. 1. – С. 274–290.

3. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР. – М.: Б. и., 1975. – 42 с.

4. *Рожевиц Р. Ю.* Злаки / Роман Юльевич Рожевиц. – М.–Л.: Сельхозгиз, 1937. – 639 с.

5. *Цвелев Н. Н.* Злаки СССР / Н. Н. Цвелев. – Л.: Наука, 1976. – 788 с.

6. *Шестаченко Г. Н.* Методические рекомендации по оценке засухоустойчивости растений, применяемых для скальных садов в субаридных условиях / Г. Н. Шестаченко, Т. В. Фалькова. – Ялта: Б. и., 1974. – 10 с.

Павлова М. О., Кудина Г. О., Качур Л. Ю. **Декоративні злаки роду *Pennisetum* Rich. в умовах південного сходу України**. – Вивчено біоморфологічні особливості 6 видів та 2 сортів роду *Pennisetum* Rich., інтродукованих в Донецькому ботанічному саду НАН України: морфологія вегетативних та генеративних органів, сезонний ритм розвитку, репродукційна здатність, стійкість до несприятливих факторів. Встановлено перспективність представників роду як декоративних рослин на південному сході України, визначені напрямки їх використання в зеленому будівництві регіону.

Ключові слова: *Pennisetum* Rich., інтродукція, морфологія, сезонний ритм розвитку, успішність інтродукції.

Pavlova M. A., Kudina G. A., Kachur L. Yu. **Decorative cereals of *Pennisetum* Rich. genus under the conditions of the souts-east of Ukraine**. – Biomorphological peculiarities of 6 species and 2 breeds of *Pennisetum* Rich. genus, introduced in Donetsk Botanical Garden, National Academy of Sciences of Ukraine: morphology of the vegetative and generative organs, seasonal rhythm of the development, ability for reproduction, tolerance to hostilities have been studied. The potential of the genus representatives as decorative plants in the south-east of Ukraine has been identified, the ways of its use in the landscape planting of the region have been defined.

Key words: *Pennisetum* Rich., introduction, morphology, seasonal rhythm of the development, introduction.

УДК 528.88 : 574.472

© А. И. Сафонов, С. В. Колесников

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ДИНАМИКИ СТЕПНЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ РЛП «ЗУЕВСКИЙ» С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИЙ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Донецкий национальный университет; 83050, г. Донецк, ул. Щорса, 46
e-mail: andrey_safonov@mail.ru; kolesnikov.s@donnu.edu.ua

Сафонов А. И., Колесников С. В. **Оценка современного состояния и динамики степных растительных сообществ РЛП «Зуевский» с помощью технологий дистанционного зондирования.** – Проведена оценка возможностей использования технологий дистанционного зондирования для оценки биологического разнообразия растительных сообществ, выявлена зависимость между фиторазнообразием степных ландшафтов и приростом вегетационного индекса NDVI в период с 1986 по 2011 гг.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, фиторазнообразие, NDVI.

Введение

На этапе модернизации и оптимизации существующих экологических сетей глобального и регионального уровня важным является выявление и включение в состав сети ценных ландшафтов. Так как растительность является одним из главных компонентов экосистем, то биологическое разнообразие, биомасса и другие количественные показатели, характеризующие растительное сообщество, – это одни из ведущих критериев, определяющих ценность ландшафта и важность его сохранения [10].

Донецкая область является регионом, природа которого подвергается сильному антропогенному прессингу: как рекреационному, так и техногенному. Поэтому здесь большую роль имеют объекты природно-заповедного фонда (ПЗФ), выполняющие одновременно рекреационные и природоохранные функции. Проблема изучения современного состояния, биотического потенциала и баланса в таких объектах, а также их динамики под влиянием различных экологических факторов является очень актуальной.

Изучение количественных показателей растительных сообществ возможно либо путем непосредственных полевых исследований, либо на расстоянии, с помощью технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Дистанционный подход позволяет исследовать территории при гораздо меньших затратах времени и средств, однако полученные результаты нуждаются в сравнении или комбинировании данных, полученных в ходе полевых исследований. Поэтому эти два подхода являются не взаимозаменяемыми, а взаимодополняемыми.

Цель данной работы – используя дистанционный подход и полевые исследования, изучить современное состояние и динамику степных растительных сообществ регионального ландшафтного парка «Зуевский».

Материал, методы и характеристика района исследования

Для оценки сезонной и межгодовой динамики растительного покрова использовали вегетационные индексы, отражающие динамику зеленой биомассы и содержание хлорофилла [1]. С применением каналов видимой красной (RED) и ближней инфракрасной (NIR) части спектра рассчитывали нормализованный вегетационный индекс (NDVI), который отражает продуктивность зеленой биомассы:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

Исследования проводили на территории РЛП «Зуевский» в окр. балки Большая Липовая (рис. 1) в течение вегетационного периода 2011 г. Ландшафтный парк расположен на востоке Донецкой области около пос. Зуевка и г. Харцызск. Территория парка расположена на землях Зуевского сельского совета и Макеевского лесничества, в 30 км от областного центра г. Донецка. Среди почв преобладают черноземы типичные гумусные и обычные гумусные на лессовых породах. Согласно геоботаническому районированию

Украины, территория РЛП «Зуевский» находится в Крынско-Нагольном районе Донецкого геоботанического округа полосы разнотравно-типчаково-ковыльных степей Приазовско-Черноморской степной подпровинции Причерноморской степной провинции Европейско-Азиатской степной области [4]. Характерными ландшафтами являются петрофитные (каменистые) степи и байрачные леса. По флористическому районированию, эта территория находится в Крынскому подрайоне Донецкого района Донецкого округа Восточно-Причерноморской подпровинции Причерноморско-Донской провинции Панонсько-Причерноморско-Прикаспийской области Голарктического царства [4, 10]. Для подрайона характерна степная растительность с участием лесных и петрофильных видов, комплекс эндемичных и реликтовых, часто стенотопных видов.

Исследования включали: случайный выбор мониторинговых точек, определение их географических координат с помощью GPS навигатора Mio DigiWalker 269, оценку биоразнообразия растительных сообществ. Всего было выбрано 10 пробных площадей размером 30 × 30 м, размещение которых показано на рис. 1.

Для дистанционных исследований нами были использованы данные ДЗЗ, полученные спутниками Landsat-5 (сенсор Thematic Mapper, TM) и Landsat-7 (сенсор Enhanced Thematic Mapper Plus, ETM+), отснятые в июле 1986-2011 гг. и не имеющие помех в виде дымки и облачного покрова.

Процесс обработки спутниковых изображений включал калибровку, атмосферную коррекцию и вычисление вегетационного индекса NDVI, которые производили с помощью программных пакетов Quantum GIS и GRASS GIS, находящихся в свободном доступе.

При камеральной обработке данных изучен видовой состав флоры на мониторинговых точках (на основе собранного гербарного материала); проведены систематический и ценотический анализы флоры на пробных площадках.

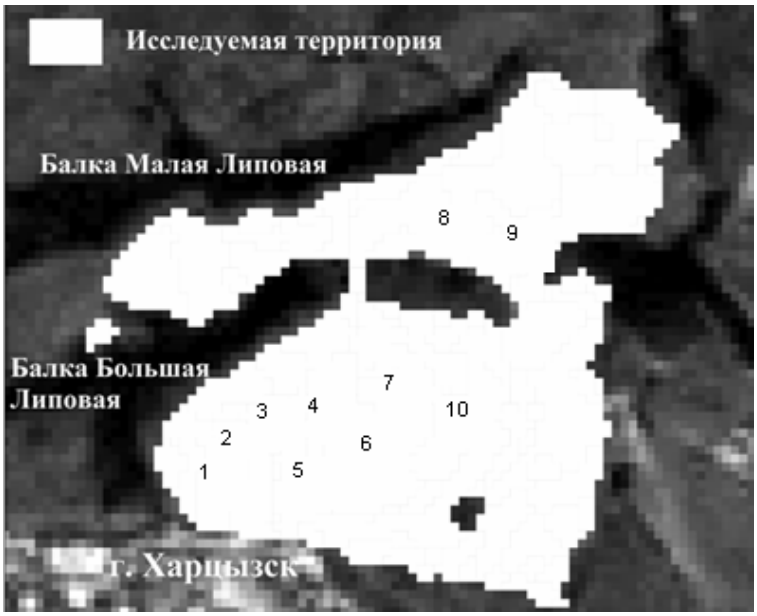


Рис. 1. Расположение исследуемой территории. Числами указана локализация мониторинговых точек (© Landsat-5, внесены изменения).

В ходе исследований нами была проанализирована тенденция временного изменения NDVI на исследуемой территории для каждого пикселя используемых спутниковых изображений (размер пикселя эквивалентен квадрату 30 × 30 м на местности).

Индекс NDVI вычисляли по формуле (1), где NIR – значение инфракрасного (4-го) канала сенсоров TM и ETM+, а RED – значение красного (3-го) канала.

Для определения величины изменения NDVI в период 1986-2011 гг. использовали значение угла наклона аппроксимирующей изменение NDVI прямой. Для его вычисления

был применен метод наименьших квадратов (2), где i – дата используемого снимка, $NDVI_i$ – значение NDVI в данном пикселе во время i, n – количество используемых снимков, x – угол наклона прямой. Положительные значения соответствуют тенденции увеличения NDVI в период 1986-2011 гг., отрицательные – уменьшению. Значение tg(x) пропорционально темпам его изменения.

$$tg(\mathrm{x}) = \frac{\sum (i * NDVI_i) * n - \sum i * \sum NDVI_i}{\sum i^2 * n - (\sum i)^2} \qquad (2)$$

Результаты и обсуждение

На основе полученных данных была составлена карта (рис. 2) – пространственное распределение значений тангенса угла аппроксимирующей изменение NDVI прямой.

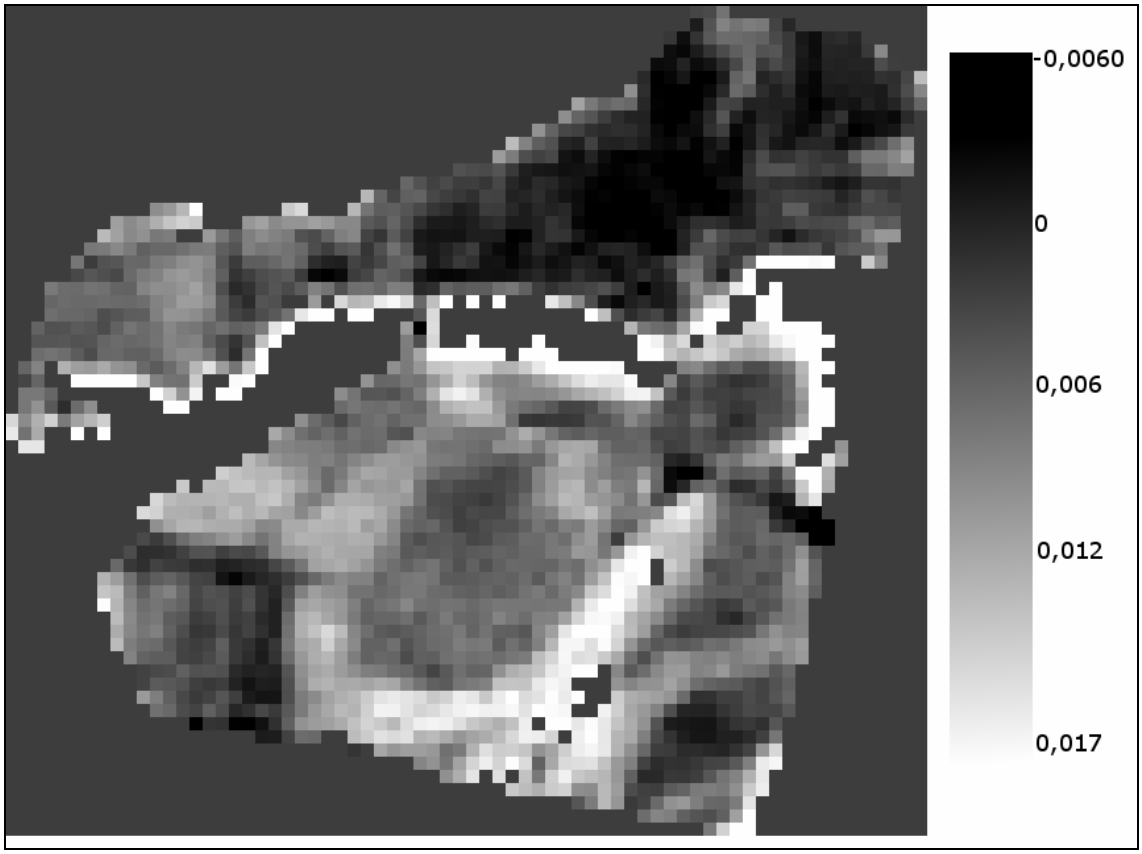


Рис. 2. Распределение значений изменения NDVI за период 1986-2011 гг. Значения представлены в тангенсах угла наклона аппроксимирующей изменение прямой.

Согласно данным карты, прирост NDVI на исследуемой территории характеризуется неоднородностью. Наименьший прирост данного показателя соответствует территориям, регулярно подвергающимся выгоранию.

На всех мониторинговых точках было зафиксировано 102 вида высших цветковых растений, относящихся к 79 родам и входящих в состав 25 семейств (табл. 1).

Доминирующими семействами во флоре всех мониторинговых точек являются Asteraceae (21 вид), Poaceae (14 видов) и Fabaceae (10 видов). Соотношение классов Liliopsida и Magnoliopsida составляет 1 : 6,4, что характерно для современного этапа флорогенеза [2]. Наиболее богатыми в видовом отношении родами являются *Viola* (3), *Veronica* (3), *Plantago* (3). Общий родовой коэффициент составляет 77,45%, что свидетельствует о значительном участии миграционных элементов в формировании флоры исследуемой территории.

Таблица 1

Видовое разнообразие растительности мониторинговых точек

№ пробной площадки	Количество видов	Количество родов	Количество семейств	Рудеранты, %	Относ. прирост NDVI, tg(x)
1	16	14	12	82	0
2	17	15	12	79	0
3	24	20	15	69	0,0021
4	26	22	17	75	0,0021
5	16	14	11	80	-0,0016
6	18	17	15	80	-0,0026
7	14	14	11	85	-0,0016
8	20	17	13	76	-0,0016
9	20	16	13	82	-0,0016
10	33	25	19	52	0,0038
$K_к$	0,84	0,82	0,74	-0,82	

Примечание. $K_к$ – коэффициент корреляции соответствующего параметра с относительным приростом NDVI.

По результатам ценотического анализа, проведенного на основе данных, взятых из [9], виды рудеральной ценоморфы представлены 69% от общего их количества.

Результаты флористического и ценотического анализов 2011 г. соответствуют результатам более ранних исследований, проведенных нами на данной территории в период с 2005 по 2009 гг. [6, 7].

Согласно результатам исследований, наибольшее количество видов характерно для пробной площадки № 10, наименьшее – для пробной площадки № 7. Для мониторинговой точки № 10 также характерен наибольший относительный прирост NDVI.

Коэффициенты корреляции между показателями, полученными в результате флористического анализа (количество видов, родов, семейств и процентное соотношение рудерантов в составе флоры), и показателями относительного прироста NDVI, вычисленными согласно формуле (2), имеют значения > 0,8 (кроме количества семейств), что свидетельствует о наличии значительной связи между соответствующими параметрами.

Таким образом, показатель относительного прироста NDVI можно использовать для определения флористической ценности отдельных участков ландшафтов и выявления участков с разной степенью дегрессии.

Выводы

Флора исследуемой территории разнообразна, репрезентативна для флористического анализа. Показатели, полученные в результате флористического анализа (количество видов, родов, семейств и процент рудерантов в составе флоры), и показатели относительного прироста NDVI характеризуются достоверным коэффициентом положительной корреляции.

Полученные данные свидетельствуют о возможности использования карты, показывающей относительный прирост NDVI, для определения флористической ценности отдельных территорий и необходимости проведения дальнейших исследований.

Благодарности

Авторы выражают искреннюю благодарность доцентам кафедры ботаники и экологии ДонНУ, кандидатам биологических наук Д. Я. Зацепиной и Л. Н. Хоботковой за помощь в определении растений.

Список литературы

1. *Huete A. R.* Suitability of spectral indices for evaluating vegetation characteristics on arid rangelands / A. R. Huete, R. D. Jackson // Remote Sensing of the Environment. – 1987. – 23 (2). – P. 213–232.

2. *Бурда Р. И.* Антропогенная трансформация флоры / Р. И. Бурда. – К.: Наук. думка, 1991. – 168 с.

3. *Воробейчик Е. Л.* Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень) / Е. Л. Воробейчик, О. Ф. Садыков, М. Г. Фарафонтов. – Екатеринбург: УИФ «Наука», 1994. – 281 с.

4. Геоботанічне районування Української РСР. – К.: Наук. думка, 1977. – 302 с.

5. *Грисюк Н. М.* Дикорастущие пищевые, технические и медоносные растения Украины / Н. М. Грисюк, И. Л. Гринчак, Ю. А. Елин. – К.: Урожай, 1989. – 200 с.

6. *Колесников С. В.* Стан рекреаційної природоохоронної зони РЛП Зуївський за флористичними показниками / С. В. Колесников, І. В. Кир'янова // Фундаментальні та прикладні дослідження в біології: матер. І міжнар. наук. конф. студентів, аспірантів та молодих учених. – Донецьк: Вид-во «Вебер», 2009. – Т. 1. – С. 333–334.

7. *Колесников С. В.* Оцінка рівня рекреаційної порушеності урочища Липове РЛП «Зуївський» за флористичними показниками / С. В. Колесников // Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів: зб. доп. XXI Всеукр. наук. конф. аспірантів і студентів. – Донецьк: ДонНТУ, ДонНУ, 2011. – Т. 2. – С. 30–31.

8. Конспект флоры юго-востока Украины. Сосудистые растения / Е. Н. Кондратюк, Р. И. Бурда, В. М. Остапко. – К.: Наук. думка, 1985. – 272 с.

9. *Тарасов В. В.* Флора Дніпропетровської та Запорізької областей. Судинні рослини. Біолого-екологічні характеристики видів / В. В. Тарасов. – Дніпропетровськ: Вид-во ДНУ, 2005. – 276 с.

10. *Остапко В. М.* Фитосозологическая оценка регионального ландшафтного парка «Зуевский» (Донецкая обл.) / В. М. Остапко, А. К. Поляков // Промышленная ботаника. – 2003. – Вып. 3. – С. 44–51.

Сафонов А. І., Колесников С. В. **Оцінка сучасного стану і динаміки степових рослинних угруповань РЛП «Зуївський» за допомогою технологій дистанційного зондування.** – Проведено оцінку можливостей використання технологій дистанційного зондування для оцінки біологічного різноманіття рослинних угруповань, виявлено залежність між фіторізноманіттям степових ланшафтов і приростом вегетаційного індексу NDVI в період з 1986 до 2011 рр.

Ключові слова: дистанційне зондування, фіторізноманіття, NDVI.

Safonov A. I., Kolesnikov S. V. **Assessment of current status and trends of steppe plant communities in RLP «Zuevsky» using remote sensing technologies. –** In the work we assessed the possibilities of using remote sensing techniques to assess the biological diversity of plant communities. We found the relationship between the steppe landscapes biodiversity and growth of vegetation index NDVI from 1986 to 2011.

Key words: remote sensing, biodiversity, NDVI.

УДК 556.55 : 556.114 (477.63)

© О. В. Федоненко, О. В. Слабоспицька

СЕЗОННА ДИНАМІКА ТРОФО-САПРОБІОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ВОДИ СЕРЕДНЬОЇ ЧАСТИНИ ЗАПОРІЗЬКОГО (ДНІПРОВСЬКОГО) ВОДОСХОВИЩА

Дніпропетровський національний університет ім. Олеся Гончара
49010, м. Дніпропетровськ, пр. Гагаріна, 72; e-mail: gidro-dnu@mail.ru

Федоненко О. В., Слабоспицька О. В. **Сезонна динаміка трофо-сапробіологічних показників води середньої частини Запорізького (Дніпровського) водосховища.** – Аналіз сезонної динаміки трофо-сапробіологічних показників за маловодні 2009-2010 рр. дозволив установити, що вона залежить не тільки від водності року, але й від інших факторів перебігу гідробіологічних процесів. Унаслідок цього в близькі за водністю роки спостерігаються різні, навіть протилежні закономірності змін досліджених показників. За допомогою кореляційного аналізу виявлені залежності між вивченими трофо-сапробіологічними індексами, встановлено взаємозв'язок гідрохімічних та гідробіологічних процесів. За еколого-санітарною класифікацією, вода оцінена як задовільна, вона належала до ІІІ класу, 4-5 категорій «слабко забруднена» – «помірно забруднена», евтрофна, 0-β-мезосапробна.

Ключові слова: якість води, гідрохімічні показники, гранично припустимі концентрації, рівні забруднення.

Вступ

Проблеми, пов'язані з екологічним станом Запорізького водосховища, а також із формуванням якості води в ньому, набувають особливої актуальності в сучасних умовах. Водосховище належить до водойм комплексного призначення, що застосовуються для комунально-господарських потреб, питного водопостачання населення, рекреації, а також для рибогосподарського користування. За період свого існування Запорізьке водосховище зазнавало різких змін режиму експлуатації, що відображалось на стані всіх абіотичних та біотичних компонентів водної екосистеми [8]. Сучасний етап існування водосховища характеризується посиленим антропогенним тиском у зв'язку з високою щільністю населення, функціонуванням потужних промислових, енергетичних та сільськогосподарських виробництв, які застосовують технології з низьким рівнем екологічної безпеки [3-5, 9], що негативно впливає на водне середовище, живі організми та екосистему загалом.

Загальновідомо, що якість води як середовища існування гідробіонтів відіграє визначальну роль для всієї водної екосистеми. Різностороння діяльність людини призводить до змін хімічного складу водного середовища, причому переважна більшість їх оцінюються як несприятливі. Збагачення води біогенними та взагалі органічними речовинами, зменшення концентрації кисню, зміни pH супроводжуються значним погіршенням екологічного та санітарного стану водного середовища [7, 9]. Погіршення якості води, у свою чергу, викликає локальні зміни структури угруповань гідробіонтів водосховища: зниження їх кількісного розвитку, зменшення біорізноманіття. Наслідком цього може бути падіння загальної біопродуктивності та зокрема рибопродуктивності. Тому при вирішенні питань раціонального рибогосподарського користування важливу роль відіграє визначення якості води, а також дослідження динаміки процесів забруднення за еколого-санітарними (трофо-сапробіологічними) характеристиками.

У період з 1951 до 1976 рр. хімічний склад води Запорізького водосховища систематично досліджувався І. А. Денісовою та О. П. Нахшиною [6, 7], у подальші роки дослідження проводили Л. М. Горєв, В. І. Пелешенко, В. К. Хільчевський, П. Н. Линник [2, 9, 14].

У 2000 р. кафедрою гідробіології та іхтіології сумісно з лабораторією гідробіології та іхтіології НДІ біології ДНУ були випущені довідник та монографія «Запорізьке водосховище», де надано ретроспективний аналіз хімічного складу води за період з 1929 до 1999 рр. [10, 11]. За загальною оцінкою було визначено, що вода водосховища на більшості ділянок належить до 3 класу якості, 4 категорії (задовільна), евтрофна, 0-β-мезосапробна. На підставі багаторічних досліджень було встановлено, що формування гідрохімічного режиму

на сучасному етапі проходить під впливом зовнішніх факторів, таких як стік, що живить водойму, кількість опадів, антропогенне навантаження, а також швидкість водообміну і внутрішньоводоймні процеси, серед яких велику роль відіграє самозабруднення водосховища внаслідок гіперакумуляції синьозелених водоростей [6, 10, 11]. На визначну роль швидкості водообміну в розвитку гідробіологічних і гідрохімічних процесів указує також [9].

Надалі гідрохімічні дослідження води Запорізького водосховища, у тому числі її оцінка за трофо-сапробіологічними показниками, не мали такої щорічної систематизації [8, 9], а дані за останні роки зовсім не представлені в науковій літературі. Однак процеси евтрофування, «цвітіння» водосховища, погіршення його кисневого режиму потребують не тільки системних та регулярних моніторингових досліджень, але й поглибленого аналізу причин виявлених явищ з метою мінімізації їх негативних наслідків.

З урахуванням вищезазначеного метою нашої роботи було дослідження сезонної динаміки трофо-сапробіологічних показників води середньої частини Запорізького водосховища в 2009-2010 рр.

Матеріали та методи дослідження

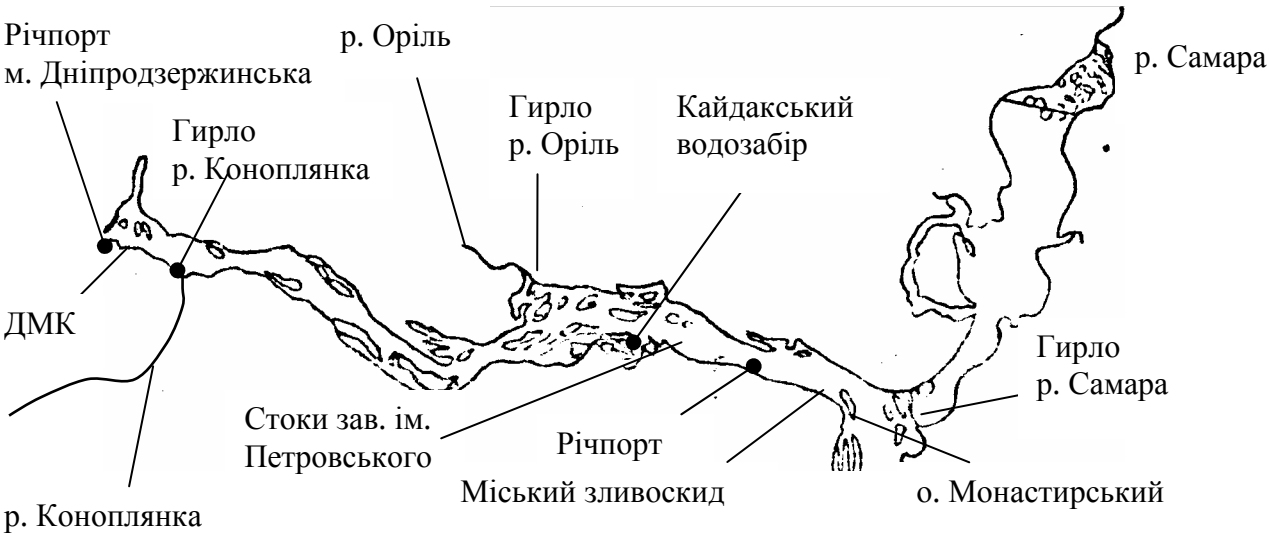
Оцінка якості води водосховища проводилася за такими показниками: концентрація водневих іонів, вміст розчиненого кисню, розчиненого аміаку, нітритів, фосфатів, перманганатної та біхроматної окиснюваності, $БСК_5$. Вибір цих показників відповідає гідрохімічній частині блоку трофо-сапробіологічних показників при еколого-санітарній оцінці якості води, визначенні природного стану та ступеня антропогенного забруднення води, а також дозволяє порівняти їх значення з гранично припустимими концентраціями гідрохімічних показників для водойм рибогосподарського користування. Як методичну базу для виконання оцінки застосовували «Методику екологічної оцінки поверхневих вод за відповідними категоріями» [13], трофо-сапробіологічний індекс визначали за основними еколого-санітарними показниками якості води, які є найбільш суттєвими індикаторами антропогенного навантаження водойм.

Дослідження проводилося в межах м. Дніпропетровська. Ця частина Запорізького водосховища характеризується підвищеним антропогенним навантаженням за рахунок промислових та господарсько-побутових стічних вод. Відбір проб здійснювали на правому та лівому берегах Дніпра в 100 м вище Кайдацького водозабору (рис. 1) щодекадно протягом 2009-2010 рр. Відбирання, обробку проб води та визначення трофо-сапробіологічних показників виконували за [12, 15]. Оцінка якості води проводилася за середніми значеннями показників за сезонами року [13].

Результати дослідження та їх аналіз

Основні гідрохімічні показники, отримані по сезонах за 2009-2010 рр. дослідження, відображені в табл. 1. Дані свідчать, що вміст аміаку у воді Запорізького водосховища перевищує рибогосподарські ГПК від 5 до 8 разів. За іншими гідрохімічними індексами перевищення немає.

Гідрохімічний режим водосховища найбільш повно характеризується рівнем біогенних речовин, у першу чергу, сполук нітрогену та фосфору. З неорганічних форм нітрогену нами досліджувався вміст у воді нітритів та амонійного азоту (див. табл. 1), а також був розрахований підсумковий азот. Концентрацію нітратів визначали, але вона практично в усіх випадках була нижче за мінімальний вірогідний рівень визначення за методикою [15], тобто нижче 2,22 мг/дм^3, у зв'язку з чим вона не наведена в табл. 1, хоча увійшла до складу величини підсумкового азоту.



м. Дніпропетровськ

Таблиця 1

Середні величини гідрохімічних показників за сезонами 2009-2010 рр.

Показники	зима		весна		літо		осінь		середньорічне	
	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010
pH	7,99	8,22	8,6	7,92	7,8	7,86	8,0	8,32	8,12	8,08
NH_3, мг/дм³	0,27	0,35	0,29	0,41	0,32	0,33	0,3	0,34	0,3	0,36
NO_2, мг/дм³	0,13	0,073	0,06	0,06	0,04	0,067	0,043	0,017	0,065	0,06
PO_4, мг/дм³	0,39	0,41	0,16	0,18	0,42	0,34	0,48	0,42	0,36	0,33
ПО, мгО/дм³	12,0	12,1	11,3	12,0	11,8	12,1	11,9	13,1	11,8	12,3
$БСК_5$	2,04	2,03	2,01	2,3	1,7	1,82	1,9	1,87	1,92	2,01
ХСК	30,6	29,6	32,4	33,6	32,1	34,4	32,4	33,5	31,9	32,8
O_2, мгО/дм³	12,6	12,1	11,9	13,7	6,12	5,76	8,52	9,95	9,79	10,37

Нітроген – один із найважливіших біогенних елементів для рослинних і тваринних організмів і мікроорганізмів. Зміни його концентрації у воді, зокрема при забрудненні водойм промисловими стічними водами чи агростоками не відбуваються безслідно для екосистеми: зменшення може бути причиною погіршення життєдіяльності аеробних мікроорганізмів, рослинних організмів товщі води, а збільшення, особливо в поєднанні з підвищенням вмісту фосфатів веде до сплеску розвитку синьозелених водоростей зі зсувом рівноваги у водній екосистемі в бік процесів евтрифікації та токсифікації.

Річна динаміка амонійного азоту, нітритів та підсумкового азоту відображена на рис. 2 (2009 р.) та рис. 3 (2010 р.). Хоча обидва роки були близькими за водністю (2009 р. – маловодний, а 2010 р. – дуже маловодний), криві змін показників досить сильно відрізнялися.

У 2009 р. хід кривих був дуже плавним, без піків. Максимальні значення нітритів (до 0,2 мг/дм³) та підсумкового азоту (0,42 мг/дм³) визначені на початку року, амонійного азоту (0,35 мг/дм³) – у серпні. 2010 рік відрізнявся досить різкими коливаннями величин показників, з вираженими піками для нітритів та підсумкового азоту в лютому, травні та серпні (максимальне значення 0,1 мг/дм³ – для нітритів, 0,53 мг/дм³ – для другого

показника). Хід кривої для амонійного азоту в цілому повторював динаміку підсумкового азоту, але піки були зміщені: весняний – на квітень, літній – на вересень. Максимальні значення цього показника виявлені навесні (0,45 мг/дм³), але вони не перевищували рибогосподарських ГПК (0,5 мг/дм³).

Взагалі вміст біогенних елементів у воді дуже варіює та змінюється за сезонами. Для порівняльного аналізу за сезонами та між 2009 і 2010 рр. дані з вмісту у воді Запорізького водосховища амонійного азоту та нітритів представлені на рис. 4 у вигляді діаграми.

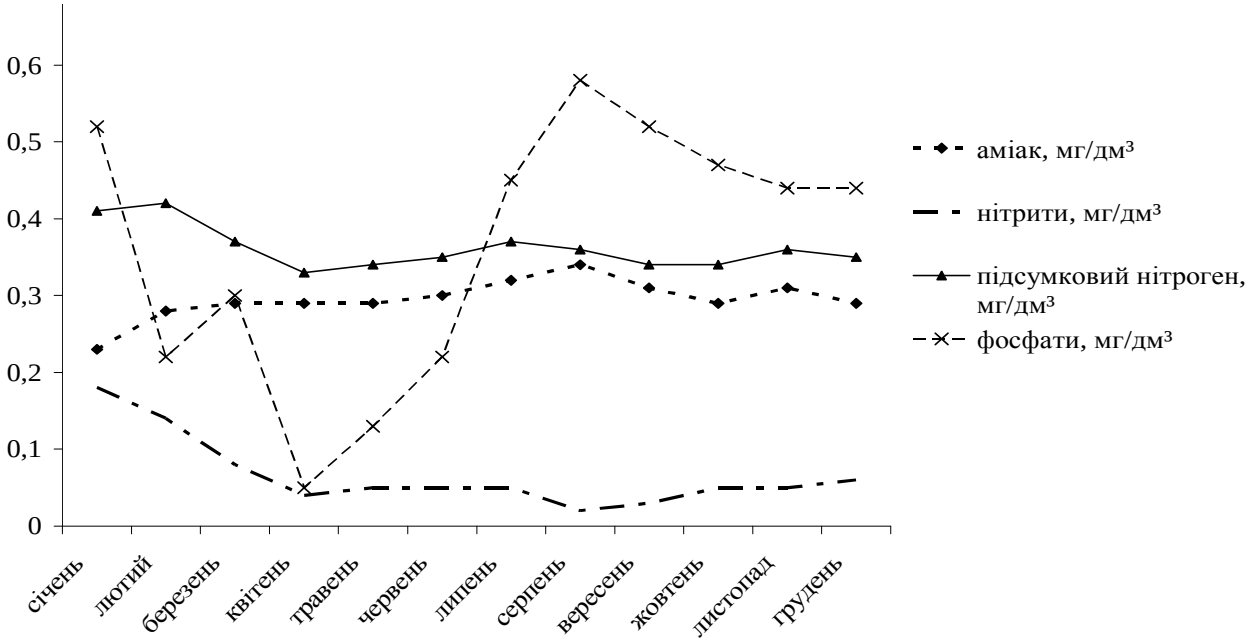


Рис. 2. Річна динаміка амонійного азоту, нітритів, підсумкового азоту та фосфатів у 2009 р.

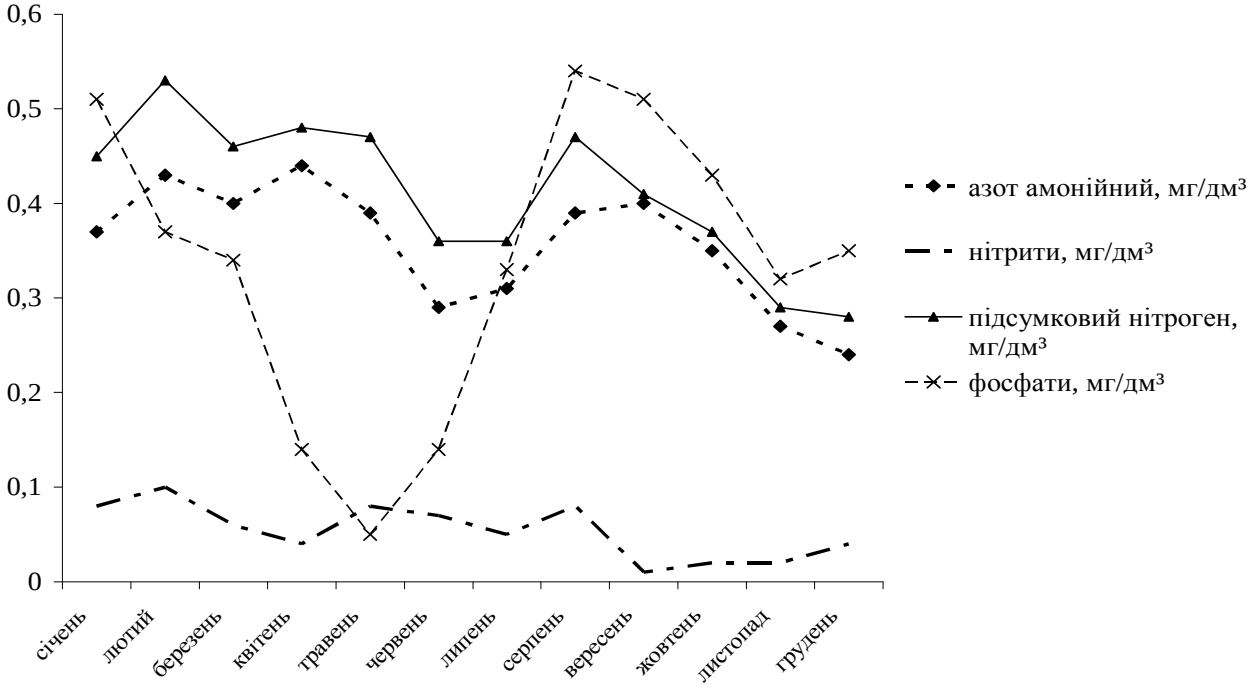


Рис. 3. Річна динаміка амонійного азоту, нітритів, підсумкового азоту та фосфатів у 2010 р.

Щодо сезонної зміни концентрації нітритів, то найбільші величини (до 0,2 мг/дм³ у 2009 р. та 0,1 мг/дм³ у 2010 р.) припадають на ранньовесняний період, що є результатом мінералізації азотовмісних сполук протягом зими. Далі їх вміст не перевищував сотих часток міліграма в 1 $дм^3$. Восени вміст нітрит-іонів у воді стає, як правило, мінімальним, знижуючись майже до нуля. Як відомо, нітрит-іони є проміжним продуктом нітрифікації. Вони хімічно нестійкі і швидко окислюються до нітрат-іонів при наявності у воді достатніх кількостей розчиненого кисню. Підвищення концентрації іонів NO_2^- у воді може бути зумовлено посиленням процесів розкладання органічних залишків за умови уповільненого окислювання NO_2^- до NO_3^-.

Подібне може спостерігатися внаслідок недостатнього насичення води киснем чи швидкого його витрачання на інші процеси. Підтвердження цьому припущенню можна знайти за допомогою кореляційного аналізу. Виявилося, що в 2009 р. була виражена залежність між вмістом нітритів та кисню (r = 0,55), а коефіцієнт кореляції з перманганатною окисненістю був незначущим (r = 0,21). У 2010 р., навпаки, нітрити корелювали з ПО (r = 0,61), але не з концентрацією розчиненого кисню (r = 0,19). Імовірно, перший випадок відображає недостатнє насичення води киснем, другий – лімітування рівнем органіки, що підлягає проміжній стадії нітрифікації з утворенням нітритів.

Привертає до себе увагу, що середні за сезон концентрації амонійного азоту у воді збігались між роками тільки влітку, у решті випадків дані 2010 р. перевищували на 14-40%. При цьому в 2009 р. на фоні незначних міжсезонних коливань декілька більші рівні NH_4^+ відмічені влітку та восени, у 2010 р. – навпаки, узимку та навесні (див. рис. 4).

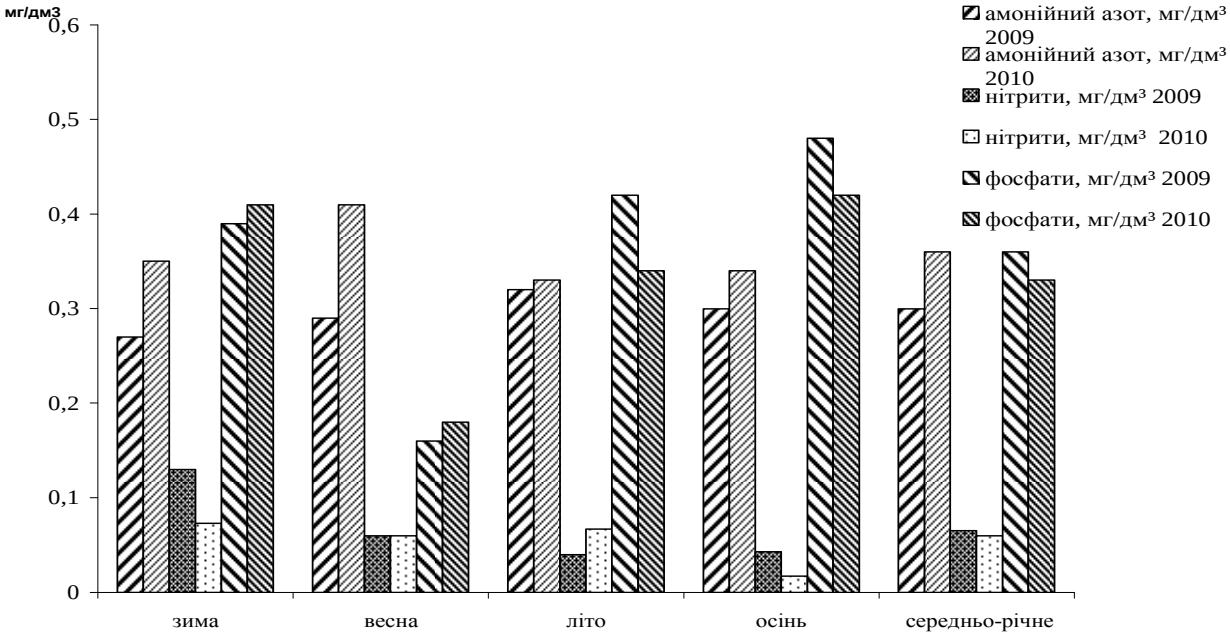


Рис. 4. Порівняльний аналіз вмісту у воді Запорізького водосховища амонійного азоту, нітритів та фосфатів за сезонами 2009-2010 рр.

Підвищення концентрації амонійного азоту у водному середовищі в літній період може бути пов'язане з такими причинами: 1) при низьких значеннях концентрації розчиненого кисню істотно уповільнюється процес нітрифікації – окиснення аміаку до нітритів і нітратів бактеріями, що нітрифікують; 2) улітку підсилюються процеси бактеріального розкладання органічних речовин з виділенням амонійного азоту; 3) зниження рівня кисню у воді – важливий фактор посилення міграції іонів NH_4^+ з донних відкладень [6, 7, 9].

Для з'ясування, який із вказаних факторів регулює рівень амонійного азоту, було застосовано додаткову математичну обробку даних (табл. 2). Проаналізувавши дані, можна дійти висновку, що в 2009 р. основним фактором формування підвищеного вмісту у воді

NH_4^+ є зниження процесу нітрифікації в умовах зменшення рівня кисню. Значну роль також може відігравати посилення міграції амонійного азоту з донних відкладів в умовах зниження вмісту кисню у воді. Навпаки, у 2010 р. концентрація NH_4^+ у воді залежить головним чином від процесів бактеріального окиснення органічних речовин, які стимулюються підвищенням вмісту розчиненого у воді кисню та органіки, що створюється за вегетаційний період.

Вважається, що концентрація амонійного азоту у воді водоймищ залежить значною мірою від водності року [6, 7, 9]. Вона вище, як правило, у маловодні роки, коли зменшуються швидкості плину і проточність водоймищ, а також знижується концентрація розчиненого кисню. Дійсно, у дуже маловодному 2010 р. спостерігався підвищений у порівнянні з відносно маловодним 2009 р. вміст іонів NH_4^+ у воді Запорізького водосховища, але за середніми показниками перевищення рибогосподарських нормативів не було. Можливо, це є свідоцтвом сталого розвитку водної екосистеми в цілому в умовах деякого зниження в останні роки обсягів виробництв і, відповідно, стоків [9].

Таблиця 2

Результати кореляційного аналізу залежності NH_4^+ від інших чинників

Показники, що корелюють	Коефіцієнт кореляції за рік		Коефіцієнт кореляції за березень-вересень 2010 р.
	2009 р.	2010 р.	
амонійний азот і нітрити	-0,85	0,32	0,07
амонійний азот і кисень	-0,66	0,26	0,50
амонійний азот і ПО	0,33	0,17	0,50

Якщо обговорювати динаміку іншого біогенного елементу – фосфору (рис. 2-4), то можна підкреслити схожий у цілому характер кривих у 2009 і 2010 рр., лише весняний мінімум фосфатів (0,05 мг/дм³) у 2010 р. зміщений від квітня до травня, проте в 2009 р. є різко виражений пік показнику в березні. Максимуми вмісту фосфатів у воді в обидва роки досягаються в січні та серпні (0,52-0,55 мг/дм³). Щодо сезонного розподілу, то найменші концентрації фосфатів спостерігаються навесні, найбільші – восени. Між дослідженими роками велика різниця відмічена лише влітку (до 24%).

Оскільки співвідношення між фосфором та азотом, яке не повинно перевищувати 1 : 3, є регулятором гідробіологічних процесів, значний інтерес представляє з'ясування взаємозв'язку цих елементів із використанням інструментів матаналізу. Встановлено, що коефіцієнт кореляції між фосфатами та підсумковим нітрогеном у лютому-травні 2009 р. складає r = 0,65, хоча в цілому за рік між цими показниками кореляції немає (r = 0,17). Це, очевидно, пов'язане з повінню та весняним розвитком діатомової водорості мелозири. Те, що залежність між фосфором та азотом опосередкується метаболізмом гідробіонтів, доводиться фактом значущого коефіцієнту кореляції r = 0,53, який відповідає основному вегетаційному періоду (березень-вересень), а також дуже високого r = 0,89 для періоду максимальної вегетації (квітень-серпень). Аналогічна картина спостерігається в 2010 р.: за відсутності кореляції за рік, за періодами року коефіцієнти кореляції є досить високими (у лютому-травні r = 0,46; у червні-грудні r = 0,59). Але в цьому випадку періоди є чітко розділеними, що, очевидно, пов'язане з клімато-метеорологічними особливостями року, і ці періоди, скоріше за все, відповідають розвитку діатомових та синьозелених водоростей.

Концентрація розчиненого у воді кисню слугує своєрідним індикатором екологічного стану будь-якої водойми, так як достатня його кількість чи дефіцит істотним чином відбивається на життєдіяльності багатьох груп гідробіонтів, а також на інтенсивності та спрямованості процесів окиснення-відновлення. При нормальній насиченості води киснем у водоймі домінують процеси окиснення та переважає самоочищення водного середовища від забруднюючих речовин як аллохтонного, так і автохтонного походження. В умовах дефіциту кисню істотно знижується самоочищувальна здатність водного середовища. Інтенсивність самоочищення зменшується, коли вміст кисню у воді не перевищує 7,0-8,0 мг/дм^3, а за його концентрації менше 5,0 мг/дм^3 відбувається значне уповільнення бактеріальної деструкції

органічних речовин. Отже, стан кисневого режиму – один з найважливіших інтегральних показників екологічного стану водойми [6, 7]. Нестача кисню викликає посилення процесів відновлення, внаслідок чого посилюється процес міграції речовин з донних відкладів у воду, що контактує з ними, тобто відбувається вторинне забруднення водного середовища.

Ураховуючи важливість цього показника, досліджували його річну (рис. 5) та сезонну динаміку (рис. 6). З'ясовано, що влітку спостерігалось різке падіння вмісту кисню у воді.

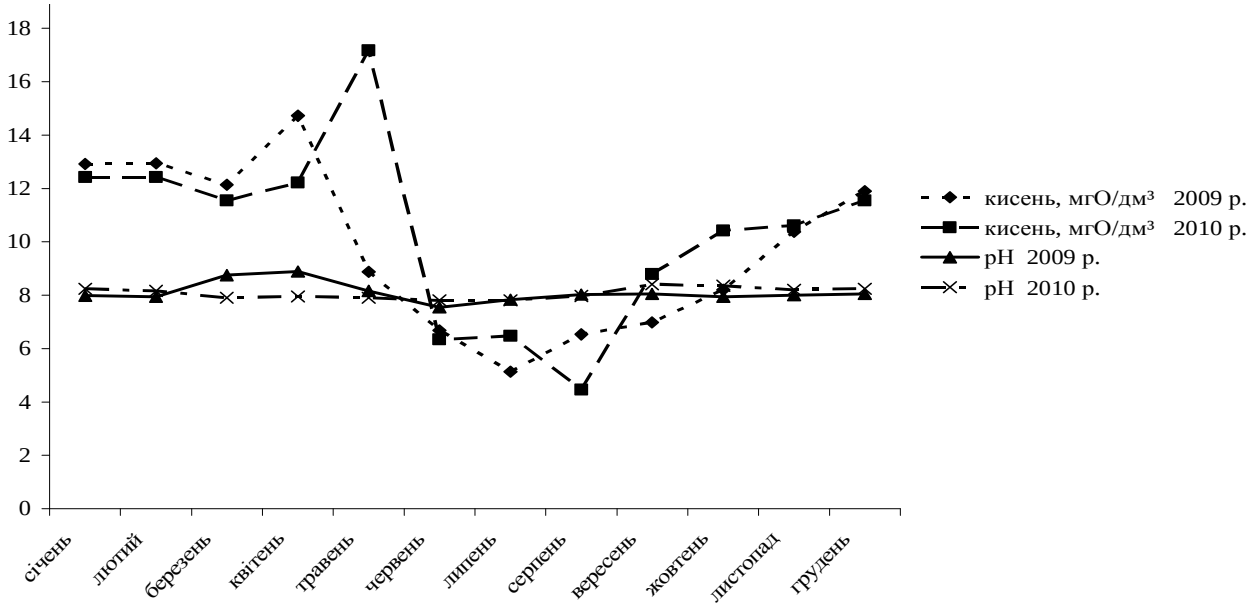


Рис. 5. Зміни рівня pH та розчиненого кисню у воді Запорізького водосховища протягом 2009-2010 рр.

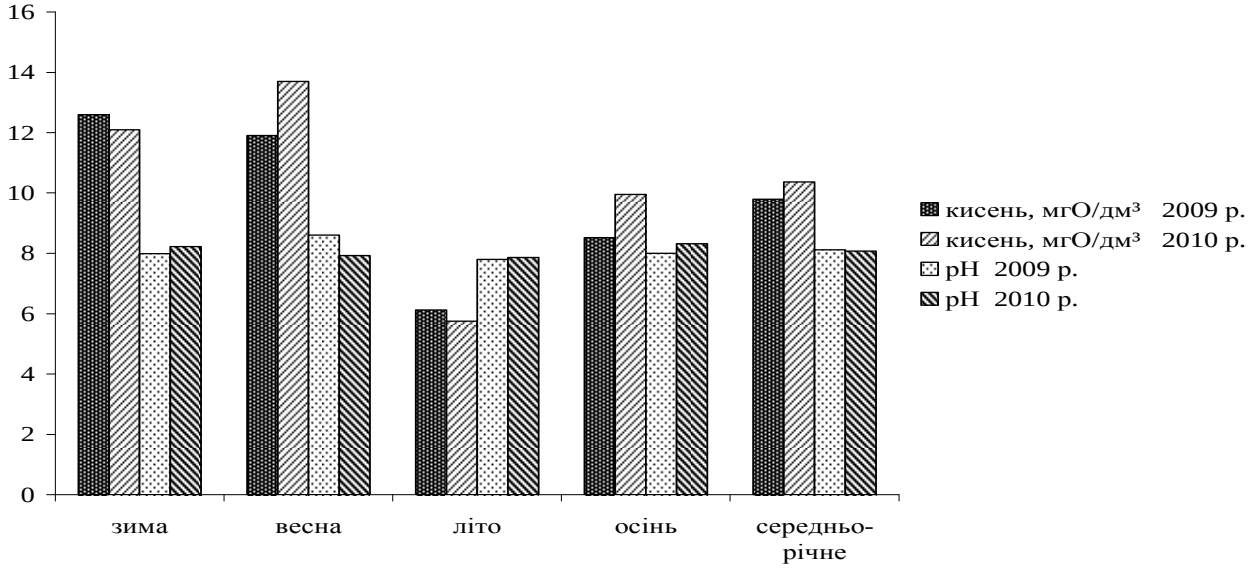


Рис. 6. Сезонна динаміка pH води та вмісту розчиненого кисню в 2009-2010 рр.

Такі величини концентрації кисню несприятливі для нормальної життєдіяльності гідробіонтів, оскільки вони опускаються нижче припустимого рівня O_2 для водойм рибогосподарського призначення (ГПК кисню для таких водойм складає 4,0 і 6,0 мг/дм^3, відповідно, у зимовий і в літній періоди) [8]. Кисневий дефіцит улітку виникає у разі накопичення водоростей та розкладу фітопланктону, що відмирає та збагачує середовище сірководнем, аміаком та іншими токсичними речовинами. Кисень може витрачатись і на

окиснення надлишку забруднюючих речовин, що надходять зі стоками, посилюючи дефіцит кисню.

Динаміка рівня розчинного кисню чітко піддається сезонній динаміці. Мінімум спостерігається при піку цвітіння синьо-зелених, а саме в серпні-вересні, коли масове відмирання водоростей створює нестачу кисню у воді, оскільки він витрачається на окиснення органічної речовини, що звільняється в процесі відмирання. Крім того, надвисокі кількості планктону використовують багато доступного розчинного кисню на дихання; після їх відмирання в вересні-жовтні концентрація кисню поступово стабілізується на допустимому рівні.

Величини pH змінювались у невеликому інтервалі від 7,7 до 8,8, з переважанням у слабколужному діапазоні. У цілому це є характерним для Дніпровського водосховища, де, за багаторічними спостереженнями, середній рівень pH складає 7,0-8,0 [8, 10, 11]. Відомо, що взагалі існує взаємозв'язок між рівнями pH та кисню у водоймі. Це було підтверджено результатами кореляційного аналізу: у 2009 р. коефіцієнт був досить високим за даними всього року (r = 0,62), а в 2010 р. він був значущим тільки в період лютий-липень (r = 0,48), тобто за час найбільшого розвитку гідробіологічних процесів. Деяке порушення взаємозв'язку між цими важливими показниками можливо пояснити швидким витрачанням кисню на окиснювальні процеси) [1].

Для оцінки рівня забруднення досліджуваних ділянок Дніпровського водосховища органічними речовинами використовували такі характеристики, як перманганатна окисненість (ПО), біхроматна окисненість (ХСК) води і біохімічне споживання кисню протягом п'яти діб ($БСК_5$). Зазначені показники в комплексі надають характеристику складу та природи органічних речовин, що містяться у воді, застосовуються для оцінки екологічного стану водойми [1].

Отримані нами дані (рис. 7, 8) переконують у досить помітному забрудненні води як легко-, так і важкоокислюваними органічними сполуками. Улітку їхня концентрація була звичайно вище, ніж восени, тому що вміст органічних речовин піддається сезонним коливанням і залежить від загальної біологічної продуктивності водойми, ступеня його забруднення, а також від впливу алохтонних органічних сполук природного походження [1, 7]. Важко однозначно пояснити, які саме легкоокиснювальні органічні речовини домінували у водоймі, тому що перманганатом калію легко окиснюються гумусові кислоти і так званий планктонний гумус, що утворюється в самій водоймі. Однак через мало виражену весняну повінь концентрація гумусових кислот не могла істотно зрости за рахунок змиву з ланів.

Загальний вміст легкоокислювальних органічних речовин виявилося досить високим. Так, улітку ПО води досягала 14,0 мгО/дм^3, але не перевищувала рибогосподарські ГПК (15,0 мгО/дм^3). Досить високі рівні показника пов'язані з тим, що в літній період у воді накопичуються планктоногенні органічні речовини, особливо бактеріальні [8, 9], кількість яких збільшується в маловодні роки. Важливу роль також відіграє недолік кисню для окиснювання органіки. Однак залежність між цими показниками виявлена тільки за період січень-червень: у 2009 р. r = 0,60, у 2010 р. r = 0,53. Такий період формування залежності може свідчити про її зв'язок із повінню чи з «цвітінням» діатомової водорості мелозири, яка виділяє багато органічної речовини.

Варто також додати, що істотний вплив на рівень забруднення водоймища органічними речовинами могла зробити водність року. Зокрема, в умовах слабко вираженої весняної повені «промивання» водоймища від нагромадження речовин може бути недостатнім.

Величини біохімічного споживання кисню за визначений проміжок часу 5 діб ($БСК_5$) широко використовується для оцінки ступеня забруднення водойми і вмісту легкоокислюваних органічних речовин [8, 9, 12]. Звичайно чим вище концентрація останніх, тим більше споживання (витрата на їхнє окиснювання) кисню.

Результати наших досліджень показали, що значення $БСК_5$ знаходилися в межах 1,2-2,0 мгО/дм^3. Але не простежувалось залежності між величинами показників ПО та $БСК_5$. Крім того, привертає до себе увагу явне переважання хімічного споживання кисню над

біологічним. Це може бути наслідком дії токсичних речовин, що пригнічують життєдіяльність мікроорганізмів, які беруть участь в окислюванні нестійких органічних речовин.

Значення ПО води були досить високими і влітку, і восени, що свідчило про забруднення води дослідженої ділянки водоймища легкоокислюваними органічними речовинами. За даними ж $БПК_5$, це забруднення незначне. Очевидно, взаємозв'язок між цими важливими характеристиками (ПО і $БСК_5$) органічних речовин поверхневих вод порушений. Отже, отримані дані про $БСК_5$ можуть бути занижені через токсичний вплив на життєдіяльність мікроорганізмів стічних вод, що надходять у водоймище. Таким чином, цей показник не відображає реального стану забруднення водоймища органічними речовинами.

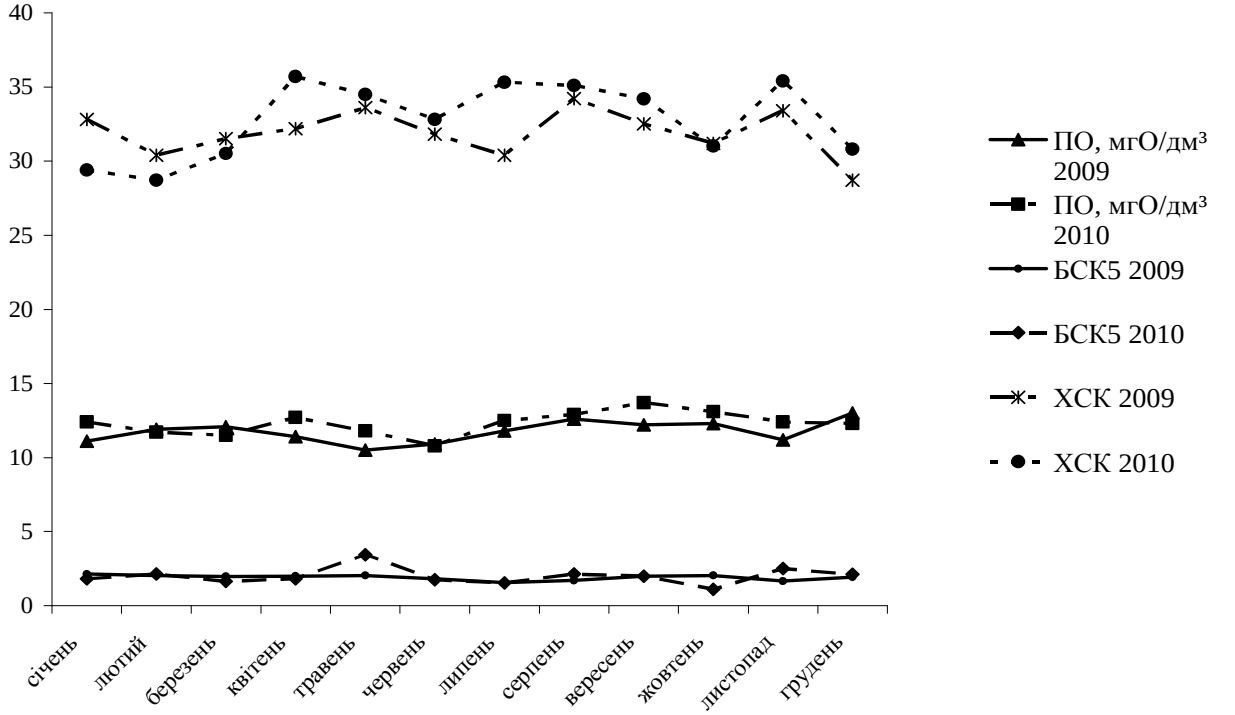


Рис. 7. Річні коливання показників вмісту органічних речовин у 2009-2010 рр.

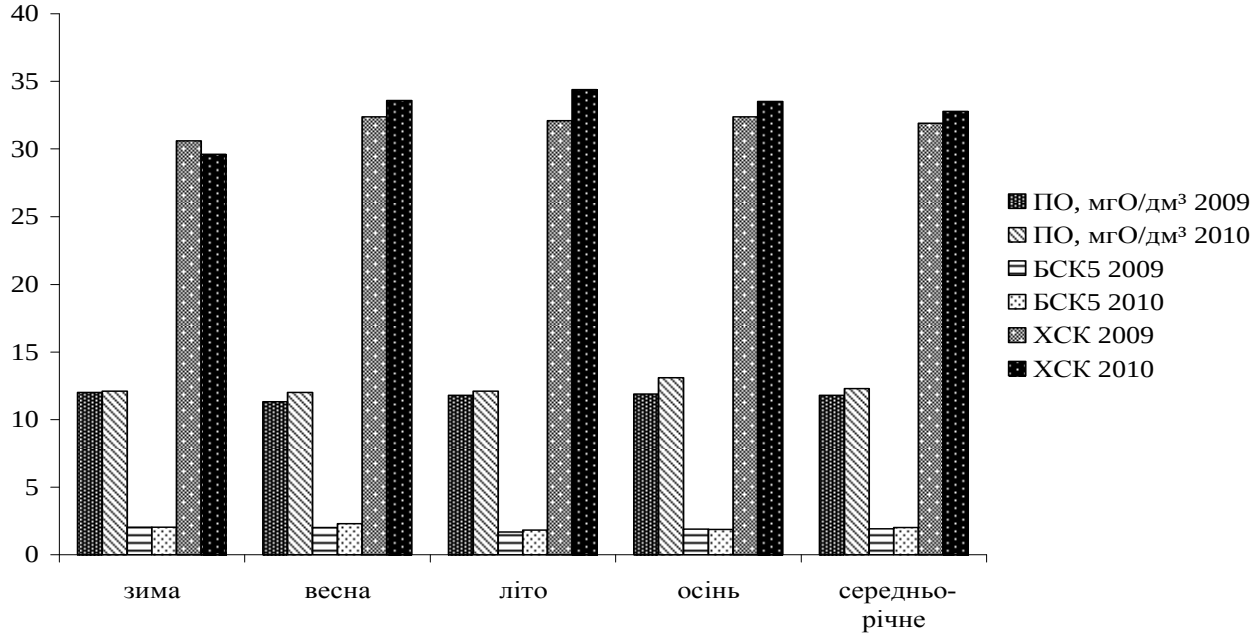


Рис. 8. Сезонна динаміка показників вмісту органічних речовин у 2009-2010 рр.

У цілому, за еколого-санітарною класифікацією, вода середньої частини Запорізького водосховища у 2009-2010 рр. за середніми величинами трофо-сапробіологічних показників оцінювалася як задовільна, належала до ІІІ класу, 4-5 категорій «слабко забруднена» – «помірно забруднена», евтрофна, β-мезосапробна [13]. Разом з цим за середніми значеннями вмісту розчинного аміаку (0,30 мг/л), які перевищували рибогосподарські гранично припустимі концентрації розчинного аміаку в 6 разів, вода не повністю задовольняла потреби гідробіонтів в її якості. Крім того, на дослідженій ділянці водойми спостерігались підвищені рівні окремих показників (фосфатів, нітритів, ПО, ХСК), які є основними гідрохімічними складовими забруднення води в Запорізькому (Дніпровському) водосховищі.

Висновки

1. Здійснено аналіз сезонної динаміки трофо-сапробіологічних показників за маловодні 2009-2010 рр. Установлено, що вона залежить не тільки від водності року, але й від інших факторів, які впливають також на перебіг гідробіологічних процесів. Саме тому в близькі за водністю роки спостерігаються різні, навіть протилежні закономірності змін досліджених показників.
2. За допомогою кореляційного аналізу виявлені залежності між вивченими трофо-сапробіологічними індексами, також установлено, що перебіг більшості гідрохімічних процесів опосередковується метаболізмом гідробіонтів, тобто існує взаємозв’язок даних процесів.
3. За еколого-санітарною класифікацією, вода оцінена як задовільна, вона належала до ІІІ класу, 4-5 категорій «слабко забруднена» – «помірно забруднена», евтрофна, 0-β-мезосапробна.

Список літератури

1. *Васильчик Т. О.* Вплив кисневого режиму на вміст розчинених органічних речовин у воді Київського водосховища / Т. О. Васильчик, В. П. Осипенко // Вода: проблеми та рішення: матер. IX наук.-практ. конф. (Дніпропетровськ, 10 грудня 2009 р.). – Дніпропетровськ: «Гамалія», 2010. – 288 с.
2. *Горєв Л. М.* Гідрохімія України / Л. М. Горєв, В. І. Пелешенко, В. К. Хільчевський. – К.: Вища школа, 1995. – 307 с.
3. *Дворецкий А. И.* Ранговая оценка структурно-функциональных показателей отдельных биотопов водной экосистемы Запорожского водохранилища / А. И. Дворецкий, Л. И. Цегельник, А. С. Белоконь и др. //Актуальні проблеми геології, географії та екології: зб. наук. праць. – Дніпропетровськ, 1999. – Т. 3. – С. 29–36.
4. *Дворецкий А. І.* Сучасний гідроекологічний стан екосистеми Дніпровського водосховища / А. І. Дворецкий, А. С. Кириленко, А. С. Білоконь та ін. // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол. Спец. вип. Гідроекологія. – 2005. – № 3 (26). – С. 135–136.
5. *Дворецкий А. І.* Современное гидроекологическое состояние Днепровского водохранилища при влиянии антропогенных факторов / А. І. Дворецкий, Л. И. Цегельник, Е. А. Мурзина, А. С. Белоконь. // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол. Спец. вип. Гідроекологія. – 2001. – № 3 (14). – С. 49–50.
6. *Денисова А. И.* Формирование гидрохимического режима водохранилищ Днепра и методы его прогнозирования / А. И. Денисова. – К.: Наук. думка, 1979. – 290 с.
7. *Денисова А. И.* Гидрология и гидрохимия Днепра и его водохранилищ / А. И. Денисова, В. М. Тимченко, Е. П. Нахшина и др. – К.: Наук. думка, 1985. – 212 с.
8. Екологічний стан біоценозів Запорізького водосховища в сучасних умовах: моногр. / О. В. Федоненко, Н. Б. Єсіпова, Т. С. Шарамок та ін. – Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту, 2008. – 276 с.

9. *Жежеря В. А.* Современное состояние Днепровского (Запорожского) водохранилища по некоторым гидрохимическим показателям / В. А. Жежеря, Е. В. Федоненко, П. Н. Линник // Гидробиол. журн. – 2009. – Т. 45, № 3. – С. 102–119.

10. Запорізьке водосховище: моногр. – Д.: Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2000. – 172 с.

11. Запорожское (Днепровское) водохранилище: информ. справ. / Отв. ред. А. И. Дворецкий, Ф. П. Рябов. – Д.: Изд-во Днепропетр. ун-та, 2001. – 48 с.

12. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / [ред. В. Д. Романенко]. – К., 2006. – 628 с.

13. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В. Д. Романенко, В. М. Жукинський, О. П. Оксіюк. – К.: Символ-Т, 1998. – 28 с.

14. *Пелешенко В. І.* Загальна гідрохімія: підручник / В. І. Пелешенко, В. К. Хільчевський. – К.: Либідь, 1997. – 384 с.

15. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / Под ред. А. Д. Семенова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1997. – 542 с.

Федоненко Е. В., Слабоспицкая О. В. **Сезонная динамика трофо-сапробиологических показателей воды средней части Запорожского (Днепровского) водохранилища.** – Анализ сезонной динамики трофо-сапробиологических показателей за маловодные 2009-2010 гг. позволил установить, что она зависит не только от водности года, но и от других факторов, влияющих на ход гидробиологических процессов. Вследствие этого в близкие по водности годы наблюдаются разные, даже противоположные закономерности изменений исследуемых показателей. С помощью корреляционного анализа выявлены зависимости между изученными трофо-сапробиологическими индексами, установлена взаимосвязь гидрохимических и гидробиологических процессов. По эколого-санитарной классификации, качество воды оценено как удовлетворительное, она относилась к III классу, 4-5 категории «слабо загрязненная» – «умеренно загрязненная», эвтрофная, 0-β-мезосапробная.

Ключевые слова: качество воды, гидрохимические показатели, предельно допустимые концентрации, уровни загрязнения.

Fedonenko O. V., Slabospitskaya E. V. **Seasonal dynamics of water trophic-saprobiologic indexes of the middle part of Zaporozhskoye (Dnieprovskoye) reservoir.** – Analysis of seasonal dynamics of water trophic-saprobiologic indexes in low water level 2009 and 2010 years allowed to find that the dynamics depends not only on year's water level but on other factors influencing hydrobiological processes. Consequently, in years with analogous water levels there are distinguished up to contrary law regularities of investigated indexes changes. Using correlation analysis, dependences between studied trophic-saprobiologic indexes have been revealed, mutual relations of hydrochemical and hydrobiological processes have been found. Accordingly to ecological-sanitary classification, the water quality has been estimated as satisfactory, it has been marked to be of III quality class, 4-5 category such as «slightly contaminated» – «moderately contaminated», eutrophic, 0- β-mesosaprobic.

Key words: water quality, hydrochemical indexes, extreme permissible concentrations, contamination levels.

УДК 575 : 581.144.2 : 581.133.8 : 582.683.2

© С. Г. Хаблак, Я. А. Абдуллаева

СТРОЕНИЕ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ У МУТАНТНОЙ ЛИНИИ *WOODEN LEG-1* (*WOL-1*) *ARABIDOPSIS THALIANA* (L.) HEYNH.

Луганский национальный аграрный университет; 91008, г. Луганск
e-mail: serhab_211981@rambler.ru

Хаблак С. Г., Абдуллаева Я. А. **Строение корневой системы у мутантной линии *wooden leg-1* (*wol-1*) *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh.** – Изучены особенности строения корневой системы у растений мутантной линии *wol-1 Arabidopsis thaliana.* Установлено, что у растений линии *wol-1* формируется мочковатая корневая система, у которой основную массу корней составляют придаточные корни.

Ключевые слова: *Arabidopsis thaliana*, корневая система, дикий тип, мутантная линия.

Введение

Выяснение принципов, лежащих в основе образования специфической формы каждого растения и его частей, – наиболее трудная и еще мало изученная проблема биологии. Морфогенез, то есть формообразование у растений, включает в себя процессы заложения, роста и развития клеток (цитогенез), тканей (гистогенез) и органов (органогенез), которые генетически запрограммированы и скоординированы между собой [1].

Центральная роль в морфогенезе органов растений принадлежит образовательным тканям, которые называются меристемами. Специфическая особенность меристемы заключается в том, что ее клетки быстро делятся и дифференцируются в постоянные ткани органов растений [2]. Апикальные меристемы побега и корня являются главными координирующими (доминирующими) центрами, влияющими на морфогенетические процессы в целом растении. Они представляют собой зоны ткане- и органообразования, из которых формируется весь растительный организм [3, 4]. Изучение механизмов, поддерживающих инициальные клети меристем на эмбриональной стадии развития в течение всей жизни растения, и исследования регулирования дифференцирования инициальных клеток в различные постоянные ткани органов растения является одной из актуальных проблем современной биологии.

Arabidopsis thaliana (L.) Heynh. (резушка Таля) – перспективное модельное растение для исследования этой проблемы. К настоящему времени генетические исследования выявили целый ряд генов у арабидопсиса, регулирующих функционирование апикальных меристем побега и корня. К генам, контролирующим меристематическую активность инициальных клеток апикальной меристемы корня, относятся *SHORT-ROOT* (*SHR1)* [5], *SCARECROW1* (*SCR1*) [6] и *WOODEN LEG1* (*WOL1*) [7]. В частности, ген *WOL1*, известный также как *CRE1*, или *AHK4*, кодирует мембранный белок-рецептор гистидин киназу CRE1/WOL1/AHK4, передающий цитокининовый сигнал через плазматическую мембрану к эффекторным белкам (факторам транскрипции), ответственным за регуляцию экспрессии генов в двухкомпонентных сигнальных системах [8].

Мутация гена *WOL1* вызывает у растений потерю функций мембранного рецептора гистидин киназы CRE1/WOL1/AHK4, воспринимающего внешний сигнал по отношению к клетке гормона, который участвует в активации ядерных генов цитокинином. В результате клетки на кончике корня в зоне деления теряют чувствительность к цитокинину, который осуществляет индукцию клеточного деления, активизирует рост клеток в длину, способствует их дифференцировке. Поэтому в апикальной меристеме корня не происходит периклинального деления клеток, то есть деления клеток параллельно поверхности корня (осевой стороне), из которых образуется центральная ось корня и его коровая часть. Это вызывает у мутантных растений *wol-1* тяжелые дефекты в развитии сосудистых тканей корня [9, 10].

Поскольку до сих пор не проводились исследования влияния рецессивного аллеля гена *WOL-1* на строение корневой системы, то целью настоящей работы было изучить морфологию корневой системы у растений мутантной линии *wol-1*.

Материал и методы исследования

Материалом для исследований служили растения *A. thaliana* экотипа Columbia – Col-O (дикий тип) и мутантной линии *wol-1* (*wooden leg-1*), семена которых были получены из Ноттингемского центра образцов арабидопсиса (Nottingham Arabidopsis Stock Centre (NASC), UK). Растения выращивали в лаборатории в асептической пробирочной культуре на агаризованной питательной среде Кнопа, обогащенной микроэлементами [11].

Семена к посеву готовили путем яровизации в течение 5 суток при температуре 4-6°С и последующего односуточного проращивания при комнатной температуре. Пробирки для предохранения от нагревания и попадания света на корни растений обвертывали двумя слоями бумаги. Растения культивировали при температуре 18-20°С, освещенность круглосуточная в пределах 4000-7000 лк.

Методы исследований – вегетационный, сравнительно-морфологический. Изображения корневых систем растений получали с помощью цифрового фотоаппарата Benq DC C1220.

Результаты и обсуждение

На протяжении около ста лет особенности индивидуального развития *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. исследовались морфологами, эмбриологами, физиологами и генетиками. Однако онтогенез растений до конца не изучен. Общие закономерности развития корней и корневых систем у *A. thaliana* менее исследованы, чем надземных органов как в отношении морфологических, так и физиологических признаков. Считалось, что для *A. thaliana* характерна стержневая корневая система [12]. Однако недавно было установлено, что у растений *A. thaliana* дикого типа (WT – wild type) образуется корневая система смешанного типа, объединяющая в себе систему главного корня и систему придаточных корней [13].

На рис. 1 (1) представлена смешанная корневая система дикого типа Col-O с главным корнем, максимально ветвящимся в верхней и средней части. Главный корень характеризуется хорошим ростом и резко отличается от боковых корней по толщине и длине. Он с боковыми корнями образует систему главного корня. Придаточные корни развиваются на гипокотиля. Они обозначены на рисунке стрелкой. Придаточные корни тоже разветвляются и образуют боковые корни. В ходе ветвления из корней, берущих начало от стебля, формируется система придаточных корней.

Граница между гипокотилем и главным корнем (корневая шейка) часто бывает трудно отличима, и лишь характер эпидермиса (с устьицами на гипокотиле и без устьиц на главном корне) служит целям маркировки придаточных корней и дает возможность четко отграничить придаточные корни от боковых корней главного корня. По всей видимости, эти затруднения в разграничении придаточных корней от остальных корней корневой системы и послужили причиной представления о том, что у растений арабидопсиса формируется стержневая корневая система.

У мутантной линии *wol-1* корневая система внешне принципиально отличаются от корневой системы дикого типа. С морфологической точки зрения корни у растений мутантной линии *wol-1* в совокупности представляют собой мочковатую корневую систему, состоящую из придаточных и боковых корней различных порядков. Главный корень соответственно в корневой системе не выражен. Он закладывается в зародыше семени в виде первичного корешка. Спустя некоторое время из корешка зародыша развивается корень проростка, который обычно имеет узкоцилиндрическую или нитевидную форму. Как правило, он тоньше, чем стебель, поэтому обладает довольно резко выраженным переходом корня в стебель (корневой шейкой).

Корень проростка в результате нарушения нормального хода деления клеток апикальной меристемы кончика корня приостанавливает свой рост. Вместо этого на гипокотиле образуется большое количество придаточных корней, которые составляют основную массу корневой системы. Закладываются придаточные корни в онтогенезе растений рано, еще во внутренних тканях стебелька зародыша и развиваются при прорастании семени почти синхронно с корнем проростка. Они обладают способностью

ветвиться. При дальнейшем росте растения у придаточных корней появляются боковые корни. В совокупности придаточные и боковые корни, развиваясь, образуют мочковатую корневую систему.

На рис. 1 (2) изображена корневая система растений мутантной линии *wol-1*. Как видно из рисунка, корневая система у растений линии *wol-1* имеет абсолютно иное строение, чем у дикого типа. У нее хорошо видны придаточные корни, на которых формируются боковые корни. Главный корень развит слабо и не выделяется среди придаточных корней. В результате корневая система образуется в основном из придаточных корней, формирующихся у основания стебля. Более или менее одинаково развитые придаточные корни и их боковые корни в совокупности образуют мочковатую корневую систему. Этот тип корневой системы характерен, главным образом, для большинства представителей однодольных растений, например, для злаков, осок, лилейных и многих других, а не для двудольных растений, к которому относится вид *A. thaliana*, за исключением некоторых представителей (лютик, подорожник).

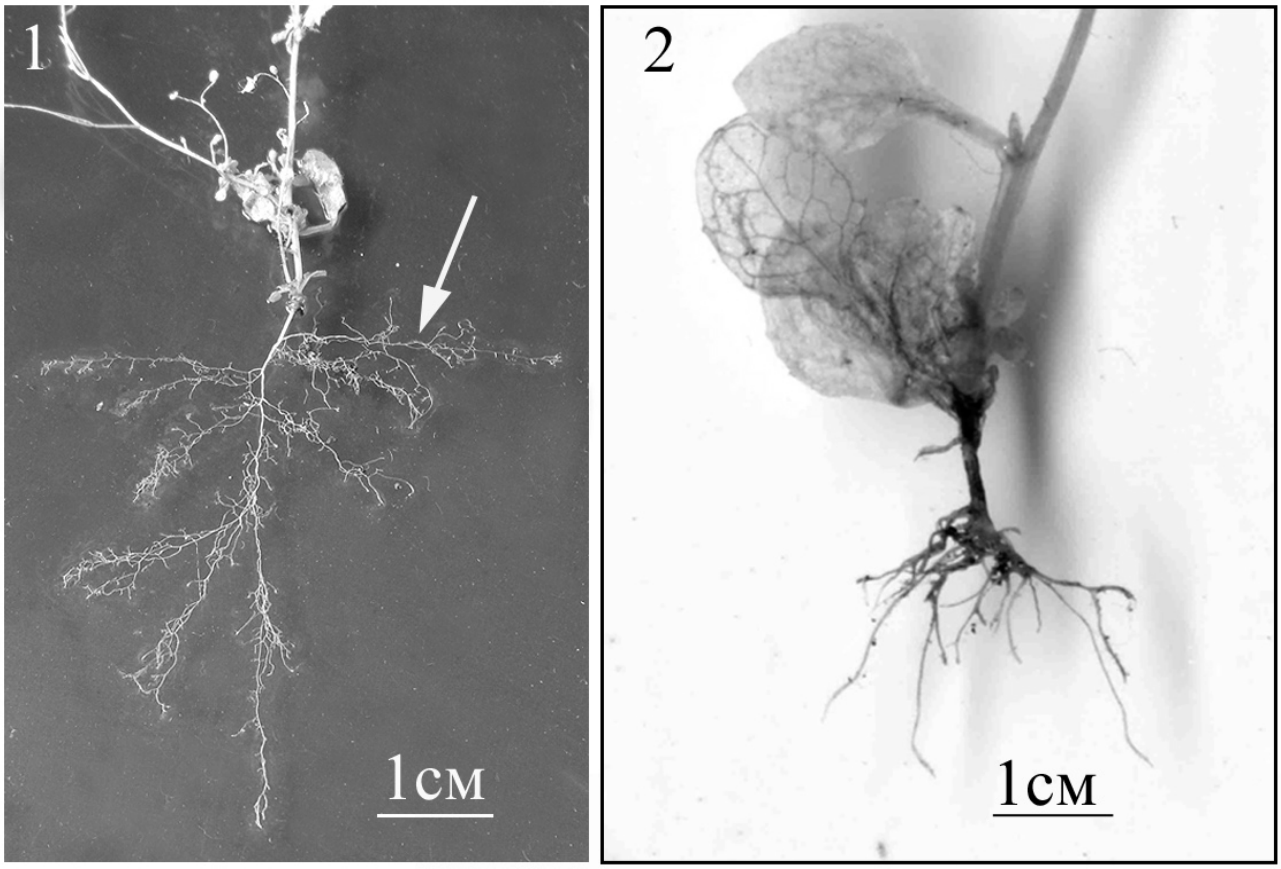


Рис. 1. Строение корневых систем у растений экотипа Col-O (дикий тип) и мутантной линии *wol-1* в фазе цветения: 1 – общий вид корневой системы экотипа Col-O (стрелкой на рисунке обозначены придаточные корни); 2 – корневая система мутантной линии *wol-1*.

Сравнение корневых систем по числу корней и по их длине у дикого типа и мутантной линии в фазе цветения показало, что в составе корневой системны растений линии *wol-1* господствуют придаточные корни: по числу корней они занимают 49,1% (17,0 из 34,6 шт.) всех корней, а по длине – 65,2% (21,2 из 32,5 мм). В то время как в составе корневой системы WT по длине корней преобладает главный корень и занимает 51,4% (57,7 из 112,3 мм) всех корней, а по числу корней доминируют боковые корни 2-го порядка ветвления главного корня, которые имеют 38,6% (41,7 из 108,1 шт.) (табл. 1).

Таблица 1

Сравнение средних значений признаков корневых систем у экотипа Col-O (дикий тип) и мутантной линии *wol-1* в фазе цветения

Обозначение линии и название статистики	Признаки		Наименование корней								Всего корней
			Главный корень	Боковые корни главного корня			Придаточные корни	Боковые корни придаточных корней			
				1-го порядка ветвления	2-го порядка ветвления	3-го порядка ветвления		1-го порядка ветвления	2-го порядка ветвления	3-го порядка ветвления	
Col-O	число корней	шт.	1,0	21,1	41,7	9,0	2,0	10,1	16,8	6,4	108,1
		%	0,9	19,5	38,6	8,3	1,9	9,3	15,6	5,9	100
	длина корней	мм	57,7	17,8	6,1	3,7	12,4	6,6	5,1	2,9	112,3
		%	51,4	15,9	5,4	3,3	11,0	5,9	4,5	2,6	100
wol-1	число корней	шт.	0	0	0	0	17,0	11,2	6,4	0	34,6
		%	0	0	0	0	49,1	32,4	18,5	0	100
	длина корней	мм	0	0	0	0	21,2	7,2	4,1	0	32,5
		%	0	0	0	0	65,2	22,2	12,6	0	100
t-критерий Стьюдента	число корней		1,7***	28,1***	30,3***	7,9***	26,9***	1,4	4,0***	5,4***	12,5***
	длина корней		41,5***	10,6***	25,6***	15,7***	7,2***	1,1	1,7	8,6***	23,4***

Примечание. Достоверно при парном сравнении признаков с контролем: различия максимально значимы *** – $p < 0{,}001$.

В области функциональной генетики арабидопсиса в настоящее время решается амбициозная задача выяснения функций всех его 25000 генов во всем многообразии их проявлений и на всех уровнях организации живого. Познание функций генов *A. thaliana* – важный шаг к выяснению того, как функционируют сходные гены у родственных организмов. В настоящее время вопросы генетики морфогенеза корневой системы у растений практически не изучены. Несмотря на то, что проблемами генетики развития растений давно занимаются во всем мире, большая часть работ посвящена изучению развития побега, листа, цветка и соцветия. Для этих органов уже разработаны примерные программы развития, однако для корня модели генетической регуляции онтогенеза только

начинают создаваться. Имея данные по регуляции онтогенеза отдельных органов, можно создать модель управления растительным организмом на генном уровне. В этой связи подробное описание плейотропного эффекта гена *WOL1* на признак «тип корневой системы», широко используемый таксономистами, представляет несомненный интерес.

Выводы

На основании изучения строения корневой системы у растений мутантной линии *wol-1* нами было установлено, что детерминирование роста главного корня в результате дефектов в делении и дифференцировании инициальных клеток апикальной меристемы обуславливает изменение типа корневой системы. В результате этого мутантный ген *wol-1* приводит к образованию у растений мочковатой корневой системы, которая не имеет ясно выраженного главного корня и состоит преимущественно из большого количества придаточных корней. Этот факт указывает на то, что ген *WOL1* играет ключевую роль в формировании строения корневой системы у *Arabidopsis thaliana*.

Список литературы

1. *Полевой В. В.* Физиология растений: [учеб. для биол. спец. вузов] / В. В. Полевой. – М.: Высш. шк., 2006. – 464 с.

2. *Хржановский В. Г.* Курс общей ботаники (цитология, гистология, органография, размножение): [учеб. для сельхозвузов] / В. Г. Хржановский. – М. : Высш. шк., 1982. – 384 с.

3. *Jiang K.* Regulation of root apical meristem development / K. Jiang, L. J. Feldman // Annu. Rev. Cell Dev. Biol. – 2005. – Vol. 21, № 3. – P. 485–509.

4. *Perilli S.* Analysis of root meristem size development / S. Perilli, S. Sabatini // Methods Mol. Biol. – 2010. – Vol. 655, №2. – P. 177–187.

5. *Benfey P. N.* Root development in *Arabidopsis*: four mutants with dramatically altered root morphogenesis / P. N. Benfey, P. J. Linstead, K. Roberts, J. W. Schiefelbein, M.-T. Hauser, R. A. Aeschbacher // Development. – 1993. – Vol. 119, №5. – P. 57–70.

6. *Sabatini S. SCARECROW* is involved in positioning the stem cell niche in the Arabidopsis root meristem / S. Sabatini, R. Heidstra, M. Wildwater, B. Scheres // Genes Dev. – 2003. – Vol. 17, № 3. – P. 354–358.

7. *Inoue T.* Identification of *CRE1* as a cytokinin receptor from Arabidopsis / T. Inoue, M. Higuchi, Y. Hashimoto, M. Seki, M. Kobayashi, T. Kato, S. Tabata, K. Shinozaki, T. Kakimoto // Nature. – 2001. – Vol. 409, № 3. – P. 1060–1063.

8. *Kakimoto T.* Perception and signal transduction of cytokinins / T. Kakimoto // Annu Rev Plant Biol. – 2003. – Vol. 54, № 2. – P. 605–627.

9. *Nishimura C.* Histidine kinase homologs that act as cytokinin receptors possess overlapping functions in the regulation of shoot and root growth in *Arabidopsis* / C. Nishimura, Y. Ohashi, S. Sato, T. Kato, S. Tabata, C. Ueguchi // Plant Cell. – 2004. – Vol. 16, № 6 – P. 1365–1377.

10. *Kuroha T.* Cytokinin receptors are required for normal development of auxin-transporting vascular tissues in the hypocotyl but not in adventitious roots / T. Kuroha, C. Ueguchi, H. Sakakibara, S. Satoh // Plant Cell. Physiol. – 2006. – Vol. 47, № 2. – P. 234–243.

11. Большой практикум по физиологии растений: учебн. пособие для студентов биол. спец. вузов / [Б. А. Рубина, И. А. Чернавина, Н. Г. Потапов и др.]. – М.: Высш. шк., 1978. – 408 с.

12. *Кондратьева-Мельвиль Е. А.* Морфологическое и анатомическое строение *Arabidopsis thaliana* (Brassicaceae) в онтогенезе / Е. А. Кондратьева-Мельвиль, Л. Е. Водолазский // Ботан. журн. – 1982. – Т. 67, № 8. – С. 1060–1069.

13. *Хаблак С. Г.* Корневая система *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. дикого типа расы Landsberg / С. Г. Хаблак, Я. А. Абдуллаева // Экосистемы, их оптимизация и охрана. – 2010. – Вып. 2 (21). – С. 92–98.

Хаблак С. Р., Абдуллаєва Я. А. **Будова кореневої системи у мутантної лінії *wooden leg-1* (*wol-1*) *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh.** – Вивчено особливості будови кореневої системи у рослин мутантної лінії *wol-1 Arabidopsis thaliana.* Встановлено, що у рослин лінії *wol-1* формується мичкувата коренева система, у якої основну масу коріння складає додаткове коріння.

Ключові слова: *Arabidopsis thaliana*, коренева система, дикий тип, лінія мутанта.

Hablak S. G., Abdullaeva J. A. **Structure of root system in the mutant *lines wooden leg-1* (*wol-1*) *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh.** – The features of the structure of the root system of plants mutant lines of *wol-1 Arabidopsis thaliana*. It was established that plant lines *wol-1* formed a fibrous root system, in which the bulk of the roots are adventitious roots.

Key words: *Arabidopsis thaliana*, root system, wild type, mutant line.

УДК 581.4 : 581.5 : 582.091

© А. В. Жуков[1], Ю. А. Штирц[2], С. П. Жуков[2]

ОЦЕНКА МЕТОДАМИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОРФОМЕТРИИ МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЛИСТОВЫХ ПЛАСТИНОК *BETULA PENDULA* ROTH В ЭКОСИСТЕМАХ С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ АНТРОПОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

[1] Днепропетровский государственный аграрный университет
49600, г. Днепропетровск, ул. Ворошилова, 25; e-mail: zhukov_dnepr@rambler.ru
[2]Донецкий ботанический сад НАН Украины
83059, г. Донецк, пр. Ильича, 110; e-mail: strelkova@i.ua, ser64luk@yandex.ru

Жуков А. В., Штирц Ю. А., Жуков С. П. **Оценка методами геометрической морфометрии морфологической изменчивости листовых пластинок *Betula pendula* Roth в экосистемах с различной степенью антропогенной трансформации.** – Методами геометрической морфометрии проведена оценка морфологической изменчивости листовой пластинки *Betula pendula* в условиях экосистем с различной степенью антропогенной трансформации. Показатель морфотипического разнообразия листовой пластинки, рассчитанный с помощью индекса Шеннона, имеет наиболее низкие значения в пределах экосистем с более высокой антропогенной нагрузкой. В вариабельность формы листовой пластинки значительно больший вклад вносят метки базальной части по сравнению с метками апикальной части листовой пластинки. Наиболее значителен вклад меток, соответствующих части листовой пластинки в месте прикрепления черешка.

Ключевые слова: геометрическая морфометрия, листовая пластинка, *Betula pendula*, морфотип, относительные деформации.

Введение

Важными базовыми характеристиками растительных организмов являются их форма и размер. Именно эти признаки на протяжении многих столетий используют исследователи при принятии таксономических решений и оценке онтогенетичного и жизненного состояния растений [2]. В последнее время в исследованиях морфологических объектов активно развивается существенно новый подход к изучению разнообразия формы морфологических объектов – геометрическая морфометрия [3, 12-15], представляющая собой особый аналитический инструмент, который позволяет оценивать разнообразие формы, полностью исключая влияние размерного фактора [6]. Возможность количественного сравнения объектов по их форме независимо от размеров достигается прежде всего нетривиальностью способа описания формы с помощью координат точек вместо расстояний между ними [4]. В основе данного подхода лежит концепция многомерного пространства форм, осями которого являются переменные формы. Каждый отдельный объект (отдельная форма) представляется как точка этого пространства [5].

Основной задачей геометрической морфометрии в ботанических исследованиях является объективизация оценки формы органов растений и разработка методов, которые выявляют различия между формами [2].

Степень антропогенной нагрузки на экосистемы существенно влияет на форму листовой пластинки древесных растений [1, 10]. Цель наших исследований – установить морфологическую изменчивость листовых пластинок *Betula pendula* Roth в условиях экосистем с различной степенью антропогенной трансформации с использованием методов геометрической морфометрии.

Материал и методика исследования

Материал собран в летний период 2010 г. в экосистемах с различной степенью антропогенной трансформации:

– полезащитная лесополоса (расположена в пригородной зоне, к югу от окраины г. Донецка, окружена сельскохозяйственными угодьями);

– территория Донецкого ботанического сада НАН Украины (ДБС) (находится на периферии г. Донецка, в восточной его части, к территории примыкает автомагистраль);

– придорожные территории (расположены в кварталах многоэтажной жилой застройки г. Донецка, интенсивность движения автотранспорта на дорогах составляет более 1200 транспортных средств в час в светлое время суток);

– отвал шахты № 5/6 (находится в черте г. Донецка, непосредственно к отвалу примыкают автодорога с интенсивностью движения не более 800 транспортных средств в час, ремонтное предприятие и мебельная фабрика).

Сбор листьев осуществляли с нижней части кроны древесных растений зрелой стадии генеративного периода. Определение возрастного состояния деревьев проводили по системе О. В. Смирновой и др. [9]. Листовые пластинки были отсканированы, затем на оцифрованных изображениях с помощью компьютерной программы TPSDig нанесены 17 меток по часовой стрелке. Первая и последняя метки были нанесены в месте прикрепления черешка к листовой пластинке, соответственно по левую и правую стороны от черешка, остальные метки (2-16) были расположены по краю листовой пластинки в местах окончания жилок первого порядка.

Расположение меток и консенсус (усреднённая форма) листовой пластинки *B. pendula* отражены на рис. 1.

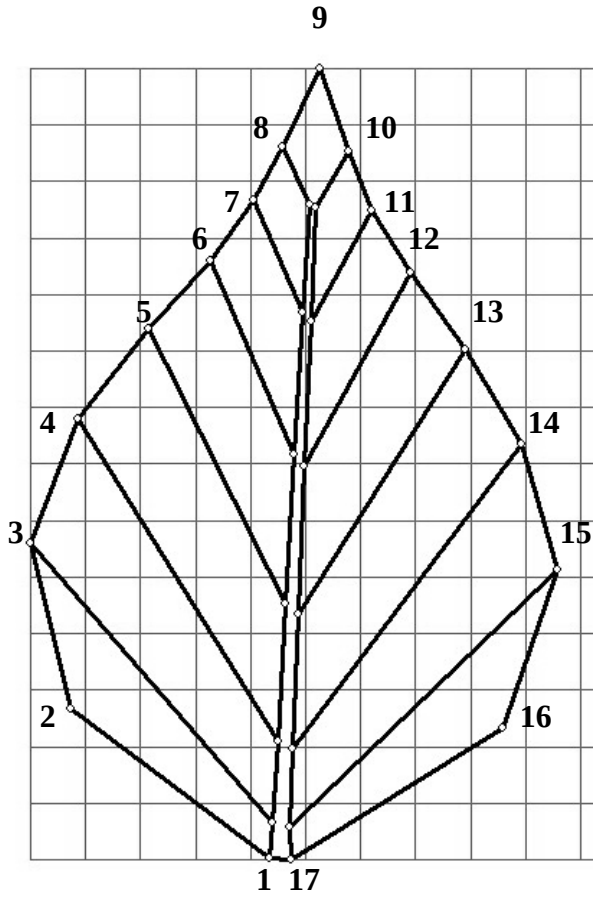


Рис. 1. Расположение меток (1-17) и консенсус (усреднённая форма) листовой пластинки *Betula pendula* Roth.

Методологический подход к выполнению исследований по геометрической морфометрии детально описан в работах И. Я. Павлинова [5-7].

С целью анализа морфотипического разнообразия листовых пластинок в условиях экосистем с разной степенью антропогенной трансформации применён кластерный анализ с использованием средних арифметических невзвешенных значений евклидова расстояния. По мнению Ю. А. Песенко [8], методу присоединения по среднему арифметическому невзвешенному значению при проведении кластерного анализа отдают предпочтение многие авторы. Подробное описание метода и формула расчета евклидова расстояния приведены в работе Ю. А. Песенко [8]. Кластерный анализ проводился с применением пакета Statistica

6.0. При построении дендрограммы сходства использованы относительные деформации, рассчитанные в программе TPSrelw.

Разнообразие морфотипов было оценено с помощью индекса Шеннона:

$$H = -\sum_{i=1}^{N} p_i \ln p_i,$$

где H – индекс Шеннона, p_i – доля i-го морфотипа в выборке, N – общее количество морфотипов, выявленных в выборке.

Результаты и обсуждение

Вариабельность формы листовой пластинки *B. pendula*, определяемая 17 метками контура, может быть представлена с помощью 30 осей относительной кривизны. Степень значимости осей относительной кривизны в динамике формы листовой пластинки убывает от первой оси к последней. Первая ось описывает 32,86% изменчивости формы, вторая – 18,12%, третья – 11,20%, четвертая – 9,64%, пятая – 6,92% и т. д. Суммарно первые пять осей описывают 78,77% изменчивости формы листовой пластинки.

Относительные деформации – главные компоненты распределения форм в тангенциальном пространстве. Каждая относительная деформация соответствует некоторому направлению изменения формы относительно эталонной конфигурации, графическим представлением которого может служить деформация тонкой пластины [6].

Расположение образцов в пространстве первых двух осей относительной кривизны и тенденции изменения формы листовой пластинки представлены на рис. 2.

С целью «локализации» отдельных относительных деформаций их соотносят с конкретными метками. Определяемые для каждой метки «нагрузки» на относительные деформации позволяют связать компоненты изменений формы с определёнными частями исследуемых объектов [5]. Характеристики «нагрузок» меток на первые четыре относительные деформации отражены в табл. 1. «Нагрузки» показывают степень значимости вклада каждой конкретной метки в изменения, которые претерпевает консенсус в пространстве относительных деформаций.

Исходя из данных, приведенных в табл. 1, следует отметить, что наибольшую «нагрузку» среди меток дают следующие: на первую и четвертую относительные деформации – метки 1, 17; на вторую – 1, 10, 17; на третью – в первую очередь, 1, 10, 17, немного ниже вклад меток 2, 3, 7, 8, 15, 16 (имеет смысл сопоставление значений только в пределах каждой отдельной относительной деформации).

Таким образом, особый вклад в изменение формы листовой пластинки *B. pendula* вносят метки 1 и 17, которые отвечают базальной части листовой пластинки в месте прикрепления черешка. Следует отметить значительно больший вклад в вариабельность формы меток, которые отвечают базальной части листовой пластинки по сравнению с апикальной.

Вклад меток в вариабельность формы отражён на рис. 3.

На основании значений первых 15 относительных деформаций как наиболее значимых проведён кластерный анализ. Дендрограмма морфотипического сходства образцов листовых пластинок отражена на рис. 4.

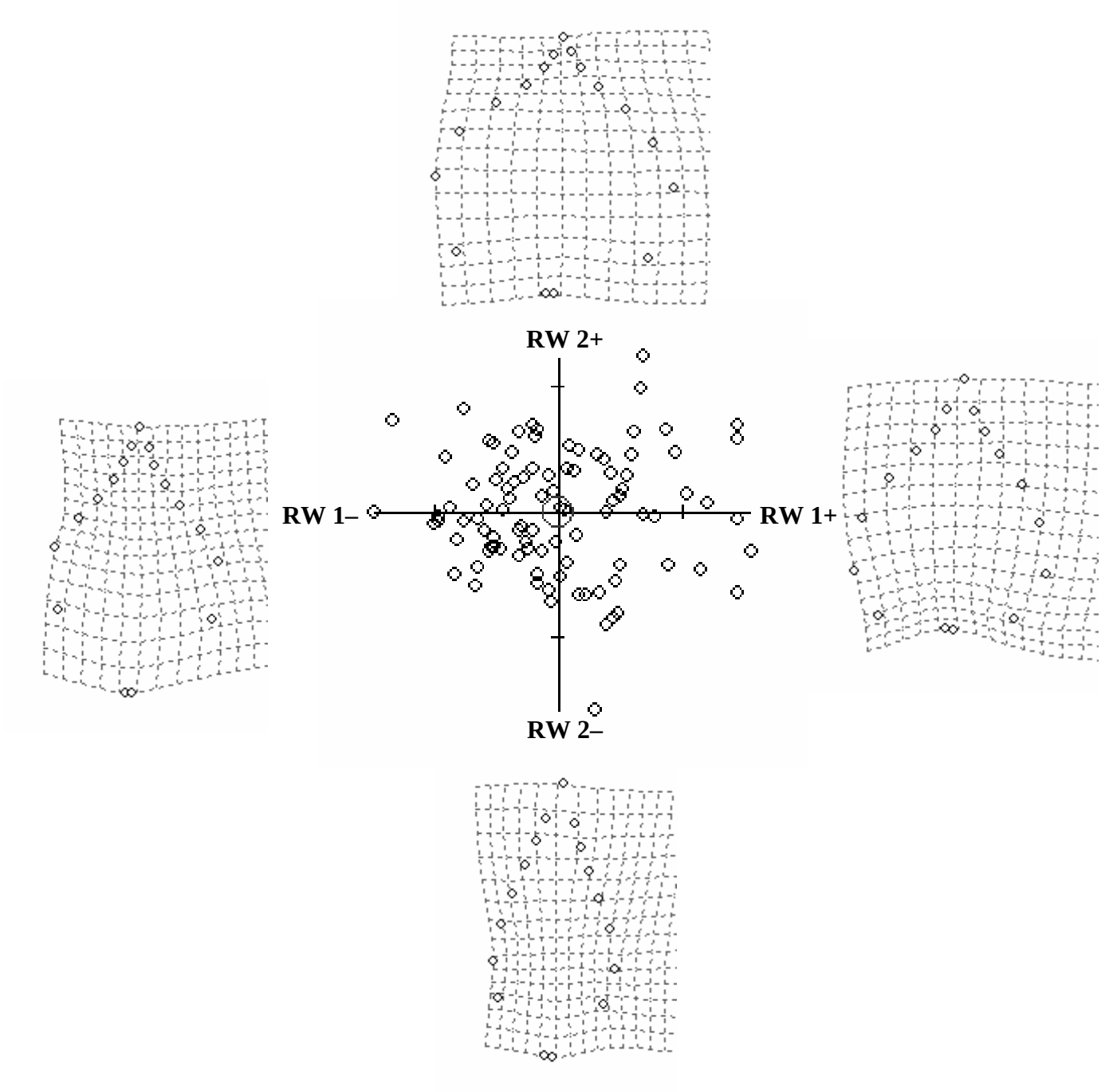


Рис. 2. Графическое представление расхождений формы вдоль градиента первой (RW 1) и второй (RW 2) относительных деформаций.

Обозначения на схеме системы координат отвечают оцифрованным изображениям образцов листовой пластинки *B. pendula*. Точка пересечения осей задаётся положением усреднённой конфигурации. Деформации ортогональной решетки показывают изменения формы листовой пластинки по градиентам первой и второй относительных деформаций. Знаки при обозначениях деформаций («+» и «–») указывают на направление изменений относительно консенсуса.

Таблица 1

Количественные характеристики «нагрузок» меток на первые четыре относительные деформации (RW 1-4)

Метка	RW 1		RW 2		RW 3		RW 4	
	x	*y*	*x*	*y*	*x*	*y*	*x*	*y*
1	-79,74	28,29	55,44	-8,44	-36,54	143,73	73,01	201,18
2	12,31	-14,43	2,87	-33,72	21,24	-61,12	-17,45	-14,02
3	5,65	-19,20	-10,05	28,03	-29,34	31,29	3,50	25,64
4	-18,88	9,68	-6,96	-9,09	-0,27	-0,57	23,76	-28,92
5	-1,00	3,68	1,97	19,55	17,60	-7,32	-1,62	15,36
6	1,96	16,36	2,74	-12,28	-29,53	19,44	-9,58	-25,33
7	0,81	-16,54	17,54	-0,30	58,58	-7,87	-25,78	44,07
8	2,91	-4,59	38,31	-6,71	-21,42	27,63	-0,37	-53,10
9	9,96	17,71	-2,75	-31,82	5,58	22,28	-12,27	48,00
10	-29,19	-13,63	-32,63	41,20	-5,02	-103,55	3,63	1,32
11	18,65	-7,13	-27,96	1,36	-14,69	45,37	37,69	-53,18
12	-2,64	19,87	4,56	-12,86	-13,63	-15,58	-5,97	24,87
13	8,32	-6,06	6,74	14,87	6,20	20,94	6,20	11,43
14	-0,88	11,19	-3,26	-17,49	-3,99	-1,21	-10,98	-26,22
15	12,16	-15,83	11,23	31,38	47,25	25,88	12,62	31,63
16	-27,41	-14,68	-2,25	-35,47	-54,58	-39,78	-10,73	-5,93
17	87,02	5,32	-55,52	31,80	52,57	-99,54	-65,64	-196,80

Примечание. RW 1-4 – первые четыре относительные деформации; x – «нагрузка» метки по оси абсцисс; y – «нагрузка» метки по оси ординат.

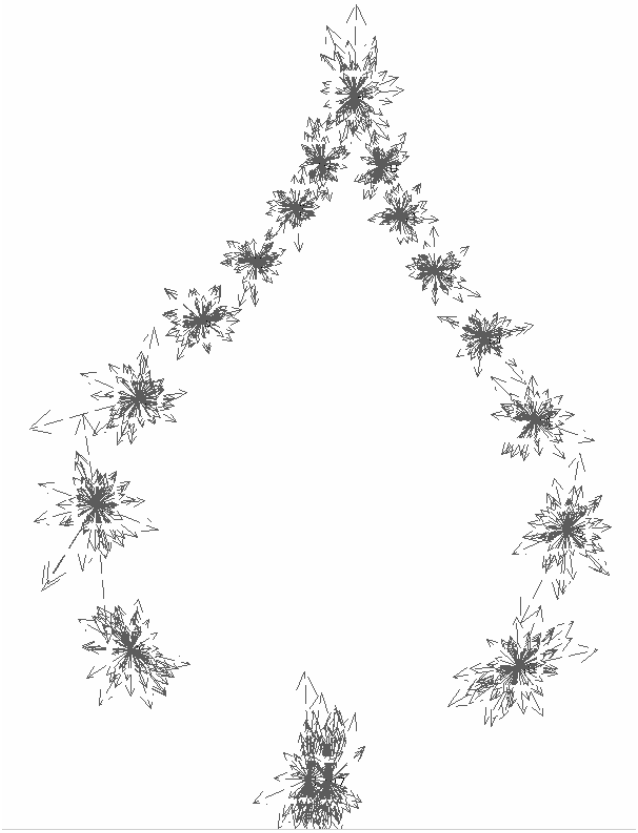


Рис. 3. Вклад меток в вариабельность формы листовой пластинки *Betula pendula* Roth: векторами обозначены направление и степень отклонения расположения меток от усреднённой формы (консенсуса) листовой пластинки.

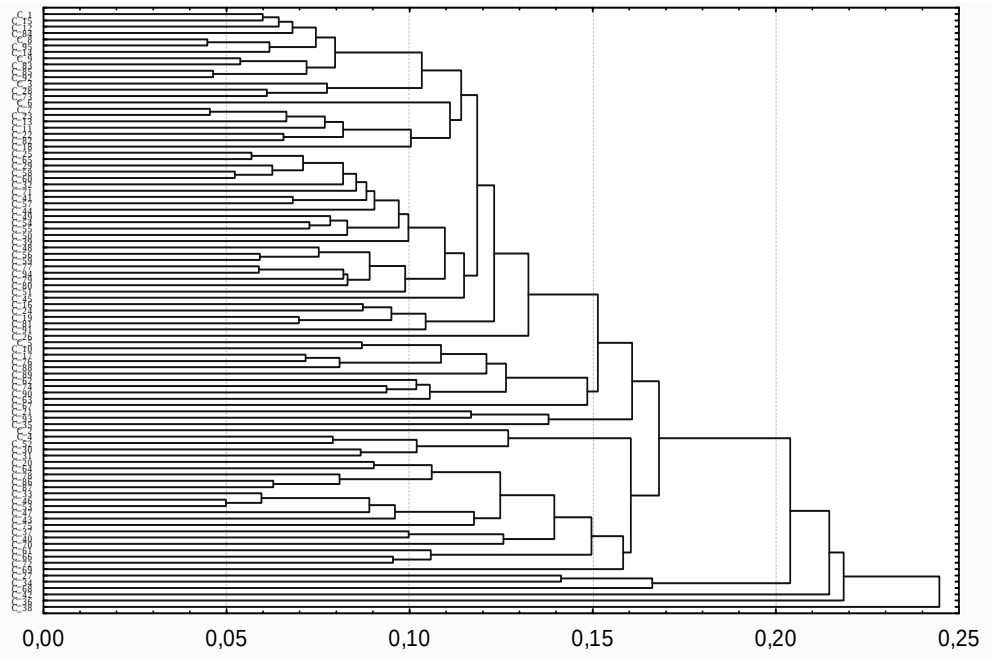


Рис. 4. Дендрограмма сходства образцов листовых пластинок *Betula pendula* Roth: числа на оси ординат соответствуют номерам образцов.

Для исследуемых экосистем сопоставлены выделенные при кластерном анализе морфотипы листовой пластинки. Значение индекса Шеннона, рассчитанное на основании разнообразия морфотипов, снижается в ряду экосистем: полезащитная лесополоса в пригородной зоне (2,523) – ДБС (2,480) – отвал (2,280) – придорожные территории (2,056). Таким образом, увеличение степени антропогенного прессинга сопровождается уменьшением морфотипического разнообразия листовой пластинки *B. pendula.*

Рассчитанные значения индекса Шеннона могут быть использованы только в сравнительном аспекте и имеют значимую информативность при рассмотрении всей выборки в совокупности [11].

Результаты детальной разработки данного подхода могут в дальнейшем пополнить перечень применяемых методов биоиндикации.

Выводы

Показатель морфотипического разнообразия листовой пластинки *Betula pendula*, рассчитанный с помощью индекса Шеннона, имеет наиболее низкие значения в пределах экосистем с более высокой антропогенной нагрузкой: увеличение степени антропогенного прессинга сопровождается уменьшением морфотипического разнообразия листовой пластинки. В вариабельность формы листовой пластинки *B. pendula* значительно больший вклад вносят метки базальной части по сравнению с метками апикальной части листовой пластинки. Наиболее значителен вклад меток, соответствующих части листовой пластинки в месте прикрепления черешка.

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 / М. В. Андреева. – СПб., 2007. – 18 с.

2. *Злобін Ю. А.* Концепція морфометрії у сучасній ботаніці / Ю. А. Злобін, В. Г. Скляр, Л. М. Бондарєва, К. С. Кирильчук // Чорноморський ботан. журн. – 2009. – Т. 5, № 1. – С. 5–22.

3. *Павлинов И. Я.* Разнообразие формы: новые подходы / И. Я. Павлинов // Стратегия изучения биоразнообразия наземных животных. – М., 1995. – С. 44–50.

4. *Павлинов И. Я.* Анализ изменчивости формы третьего верхнего коренного у скальных полевок рода *Alticola* (Cricetidae) методами геометрической морфометрии / И. Я.Павлинов // Зоол. журн. – 1999. – Т. 78, № 1. – С. 78–83.

5. *Павлинов И. Я.* Геометрическая морфометрия черепа мышевидных грызунов (Mammalia, Rodentia): связь формы черепа с пищевой специализацией / И. Я. Павлинов // Журн. общ. биол. – 2000. – Т. 61, № 6. – С. 583–600.

6. *Павлинов И. Я.* Геометрическая морфометрия – новый аналитический подход к сравнению компьютерных образов / И. Я. Павлинов // Информационные и телекоммуникационные ресурсы в зоологии и ботанике. – СПб., 2001. – С. 65–90.

7. *Павлинов И. Я.* Принципы и методы геометрической морфометрии / И. Я. Павлинов, Н. Г. Микешина // Журн. общ. биол. – 2002. – Т. 63, № 6. – С. 473–493.

8. *Песенко Ю. А.* Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях / Юрий Андреевич Песенко. – М.: Наука, 1982. – 287 с.

9. *Смирнова О. В.* 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. *Хузина Г. Р.* Влияние урбаносреды на морфометрические показатели листа березы повислой (*Betula pendula* Roth) / Г. Р. Хузина // Вестн. Удмурдского ун-та. Сер. Биол. – 2010. – Вып. 3. – С. 53–57.

11. *Штірц Ю. О.* До питання морфотипової різноманітності листкових пластинок *Betula pendula* Roth в умовах антропогенно трансформованого середовища (м. Донецьк) / Ю. О. Штірц // Матеріали XIII з'їзду Українського ботанічного товариства (Львів, 19–23 вересня 2011 р.). – Львів, 2011. – С. 179.

12. *Adams D. C.* Geometric morphometrics: ten years of progress following the «revolution» / D. C. Adams, F. J. Rohlf, D. E. Slice. – 2002. – [Electronic resource]. Mode of access: http://life.bio.sunysb.edu/morph/review/review.html

13. *Bookstein F. L.* Size and shape spaces for landmark data in two dimensions / F. L. Bookstein // Stat. Sci. – 1986. – Vol. 1, N 1. – P. 181–242.

14. *Bookstein F. L.* Morphometric tools for landmarks data / F. L. Bookstein. – New York, 1991. – 435 p.

15. *Rohlf F. J.* Relative warps analysis and example of its application to mosquito wings / F. J. Rohlf. – Contributions to morphometrics. – Madrid: C.S.C.I., 1993. – P. 131–160.

Жуков О. В., Штірц Ю. О., Жуков С. П. **Оцінка методами геометричної морфометрії морфологічної мінливості листкових пластинок *Betula pendula* Roth в екосистемах з різним ступенем антропогенної трансформації.** – Методами геометричної морфометрії проведено оцінку морфологічної мінливості листкової пластинки *Betula pendula* в умовах екосистем з різним ступенем антропогенної трансформації. Показник морфотипової різноманітності листкової пластинки, розрахований за допомогою індексу Шеннона, має найбільш низькі значення в межах екосистем з більш високим антропогенним навантаженням. У варіабельність форми листкової пластинки значно більший внесок вносять мітки базальної частини в порівнянні з мітками апікальної частини листкової пластинки. Найбільш значний внесок мають мітки, що відповідають частини листкової пластинки в місці прикріплення черешка.

Ключові слова: геометрична морфометрія, листкова пластинка, *Betula pendula*, морфотип, відносні деформації.

Zhukov A. V., Shtirts Yu. A., Zhukov S. P. **The estimation by methods of a geometrical morphometry of morphological variability of leaf blade *Betula pendula* Roth in ecosystems with a different degree of anthropogenous transformation.** – The methods of a geometrical morphometry conduct an estimation of morphological variability leaf blade *Betula pendula* in conditions of ecosystems with a different degree of anthropogenous transformation. The metric morphotyps of variety leaf of a plate calculated with the help of an index of the Shannon, has the lowest values in limits of ecosystems with higher anthropogenous load. In variability of the form leaf blade the much greater contribution is brought in with landmarks of a basal part as contrasted to by landmarks of apical part leaf of a plate. The contribution of landmarks appropriate part leaf of a plate in a place of an attachment of leafstalk is most appreciable.

Key words: geometrical morphometry, leaf blade, *Betula pendula*, morphotyp, relative warps.

ФАУНА, ЕКОЛОГІЯ Й ОХОРОНА ТВАРИННОГО СВІТУ
ФАУНА, ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ЖИВОТНОГО МИРА
FAUNA, ECOLOGY AND PROTECTION OF THE ANIMAL KINGDOM

УДК 616.993.1 (477.6)

© В. В. Золотухін[1], О. М. Соколовська[1], К. М. Маслодудова[2], Т. С. Сауткіна[2]

ДИНАМІКА РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ЛЯМБЛІОЗУ СЕРЕД НАСЕЛЕННЯ КИЇВСЬКОГО РАЙОНУ М. ДОНЕЦЬКА

[1]Паразитологічний відділ санітарно-епідеміологічної станції Київського району м. Донецька
[2]Донецький національний університет: 83050, м. Донецьк, вул. Щорса, 46, к. 304
e-mail: maslodudova@mail.ru

Золотухін В. В., Соколовська О. М., Маслодудова К. М., Сауткіна Т. С. **Динаміка розповсюдження лямбліозу серед населення Київського району м. Донецька.** – Розглянуто динаміку розповсюдження лямбліозу серед населення Київського району м. Донецька з 2004 до 2010 рр. Описано будову лямблій, особливості біологічного розвитку, шляхи зараження, профілактику. Наведено статистичні данні за 2008-2010 рр.

Ключові слова: лямблії, лямбліоз, вегетативна стадія, циста, розповсюдження, шляхи зараження, профілактика.

Вступ

На сучасному етапі відмічається стрімке зростання паразитарного забруднення навколишнього середовища. Забруднення навколишнього середовища спричиняється різними факторами. Значною мірою воно пов’язане з різноманітними промисловими, сільськогосподарськими та побутовими відходами [11]. Разом з тим відомо, що паразитарні інвазії посідають значне місце в етіології та структурі кишкових захворювань людини. Однією з найбільш значущих паразитарних інвазій є лямбліоз, питома вага якого 40-60% [4].

Лямбліоз – захворювання, яке викликається лямбліями (*Lamblia intestinalis* (Lambl, 1859)). Лямбліоз розповсюджений по всьому світу [9]. За даними ВОЗ, у країнах Африки, Азії і Латинської Америки кількість інвазованих сягає 200 млн. осіб [1, 6, 7]. У Росії та Україні лямбліоз також часто реєструється і посідає перше місце серед протозоозів. Цисти лямблій здатні витримувати нагрівання до 50°С, проте гинуть при 100°С. Лямбліоз також поширений і в інших країнах, наприклад, у США [2]. Зараження може відбутися при вживанні некип'яченої води з-під крана або льоду, приготовленого з такої води, при митті овочів і фруктів некип'яченою водою, у якій знаходяться цисти лямблій. Високий ризик захворіти є при купанні у відкритих водоймах і в басейнах, заражених цистами лямблій. Більш рідкісним є контактно-побутовий шлях зараження, проте при високій поширеності захворювання він стає цілком реальним, особливо серед верств населення зі слабкими загальними гігієнічними навичками.

Патогенез лямбліозу проявляється не тільки в зміні структури слизової кишечнику, але і в порушенні його мікрофлори [8]. Так, при бурхливому збільшенні кількості лямблій з'являються і розмножуються бактерії (наприклад, *Helicobacter pylori*) і патогенні гриби, які в нормі відсутні в кишечнику. Ці бактерії і гриби стимулюють у свою чергу розмноження лямблій. У той же час різко скорочується кількість корисної мікрофлори, яка допомагає природному фізіологічному процесу травлення і всмоктування [17].

Лямблії – одноклітинні кишкові паразити, які в організмі людини живуть переважно в дванадцятипалій і тонкій кишках. Вперше описав цього кишкового паразита, його будову російський вчений Душан Федорович Лямбль у 1859 р. Ім'ям цього вченого і був названий паразит – лямблії, а захворювання – лямбліозом [4, 7].

Лямблії – найпростіші з класу джгутиконосців (Mastigophora), відділу Diplomonadida, родини Hexamitidae [5]. Існують у вигляді вегетативної і цистної форм (рис. 1: 1, 6). Вегетативна форма грушоподібна, розміри тіла: у довжину 10-25 мкм, у ширину 8-12 мкм (рис. 1: 4, 5). На вентральній стороні розташовано поглиблення (присисний диск), що

служить для прикріплення паразита до клітин кишкового епітелію. Ротового отвору у лямблій немає. Живлення здійснюється ендоосмотично, тільки розчиненими харчовими речовинами. У пофарбованих препаратах на світлому тлі присисного диска добре видно два симетрично розташовані овальні ядра. Мають чотири пари симетрично розташованих джгутиків [3, 9, 13].

Цисти лямблій овальної форми розмірами 10-14 мкм в довжину і 6-10 мкм завширшки. Вегетативні форми (рис. 1: 2, 3), що паразитують в тонкій кишці, спускаючись у товсту, утворюють цисти, які виділяються з калом у зовнішнє середовище. Незрілі цисти двоядерні, зрілі – чотирьохядерні. Оболонка цисти чітко виражена і здебільшого відстає від протоплазми, що є характерною відмінністю від цист інших кишкових найпростіших [15, 16].

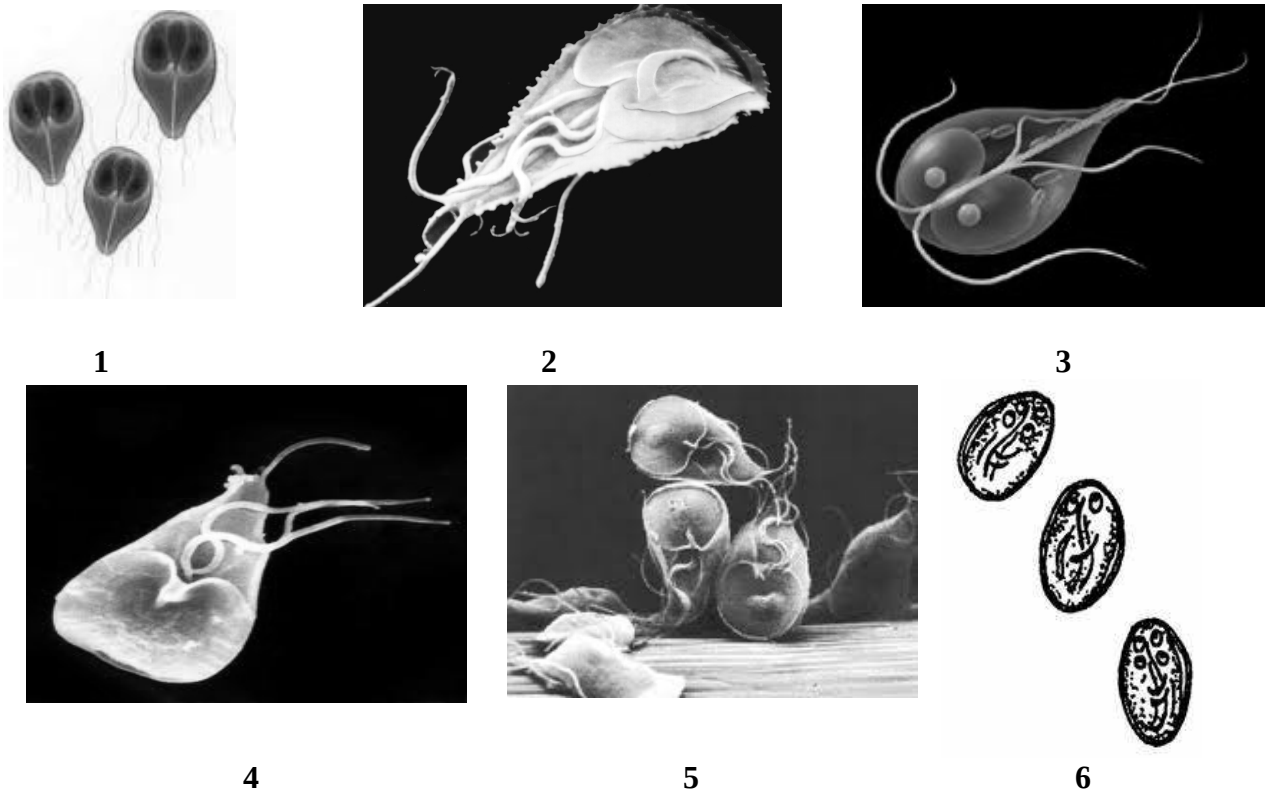


Рис. 1. Вегетативна і цистна форми лямблій: 1-5 – вегетативна форма [18-20]; 6 – цистна форма лямблій [21].

Джерелом інфекції є тільки людина, інвазована лямбліями. Передача інфекції здійснюється фекально-оральним шляхом. Цисти лямблій виділяються з випорожненнями і можуть тривалий час зберігатися в зовнішньому середовищі. У вологому калі вони зберігаються до 3 тижнів, а у воді – до 2 місяців, вони стійкі до хлору (при концентрації 1 мг/л цисти гинуть лише через 72 год.). Заковтування з водою до 10 цист вже призводить до розвитку інвазії в людини. Більшість епідемічних спалахів лямбліозу носить водний характер. Передача може здійснюватися і через харчові продукти, на яких цисти лямблій зберігають життєздатність від 6 годин до 2 діб. Можлива і передача від людини до людини. Цей шлях зараження поширений в дитячих дошкільних установах, де лямбліоз реєструється значно частіше, ніж серед дорослих.

Виділяють гостру і хронічну форми лямбліозу. Лямбліоз також може протікати в субклінічній і безсимптомній формах [4, 12, 14].

Гострий лямбліоз характеризується лихоманкою, блювотою, діареєю, краснухоподібним або короподібним висипом, анорексією, різкими болями у верхній і середній епігастральній області, здуттям кишечнику. Без спеціального обстеження на лямбліоз інколи встановлюють діагноз «кишкова інфекція неясної етіології». Гостра форма

найчастіше зустрічається у дітей раннього віку. Гострий період триває зазвичай декілька днів, після чого лямбліоз найчастіше переходить в підгостру або хронічну стадії [4, 6].

Хронічний лямбліоз супроводжується основним синдромокомплексом: хронічна інтоксикація, гіповітаміноз, диспепсія, дисбактеріоз. Характерними є симптоми з боку шлунково-кишкового тракту: діарея, проноси, болі в животі, диспепсія, нудота, зниження апетиту; симптоми порушень проявляються у головному болі, дратівливості; симптоми з боку шкіри – кропив'янка, почесуха [4, 10, 11].

Метою нашого дослідження було вивчення динаміки зараження лямбліозом населення в Київському районі м. Донецька в період 2008-2010 рр. Паразитологічні дослідження проводилися в паразитологічній лабораторії санітарно-епідеміологічної станції Київського району м. Донецька і на кафедрі зоології Донецького національного університету.

Матеріал і методи дослідження

Матеріалом для дослідження є проби фекалій і дуоденальний вміст. У щільних оформлених фекаліях виявляються тільки цисти, а у напівсформованих і рідких – вегетативні форми. Вегетативні стадії також виявляються в дуоденальному вмісті.

Для виявлення інфікованих лямбліями було досліджено 13632 проб випорожнень, які були взяті в мешканців Київського району м. Донецька. Виявлення серед обстеженого контингенту населення проводили методом мікроскопічного дослідження нативних і забарвлених Люголя і за Романовським – Гімза в бактеріологічній лабораторії Київського району м. Донецька.

Результати та їх обговорення

У результаті аналізу даних за період 2008-2010 рр. встановлена тенденція до підвищення захворюваності в 2009 р. і зниження у 2010 р. Показники інфікованості варіювали від 26,35 у 2009 р. випадків виявлення до 19,2 – у 2010 р. на 100 тис. населення.

Дані лікувальних установ району свідчать, що частіше хворіють на лямбліоз неорганізовані діти. Захворюваність цих дітей в 2-2,5 рази вище, ніж учнів шкіл, і варіює від 15 випадків у 2008 р. до 7 – у 2010 р., складаючи, відповідно, 454,5 і 203,1 на 100 тис. населення.

Виявлена досить висока захворюваність серед учнів шкіл. Так, кількість заражених дітей цієї групи склала в 2008 р. 3 випадки (34,8 на 100 тис. населення), у 2009 – 6 (110,3), в 2010 – 5 випадків (61,8).

Діти дитячих дошкільних установ до лямбліозної інвазії схильні в 3-4 рази менше, ніж неорганізовані діти. Їх кількість варіює від 1 випадку у 2008 р. (107,5) до 2 – у 2010 р. (56,9). Але слід зазначити, що групою ризику з лямбліозу залишаються діти молодшого віку, які недостатньо володіють навичками особистої гігієни.

За весь досліджуваний період серед учнів інтернатів був виявлений лише 1 випадок зараження у 2009 р., що складає 194,1 на 100 тис. населення (рис. 2).

Серед дорослого населення району захворюваність лямбліозом у 2008 р. становила 14 випадків (12,3 на 100 тис. населення), в 2009 р. – 12 випадків (83,0), в 2010 р. – 11 випадків (10,3). Максимальна захворюваність лямбліозом у дорослих виявлена в групі осіб з патологією шлунково-кишкового тракту. Кількість хворих лямбліозом серед дорослого населення з патологією шлунково-кишкового тракту при взятті на диспансерний облік варіює від 7 випадків у 2009 р. (що становить 2953,5 на 100 тис. населення) до 4 – у 2010 р. (6451,6 на 100 тис. населення).

Слід зазначити, що кількість обстеженого населення досить сильно варіювала. У 2008 р. число обстежених склало 4908 (що становить 3,8% всього населення району), у 2009 р. цей показник склав 5055 (3,92 %), в 2010 р. – 3669 обстежених (2,8%) (рис. 3).

Аналіз даних за період 2008-2010 рр. свідчить, що рівні зараженості не зазнали істотних змін. Показник інфікованості на 100 тис. населення у 2008 р. склав 25,5, у 2009 р. – 26,35, у 2010 р. – 19,2 (рис. 4).

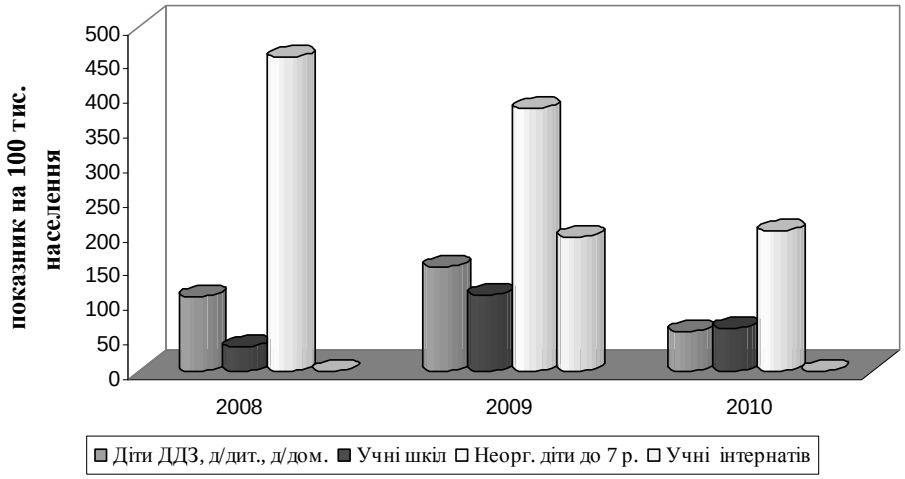


Рис. 2. Розповсюдження лямбліозу серед дітей Київського району м. Донецька в 2008-2010 рр.

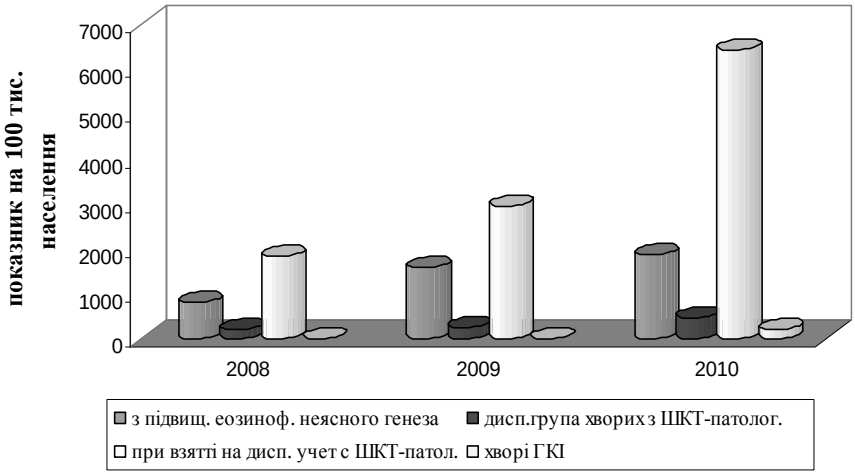


Рис. 3. Розповсюдження лямбліозу серед дорослих Київського району м. Донецька в 2008-2010 рр.

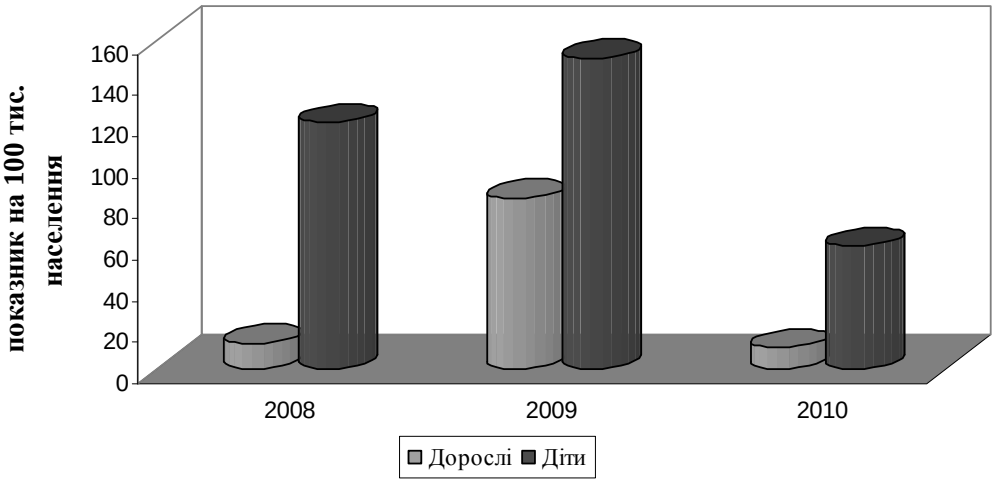


Рис. 4. Розповсюдження лямбліозу серед дітей і дорослих Київського району м. Донецька в 2008-2010 рр.

У дітей інфекція зустрічається частіше, тому що для них характерними є високий рівень пристінкового травлення, вживання великої кількості вуглеводної їжі і, крім того, відсутність достатніх гігієнічних навичок.

За останні роки спостерігається тенденція до зниження захворювання на лямбліоз як у дітей, так і у дорослих [2]. Так, у 2004 р. у дітей показник на 100 тис. населення складав 510,7, у дорослих – 13,2. В 2010 р. цей показник впав до 59,6 на 100 тис. населення у дітей і до 10,3 – у дорослих. У 2009 р. захворюваність дорослих підвищилась – 83 на 100 тис. населення (рис. 5).

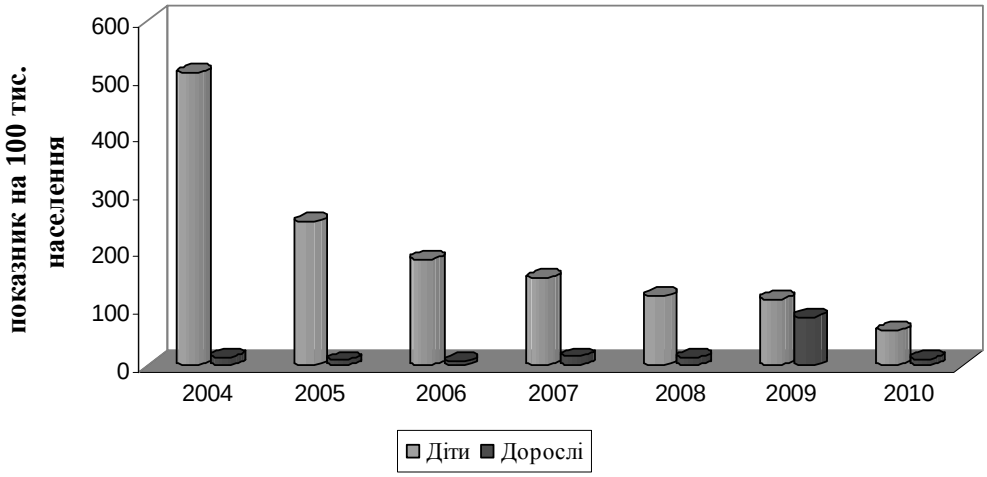


Рис. 5. Розповсюдження лямбліозу серед населення Київського району м. Донецька в 2004-2010 рр.

Висновки

У Київському районі м. Донецька в період з 2004 до 2010 рр. спостерігається тенденція до зниження зараженості лямбліозом населення всіх вікових категорій. З усіх обстежених проб у 2008-2010 рр. виявлено 92 заражених, що становить показник 23,7 на 100 тис. населення.

Лямбліоз найбільш широко розповсюджений серед дітей – 0,39% від усієї кількості обстежених; доросле населення заражене на 0,26%.

Захворюваність лямбліозом мешканців Київського району м. Донецька та посилення ризику захворюваності лямбліозом зумовлені соціально-економічними умовами, організацією харчування і водопостачання, а також низьким рівнем санітарно-гігієнічної культури населення.

З метою профілактики лямбліозу необхідно масово проводити санітарно-просвітницьку роботу; виявляти і лікувати хворих, цистоносіїв; обстежувати працівників харчових підприємств і дитячих установ не менше як 2 рази на рік; ретельно дотримуватись особистої та громадської гігієни, кип'ятіння води, контролювати санітарно-гігієнічний стан джерел водопостачання, проводити знищення синантропних комах, розносників цист, здійснювати санітарно-просвітню роботу.

Список літератури

1. *Авдюхина Т. И.* Лямблиоз: учеб. пособие / Т. И. Авдюхина, Т. Н. Константинова, Т. В. Кучеря и др. – М., 2003. – 31 с.

2. *Агаркова Л. Д.* Зараженность лямблиозом населения Киевского района г. Донецка / Л. Д. Агаркова, О. М. Соколовская, Е. Н. Маслодудова, И. Н. Мельниченко // Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону: міжвідомчий зб. наук. праць / Відп. ред. С. В. Беспалова. – Донецьк: ДонНУ, 2007. – Вип. 7. – С. 77–84.

3. *Белова Л. М.* Достижения и перспективы современной паразитологии / Л. М. Белова, М. В. Шустрова. – Витебск, 2006. – С. 84–87.

4. *Беляков В. Д.* Саморегуляция паразитарных систем / В. Д. Беляков, Д. Б. Голубев, Г. Д. Калинский, В. В. Тец. – Л., 1987. – 125 с.

5. *Гинецинская Т. А.* Частная паразитология. Паразитологические простейшие и плоские черви: учеб. пособие для биолог. спец. вузов / Т. А. Гинецинская, А. А. Добровольский / Под ред. Ю. И. Полянского. – М.: Высш. шк., 1978. – 303 с., ил.

6. *Зайцева Н. В.* Научно-методическое обоснование патоморфоза лямблиозной инфекции у детей на фоне химической контаминации биосред / Н. В. Зайцева, О. Ю. Устинова, А. И. Аминова, А. А. Акатова // Гигиена и санитария. – 2011. – № 2. – С. 67–72.

7. *Корниенко Е. А.* Диагностика и лечение лямблиоза у детей / Е. А. Корниенко, С. Н. Минина, С. А. Фадина и др. // Инфекционные болезни. – 2009. – № 1. – С. 43–48.

8. *Куимова И. В.* Клинико-патологические аспекты патологии органов пищеварения и аллергодерматозов у детей с лямблиозной инвазией: автореф. дис. … докт. мед. наук / И. В. Куимова. – М., 2003. – С. 5–21.

9. *Одинцева В. Е.* Методы диагностики и лечения глистно-протозойных инвазий у детей с заболеваниями желудочно-кишечного тракта / В. Е. Одинцева, В. А. Александрова // Детские инфекции. – 2010. – Т. 9, № 2. – С. 58–61.

10. *Сергиев В. П.* Паразитарные болезни человека, их профилактика и лечение / В. П. Сергиев, М. Н. Лебедева, А. А. Фролова, Н. А. Романенко // Эпидемиол. и инфекц. болезни. – 1997. – № 2.

11. *Сонин М. Д.* Закономерность формирования паразитарного загрязнения среды в урбанизированных екосистемах / М. Д. Сонин, С. А. Беэр, В. А. Ройтман и др. // Мед. паразитол. и паразит. болезни. – 2000. – С. 7–11.

12. *Kateralis P. H.* / Diargea and Malabsorption in Giardiasis: a multifactorial process / P. H. Kateralis, M. J. G. Farthing // Gut. – 1992. – Vol. 33. – P. 295–297.

13. Faubert G. Immune response to *Giardia duodenali* / G. Faubert // Clin. Microbiol. Rev. – 2000. – Vol. 13. – P. 35–54.

14. *Eckmann L.* Nitric oxide production by human intestinal epithelial cells and competition for arginine as potential determinants of host defense against the lumen–dwelling pathogen Giardia lamblia / L. Eckmann, F. Laurent, T. D. Langford et al. // J. Immunol. – 2000. – Vol. 164. – P. 1478–1487.

15. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.parasit-paster.ru/content/view/18/53

16. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.argo-shop.ua/article-4085.html

17. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.healthfamily.ru/gelmostoptest

18. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.pazlov.com/lyamblioz

19. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.polismed.ru/lamblioz-kw

20. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
http://www. doctoribolit.ru/?go=Parasitology/Parasitology009Lamblia

21. [Электронный ресурс]. –
Режим доступа: http://www.dermatit-help.ru/netcatfiles/Image/Untitled-1clipimage0020003.jpg

Золотухин В. В., Соколовская О. М., Маслодудова Е. Н., Сауткина Т. С. **Динамика распространения лямблиоза среди населения Киевского района г. Донецка. –** Рассмотрена динамика распространения лямблиоза среди населения Киевского района г. Донецка с 2004 по 2010 гг. Описаны строение лямблий, особенности биологического развития, пути заражения, профилактика. Приведены статистические данные за 2008-2010 гг.

Ключевые слова: лямблии, лямблиоз, вегетативная стадия, циста, распространение, пути заражения.

Zolotuhin V. V., Sokolovskaya O. M., Maslodudova E. N., Sautkina T. S. **The dynamics of the spread of giardiasis in the population in the Kievsky area of Donetsk. –** Considered dynamics of the spread of giardiasis in the population in the Kievsky area of Donetsk for 2004-2010 years. We describe the structure of Giardia, characteristics of the biological structure, route of infection, prevention. Presents statistical data for 2008-2010 years.

Key words: Giardia, giardiasis, vegetative stage, the cyst, distribution, route of infection.

УДК 595.762.12 : 574.43

© О. С. Комаров

ОСОБЛИВОСТІ ТРОФІЧНИХ ЗВ'ЯЗКІВ *POECILUS VERSICOLOR* (COLEOPTERA, CARABIDAE) У БІОГЕОЦЕНОЗАХ ПОЛТАВСКОЇ ОБЛАСТІ

Дніпропетровський національний університет ім. Олеся Гончара
49050, г. Днепропетровск, пр. Гагарина, 72; e-mail: alekskomaroff@rambler.ru

Комаров О. С. **Особливості трофічних зв'язків *Poecilus versicolor* (Coleoptera, Carabidae) у біогеоценозах Полтавской області. –** Досліджені переваги *Poecilus versicolor* (Sturm, 1824) у виборі об'єктів живлення в умовах лісових біогеоценозів південного Лісостепу Полтавской області. Проаналізовані таксономічна, розмірно-вагова та трофічна структури запропонованих *P. versicolor* безхребетних. Установлені критерії вибору *P. versicolor* потенційних трофічних об'єктів: міцність покривів та розміри здобичі, а також її здатність до швидкого пересування.

Ключові слова: *Poecilus versicolor*, герпетобій, лісовий біогеоценоз, Лісостеп, Полтавська область, харчовий об'єкт, трофічна структура.

Вступ

У лісах Полтавщини домінують три групи життєвих форм імаго турунів: епігеобіонти, що ходять, підстилкові стратобіонти та підстилково-ґрунтові стратобіонти, що зариваються [7-9, 16]. До останніх відноситься *Poecilus versicolor* (Sturm, 1824).

P. versicolor – один із самих масових видів Палеарктики [1]. Поширений на території всієї Европи та Азії за виключенням крайньої Півночі та Сибіру. В Україні звичайний. Багаточисельний на луках різного ступеню зволоження, трав'яних болотах, по берегах у наносах рослинного сміття, лісах. Турун часто трапляється у змінених ландшафтах: агроценозах, газонах, лісосмугах [2, 3]. Має видовжене тіло (8,5-12 мм). Верх мідно-червоний, бронзовий або чорний з зеленим блиском, рідко синій, інколи двокольоровий. Низ та ноги чорні, стегна інколи червоні. Перший та другий членики вусиків червоні або руді. Найбільшої чисельності досягає в травні-червні, на цей же час припаде період розмноження [6]. Зимує імаго. Активний вдень з появою перших променів сонця. Жуки здатні зариватися до рихлого ґрунту для переховування та кладки яєць [1, 5]. Мають змішаний тип харчування [13, 16]. Полюють у підстилці, а також на її поверхні. Інколи можуть пошкоджувати сільськогосподарські рослини.

P. versicolor – важливий елемент ґрунтово-підстилкової фауни, що регулює чисельність багатьох видів безхребетних тварин. В умовах лісостепової зони України чисельність виду досягає максимуму в мезофільних та мезоксерофільних типах лісу, на узліссях, лісосмугах, у лучних екосистемах [7-9]. Особливість цього виду – поширення на ділянках із надмірним рекреаційним навантаженням в умовах міських агломерацій [2-4, 7, 8], агроценозах лісової та лісостепової зон [12, 14].

Метою роботи є оцінка потенційних можливостей імаго *P. versicolor* споживати в лабораторних умовах певні види харчових об'єктів, виявлення особливостей спектру живлення виду в умовах лісових екосистем півдня Полтавщини.

Матеріали та методи дослідження

Імаго *P. versicolor* разом з іншими безхребетними тваринами збирали з використанням ґрунтових пасток Барбера (поліпропіленові стаканчики об'ємом 200 мг) [17] без фіксатора та методом ручного розбирання підстилки [16] у природних лісових біогеоценозах півдня Полтавської області (Кременчуцький та Козельщанський р-ни). Для довгого перебування в лабораторних умовах безхребетних утримували в пластикових контейнерах із зразками підстилки та ґрунту з тих лісових ділянок, де вони були виловлені. Періодично підстилку зволожували. Хижих безхребетних тримали окремо від інших.

Експерименти проводили в чашках Петрі (субстрат – зволожений пісок). До хижака підсаджувався один екземпляр передбачуваної жертви. Чашку Петрі заносили в темне прохолодне приміщення і залишали на декілька годин (від 6 до 24). Потім перевіряли результат. У тих випадках, коли жертва не була з'їдена (негативний результат), її замінювали

на іншу особину цього виду. Кратність експериментів у середньому дорівнює 10. Виключеннями є тільки ті випадки, коли не було можливості достати кормові об'єкти у необхідній кількості.

Результати проведених дослідів з вивчення трофічної спеціалізації *P. versicolor* схематично відображені на просторово-функціональній моделі [4] (рис. 1). Для окремого біогеогоризонту (підстилки) модель побудована у двовимірній системі координат. Шкала осі абсцис відображає середню суху вагу тварин. Окремі трофічні рівні на осі ординат роз'єднані: знизу розподілені фітофаги та сапрофаги (разом із фіто-сапрофагами, копрофагами та некрофагами), над ними зоофаги I, II и III порядків (із паразитами та пантофагами включно). Таким чином, на моделі схематично показано розподіл безхребетних в окремо взятому біогеоценозі в залежності від їх ваги та трофічної спеціалізації. Кількісно оцінено трофічний зв'язок туруна з певним видом безхребетних тварин, якщо проведено більше п'яти експериментів.

Результати та обговорення

Для визначення трофічної спеціалізації *P. versicolor* проведено 3454 лабораторні експерименти. Порівняно з дослідженими трофічними зв'язками домінантних видів турунів лісових екосистем півдня Полтавщини [4, 10], харчова спеціалізація *P. versicolor* має ряд специфічних рис. Привертає увагу низька кількість з'їдених *Serica brunnea* (Linnaeus, 1758). Кількість спожитих Geophilidae sp. не відрізняється високими показниками, проте постійно потрапляє до раціону хижих турунів. Відзначимо, що жуки поїдали личинок коваликів триби Conoderini sp. (12,9%). Серед з'їдених представників родини Elateridae опинилися *Prosternon tesselatum* Linnaeus, 1758 (pupa) та Elateridae larvae sp. (рис. 1, табл. 1).

Доволі активно турун (Sturm, 1824) живився представниками Hemiptera: як імаго, так і личинками (*Megalonotus dilatatus* (Herrich-Schäffer, 1840), *M. chiragrus* (Fabricius, 1794), *Nabis sp*., Lygaeidae sp.). Відзначимо високі результати при поїданні клопів, на відміну від інших домінантних турунів у лісових біогеоценозах півдня Полтавської обл. [4, 10], що відносяться до одного трофічного рівня. Найкраща активність виявлена по відношенню до личинок *Cetonia aurata* (Linnaeus, 1758), *Dermestis laniarius* Illiger, 1801.

Аналізуючи отримані результати з дослідження трофічної спеціалізації *P. versicolor*, відзначимо подібність у виборі об'єктів живлення з *Pterostichus oblongopunctatus* (Fabricius, 1787) та *Calathus ambiguus* (Paykull, 1790) [4, 10], причому у випадку з *P. versicolor* спостерігається підвищення випадків поїдання здобичі (*Forficula tomis* (Kolenati, 1846), Harpalus sp. (larvae), *Dendrobaena octaedra* (Saviginy, 1826) та ін.). Таким чином, можна стверджувати, що *P. versicolor* чинить суттєвий тиск на підстилкову мезофауну.

Серед запропонованих харчових об'єктів *P. versicolor* віддає перевагу невеликим безхребетним вагою від 2 до 6 мг, що представлені всіма трофічними групами (рис. 2). Порівняно з дослідженими домінантними видами турунів, значно зростає частка з'їдених фітофагів та зменшується чисельність спожитих особин вагою понад 16 мг (окрім фітофагів вагою від 64-129 мг).

Перелік таксономічних груп, до яких належать безхребетні, які були спожиті *P. versicolor* менший, порівняно з *P. oblongopunctatus* та *C. ambiguus* [4, 10] (рис. 2), проте вищій відсоток з'їдених екземплярів, що належать до однієї таксономічної групи. Привертають увагу, невисокі показники поїдання Scarabaeidae (45%).

Із запропонованих об'єктів живлення турун не споживав представників Acari та Carabidae. Серед запропонованих турунів залишилися нез'їденими такі види: *Syntomus truncatellus* Linnaeus, 1761, *Badister bullatus* (Schrank, 1798), *Notiophilus hypocrita* Curtis, 1829, *Badister sadalis* (Duftschmid, 1812), *Pterostichus ovoideus* (Sturm, 1824), *Harpalus tardus* (Panzer, 1797), *H. caspius* (Steven, 1806).

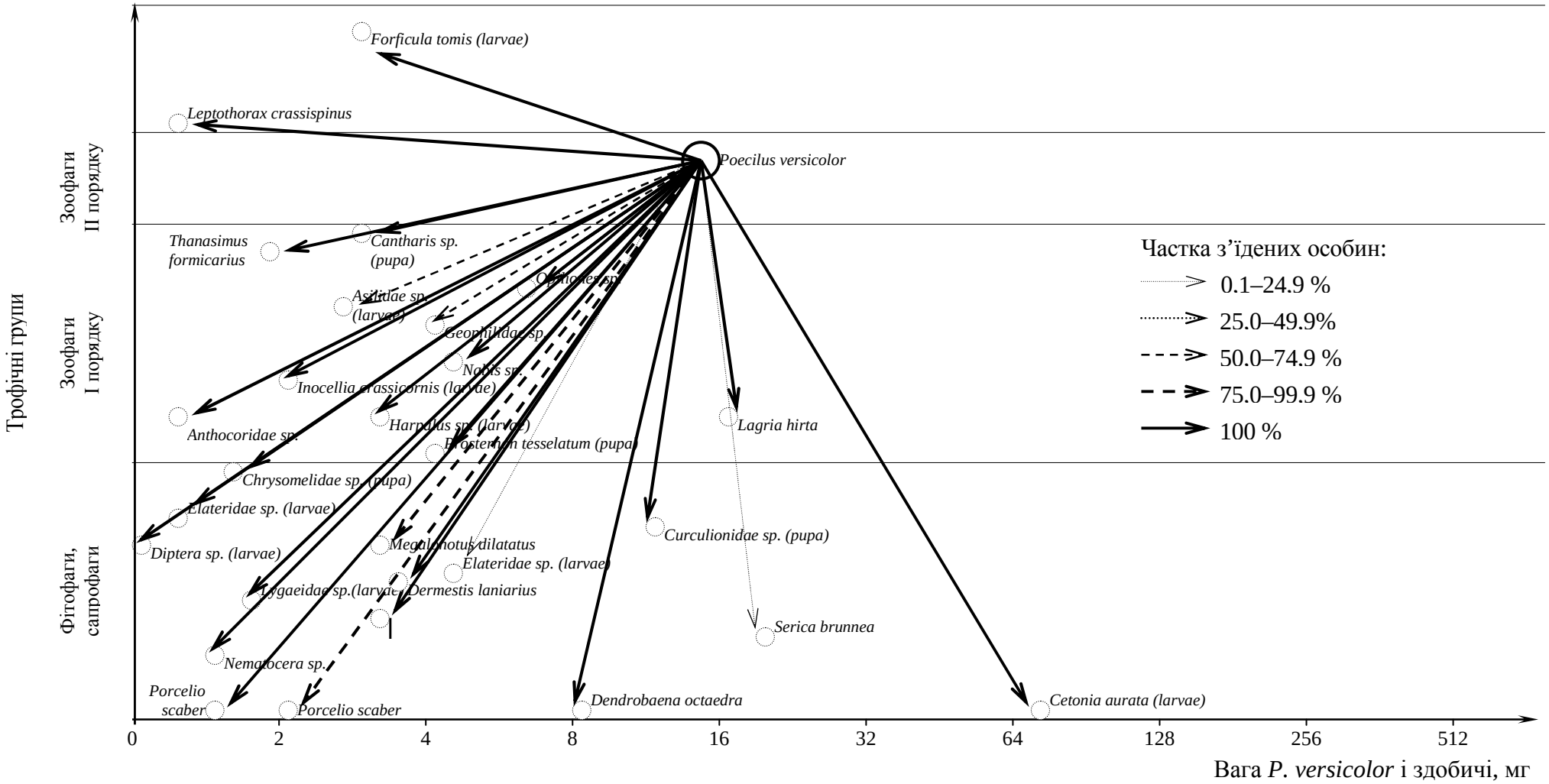


Рис. 1. Спектр живлення та трофічні переваги *P. versicolor* у лабораторних умовах.

Таблиця 1

Трофічні зв'язки *P. versicolor* із домінантними групами безхребетних лісових біогеоценозів (Полтавська обл.)

Вид харчового об'єкта	Загальна кількість дослідів	Частка особин (%), з'їдених *P. versicolor*
Serica brunnea (Linnaeus, 1758)	39	2,6
Elateridae sp. (larvae) (Conoderini sp)	31	12,9
Geophilidae sp.	34	44,1
Asilidae sp. (larvae)	26	69,2
Megalonotus dilatatus (Herrich-Schäffer, 1840)	53	92,5
Porcellio scaber Latreille, 1804 (2 мм)	34	97,1
Opiliones sp.	12	100,0
Dermestes laniarius Illiger, 1801	16	100,0
Inocellia crassicornis (Schummel, 1832) (larvae)	20	100,0
Nabis sp.	22	100,0
Forficula tomis (Kolenati, 1846)	27	100,0
Thanasimus formicarius Linnaeus, 1758	29	100,0
Chrysomelidae sp. (pupa)	30	100,0
Cetonia aurata (Linnaeus, 1758) (larvae)	30	100,0
Harpalus sp. (larvae)	30	100,0
Anthocoridae sp.	30	100,0
Lygaeidae sp. (larvae)	30	100,0
Diptera sp. (larvae)	30	100,0
Cantharis sp. (pupa)	31	100,0
Lagria hirta (Linnaeus, 1758)	31	100,0
Geophilidae sp.	31	100,0
Prosternon tesselatum Linnaeus, 1758 (pupa)	31	100,0
Elateridae sp. (larvae)	31	100,0
Curculionidae sp.	32	100,0
Megalonotus chiragrus (Fabricius, 1794)	33	100,0
Leptothorax crassispinus Karavaiev, 1926	38	100,0
Porcellio scaber Latreille, 1804 (1 мм)	39	100,0
Dendrobaena octaedra (Saviginy, 1826)	39	100,0
Lygaeidae sp. 2 (larvae)	40	100,0
Nematocera sp.	91	100,0

Представники родини Staphylinidae, які поширені в підстилковому горизонті, незважаючи на невеликі розміри, не поїдалися туруном. До таких відностяться *Habrocerus capillaricornis* (Gravenhorst, 1806), *Astenus sp*., *Tachyporus hypnorum* (Fabricius, 1775), *Lathrobium sp.*, *Drusilla caanaliculata* (Fabricius, 1787), *Stenus humilis* Erichson, 1839, *S. clavicornis* (Scopoli, 1763), *Oxypoda sp.*, *Bryoporus sp.*, *Gabrius osseticus* (Kolenati, 1846), *Tachinus signayus* Gravenhorst, 1802, *Rugilus rufipes* Germar, 1863, *Xantholinus sp.*, *Staphylinus erythopterus* Linnaeus, 1758, *Quedius sp.*, *Gabrius sp.*

Павуки не виступають в ролі харчових об'єктів *P. versicolor*. Неушкодженими при проведенні дослідів залишились представники родин Linyphiidae (*Linyphia sp.*), Lycosidae (*Trochosa terricola* Thorell, 1856, *Pardosa sp.*), Philodromidae (*Philodromus sp.*), Tetragnathidae (*Pachygnatha listeri* Sundevall, 1830), Theridiidae (*Robertus lividus* (Blackwall, 1836)). Також серед безхребетних зоофагів, яких не споживав турун, виявлено такі: *Prosternon tesselatum* (Linnaeus, 1758) (Elateridae), *Lithobius forficatus* (Linnaeus, 1758), Lithobidae sp. та Mutillidae sp.

Патнофаги, які не викликали зацікавленості туруна, представлені Forficulidae (*Forficula tomis* (Kolenati, 1846) (імаго і личинки старших віків) та Formicidae (*Dolichoderus quadripunctatus* (Linnaeus, 1771), *Lasius platythorax* Seifert, 1991, *L. fuliginosus* (Latreille, 1798), *L. flavus* (Fabricius, 1781), *L. alienus* (Forster, 1850), *Myrmica rubra* (Linnaeus, 1758), *M. rugulosa* Nylander, 1846, *M. scabrionodis* Nylander, 1849, *Formica glauca* Ruzsky, 1895, *F. imitans* Ruzsky, 1902).

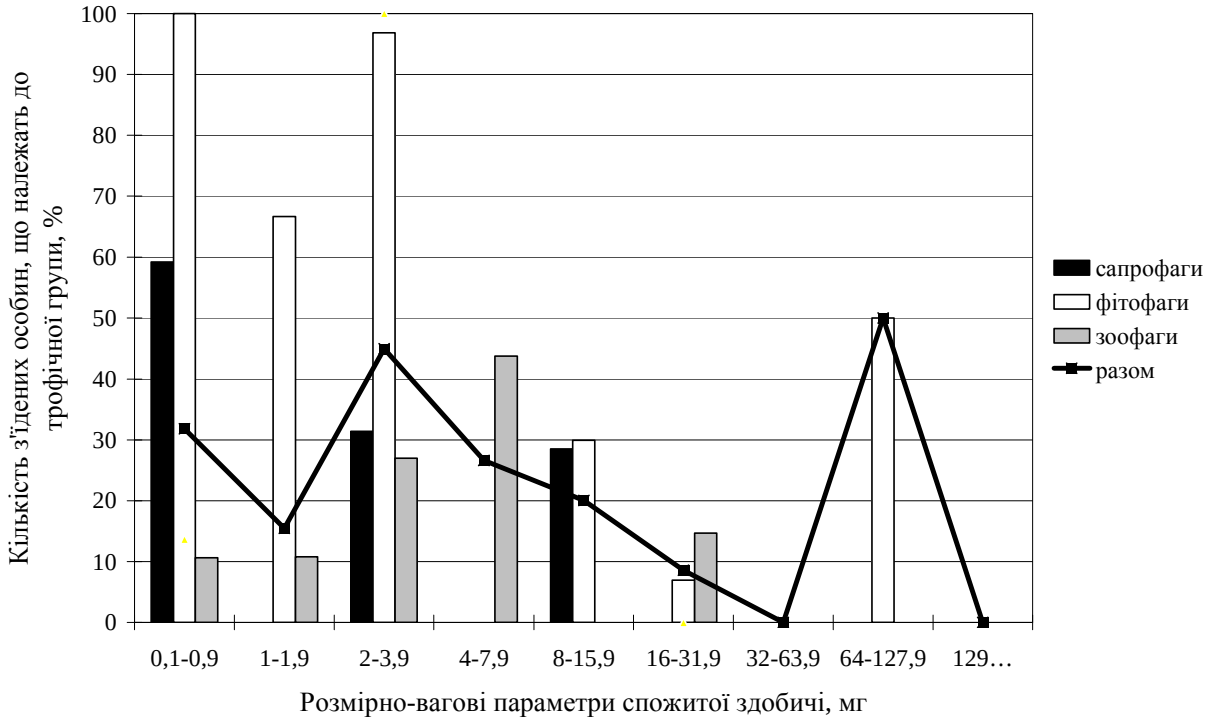


Рис. 2. Показники поїдання здобичі *P. versicolor* залежно від розмірів та належності до функціональних груп.

Серед фітофагів, які не входять до раціону *P. versicolor*, нами відмічено такі: Curculionidae (*Otiorrhynchus raucus* (Fabricius, 1776) та *O. ovatus* (Linnaeus, 1758)), Tenebrionidae (*Crypticus ruberi* Marsuel, 1875, *C. quisqulius* (Linnaeus, 1761), *Uloma rufa* (Piller et Mitterpacher, 1783)), Hemiptera (*Dicranocephalus agilis* (Scopoli, 1763), *Canthophorus sp*., *Ceraleptus gracilicornis* Herrich-Schaeffer, 1835), Pirrhocoridae (*Pyrrhocoris apterus* Linnaeus, 1758), Scutellaridae (*Eurugaster integriceps* Puton, 1881, *Aelia accyminata* Fieb.), Lucanidae (*Dorcus parallelepipidus* (Linnaeus, 1758)), Psychidae sp. та деякі Lepidoptera sp. (larvae), які не поїдалася туруном завдяки зовнішнім покривам, вкритим жорсткими волосками.

Не зафіксовано випадків поїдання таких сапрофагів, як Silphidae (*Silpha tristis* Illiger, 1798 (larvae) та *S. carinata* Herbst, 1783 (larvae)), Latridiidae sp., Geophila (*Trichia hispida* (Linnaeus, 1758)), Julidae (*Rossiulus kessleri* (Lochmander, 1927)), Isopoda (*Porcellio scaber* Latreille, 1804 від 3 мм і більше). Зупинимо увагу на тому, що *P. versicolor* не з'їв жодного представника Entomobryidae sp., на відміну від *P. oblongopunctatus* та *C. ambiguus*, які активно живляться цією здобиччю.

Висновки

Трофічні зв'язки *P. versicolor* мають подібні риси у виборі здобичі з іншими домінантними турунами лісових екосистем лісостепової зони Полтавської області, які належать до одного трофічного рівня та мають однакові розміри (*P. oblongopunctatus*, *C. ambiguus*). На кількість спожитих об'єктів впливають розміри здобичі, міцність покривів та здатність її до швидкого пересування. Найбільш приваблюють туруна невеликі малорухомі безхребетні та представники з відносно м'якими покривами тіла, найменш –

більші за нього тварини з твердими покривами. Основу раціону дослідженого виду становлять фітофаги, сапрофаги, фіто-сапрофаги та зоофаги, що належать до нижчих трофічних рівнів. Найбільша кількість спожитих тварин належить до таких класів і родин: Anthocoridae, Cantharidae, Carabidae, Chrysomelidae, Cleridae, Curculionidae, Dermestidae, Diptera, Forficulidae, Formicidae, Inocellidae, Lagriidae, Lumbricidae, Lygaeidae, Nabidae, Opiliones.

Список літератури

1. *Александрович О. Р.* Видовой состав и структура населения жужелиц (Coleoptera: Carabidae), обитающих на полях картофеля / О. Р. Александрович // Защита растений: сб. научн. тр. – Минск: Белниизр, 2000. – Вып. 25. – С. 100–112.

2. *Барсов В. А.* Охрана открытых ландшафтов, их растительности и энтомофауны в условиях степного Приднепровья / В. А. Барсов // Исчезающие и редкие растения, животные и ландшафты Днепропетровщины. – Д.: ДГУ, 1983. – С. 103–110.

3. *Бригадиренко В. В.* Закономерности распределения подстилочных беспозвоночных степных экосистем центрального степного Приднепровья / В. В. Бригадиренко // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Біол., Екол. – 2004. – Вип. 12, т. 1. – С. 13–18.

4. *Бригадиренко В. В.* Трофічна структура підстилкової мезофауни: розподіл біомаси за трофічними рівнями / В. В. Бригадиренко, О. С. Комаров, О. Є. Пахомов // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Біол., Екол. – 2008. – Вип. 16, т. 2. – С. 186–197.

5. Жужелицы (Coleoptera, Carabidae) Стрелецкой степи под Курском и их сезонная динамика активности / К. В. Арнольди, И. Х. Шарова, Г. Н. Клюканова, Н. Н. Бутурина // Фауна и экология животных. – М.: МГПИ им. В. И. Ленина, 1972. – С. 215–230.

6. *Иванов Е. А.* Особенности формирования карабидофауны в агроценозах Лесостепи Приобья: автореф. дис. … канд. биол. наук / Е. А. Иванов. – Красноярск, 2007. – 18 с.

7. *Комаров О. С.* Екологічні особливості формування підстилкової мезофауни у природних лісах південного Лісостепу Полтавської області: автореф. дис. … канд. биол. наук: 03.00.16 / О. С. Комаров. – Д.: ДНУ, 2009. – 22 с.

8. *Комаров О. С.* Особливості формування фауни підстилкових безхребетних аренних лісів ріки Дніпро в умовах Полтавської області / О. С. Комаров, В. В. Бригадиренко // Екологія та ноосферологія. – 2008. – Т. 19, № 1–2. – С. 59–68.

9. *Комаров О. С.* Розподіл підстилкових безхребетних довгозаплавних лісових екосистем ріки Дніпро в умовах Лісостепу Полтавської області // Вісник Львівського ун-ту. Сер. біол. – 2008. – Вип. 46. – С. 119–128.

10. *Комаров О. С.* Трофічні переваги *Pterostichus oblongopunctatus* (Coleoptera, Carabidae) у биогеоценозах південного Лісостепу Полтавской області // О. С. Комаров, В. В. Бригадиренко // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Біол., Екол. – 2011. – Вип. 19, т. 1. – С. 41–50.

11. *Крыжановский О. Л.* Итоги и задачи изучения жужелиц в СССР / О. Л. Крыжановский, И. Х. Шарова, Г. М. Абдурахманов // Инф. доп. к матер. II Всесоюз. карабидологического совещ. – Махачкала, 1986. – С. 1–6.

12. *Пучков А. В.* Жесткокрылые (Coleoptera) пшеничного поля юго-запада степной зоны Европейской части СССР / А. В. Пучков // Энтомол. обозр. – 1990. – Т. 69, № 3. – С. 538–549.

13. *Сигида Р. С.* Адаптации жуков-жужелиц (Coleoptera, Carabidae) к эдафическим факторам в условиях антропогенных ландшафтов Центрального Предкавказья: автореф. дис. … докт. биол. наук / Р. С. Сигида. – Астрахань, 2010. – 32 с.

14. *Сумароков А. М.* Закономерности формирования фауны жужелиц (Coleoptera, Carabidae) в полевых агроценозах степной зоны Украинской ССР / А. М. Сумароков // XII междунар. симп. по энтомофауне Средней Европы. – К.: Наук. думка, 1991. – С. 424–426.

15. *Тихомирова А. Л.* Учёт напочвенных беспозвоночных / А. Л. Тихомирова // Методы почвенно-зоологических исследований. – М.: Наука, 1975. – С. 73–81.

16. *Шарова И. Х.* Жизненные формы жужелиц (Coleoptera, Carabidae) / И. Х. Шарова. – М.: Наука, 1981. – 360 с.

17. *Barber H. S.* Traps for cave-inhabiting / H. S. Barber // J. Elish. Mitcell. Sci. Sos. – 1931. – Vol. 46, N 3. – P. 259–266.

Комаров А. С. **Особенности трофических связей *Poecilus versicolor* (Coleoptera, Carabidae) в биогеоценозах южной Лесостепи Полтавской области.** – Исследованы предпочтения *Poecilus versicolor* (Coleoptera, Carabidae) в выборе потенциальных объектов питания в условиях лесных биогеоценозов южной Лесостепи Полтавской области. Проанализированы таксономическая, размерно-весовая и трофическая структуры предложенных *P. versicolor* беспозвоночных. Установлены критерии выбора *P. versicolor* потенциальных трофических объектов: твердость покровов и размеры добычи, а также её способность быстро передвигаться.

Ключевые слова: *Poecilus versicolor*, герпетобий, лесной биогеоценоз, Лесостепь, Полтавская область, пищевой объект, трофическая структура.

Komarov A. S. **Specialities of food preferences of *Poecilus versicolor* (Coleoptera, Carabidae) in biogeocenosesof south Steppeforest Poltava region.** – The specific trophic preferences of *P. versicolor* (Coleoptera, Carabidae) as one of the mass ground litter zoophages in forests biogeocenoses of south Forest-steppe Poltava region are investigated. Taxonomic, size-weight and trophic structures of potential food objects offered to the *P. versicolor* were analysed. *P. versicolor* choicecriteria of potential food objects were established: hardness of exoskeleton and size of victims and also victim'sability for fast moving.

Key words: Poecilus versicolor, litter invertebrate fauna, forests biogeocenoses, Forest-steppe, Poltava region, food objects, trophic structures.

УДК 595.77:591.15

© Е. Н. Маслодудова, Т. А. Чурсина, А. А. Панченко

ИЗМЕНЧИВОСТЬ НЕКОТОРЫХ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ У ЛИЧИНОК МОШЕК *ODAGMIA ORNATA* MG. (DIPTERA, SIMULIIDAE) И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В СИСТЕМАТИКЕ

Донецкий национальный университет; 83050, г. Донецк, ул. Щорса, 46
e-mail: tatjana.tchursina@yandex.ua

Маслодудова Е. Н., Чурсина Т. А., Панченко А. А. **Изменчивость некоторых морфологических признаков у личинок мошек *Odagmia ornata* Mg. (Diptera, Simuliidae) и их использование в систематике. –** Рассматривается изменчивость некоторых морфологических признаков (мандибула, субментум, вентральный вырез, длина тела) личинок *Odagmia ornata* (Mg.) (Diptera, Simuliidae) в разных условиях Донецкого региона. Также показана изменчивость в зависимости от физиологического состояния – зараженности личинок мошек микроспоридиями.

Ключевые слова: мошки, изменчивость, морфологические признаки, мандибула, вентральный вырез субментум.

Введение

Мошки (Diptera, Simuliidae) наносят вред человеку, домашним и сельскохозяйственным животным как назойливые кровососы и переносчики возбудителей заболеваний. Они относятся к дневным активно нападающим кровососам. Максимум нападения при температуре +17-20°С, т. е. с середины июня до конца августа [7]. Кровососание мошки осуществляют под открытым небом. Активны мошки лишь в светлое время суток. Они долго кружатся над жертвой, прежде чем сесть на неё, а после того как сядут, долго ползают в выборе подходящего места для укуса, потому что имеют очень короткий хоботок. С этими особенностями поведения связано попадание мошек в глаза, уши, нос, что влечет за собой снижение работоспособности человека [1].

Уколы мошек при кровососании в первый момент нечувствительны, затем болезненны и ядовиты, вызывают жжение, зуд, опухоль, местное повышение температуры [5].

Установлено, что мошки являются механическими переносчиками ряда возбудителей заболеваний человека, таких как сибирская язва, сап, туляремия, проказа, чума и ряда других, а также домашних животных и птиц. Кроме того мошки являются специфическими переносчиками онхоцеркоза крупного рогатого скота, лошадей и человека, а также гемоспоридиоза птиц, поражающего домашнюю птицу и голубей [5].

Точное определение вида имеет большое значение при разработке мер борьбы с ним. Поэтому изучение вопроса изменчивости имеет не только теоретическое, но и практическое значение. У мошек, как и у других насекомых, наблюдаются различные формы изменчивости: половой диморфизм, индивидуальная, сезонная, экологическая, географическая изменчивость. Нередко эти формы изменчивости дополняются уродствами и особенно часто артефактами, которые возникают при фиксации преимагинальных фаз [6].

Изменчивость некоторых морфологических признаков у *Od. ornata* описана З. В. Усовой [9]. По её данным, измерялись только зрелые личинки, без учета половых различий.

Как отмечает И. А. Рубцов [6], у личинок мошек больше изменчивых морфологических и меристических признаков, чем на стадии имаго. Важнейшие таксономические признаки обнаруживаются в деталях строения головы. Прежде всего используется окраска головной капсулы. После линек она светлая, но быстро принимает стойкую окраску. На лобном склерите различают позитивный и негативный рисунок – совокупность пятен, расположенных крестообразно посредине лобного склерита и на затылке. Интенсивность затемнения пятен устойчива. Все виды группы *ornata*, отличаются от других видов нечетким рисунком со светлыми передними пятнами.

Следующей по таксономической значимости признаков является совокупность склеритов вентральной стороны головы. Это субментум и вентральный вырез головной капсулы. Вентральный вырез округло-квадратный, не достигает заднего края субментума

примерно на длину субментума. Существенным является форма субментума, его ширина и длина. Передний край субментума, форма зубцов и их размеры в пределах вида очень устойчивы. У очень сложно устроенных мандибул используются краевые зубцы, а также длина и ширина [6].

Личинки мошек ведут полусидящий образ жизни. Процеживая воду, они беспрерывно изгибаются, поворачиваются головой, сокращаются и вытягиваются сильнее, чем какие-либо другие из известных личинок двукрылых. При фиксации спиртом они погибают во всех позах: прямых и изогнутых, сократившись и вытянувшись. Для вариационно-статистического определения длины тела личинок используют округленные цифры «от – до», с измерением средних по длине тела особей (не образующих складок или чрезмерно вытянутых) личинок [8].

Биологическая категория признаков обнаруживает максимальную изменчивость: в выборе места обитаний и субстрата, распределении по высотам над уровнем моря, сроках и продолжительности развития, зимовке, диапаузе, потребности кровососания или растениеядности, количестве поколений, миграционных способностях и множестве других признаков развития и поведения. Наибольшее практическое значение имеют места обитания, циклы развития и типы питания. Их особенности подсказывают, где можно ожидать таксономически существенную межвидовую или внутривидовую изменчивость и где более вероятна фенотипическая изменчивость.

Целью нашей работы было изучение изменчивости некоторых систематических и морфологических признаков *Od. ornata* из водотоков г. Донецка.

Материал и методы исследования

Материалом послужили сборы преимагинальных фаз мошек *Od. ornata* в водотоках г. Донецка.

Сбор личинок мошек *Od. ornata* и камеральную обработку проводили по общепринятым методикам И. А. Рубцова [5] и З. В. Усовой [9]. Всего собрано и обработано 50 проб. Изготовлено 60 микропрепаратов из личинок мошек. Схема замеров этих склеритов представлена на рис 1.

Для сравнения с нашими данными использованы литературные сведения [3].

Статистическая обработка замеров морфологических признаков проведена по методу Г. Ф. Лакина [2].

Результаты и обсуждение

Гидрологическая характеристика г. Донецка и Донецкой области способствует распространению мошек, так как мошки всегда встречаются в водотоках, имеющих даже слабое течение от 0,1 м/с и выше. Наличие мелких рек, ручьев различного происхождения, являющихся местами выплода и развития мошек, создает благоприятные условия для массового развития мошек как реофилов, так и видов, предпочитающих медленно текущие и заросшие растительностью водотоки.

По данным исследований, проведенных в 2010-2011 гг., массовым видом в водотоках г. Донецка является *Odagmia ornata* (Mg.), встречаемость которого по отношению к другим видам составляла 70% и более.

Вид населяет небольшие ручьи, ширина которых составляет от 0,3 до 2,5 м, глубина – 0,1-0,5 м, с илистым или каменистым дном. Температура воды в течение года колеблется зимой от +4°С, а в весенне-летний период от +10 до +25°С.

Субстратом для преимагинальных фаз мошек служат листья водных растений – осоки, тростника. Также личинки и куколки мошек хорошо адаптировались для существования на искусственном субстрате в водотоках частично загрязненных разными бытовыми отходами (полиэтиленовыми пакетами, пластмассовыми и стеклянными бутылками).

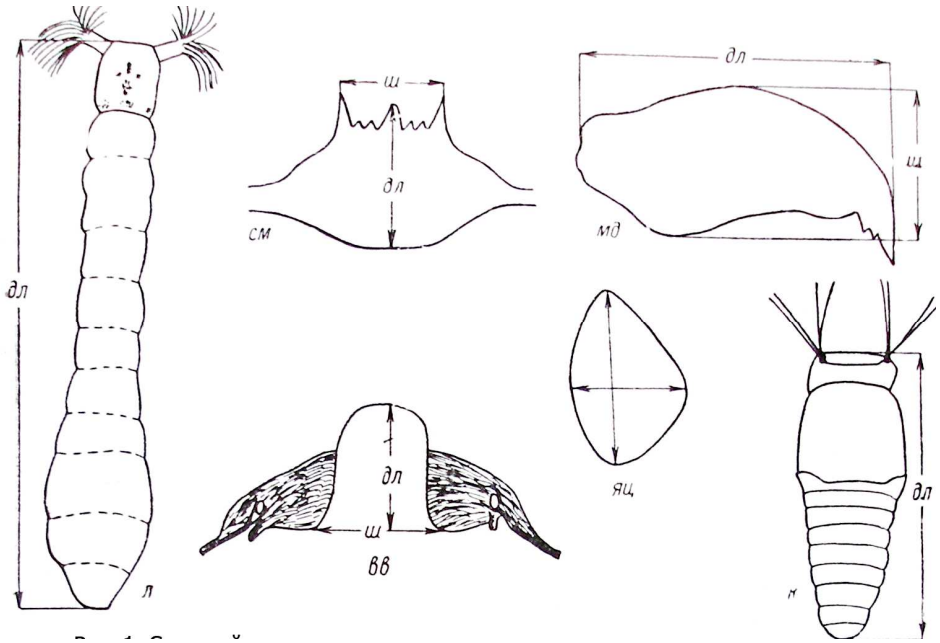


Рис. 1. Схема яйца, куколки, личинки и органов с указанием используемых промеров: вв – вентральный вырез; к – куколка; л – личинка; мд – мандибула; см – субментум; яц – яйцо (дл – длина, ш – ширина) (по З. В. Усовой [9]).

Od. ornata – весьма пластичный вид, который выдерживает значительные антропогенные загрязнения и часто встречается в ручьях, вытекающих из шахтных отстойников.

Нами была исследована изменчивость некоторых морфологических признаков личинок *Od. ornata*.

Определенное значение имеет длина тела личинок, хотя она может искажаться при фиксации. Полагая, что фиксатор действовал на всех собранных личинок одинаково, можно сказать, что длина тела личинок *Od. ornata*, собранных в водотоках г. Донецка, составляет 5,0-8,0 мм (чаще 6,5-7,0) мм. Личинки зеленовато-серой или темно-серой окраски.

По данным З. В. Усовой [9], *Od. ornata* из северных водотоков (Карелия и Мурманская область) имеет длину тела 6,0-8,0 (чаще 7,0-7,5) мм. В. И. Павличенко [4] для Запорожской области приводит данные длины тела *Od. ornata* 7,0-8,5 мм.

Замеры длины личинок *Od. ornata* показали, что личинки мошек в Запорожской области значительно крупнее, чем в Донецкой (±0,9-1,1 мм) и Мурманской (±0,5 мм) областях (рис. 2).

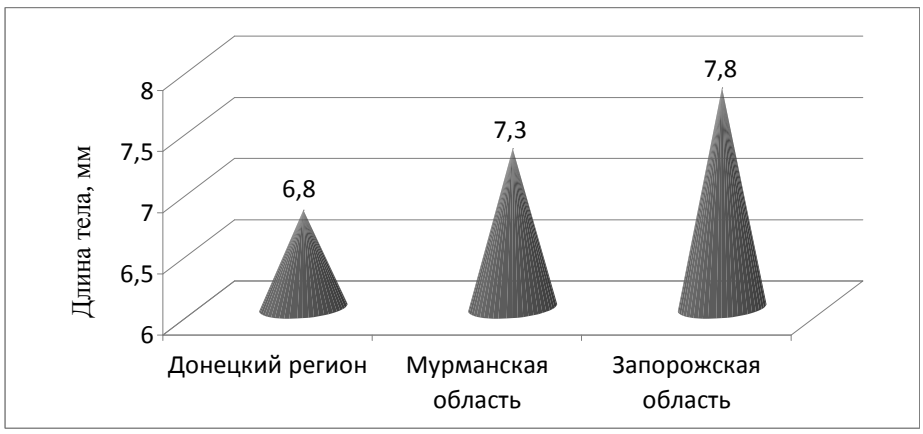


Рис 2. Длина тела у личинок мошек *Odagmia ornata* из разных географических областей.

При сравнении морфологических признаков учитывали сезонное развитие преимагинальных фаз мошек. Нами были использованы личинки мошек только летней генерации. Личинки осенне-зимней генерации будут значительно крупнее, чем весенне-летней, что согласуется с литературными данными [15]. В неблагоприятных условиях зимнего периода крупные размеры тела обеспечивают соответствующий уровень энергетического баланса в организме.

Нами проведено сравнение пяти морфологических признаков у личинок и куколок мошек. Отличия отмечены на рис. 3.

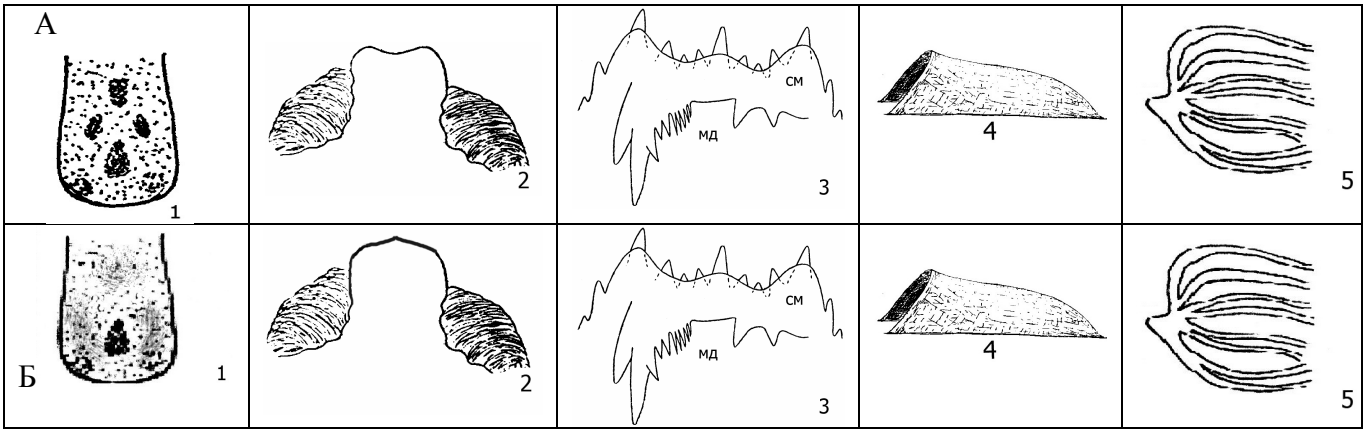


Рис. 3. Морфологическая изменчивость систематических признаков личинок и куколок *Od. ornata* (А – по И. А. Рубцову [15], Б – из водотоков г. Донецка и Донецкой области): 1 – рисунок лобного склерита; 2 – форма вентрального выреза; 3 – зубцы субментума и мандибул; 4 – форма кокона; 5 – количество и ветвление дыхательных трубок.

На лобном склерите личинок мошек из водотоков г. Донецка и Донецкой области четко видно только нижнее пятно, остальные имеют размытый ореол. Вентральный вырез имеет четкую квадратичную, иногда слабоарковидную форму. Зубцы субментума и мандибул, форма кокона и характер ветвления дыхательных нитей не подвержены изменчивости.

Нами также было рассмотрено влияние паразитов как биотического фактора на фенотипическую изменчивость. Микроспоридиоз – довольно широко распространенное патогенное заболевание личинок мошек, которое влечет за собой их пониженную жизнеспособность, дополнительные патологические линьки, значительное увеличение размеров тела и гибель [2]. Среди нормальных личинок были выявлены личинки, зараженные микроспоридиями *Thelohania fibrata* (Strick.) и *Amblyospora bracteata* Hazard et Oldacre. У зараженных личинок происходит значительное увеличение размера и веса тела (почти в 1,5-2 раза), деградация почти всех жизненно важных органов и тканей. Соответственно наблюдается увеличения и уродства мандибул, субментума, антенн и других склеритов наружного морфологического строения. Замеры некоторых морфологических признаков приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, таксономические признаки у незараженных и зараженных личинок мошек различаются между собой размерами. Поэтому при определении зараженных личинок как хозяев паразитов необходимо учитывать поправки в сторону увеличения морфологических признаков: длина мандибул (+0,03 мм), ширина мандибул (+0,02 мм), длина вентрального выреза (+0,03 мм), ширина вентрального выреза (+0,03 мм), длина субментума (+0,02 мм), ширина субментума (+0,01 мм) (рис. 4).

Таким образом, названные признаки могут быть использованы при диагностике вида с учетом поправки.

Таблица 1

Изменчивость некоторых систематических признаков у личинок мошек *Odagmia ornata* из водотоков г. Донецка

Таксономические признаки		Минимум	Максимум	Среднее арифметическое	Стандартная ошибка	Стандартное отклонение	Уровень надежности 99 %
Мандибула	длина у незараженных личинок	0,33	0,49	0,42	3,79	31,7	15,7
	длина у зараженных личинок	0,37	0,53	0,45	5,54	46,3	22,9
	ширина у незараженных личинок	0,19	0,26	0,23	1,81	15,1	7,48
	ширина у зараженных личинок	0,19	0,30	0,25	4,00	33,5	16,5
Вентральный вырез	длина у незараженных личинок	0,11	0,20	0,16	2,40	20,0	9,90
	длина у зараженных личинок	0,14	0,25	0,19	2,73	22,8	11,3
	ширина у незараженных личинок	0,14	0,20	0,17	1,58	13,2	6,52
	ширина у зараженных личинок	0,17	0,29	0,20	3,05	25,5	12,6
Субментум	длина у незараженных личинок	0,16	0,22	0,19	1,47	12,3	6,07
	длина у зараженных личинок	0,18	0,25	0,21	2,53	21,2	10,5
	ширина у незараженных личинок	0,01	0,09	0,07	1,60	13,3	6,60
	ширина у зараженных личинок	0,06	0,11	0,08	1,51	12,7	6,25

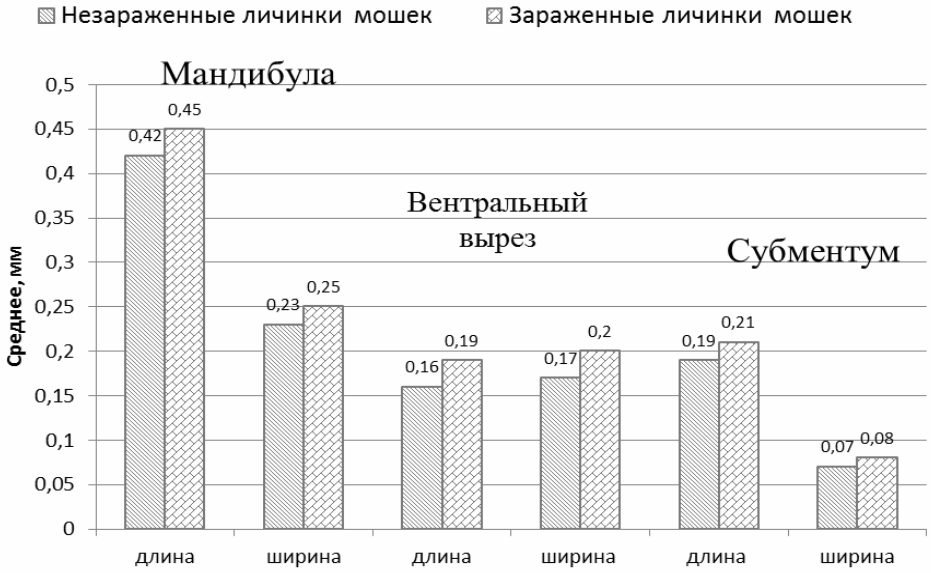


Рис. 4. Изменчивость некоторых систематических признаков у личинок мошек *Odagmia ornata* из водотоков г. Донецка

Выводы

1. Вид *Od. ornata* (Mg.) является массовым видом в водотоках г. Донецка, встречаемость которого составляет 70% и более.

2. При определении личинок мошек вида *Od. ornata* необходимо учитывать систематические признаки, которые подвержены изменчивости, – рисунок лобного склерита, форму вентрального выреза, размер мандибул, субментума, длину тела личинок.

3. При установлении видовой принадлежности личинок мошек необходимо учитывать и физиологическое состояние личинок, в частности их зараженность микроспоридиями, так как происходит увеличение размеров тела и склеритов наружного морфологического строения.

4. В результате проведенных исследований установлено, что линейные признаки зараженных личинок мошек отличаются от незараженных и могут быть использованы при диагностике вида с учетом поправки.

Список литературы

1. *Каплич В. М.* Кровососущие мошки лесной зоны / В. М. Каплич, З. В. Усова. – Минск: Ураджай, 1990. – 176 с.

2. *Лакин Г. Ф.* Биометрия / Г. Ф. Лакин. – М.: Высш. шк., 1980. – 291 с.

3. *Маслодудова Е. Н.* О изменчивости некоторых морфологических признаков личинок *Simulium ornatum* Mg. (Diptera, Simuliidae), пораженных микроспоридиозом / Е. Н. Маслодудова, Л. А. Чайкина, А. А. Панченко // Аспекты изучения биоразнообразия Донбасса: сб. науч. тр. – Донецк: ДонГУ, 1998. – Вып. 1. – С. 41–43 (Препринт ДонГУ; 98-2).

4. *Павличенко В. И.* Индивидуальная и сезонная изменчивость некоторых морфологических признаков у личинок мошек (Diptera, Simuliidae) степи Украины / В. И. Павличенко // Вестник зоологии. – 1976. – № 6. – С. 82–85.

5. Рубцов И. А. Мошки (сем. Simuliidae). – М–Л., 1956. – 806 с. (Фауна СССР. Новая сер. – Зоол. ин-т АН СССР. – № 64. Насекомые. Двукрылые. – Т. 6, вып. 6).

6. *Рубцов И. А.* Изменчивость таксономических признаков у мошек (Diptera, Simuliidae). Задачи и методы их исследования / И. А. Рубцов // Энтомол. обозр. – 1974. – Т. 53, № 1. – С. 24–37.

7. *Тарасов В. В.* Экология кровососущих насекомых и клещей / В. В. Тарасов. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 264 с.

8. *Тертерян А. Е.* Фауна Армянской ССР: Мошки (Simuliidae) / А. Е. Тертерян. – Ереван: Изд-во АН Арм.ССР, 1968. – 272 с.

9. *Усова З. В.* Фауна мошек Карелии и Мурманской области / З. В. Усова. – М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1961. – 286 с.

Маслодудова К. М., Чурсіна Т. А., Панченко А. О. **Мінливість деяких морфологічних ознак** у **личинок мошок *Odagmia ornata* (Mg.) (Diptera, Simuliidae) та їх використання у систематиці.** – Розглядається мінливість деяких морфологічних ознак (мандибула, субментум, вентральний виріз, довжина тіла) у личинок *Odagmia ornata* (Mg.) (Diptera, Simuliidae) в умовах Донецького регіону. Також показано мінливість залежно від фізіологічного стану – зараження личинок мошок мікроспоридіями.

Ключові слова: мошки, мінливість, морфологічні ознаки, мандибула, вентральний виріз, субментум.

Maslodudova E. N., Chursina T. A., Panchenko A. A. **Variability of some morphological characters in larvae of blackflies *Odagmia ornata* (Mg.) (Diptera, Simuliidae) and their use in taxonomy.** – We consider the variability of some morphological characters (mandible, submentum, ventral incision, the length of the body) larvae *Odagmia ornata* (Mg.) (Diptera, Simuliidae) in different conditions of Donetsk region. It also shows the variation depending on the physiological state – the larvae of midges microsporidia infection.

Key words: gnats, variability, morphological characters, mandible, ventral cutout, submentum.

УДК 599 : 591.52

© А. В. Михеев

БИОГЕОЦЕНОТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭКСКРЕТОРНОЙ МАРКИРОВКИ ЛИСИЦЫ *VULPES VULPES* (MAMMALIA, CANIDAE) В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЮГО-ВОСТОКА УКРАИНЫ

НИИ биологии Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара
49010, г. Днепропетровск, пр. Гагарина, 72; e-mail: zestforest@ua.fm

Михеев А. В. **Биогеоценотические аспекты экскреторной маркировки лисицы *Vulpes vulpes* (Mammalia, Canidae) в лесных экосистемах юго-востока Украины.** – Интенсивность маркировочной активности лисицы в различных типах степных лесов составляет в среднем 0,57±0,08 меток/км маршрута. Качественный спектр маркируемых лесных местообитаний характеризуется высокими значениями индексов разнообразия (H = 3,96, U = 0,95). Вместе с тем экологические условия каждого типа леса воспринимаются этим хищником дифференцированно, что опосредованным образом определяет достоверные различия интенсивности внесения меток.

Ключевые слова: маркировочная активность, следы жизнедеятельности, биотопическое распределение, поведенческая экология, хищные млекопитающие, лесные экосистемы.

Введение

Маркировочная активность хищных млекопитающих неразрывно связана с поддержанием территориальности и является одной из наиболее развитых и специфичных форм поведения этих животных. Оставление разнообразных меток, выполняющих сигнальную функцию в отсутствие самого «сигнальщика», рассматривается как форма внутри- и межвидовых информационных взаимодействий опосредованного характера [1, 4, 5, 10, 13, 16, 19, 21, 22]. Из всего спектра маркировочных сигналов хищных особое значение принадлежит экскреторным меткам, прежде всего – помету, который обеспечивает не только ольфакторную, но и визуальную маркировку, а также может сохраняться в природных условиях значительно дольше, чем, например, мочевые точки [8].

Вместе с тем необходимо отметить, что в работах исследователей крайне редко приводятся хотя бы оценочные количественные параметры, характеризующие интенсивность маркировочной активности этих животных. Практически не отражены в литературе особенности распределения маркировочных сигналов в различных типах экосистем, что дало бы возможность оценить роль экскреторной маркировки в комплексе взаимоотношений хищных со средой обитания. Также не является достаточным географический охват этих исследований, что не позволяет выявить специфику данной формы поведения в различных экологических условиях (в том числе и экстразональных). Причем в этом отношении до сих пор остаются слабо изученными даже распространенные и фоновые виды – такие, как лисица (*Vulpes vulpes* Linnaeus, 1758). В частности, в условиях степных лесов Украины этот аспект ее поведенческой экологии ранее не рассматривался.

Исходя из вышесказанного, целью настоящей работы являлось изучение биогеоценотических особенностей экскреторной маркировки указанного вида млекопитающих в условиях лесных экосистем юго-востока Украины.

Материал и методика исследования

Исследования проводили в 2000-2008 гг. на базе Присамарского биогеоценотического стационара Комплексной экспедиции ДНУ. Показатели маркировочной активности (связанной с оставлением экскреторных меток, т. е. помета) изучаемого вида определяли в ходе учетов (с подсчетом количества пройденных шагов) на маршрутах общей протяженностью 2380 км. Наблюдения и регистрации фиксировали с указанием привязки относительно номера шага.

Дифференциацию типов лесных экосистем (отличающихся по условиям произрастания и биогеоценотическим параметрам, характеризующим соответствующие условия обитания лисицы) проводили с учетом границ определенных лесных биогеоценозов (БГЦ) – как естественных, так и искусственных. В частности, были рассмотрены: 1) байрачные

(плакорные) лесные БГЦ: байрачные дубравы, искусственные дубовые насаждения на плакоре, искусственные насаждения ясеня, искусственные акациевые насаждения (акация белая, гледичия), пристенные дубравы; 2) пойменные лесные БГЦ: пойменные дубравы, искусственные насаждения лещины, ольшаники; 3) аренные лесные БГЦ: судубравы, субори, естественные сосновые боры, молодые (до 15-20 лет), средневозрастные (25-40 лет) и зрелые (> 40 лет) искусственные сосновые насаждения, аренные дубравы, березово-осиновые колки, осинники, участки соснового редколесья.

Статистическая обработка данных включала прежде всего расчет показателя маркировочной активности (Index of Marking Activity, *IMA*) – количества меток на единицу длины маршрута (мет./км). Градации интенсивности маркировочной активности выделяли по формуле Стерджеса для определения классов вариационного ряда [6]. Особенности распределения меток в различных типах лесных БГЦ оценивали с помощью индексов разнообразия (энтропия *H*, выравненность *U*) [12], а также в рамках анализа соответствий (Correspondence Analysis) в пакете прикладных программ Statistica 6.0 (StatSoft, Inc). Кластерный анализ проводили с критерием связи Single Linkage, в качестве меры дистанции использовали евклидово расстояние. Степень информационной связи фактора (тип лесного БГЦ) и явления (интенсивность маркировочной активности лисицы) определяли по алгоритму информационно-логического анализа [11]. Достоверность различий количественных показателей оценивали методами непараметрической статистики [6] (*H*-критерий Краскелла-Уоллиса, критерий серий Вальда-Вольфовица, *U*-тест Манна-Уитни), уровень их изменчивости – с помощью коэффициента вариации *Cv*.

Результаты и обсуждение

Установлено, что экскреторная маркировка лисицы в различных типах исследованных лесов является одной из самых активных среди представителей отряда Carnivora данного региона. Именно этому хищнику принадлежит 26,11% от совокупности экскреторных меток всего биоценоза хищных. Показатель *IMA* изучаемого вида составляет в среднем 0,57±0,08 мет./км маршрута; его варьирование оценивается как умеренное (*Cv* = 56,16).

Маркировочной деятельностью лисицы охвачен весь спектр лесных БГЦ района исследований. Биогеоценотическое разнообразие маркируемых местообитаний и равномерность распределения меток в различных типах лесных насаждений можно выразить достаточно высокими значениями соответствующих индексов (*H* = 3,96, *U* = 0,95). Основная доля экскреторных меток (53,19%) расположена в аренных местообитаниях. К плакорным и пойменным БГЦ приурочено, соответственно, 34,71 и 12,10% (табл. 1).

Несмотря на высокий показатель выравненности биогеоценотического распределения меток, значения *IMA*, зарегистрированные в отдельных типах БГЦ, не являются сходными. Достоверность их различий подтверждена с помощью *H*-критерия Краскелла-Уоллиса: $H_{(17,\ n = 4806)} = 397{,}0$, $p < 0{,}001$. Вероятно, условия каждого типа леса (в первую очередь те, что определяются субстратными характеристиками, а также световым режимом, состоянием травяного покрова и проч.) воспринимаются этим хищником дифференцированно. По нашим данным, даже практически идентичные средние величины *IMA* имеют статистически достоверные различия. Примерами этого могут быть соответствующие показатели (см. табл. 1) для молодых сосняков и сосновых редколесий (критерий серий Вальда-Вольфовица: $Z = -6{,}18$, $p < 0{,}001$) или для судубрав и осинников ($Z = -22{,}01$, $p < 0{,}001$).

Такая ситуация представляется вполне объяснимой. Как отмечал Н. П. Наумов [10], общий колорит местности, характерный для типа ландшафта, имеет важное значение в жизни животных (в первую очередь – позвоночных), позволяя им отличать пригодные биотопы от непригодных. В этом контексте правомочно говорить о том, что экологические факторы способны оказывать на животных сигнальное действие [15], результатом которого может быть, например, изменение поведенческого репертуара в ответ на изменение среды.

Таблица 1

Количественная характеристика маркировочной активности лисицы в различных типах степных лесов

Тип БГЦ	Относительное количество меток, %	Показатели маркировочной активности, мет./км		Результаты анализа соответствий	
		M±m	Lim_{max}	*Q*	*RIN*
Байрачные дубравы	7,71	0,80±0,16	4,53	0,98	0,01
Искусственные насаждения дуба	9,48	0,98±0,27	8,12	0,78	0,01
Искусственные насаждения ясеня	8,10	0,84±0,18	5,18	0,98	0,01
Искусственные насаждения акации	2,47	0,26±0,08	3,48	0,98	0,01
Пристенные дубравы	6,95	0,72±0,17	5,42	0,98	0,01
Пойменные дубравы	7,85	0,81±0,10	23,33	0,94	0,33
Искусственные насаждения лещины	3,02	0,31±0,14	20,10	0,65	0,06
Ольшаники	1,23	0,13±0,04	1,58	0,98	0,01
Судубравы	2,56	0,27±0,05	23,58	0,97	0,02
Субори	4,45	0,46±0,05	5,21	0,98	0,06
Сосновые боры	8,07	0,83±0,12	29,19	0,94	0,11
Молодые искусственные насаждения сосны	5,82	0,60±0,20	5,62	0,98	0,01
Средневозрастные –"–	13,25	1,37±0,28	25,02	0,89	0,17
Зрелые –"–	4,22	0,44±0,04	15,79	0,91	0,08
Аренные дубравы	3,13	0,32±0,09	7,05	0,77	0,00
Березово-осиновые колки	3,38	0,35±0,10	33,29	0,12	0,07
Осинники	2,57	0,27±0,09	21,89	0,75	0,01
Сосновое редколесье	5,75	0,59±0,13	22,65	0,67	0,03

Достигаемые максимумы *IMA* могут составлять до 29,19-33,29 мет./км маршрута (сосновые боры, колки). Однако по средним значениям наиболее выделяются естественные сосновые боры и средневозрастные сосновые насаждения (0,83-1,37 мет./км), искусственные насаждения ясеня и дуба (0,84-0,98 мет./км). Следует также отметить пул дубравных БГЦ – пристенных, байрачных и пойменных, в которых сосредоточено 22,51% общего количества зафиксированных экскреторных меток хищника. Именно в этих угодьях формируются наиболее оптимальные (в трофическом, репродуктивном и защитном плане) местообитания лисицы. Наши данные вполне согласуются с литературными, характеризующими экологические особенности этого представителя Canidae: на его пластичность в выборе местообитаний указывают многие авторы [2, 3, 7, 9, 18]. При этом подчеркивается, что наилучшие условия для зверя складываются на боровых террасах [14], а его наибольшая активность отмечается на границе биотопов, например – на опушках лесных массивов [16]. По наблюдениям Т. П. Цибуляк [17], именно места добычи корма маркируются лисицей чаще других.

В прочих типах исследованных лесных насаждений интенсивность маркировочной активности лисицы поддерживается на достаточно равномерном уровне (0,13-0,60 мет./км), что обеспечивает внесение в среду 38,59% всех экскреторных меток.

Для оценки предполагаемого влияния биогеоценотического фактора на количественные параметры маркировочной активности также необходим учет того, в какой степени в различных БГЦ проявляются отдельные градации этих параметров. С этой целью нами был применен алгоритм анализа соответствий. Фактор «тип лесного БГЦ» был представлен 18-ю вариантами. Градации явления соответствовали 5-и уровням поэтапного повышения маркировочной активности: «очень низкая» (< 6,66 мет./км) – «низкая» (6,67-13,32 мет./км) – «средняя» (13,33-19,98 мет./км) – «высокая» (19,99-26,63 мет./км) – «очень высокая» (> 26,64 мет./км). В ячейках исходной таблицы указывалось количество выборок (маршрутов), в которых были зафиксированы показатели сигнальной нагрузки, соответствующие различным комбинациям градаций фактора и явления.

Предваряя рассмотрение полученных результатов, необходимо указать, что в рамках анализа соответствий их статистическая достоверность определяется параметром «оценка качества решения» ($0 \leq Q \leq 1$). Таковая выражает качество представления соответствующей точки-строки в гипотетической координатной системе, определяемой выбранной размерностью. Следует подчеркнуть, что все выбранные варианты типов леса характеризуются высоким значением данного параметра (см. табл. 1). Степень влияния, присущая той или иной градации фактора, характеризуется «относительной инерцией» ($0 \leq RIN \leq 1$); она представляет долю общей инерции, принадлежащую данной точке (градации фактора), и не зависит от выбранной размерности.

Полученные результаты позволяют дополнительно отразить то значение, которое играют в распределении меток лисицы пойменные дубравы (RIN = 0,33, Q = 0,94), средневозрастные насаждения сосны (RIN = 0,17, Q = 0,89) и сосновые боры (RIN = 0,11, Q = 0,94) (см. табл. 1). В этих типах леса представлено от 3-х до 5-и выделенных градаций, включая «высокие» и «очень высокие» уровни *IMA*. Это позволяет рассматривать значительный объем внесения меток в этих БГЦ как устойчивую закономерность, а не как случайность. В свою очередь это свидетельствует о наличии там постоянных освоенных участков обитания лисицы и, соответственно, об активном их поддержании за счет территориальной маркировки.

Роль прочих типов лесных БГЦ в поддержании различных уровней маркировочной активности лисицы выражена значительно слабее ($RIN \leq 0{,}08$). Ее присутствие в них носит менее регулярный характер, вероятно, в большей степени связанный с транзитными либо исследовательскими перемещениями (с соответствующей интенсивностью внесения меток), чем с поддержанием постоянных индивидуальных участков.

Несмотря на то, что интенсивность маркировки оказывается специфичной в различных типах леса, в их освоении лисицей могут проявляться сходные черты. Для подтверждения этого предположения проведен кластерный анализ показателей маршрутных учетов; графическая интерпретация результатов в двухмерной статистической плоскости представлена на рис. 1.

По показателям маркировочной активности лисицы исследованные типы степных лесов можно разбить на пять групп (кластеров). Рассмотрим кратко состав и особенности каждого из них.

Кластеры № 1 и 2 являются моносоставными и включают, соответственно, пойменные дубравы (7,85% всех зарегистрированных меток) и сосновые боры (8,07%). Как уже отмечалось, эти типы леса имеют для лисицы важное значение: именно они по совокупности защитных свойств и ресурсного обеспечения благоприятствуют как жизнедеятельности отдельных особей, так и формированию популяционных группировок. Вместе с тем биогеоценотические особенности этих типов насаждений определяют формирование под их пологом совершенно несхожих условий обитания. Все это в целом детерминирует соответствующие показатели маркировочной активности, отличающиеся (в рамках кластерного анализа) не только от таковых для прочих БГЦ, но и между собой.

Кластер № 3 включает осинники, колки и насаждения лещины. Внесение в среду 8,97% экскреторных меток лисицы связано именно с этими типами лесных БГЦ (см. табл. 1).

Характеризуя их биогеоценотические особенности, необходимо, прежде всего, отметить, что колки представляют собой специфические формации – «островки» лесной растительности (дуб, осина, береза), локально произрастающие в понижениях на аренных террасах. В отношении осинников и орешников следует подчеркнуть, что в районе исследований эти насаждения не являются протяженными и также носят островной характер. Зачастую они располагаются на фоне более крупных массивов леса (например – осинники в пределах сосновых боров и искусственных сосновых посадок; насаждения лещины в пойменных дубравах). Кроме того, все эти лесные БГЦ характеризуются сравнительно низкорослым и, как правило, загущенным древостоем, формирующим хорошие защитные условия не только для самого хищника, но и для его жертв – мелких млекопитающих и птиц.

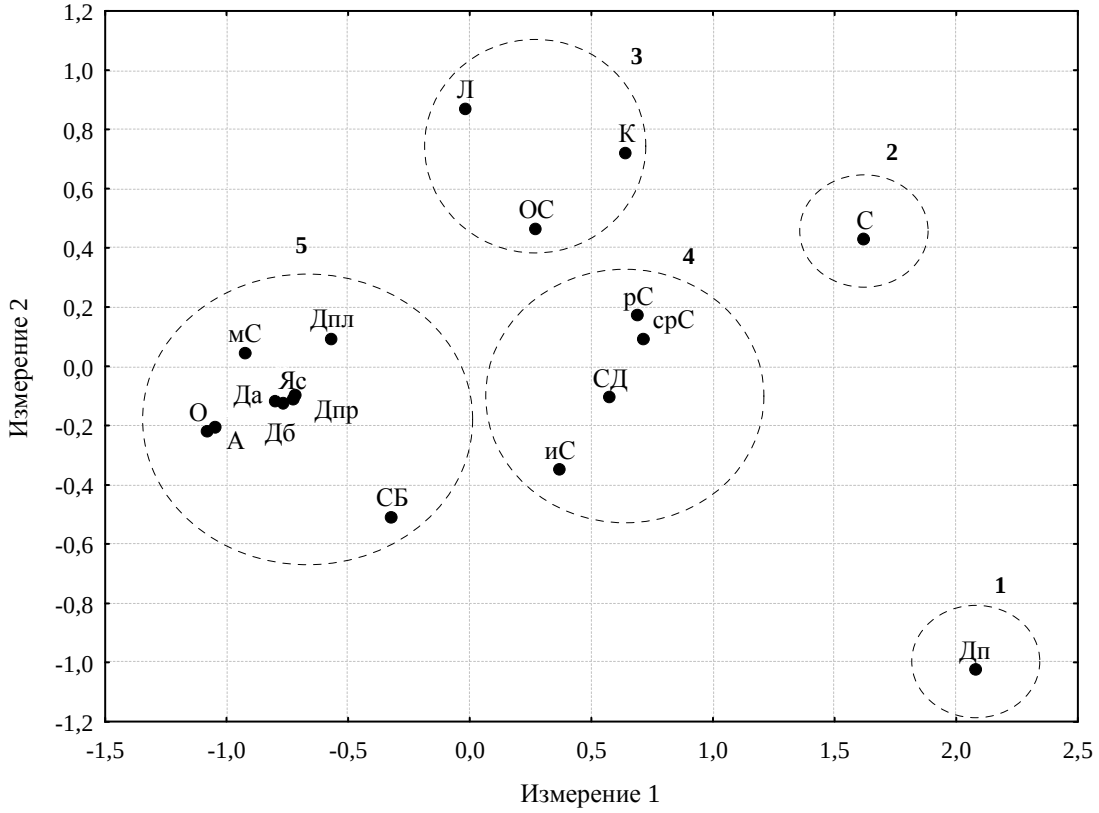


Рис. 1. Графическая интерпретация результатов кластерного анализа распределения экскреторных меток лисицы в различных типах степных лесов.

Примечания:

1 – цифры рядом с пунктирными контурами обозначают номера кластеров;

2 – типы БГЦ обозначены следующим образом: «Дб» – байрачные дубравы, «Дпл» – искусственные насаждения дуба, «Яс» – искусственные насаждения ясеня, «А» – искусственные насаждения акации, «Дпр» – пристенные дубравы, «Дп» – пойменные дубравы, «Л» – искусственные насаждения лещины, «О» – ольшаники, «СД» – судубравы, «СБ» – субори, «С» – сосновые боры, «мС» – молодые искусственные насаждения сосны, «срС» – средневозрастные искусственные насаждения сосны, «иС» – зрелые искусственные насаждения сосны, «Да» – аренные дубравы, «К» – березово-осиновые колки, «ОС» – осинники, «рС» – сосновое редколесье.

Кластер № 4 объединяет такие типы насаждений, как судубравы, зрелые и средневозрастные сосновые посадки, а также участки соснового редколесья. Эти аренные леса являются обычными стациями лисицы [7]. Вместе с тем указанные лесные БГЦ, несущие в своем облике выраженные бореальные черты, являются, пожалуй, наиболее нетипичными для степной зоны (отметим, что это также справедливо и для естественных сосняков в составе кластера № 2). Тем не менее, как и в сосновых борах (хотя и в несколько меньшей степени), здесь располагаются выводковые норы и временные убежища лисицы

(как правило, в заброшенных городках барсука). По нашим данным, именно в аренных стациях наиболее часто реализуется пищедобывательная активность хищника, направленная на поиск кладок болотной черепахи. В указанных насаждениях также осуществляются частые перемещения лисицы, в том числе по лесным дорогам, с которыми у хищных нередко совпадают границы индивидуальных участков. На грунтовых дорогах, просеках и противопожарных полосах мы нередко фиксировали одновременно по 3-4 следовые дорожки зверя, непрерывная протяженность которых могла достигать (не считая редких заходов под полог леса) 1,5-2 км; на этом расстоянии зачастую можно было обнаружить 6-7 кучек помета, оставленных в разное время.

Соответствующие показатели интенсивности внесения в среду экскреторных меток определяют группирование этих БГЦ в рамках одного кластера, который, в свою очередь, служит наглядной иллюстрацией степени освоения лисицей экстразональных лесов степной зоны юго-востока Украины. В них зарегистрирован широкий диапазон показателей *IMA* (0,27-1,37 мет./км, см. табл. 1); в общей сложности они определяют биогеоценотическое распределение 25,77 % экскреторных меток лисицы.

Все плакорные лесные насаждения включены в кластер № 5; в меньшей степени здесь представлены аренные (субори, молодые сосновые насаждения, аренные дубравы) и пойменные леса (ольшаники). В целом можно сказать, что данная группа БГЦ охватывает условия обитания лисицы, отличающиеся от таковых в лесных насаждениях, отнесенных к предыдущим кластерам; их особенности можно кратко охарактеризовать следующим образом.

Различные типы плакорных лесов зачастую произрастают смежно, формируя своеобразные экологические сети, объединяющие, например, естественные байрачные леса и сохранившиеся системы лесных полос. Тем не менее из-за значительной фрагментированности (степень которой особенно возросла в последнее десятилетие) их также следует рассматривать в качестве островных. Как правило, они со всех сторон окружены агроценозами, значительно реже – сохранившимися степными участками и испытывают значительную ксерофитизацию.

Напротив, ольшаники (сохранившиеся, например, в притеррасной пойме р. Самара на территории Новомосковского р-на) произрастают в гигрофильных и даже ультрагигрофильных позициях. В этих условиях маркировочная активность лисицы является наименее интенсивной среди всех исследованных БГЦ (0,13±0,04 мет./км).

В аренных галофитных дубравах местообитания лисицы значительно отличаются от таковых в пойменных дубравных БГЦ (хотя расстояние между ними, например, в пределах Самарского леса может составлять всего 1,5-2 км). Поведенческие реакции животных в этих условиях также являются дифференцированными и выражаются степенью предпочтения соответствующих биотопов, длительностью пребывания в них и характером активности. Показательным является сравнение величин *IMA* и статистики относительной инерции (см. табл. 1): если в пойменных дубравах были зарегистрированы 4 из 5-и уровней маркировочной активности, то на маршрутах в аренных дубравах этот показатель соответствовал лишь «очень низкой» и «низкой» градациям. Это позволяет сделать вывод, что для лисицы в дубравных БГЦ значимо не только доминирование определенной древесной породы, но и режим гигротопа. Исследованные пойменные дубравы относятся к мезофильным и гигромезофильным условиям, тогда как аренные – к ксеромезофильным. В свою очередь это определяет соответствующую экологическую специфику местообитаний (структура древостоя, световой режим насаждений, состав травяного покрова, видовой состав фауны) и, как следствие, – их различия по качеству защитных свойств и состоянию кормовой базы.

Специфичными являются и биотопы в молодых посадках сосны: несомкнутый низкорослый древостой практически не создает в них лесного полога, но из-за загущенности они обладают неплохими защитными свойствами. Маркировочная активность зверя здесь

является даже более интенсивной, чем в суборях, судубравах и зрелых насаждениях сосны (см. табл. 1).

В составе этого биогеоценотического кластера субори, пожалуй, в наибольшей степени стоят «особняком». Формируемые в их границах местообитания лисицы по комплексу экологических условий соответствуют таковым в большинстве аренных лесов (как видно на рисунке 1, расположение суборей наиболее приближено к кластеру № 4).

Ошибочно было бы считать, что последний, 5-й кластер формируется по принципу «все, что осталось». Для лисицы эти насаждения не являются «бросовыми землями»; напротив, их биогеоценотическое разнообразие определяет достаточно благоприятные условия обитания (особенно в байрачных системах). В указанных 9-и типах леса распределена почти половина (49,33%) всех элементов территориальной маркировки зверя.

Таким образом, для всех выделенных кластеров можно отметить черты определенной экологической специфичности. Отражением этого являются характерные количественные параметры маркировочного поведения лисицы. Вместе с тем необходимо помнить, что каждый исследованный тип насаждений в реальности существует – и должен рассматриваться – лишь в рамках общего биогеоценотического континуума лесов, произрастающих на фоне зонального, степного окружения. Полученные нами материалы не позволяют говорить о строгом совпадении территориальных участков лисицы с контурами отдельных лесных БГЦ: в условиях района исследований местообитания зверя всегда охватывают целый комплекс лесных насаждений. Более того, маркирование территории само по себе не детерминируется ни типом лесного насаждения, ни наличием лесной обстановки как таковой: рассчитанный коэффициент информационной связи свидетельствует, что фактор «тип леса» определяет лишь 0,37% варьирования интенсивности маркировки. Активность лисицы всегда реализуется в разнообразных биотопах и приурочена не только к лесным насаждениям, но и к степным участкам, агроценозам и окрестностям поселений человека [7, 9].

Тем не менее анализ поведенческих реакций лисицы (понимание которых дает изучение маркировочной активности) позволяет констатировать наличие дифференцированного отношения к различным типам лесных насаждений. На наш взгляд, это характеризует, скорее, развитую способность данного вида к оценке информации из окружающей среды, чем строгую приуроченность жизнедеятельности к отдельным БГЦ. Это представляется вполне логичным: именно для изученного представителя сем. Canidae характерна не только активная маркировочная деятельность в частности, но и, в целом, наибольшая интенсивность информационных контактов со средой, осуществляемых в рамках разнообразных форм поведения (территориального, репродуктивного, маркировочного, пищедобывательного, исследовательского) [1-4, 7, 9, 16-18, 20, 21].

Разумеется, наличие биогеоценотических аспектов распределения экскреторных меток не подразумевает существование у животных сознательных намерений «столбить территорию». Действительно, нахождение лисицы под пологом дубового (акациевого, березового и т. д.) насаждения само по себе не только не инициирует оставление метки как атрибута занятой территории, но даже не может определять частоту осуществления дефекации (не лишним будет напомнить, что бихевиористский тезис о жесткой детерминированности поведения внешними факторами не раз подвергался справедливой критике). Оставление хищными млекопитающими запаховых и визуальных меток – это закрепленный этологический стереотип, сопровождающий осуществление территориального поведения и не зависящий напрямую ни от разнообразия условий обитания, ни от степени освоения этих условий.

Маркировочная активность лисицы детерминируется экологическими факторами лишь опосредованно. При этом система маркировки территории складывается естественным образом – как результат оценки существующих экологических условий и освоения участка – если эти условия оказываются благоприятными для жизнедеятельности. Результат этот достигается за счет формирования совокупности меток, которая обладает определенными

свойствами – пространственными (степень рассеяния/агрегирования маркировочных сигналов, их приуроченность к элементам местообитаний) и временны́ми (длительность сигнального функционирования меток, частота их возобновления).

Выводы

В условиях экстразональных степных лесов юго-востока Украины маркировочная активность лисицы составляет устойчивую форму ее территориального поведения, что соответствует экологической и этологической характеристике данного вида в различных частях ареала. Однако ни тип лесного БГЦ, ни наличие лесной обстановки как таковой не являются детерминантами приуроченности участков обитания зверя и характера территориальной маркировки в их пределах. Тем не менее в распределении экскреторных меток в лесных насаждениях можно выделить ряд закономерностей, свидетельствующих о существовании избирательных реакций лисицы на неоднородность среды обитания.

Биогеоценотические аспекты маркировочного поведения лисицы характеризуются значительным разнообразием освоенных лесных БГЦ и достаточно равномерным распределением в них меток. В районе исследований местообитания зверя всегда охватывают целый комплекс лесных насаждений. Вместе с тем экологические условия каждого типа леса воспринимаются этим хищником дифференцированно, что опосредованным образом определяет достоверные различия интенсивности внесения территориальных меток. Наиболее высокие и устойчивые показатели маркировочной активности соответствуют оптимальным условиям обитания лисицы в естественных сосновых борах, средневозрастных сосновых посадках, искусственных насаждениях ясеня, а также в дубравных БГЦ различной ландшафтной приуроченности.

Таким образом, в условиях степной зоны Украины этот экологически пластичный вид способен активно осваивать экстразональные лесные биотопы, что сопровождается формированием постоянных освоенных участков обитания, поддержание которых достигается на основе развитой системы экскреторной маркировки.

Список литературы

1. *Баскин Л. А.* Зоосоциология млекопитающих с преимущественно групповой структурой популяций / Л. А. Баскин // Структура популяций у млекопитающих. – М.: Наука, 1991. – С. 21–64.

2. *Белкин В. В.* Некоторые аспекты освоения лисицей новых угодий / В. В. Белкин // Тез. докл. V съезда Всесоюз. териол. общ-ва АН СССР (Москва, 29.01–02.02.1990 г.). – М.: Наука, 1990. – Т. 2. – С. 59–60.

3. *Вайсфельд М. А.* Красная лисица / М. А. Вайсфельд // Песец, лисица, енотовидная собака. – М. : Наука, 1985. – С. 73–115.

4. *Владимирова Э. Д.* Коммуникативная составляющая информационных сигнальных полей лисицы / Э. Д. Владимирова // Вестник СамГУ. Естественнонауч. серия. – 2002. – № 4. – С. 145–156.

5. *Корытин С. А.* Поведение и обоняние хищных зверей / С. А. Корытин. – М.: МГУ, 1979. – 224 с.

6. *Лакин Г. Ф.* Биометрия / Г. Ф. Лакин. – М. : Высш. шк., 1990. – 352 с.

7. *Михеев А. В.* Биотопическая характеристика информационного поля лисицы в лесных экосистемах степной зоны Украины / А. В. Михеев // Питання степового лісознавства та лісової рекультивації земель. – 2002. – Вип. 6. – С. 128–133.

8. *Михеев А. В.* Временна́я характеристика следов жизнедеятельности млекопитающих в условиях степных лесов Украины / А. В. Михеев // Вісник Донецького національного ун-ту. Сер. А : Природничі науки. – 2008 а. – Вип. 2. – С. 374–381.

9. *Михеев А. В.* Следовая активность лисицы в степных лесах в условиях снежного покрова / А. В. Михеев // Вісник Дніпропетровського ун-ту. Біол., екол. – 2008 б. – Вип. 16. – Т. 2. – С. 91–98.

10. *Наумов Н. П.* Сигнальные (биологические) поля и их значение для животных / Н. П. Наумов // Журн. общей биол. – 1973. – Т. 34, № 6. – С. 808–817.

11. *Нешатаев Ю. Н.* Методы анализа геоботанических материалов / Ю. Н. Нешатаев. – Л.: ЛГУ, 1987. – 188 с.

12. *Песенко Ю. А.* Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях / Ю. А. Песенко. – М. : Наука, 1982. – 287 с.

13. *Рожнов В. В.* Опосредованная коммуникация млекопитающих: о смене парадигмы и новом концептуальном подходе в исследовании маркировочного поведения / В. В. Рожнов // Зоол. журн. – 2004. – Т. 83, № 2. – С. 132–158.

14. *Ружіленко Н. С.* Пристосування хижих ссавців-норників до проживання в різних стаціальних умовах / Н. С. Ружіленко // Сучасні проблеми зоологічної науки: матер. Всеукр. наук. конф. (Київ, Канів, 16–19.09.2004). – К. : ВПЦ «Київський університет», 2004. – С. 150–152.

15. *Тыщенко В. П.* Сигнальное действие экологических факторов / В. П. Тыщенко // Журн. общей биол. – 1980. – Т. 4, № 5. – С. 655–667.

16. *Фокина М. Е.* Анализ информационно-знаковых полей енотовидной собаки (*Nyctereutes procyonoides* Gray) и лисицы обыкновенной (*Vulpes vulpes* L.) (на примере национального парка «Самарская Лука»): автореф. дис. ... канд. биол. наук / М. Е. Фокина. – Тольятти, 2006. – 19 с.

17. *Цибуляк Т. П.* Использование территории лисицами / Т. П. Цибуляк // Тез. докл. IV съезда Всесоюз. териол. общ-ва АН СССР (Москва, 27–31.01.1986 г.). – М., 1986. – Т. 1. – С. 371–372.

18. *Cavallini P.* Environmental factors influencing the use of habitat in the red fox, *Vulpes vulpes* / P. Cavallini, S. Lovari // Journal of Zoology. – 1991. – Vol. 223, № 2. – P. 323–339.

19. *Gorman M. L.* Scent marking strategies in mammals / M. L. Gorman // Rev. Suisse Zool. – 1990. – Vol. 97, № 1. – P. 3–30.

20. *Molsher R. L.* Temporal, spatial and individual variation in the diet of red foxes (*Vulpes vulpes*) in central New South Wales / R. L. Molsher, E. J. Gifford, J. C. McIlroy // Wildlife Research. – 2000. – Vol. 27, № 6. – P. 593–601.

21. *Mukherjee S.* Patch use in time and space for a meso-predator in a risky world / S. Mukherjee, M. Zelcer, B. P. Kotler // Oecologia. – 2009. – Vol. 159, № 3. – P. 661–668.

22. *Sargeant G. A.* Sampling designs for carnivore scent-station surveys / G. A. Sargeant, D. H. Johnson, W. E. Berg // Journal of Wildlife Management. – 2003. – Vol. 67, № 2. – P. 289–298.

Міхєєв О. В. **Біогеоценотичні аспекти екскреторного маркірування лисиці *Vulpes vulpes* (Mammalia, Canidae) в лісових екосистемах південно-сходу України.** – Інтенсивність маркіруючої активності лисиці в різних типах степових лісів складає в середньому 0,57±0,08 міток/км маршруту. Якісний спектр лісових місцеперебувань, що маркіруються, характеризується високими значеннями індексів різноманіття (H = 3,96, U = 0,95). Разом з тим екологічні умови кожного типу лісу сприймаються цим хижаком диференційовано, що опосередковано визначає достовірні розходження інтенсивності внесення міток.

Ключові слова: маркіруюча активність, сліди життєдіяльності, біотопічний розподіл, поведінкова екологія, хижі ссавці, лісові екосистеми.

Mikheyev A. V. **Biogeocenotical aspects of red fox *Vulpes vulpes* (Mammalia, Canidae) excretory marking in forest ecosystems of the southeast of Ukraine.** – Intensity of the red fox marking activity in different types of steppe forests averages 0,57±0,08 marks/km. The qualitative spectrum of marked forest habitats are characterized by high values of diversity indexes (H = 3,96, U = 0,95). At the same time this carnivore accepts ecological conditions of each forest type differently, that indirectly defines authentic differences of marking intensity.

Key words: marking activity, signs, biotopical distribution, behavioral ecology, carnivore mammals, forest ecosystems.

УДК 598.2

© Д. В. Пилипенко

ГНЕЗДЯЩИЕСЯ ПТИЦЫ БАЙРАЧНЫХ ЛЕСОВ ДОНЕЦКОЙ ОБЛАСТИ

Донецький національний університет: 83050, м. Донецьк, вул. Щорса, 46, к. 318
e-mail: dmpilipenko@mail.ru

Пилипенко Д. В. **Гнездящиеся птицы байрачных лесов Донецкой области. –** Байрачные леса в Украине располагаются преимущественно на юго-востоке. Являясь интересными и по-своему уникальными биотопами, они, как и раньше, мало изучены. Наши исследования проводились начиная с 2002 г. Всего было выявлено 63 вида птиц, которые гнездятся или предположительно гнездятся в этих лесах, из них 62 вида – в байрачных лесах Донецкого кряжа и 40 в байрачных лесах Приазовской возвышенности.

Ключевые слова: птицы, байрачные леса, Донецкий кряж, Приазовская возвышенность.

Введение

На юго-востоке Украины и, в частности, в Донецкой области байрачные леса располагаются преимущественно на Донецком Кряже, который в пределах Донецкой области охватывает ее северо-восточную и частично северо-западную части, хотя отдельные лесные массивы проникают гораздо южнее. Так, несколько байрачных лесков находятся на северо-восточных склонах Приазовской возвышенности. Административно это территория Тельмановского района Донецкой области, и это, по всей видимости, самая южная точка распространения естественных лесов в регионе.

Байрачные леса привлекали внимание орнитологов, но исследования в них проводились сравнительно мало. В 1949 г. на юге Украины В. И. Таращуком [12] изучалась орнитофауна различных лесов. Исследования охватывали преимущественно искусственные лесонасаждения, но в работе есть данные и о естественных лесах, но, к сожалению, из общего видового списка, приводимого автором, трудно вычленить виды, отмеченные именно в байрачных лесах. Несколько позже, в 1952 г., экспедиция ХГУ под руководством проф. И. Б. Волчанецкого [5] проводила исследования лесов в бассейне р. Северский Донец, в том числе и байрачных лесов Донецкого кряжа. Более поздняя работа Т. А. Атемасовой с соавторами [2] об орнитофауне байрачных лесов в среднем течении Северского Донца касается уже Среднерусской возвышенности лесостепной зоны. Кроме того, имеется ряд работ [1, 3, 4, 6], посвященых хищным птицам, как в целом группе, так и отдельным видам, встречающимся в том числе и в байрачных лесах.

Таким образом, байрачные леса, являясь интереснейшими и по-своему уникальными биотопами, по-прежнему мало изучены.

Характеристика места исследований

Изучаемые байрачные леса находятся, согласно физико-географическому районированию Украины [10], в разных провинциях степной зоны. Более южные – в Кальчик-Кальмиусском районе, области Приазовской возвышенной степи, Левобережно-Днепровско-Приазовской северостепной провинции или на Приазовской возвышенности, и более северные в области Донецкой возвышенной степи или на Донецком кряже.

Приазовская возвышенная степь занимает центральную и северную часть Приазовских степей. Здесь хорошо развита овражно-балочная система, занимающая до 40% площади возвышенности. На южных и юго-восточных склонах возвышенности глубина эрозийного вреза достигает 80 м. Именно в таких балках, по дну которых протекают ручьи, и сохранились, в небольшом числе, байрачные леса. Один из таких лесных оазисов находится в окрестностях с. Старогнатовка, по руслу одного из безымянных притоков р. Кальмиус. Лесообразующими породами в них, как и во всех байрачных лесах региона, выступают дуб черешчатый и ясень обыкновенный. В качестве сопутствующих выступают клен полевой, клен татарский, груша обыкновенная и ряд других пород. Данные лесные массивы небольшие по площади. Их протяженность колеблется от 1 до 2 км, а ширина не превышает 400-500 м. Между байраками находятся целинные участки степи с выходами гранитов,

используемые под пастбища и агроценозы. Вдоль западной опушки одного из них тянется искусственный лес, состоящий преимущественно из сосны обыкновенной 10-15-летнего возраста, а вдоль северной опушки другого – акациевая посадка. В работе В. И. Таращука [12] есть указание на эти леса, причем в тот период, со слов автора, они представляли собой приблизительно 35-летнюю поросль, достигающую 6-8 м высотой. Вероятнее всего, в них проводились выборочные рубки, поэтому и сложилось такое впечатление о лесе. Сейчас в этих лесах достаточно много старых дубов семенного происхождения возрастом 80-100 и более лет.

Донецкая возвышенная степь находится на крайнем востоке Украины, охватывает центр и восток Донецкой и юг Луганской областей. В этой области значительно развиты долинно-балочные ландшафты. Долины Донецкой возвышенности часто имеют горный характер. Для склоновых местностей характерны байрачные леса – очень сухие и сухие дубравы с дубом черешчатым, ясенем обыкновенным, вязом, грушей, в подлеске произрастают клены полевой и татарский, бересклеты, боярышник. Очень часто по опушкам в виде бордюра тянутся куртины терна. В Грабовой балке (верховья р. Миус) находится крайний восточный участок естественного произрастания граба. В поймах крупных рек и их притоков находятся пойменные дубравы, где кроме перечисленных пород произрастают ольха черная, различные породы ив и тополей. Во многих байрачных лесах протекают ручьи, большинство из которых в течение лета пересыхают.

Материал и методы исследования

Изучение орнитофауны байрачных лесов Приазовской возвышенности проводилось в мае 2007 г. и в июне и августе 2009 г. посредством однодневных экскурсий, на которых выявлялся видовой состав. Так как эти леса небольшие, за одну экскурсию представлялось возможным пройти практически их все. Во время таких экскурсий проводился и маршрутный учет с нефиксированной полосой учета, которая, как правило, не превышала 50 м. Данные о птицах байрачных лесов Донецкого кряжа были собраны нами начиная с 2002 г. Частично этот материал был опубликован [9], но в дальнейшем он был существенно дополнен, в том числе и рядом новых находок. Исследования охватили практически все сезоны года, но в данной работе нами рассматривается только весенне-летнее население птиц данного типа леса. Учеты здесь проводились по той же методике, что и в байрачных лесах Приазовской возвышенности. Сведения о гнездящихся и предположительно гнездящихся видах птиц представлены в табл. 1.

Результаты и обсуждение

Непосредственно в байрачных лесах Приазовской возвышенности было выявлено 40 видов птиц (см. табл. 1), относящихся к 6 отрядам: соколообразные – 3 вида, голубеобразные – 3 вида, кукушкообразные – 1 вид, удодообразные – 1 вид, дятлообразные – 3 вида и воробьинообразные – 29 видов. В байрачных лесах Донецкого кряжа отмечено 63 вида, относящихся к 10 отрядам: соколообразные – 7 видов, курообразные – 2 вида, голубеобразные – 2 вида, кукушкообразные – 1 вид, совообразные – 3 вида, козодоеобразные – 1 вид, удодообразные – 1 вид, ракшеобразные – 1 вид, дятлообразные – 6 видов и воробьинообразные – 39 видов.

Таблица 1

Виды птиц, выявленные в байрачных лесах

№ п/п	Вид	Таращук, 1953	Волчанецкий и др., 1954	Атемасова и др., 2005	Байрачные леса ДК	Байрачные леса ПВ
1	*Pernis apivorus*	-	-	-	ПГн	-
2	*Milvus migrans*	+	+	-	Гн	-
3	*Circus macrourus*	+	-	-	-	-
4	*Accipiter nisus*	-	+	-	ПГн	-
5	*Accipiter gentilis*	-	+	-	Гн	Гн

№ п/п	Вид	Таращук, 1953	Волчанецкий и др., 1954	Атемасова и др., 2005	Байрачные леса ДК	Байрачные леса ПВ
6	*Buteo rufinus*	-	-	+	Гн	-
7	*Buteo buteo*	+	+	+	Гн	Гн
8	*Circaetus gallicus*	-	+	-	-	-
9	*Hieraaetus pennatus*	-	-	+	Гн	Гн
10	*Falco cherug*	+	-	-	-	-
11	*Falco vespertinus*	+	+	-	-	-
12	*Falco subbuteo*	+	+	-	-	-
13	*Falco naumanni*	-	+	-	-	-
14	*Falco tinnunculus*	+	+	-	-	-
15	*Perdix perdix*	+	+	-	Гн	-
16	*Phasianus colchicus*	+	-	-	Гн	-
17	*Columba palumbus*	+	+	+	Гн	Гн
18	*Columba oenas*	+	+	-	-	-
19	*Streptopelia decaocto*	-	-	-	-	ПГн
20	*Streptopelia turtur*	+	+	+	Гн	Гн
21	*Cuculus canorus*	+	+	+	Гн	Гн
22	*Asio otus*	+	+	-	Гн	-
23	*Asio flammeus*	+	-	-	-	-
24	*Bubo bubo*	+	-	-	-	-
25	*Otus scops*	+	+	-	Гн	-
26	*Strix aluco*	+	-	+	Гн	-
27	*Apus apus*	-	+	-	-	-
28	*Caprimulgus caprimulgus*	+	-	-	Гн	-
29	*Upupa epops*	+	-	+	Гн	Гн
30	*Coracias garrulus*	+	+	-	-	-
31	*Alcedo atthis*	-	-	-	Гн	-
32	*Merops apiaster*	-	+	-	-	-
33	*Jynx torquilla*	+	+	+	Гн	Гн
34	*Picus canus*	-	-	-	Гн	Гн
35	*Dendrocopos major*	+	+	+	Гн	Гн
36	*Dendrocopos syriacus*	-	-	-	Гн	-
37	*Dendrocopos medius*	-	-	+	Гн	-
38	*Dendrocopos minor*	-	+	+	Гн	-
39	*Lullula arborea*	-	-	+	Гн	-
40	*Antus campestris*	+	-	-	-	-
41	*Antus trivialis*	+	+	+	Гн	Гн
42	*Motacilla alba*	+	+	-	Гн	Гн
43	*Lanius collurio*	+	+	+	Гн	Гн
44	*Lanius minor*	+	+	-	-	-
45	*Oriolus oriolus*	+	+	+	Гн	Гн
46	*Sturnus vulgaris*	+	+	+	Гн	Гн
47	*Garrulus glandarius*	+	+	+	Гн	Гн
48	*Pica pica*	+	+	-	-	-
49	*Corvus monedula*	+	+	-	-	-
50	*Corvus frugilegus*	+	+	-	-	-
51	*Corvus cornix*	+	+	-	Гн	-
52	*Corvus corax*	+	+	+	Гн	Гн
53	*Acrocephalus palustris*	-	+	-	-	-
54	*Hippolais icterina*	+	+	-	ПГн	-
55	*Sylvia atricapilla*	+	+	+	Гн	Гн
56	*Sylvia nisoria*	+	+	+	Гн	Гн
57	*Sylvia borin*	+	+	+	Гн	Гн
58	*Sylvia curruca*	-	+	-	Гн	Гн
59	*Sylvia communis*	+	+	+	Гн	Гн
60	*Phylloscopus collybita*	+	+	+	Гн	-
61	*Phylloscopus trochilus*	+	+	-	ПГн	-
62	*Phylloscopus sibilatrix*	+	+	+	Гн	Гн
63	*Phylloscopus trochiloides*	-	-	+	-	-

№ п/п	Вид	Таращук, 1953	Волчанецкий и др., 1954	Атемасова и др., 2005	Байрачные леса ДК	Байрачные леса ПВ
64	*Muscicapa striata*	+	+	-	Гн	-
65	*Ficedula parva*	+	+	+	Гн	-
66	*Ficedula albicollis*	-	+	+	Гн	Гн
67	*Saxicola rubetra*	+	-	+	-	-
68	*Erithacus rubecula*	+	+	+	Гн	Гн
69	*Luscinia luscinia*	+	+	+	Гн	Гн
70	*Turdus merula*	+	+	+	Гн	Гн
71	*Turdus philomelos*	+	+	+	Гн	Гн
72	*Aegithalos caudatus*	+	-	+	-	-
73	*Remiz pendulinus*	-	-	-	Гн	Гн
74	*Parus caeruleus*	+	+	+	Гн	Гн
75	*Parus palustris*	-	+	+	Гн	-
76	*Parus major*	+	+	+	Гн	Гн
77	*Sitta europaea*	-	+	+	Гн	-
78	*Certhia familiaris*	-	+	+	Гн	-
79	*Passer montanus*	+	+	+	Гн	Гн
80	*Fringilla coelebs*	+	+	+	Гн	Гн
81	*Chloris chloris*	+	+	+	Гн	Гн
82	*Carduelis carduelis*	+	+	+	Гн	Гн
83	*Acanthis cannabina*	+	+	-	Гн	Гн
84	*Carpodacus erythrinus*	+	+	-	-	-
85	*Coccothraustes coccothraustes*	+	+	+	Гн	Гн
86	*Emberiza calandra*	+	+	-	-	-
87	*Emberiza citrinella*	+	+	+	Гн	Гн
88	*Emberiza melanocephala*	+	+	-	-	-
89	*Emberiza hortulana*	+	+	+	Гн	Гн
Всего видов		65	67	46	63	40

Примечание. «+» – вид отмечался, Гн – вид гнездится, ПГн – вид предположительно гнездится, ДК – Донецкий кряж, ПВ – Приазовская возвышенность.

Из приведенного выше списка видно, что в байрачных лесах Приазовской возвышенности встречается меньшее количество видов, что объясняется рядом факторов. Во-первых, количество таких лесов несравнимо мало. При анализе различных топографических карт нам удалось обнаружить только четыре описываемых байрака. Площади этих лесов также достаточно малы. Они находятся на значительном удалении от крупных искусственных лесов – таких, как Великоанадольский, по прямой около 20 км, и от сети байрачных лесов Донецкого кряжа, это уже около 60 км по прямой.

Сравнивая видовой состав, мы видим, что в них встречаются преимущественно обычные, широкораспространенные виды, за исключением некоторых.

Орел-карлик (*Hieraaetus pennatus* Gmelin, 1788), имея тенденцию к расширению гнездового ареала, в последние годы (2008-2009 гг.) появился на гнездовании и здесь.

Кольчатая горлица (*Streptopelia decaocto* Frivaldszky, 1838) нами охарактеризована как предположительно гнездящийся вид на основании встречи птиц, в том числе и токующего самца, непосредственно в самом лесу, но в тоже время сравнительно недалеко от населенного пункта. Участок леса, где был выявлен этот вид, сильно изменен. Здесь выпасают скот, и сам лес сильно разрежен, в нем отсутствует подлесок и подрост, а основной лесообразующей породой выступает клен полевой. Это не первый случай встреч этого вида в гнездовой период не в населенных пунктах. Так, нами отмечен токующий самец в Азовской лесной даче [8] и в одной из лесополос встречена пара птиц. Эти наблюдения позволяют нам предположить, что вид постепенно начинает осваивать леса.

Седой дятел (*Picus canus* Gmelin, 1788) отмечался во многих байрачных лесах, в том числе и на Приазовской возвышенности. Здесь этот вид, как, впрочем, и везде, немногочислен и, как правило, приурочен к байракам, где по их днищам протекают непересыхающие ручьи.

Ремез (*Remiz pendulinus* Linnaeus, 1758) отмечен в низине одного из байраков, где последний переходит в необлесенную пойму.

В байрачных лесах Донецкого кряжа выявлен 61 вид. Ниже мы остановимся на наиболее интересных для данного биотопа видах.

За счет большего числа отдельных лесных урочищ и соответственно общей площади здесь встречается большее количество дневных хищных птиц. Кроме видов, приведенных для Приазовской возвышенности, гнездятся черный коршун (*Milvus migrans* Boddaert, 1783), курганник (*Buteo rufinus* Cretzschmar, 1827), предположительно гнездятся осоед (*Pernis apivorus* Linnaeus, 1758) и перепелятник (*Accipiter nisus* Linnaeus, 1758). И если перепелятник (*A. nisus*) отмечается сравнительно часто и практически ежегодно, то осоед (*P. apivorus*) впервые выявлен в 2009 г.

Регулярно отмечается фазан (*Phasianus colchicus* Linnaeus, 1758) и несколько реже – серая куропатка (*Perdix perdix* Linnaeus, 1758). Эти виды, как правило, встречаются по границе с другими биотопами. В принципе эти виды встречаются и в Приазовье, но нами они отмечались там уже за пределами байрачных лесов и поэтому не внесены в общий список.

Так как в байрачных лесах Донецкого кряжа исследования проводились дольше, здесь были выявлены три вида сов: ушастая (*Asio otus* Linnaeus, 1758), сплюшка (*Otus scops* Linnaeus, 1758) и серая неясыть (*Strix aluco* Linnaeus, 1758), а также козодой (*Caprimulgus caprimulgus* Linnaeus, 1758).

Зимородок (*Alcedo atthis* Linnaeus, 1758) найден на гнездовании в байрачных лесах, где по днищам балок протекают ручьи и имеются небольшие обрывы, а рядом места для охоты: реки, пруды и т. д.

Из дятлов, кроме встречающихся в байраках Приазовской возвышенности, здесь гнездятся сирийский (*Dendrocopos syriacus* Hemprich et Ehrenberg, 1833), средний (*Dendrocopos medius* Linnaeus, 1758) и малый (*Dendrocopos minor* Linnaeus, 1758).

В некоторых байрачных лесах, точнее на их опушках, отмечен лесной жаворонок (*Lullula arborea* Linnaeus, 1758). Хотя этот вид гораздо чаще встречается в молодых, усыхающих искусственных широколиственных лесах и молодых сосняках.

Теньковка (*Phylloscopus collybita* Vieillot, 1817), которая не выявлена в байраках Приазовской возвышенности, что очень странно, так как в них много подходящих мест для гнездования, а вид легко выявляется и встречается практически во всех типах лесов региона, на Донецком кряже обычна. Весничка (*Phylloscopus trochiloides* Linnaeus, 1758) довольно обычна на пролете, но в гнездовой период ее численность значительно уменьшается.

Немногочисленна, но встречается довольно регулярно серая мухоловка (*Muscicapa striata* Pallas, 1764). Малая мухоловка (*Ficedula parva* Bechstein, 1794) выявлена на гнездовании в 2004 г., когда этот вид активно проявился во многих лесах Донецкой области, хотя в целом она здесь редка.

Черноголовая гаичка (*Parus palustris* Linnaeus, 1758) гнездится только в байрачных лесах на севере региона, где они располагаются недалеко от пойменных лесов р. Северский Донец. Этот вид вообще не характерен для байраков Донецкого кряжа и проникает в них через сеть пойменных лесов.

Поползень (*Sitta europaea* Linnaeus, 1758) в последние годы расширяет свой гнездовой ареал на юг и сейчас встречается во многих байрачных лесах Донецкого кряжа. Хотя его численность на северных склонах заметно выше, нежели на южных, где он появился совсем недавно. Впервые здесь этот вид был выявлен зимой 2002-2003 гг., а уже в 2003 г. встречен в гнездовой период и с каждым годом его численность возрастает. Пищуха (*Certhia familiaris* Linnaeus, 1758) обычный, но малочисленный вид в байрачных лесах Донецкого кряжа, и, возможно, она гнездится и на Приазовской возвышенности, но в силу своей редкости не была выявлена. Во всяком случае, этот вид гнездится во многих старых искусственных лесах Приазовья [7, 8].

При сравнении современного видового состава с таковым полувековой давности [5, 12] видно, что в нем отсутствует ряд видов. В первую очередь необходимо выделить виды

нехарактерные для лесов вообще, но указанные в работах. Это степной лунь (*Circus macrourus* S. G. Gmelin, 1771), болотная сова (*Asio flammeus* Pontoppidan, 1763), золотистая щурка (*Merops apiaster* Linnaeus, 1758), полевой конек (*Antus campestris* Linnaeus, 1758), болотная камышовка (*Acrocephalus palustris* Bechstein, 1798), луговой чекан (*Saxicola rubetra* Linnaeus, 1758) и просянка (*Emberiza calandra* Linnaeus, 1758). Эти виды встречаются в регионе, но не гнездятся в байрачных лесах. Ряд видов, указанных для Провальской степи, – змееяд (*Circaetus gallicus* Gmelin, 1788), степная пустельга (*Falco naumanni* Fleischer, 1818) и черноголовая овсянка (*Emberiza melanocephala* Scopoli, 1769), – в настоящее время в лесах Донецкой области не гнездятся, так же как балобан (*Falco cherug* Gray, 1834) и клинтух (*Columba oenas* Linnaeus, 1758), а филин (*Bubo bubo* Linnaeus, 1758) достоверно гнездится только в долине р. Северский Донец. Ряд видов в последние годы стали гнездиться в других типах лесов. В первую очередь это мелкие сокола: кобчик (*Falco vespertinus* Linnaeus, 1758), чеглок (*Falco subbuteo* Linnaeus, 1758) и обыкновенная пустельга (*Falco tinnunculus* Linnaeus, 1758), врановые: сорока (*Pica pica* Linnaeus, 1758), галка (*Corvus monedula* Linnaeus, 1758) и грач (*Corvus frugilegus* Linnaeus, 1758) и чернолобый сорокопут (*Lanius minor* Gmelin, 1788). Все эти птицы гораздо чаще встречаются в лесополосах и небольших лесочках, как правило, искусственных, хотя исключать вероятность их гнездования в байраках нельзя. Черный стриж (*Apus apus* Linnaeus, 1758) и сизоворонка (*Coracias garrulus* Linnaeus, 1758), вероятно, в прошлом гнездились в лесах, но сейчас это явление редкое. Черный стриж (*A. apus*) иногда гнездится в искусственных дуплянках [11] и естественных дуплах. Сизоворонка (*C. garrulus*) в настоящее время в качестве дуплогнездника уже не встречается, хотя как склерофил этот вид в регионе гнездится. Такие виды, как зеленая пересмешка (*Hippolais icterina* Vieillot, 1817) и чечевица (*Carpodacus erythrinus* Pallas, 1770) в регионе довольно редкие, гнездятся в разнообразных лесах, но, как правило, спорадически. Более регулярно зеленая пересмешка (*H. icterina*) встречается в пойме р. Северский Донец, а чечевица (*C. erythrinus*) – и в некоторых молодых искусственных посадках. Непосредственно в байрачных лесах зеленая пересмешка отмечалась, и, судя по срокам встречи поющего самца (10.06.11), её можно отнести к предположительно гнездящимся видам.

Из птиц, гнездящихся в байрачных лесах среднего течения р. Северский Донец, нами не обнаружены на гнездовании зеленая пеночка (*Phylloscopus trochiloides* Sundevall, 1837) и длиннохвостая синица (*Aegithalos caudatus* Linnaeus, 1758). Первый вид сейчас вообще в регионе встречается только на пролете. Длиннохвостая синица (*A. caudatus*) гнездится во многих типах лесов региона, но, за исключением лесов в пойме р. Северский Донец, этот вид очень редок и встречается не регулярно. Вероятно, он спорадически гнездится и в байрачных лесах Донецкого кряжа. Так, в гнездовой период 2009 г. в одном из таких лесов А. И. Бронсковым (личное сообщение) была встречена группка птиц, которая вполне могла быть выводком.

В ходе проведения исследований проводились и количественные учеты птиц. В учеты, проводимые в Приазовье, попали 29 видов птиц, а общая плотность населения составила 989,8 пар/км^2. В учеты, проводимые в байрачных лесах Донецкого кряжа, попали 39 видов птиц (табл. 2), а общая плотность населения составила 1201,18 пар/км^2.

Таблица 2

Структура населения гнездящихся птиц байрачных лесов

№ п/п	Вид	Ср. плотн. населения, пар/км²	Доля участия, %	№ п/п	Вид	Ср. плотн. населения, пар/км²	Доля участия, %
Приазовская возвышенность				Донецкий кряж			
Очень многочисленные							
1	*Fringilla coelebs*	257,5	26,02	1	*Fringilla coelebs*	257,4	21,42
2	*Parus major*	115,0	11,62	2	*Parus major*	128,6	10,71
Многочисленные							
3	*Ficedula albicollis*	81,5	8,23	3	*Ficedula albicollis*	99,9	8,31

№ п/п	Вид	Ср. плотн. населения, пар/км²	Доля участия, %	№ п/п	Вид	Ср. плотн. населения, пар/км²	Доля участия, %
4	*Turdus philomelos*	70,0	7,07	4	*Coccothraustes coccothraustes*	70,4	5,86
5	*Erithacus rubecula*	55,0	5,56	5	*Turdus philomelos*	69,8	5,81
6	*Chloris chloris*	45,0	4,55	7	*Erithacus rubecula*	64,6	5,38
7	*Coccothraustes coccothraustes*	42,5	4,29	8	*Chloris chloris*	61,1	5,09
8	*Sylvia atricapilla*	36,5	3,69	9	*Turdus merula*	60,1	5,00
9	*Carduelis carduelis*	35,0	3,54	10	*Sturnus vulgaris*	58,4	4,86
10	*Turdus merula*	34,0	3,44	11	*Parus caeruleus*	39,4	3,28
11	*Luscinia luscinia*	32,5	3,28	12	*Luscinia luscinia*	36,0	3,00
12	*Parus caeruleus*	27,5	2,78	13	*Sylvia atricapilla*	35,1	2,92
13	*Sturnus vulgaris*	25,5	2,58	14	*Dendrocopos major*	28,5	2,37
14	*Phylloscopus sibilatrix*	22,5	2,27	15	*Anthus trivialis*	28,5	2,37
15	*Anthus trivialis*	17,5	1,77	16	*Emberiza citrinella*	28,3	2,35
16	*Emberiza citrinella*	17,5	1,77	17	*Jynx torquilla*	24,3	2,02
17	*Dendrocopos major*	12,5	1,26	18	*Phylloscopus collybita*	23,9	1,99
18	*Garrulus glandarius*	10,0	1,01	19	*Garrulus glandarius*	19,7	1,64
19	*Sylvia borin*	10,0	1,01	20	*Carduelis carduelis*	10,3	0,86
20	*Sylvia curruca*	10,0	1,01	21	*Sitta europaea*	10,3	0,85
				22	*Phylloscopus sibilatrix*	9,6	0,80
Обычные							
21	*Remiz pendulinus*	6,5	0,66	23	*Oriolus oriolus*	8,2	0,68
22	*Oriolus oriolus*	6,5	0,66	24	*Emberiza hortulana*	5,3	0,44
23	*Jynx torquilla*	6,5	0,66	25			
Малочисленные							
24	*Streptopelia turtur*	5,0	0,51	26	*Dendrocopos medius*	3,8	0,32
25	*Sylvia nisoria*	5,0	0,51	27	*Dendrocopos minor*	3,8	0,31
26	*Streptopelia decaocto*	1,5	0,15	28	*Sylvia borin*	3,5	0,29
				29	*Sylvia curruca*	3,4	0,29
				30	*Sylvia communis*	2,4	0,20
				31	*Dendrocopos syriacus*	2,1	0,18
				32	*Muscicapa striata*	1,4	0,11
				33	*Columba palumbus*	1,1	0,09
Редкие							
27	*Cuculus canorus*	0,5	0,05	34	*Streptopelia turtur*	0,7	0,06
28	*Columba palumbus*	0,4	0,04	35	*Cuculus canorus*	0,6	0,05
29	*Picus canus*	0,4	0,04	36	*Upupa epops*	0,4	0,03
				37	*Lanius collurio*	0,3	0,02
Очень редкие							
				38	*Corvus corax*	0,05	
				39	*Corvus cornix*	0,03	
Итого		989,8	100	Итого		1201,18	100

В обоих типах лесов доминирует зяблик (*Fringilla coelebs* Linnaeus, 1758) (257,5 и 257,4 пар/км^2), очень многочисленна большая синица (*Parus major* Linnaeus, 1758) (115,0 и 128,6 пар/км^2). Эти два вида составляют более 30% долевого участия в населении птиц байрачных лесов.

В группу многочисленных видов (от 10 до 100 пар/км^2) в байрачных лесах Приазовской возвышенности входят, в порядке уменьшения долевого участия, мухоловка-белошейка (*Ficedula albicollis* Temminck, 1815), певчий дрозд (*Turdus philomelos* C. L. Brehm, 1831), зарянка (*Erithacus rubecula* Linnaeus, 1758), обыкновенная зеленушка (*Chloris chloris* Linnaeus, 1758), обыкновенный дубонос (*Coccothraustes coccothraustes* Linnaeus, 1758), черноголовая славка (*Sylvia atricapilla* Linnaeus, 1758), черноголовый щегол (*Carduelis*

carduelis Linnaeus, 1758), черный дрозд (*Turdus merula* Linnaeus, 1758), обыкновенный соловей (*Luscinia luscinia* Linnaeus, 1758), обыкновенная лазоревка (*Parus caeruleus* Linnaeus, 1758), обыкновенный скворец (*Sturnus vulgaris* Linnaeus, 1758), пеночка-трещетка (*Phylloscopus sibilatrix* Bechstein, 1793), лесной конек (*Anthus trivialis* Linnaeus, 1758), обыкновенная овсянка (*Emberiza citrinella* Linnaeus, 1758), пестрый дятел (*Dendrocopos major* Linnaeus, 1758), сойка (*Garrulus glandarius* Linnaeus, 1758), садовая славка (*Sylvia borin* Boddaert, 1783) и славка-завирушка (*Sylvia curruca* Linnaeus, 1758). В байрачных лесах Донецкого кряжа в эту группу входят мухоловка-белошейка (*F. albicollis*), обыкновенный дубонос (*C. coccothrauste*), певчий дрозд (*T. philomelos*), зарянка (*E. rubecula*), обыкновенная зеленушка (*C. chloris*), черный дрозд (*T. merula*), обыкновенный скворец (*S. vulgaris*), обыкновенная лазоревка (*P. caeruleus*), обыкновенный соловей (*L. luscinia*), черноголовая славка (*S. atricapilla*), пестрый дятел (*D. major*), лесной конек (*A. trivialis*), обыкновенная овсянка (*E. citrinella*), вертишейка (*Jynx torquilla* Linnaeus, 1758), пеночка-теньковка (*P. collybita*), сойка (*G. glandarius*), черноголовый щегол (*C. carduelis*), обыкновенный поползень (*Sitta europaea* Linnaeus, 1758) и пеночка-трещетка (*P. sibilatrix*). Эта группа составляет 59,11% в лесах Приазовской возвышенности и 63,96% в лесах Донецкого кряжа. Группы очень многочисленных и многочисленных видов составляют большую часть птиц исследуемых лесов соответственно на Приазовской возвышенности 96,75% и на Донецком кряже – 96,09%. Как видно из выше приведенного, состав этой группы практически идентичен за небольшим исключением.

К обычным видам (от 6 до 9 пар/км^2) в байраках Приазовской возвышенности относятся обыкновенный ремез (*R. pendulinus*), обыкновенная иволга (*O. oriolus*) и вертишейка (*J. torquilla*), а на Донецком кряже – обыкновенная иволга (*Oriolus oriolus* Linnaeus, 1758) и садовая овсянка (*Emberiza hortulana* Linnaeus, 1758), хотя следует учесть, что последний вид встречается по опушкам байрачных лесов и выходит в степь.

В группу малочисленных видов (от 1 до 5 пар/км^2) на Приазовской возвышенности попали кольчатая (*S. decaocto*) и обыкновенная (*Streptopelia turtur* Linnaeus, 1758) горлицы и ястребиная славка (*Sylvia nisoria* Bechstein, 1795), а на Донецком кряже – вяхирь (*Columba palumbus* Linnaeus, 1758), сирийский (*Dendrocopos syriacus* Hemprich et Ehrenberg, 1833), средний (*Dendrocopos medius* Linnaeus, 1758) и малый (*Dendrocopos minor* Linnaeus, 1758) дятлы, садовая (*S. borin*), серая (*Sylvia communis* Latham, 1787) и славка-зирушка (*S. curruca*), серая мухоловка (*Muscicapa striata* Pallas, 1764).

Редкими (от 0,1 до 0,9 пар/км^2) в этих лесах являются обыкновенная кукушка (*Cuculus canorus* Linnaeus, 1758), вяхирь (*C. palumbus*) и седой дятел (*P. canus*) для Приазовской возвышенности и обыкновенная кукушка (*C. canorus*), обыкновенная горлица (*S. turtur*), удод (*Upupa epops* Linnaeus, 1758) и обыкновенный жулан (*Lanius collurio* Linnaeus, 1758) – для Донецкого кряжа. Ворон (*Corvus corax* Linnaeus, 1758) и серая ворона (*Corvus cornix* Linnaeus, 1758) входят в группу очень редких видов (менее 0,1 пар/ км^2) на Донецком кряже.

Выводы

Байрачные леса имеют достаточно богатую для региона лесную фауну. В прошлом этот тип лесов был более широко распространен в регионе и занимал большие площади, а в сочетании с зональными степями это был, вероятно, один из самых богатых в видовом отношении типов ландшафтов. Антропогенное влияние привело к определенным изменениям в фауне, которые в первую очередь коснулись крупных видов птиц и в большей степени представителей степного комплекса. Некоторые виды в последнее время начали понемногу восстанавливать прежние позиции, другие же исчезли вовсе, и без посторонней помощи их возрождение невозможно.

Байрачные леса Приазовской возвышенности, хотя и малы по площади и не так широко представлены, проникают далеко на юг, являясь настоящим лесным форпостом в степи. И хотя видовой состав птиц в ближайших крупных искусственных лесах гораздо больше, но

эти байрачные леса являются уникальными с точки зрения сохранения естественных лесов Приазовья и понимания орнитогенеза региона и его орнитогеографических связей.

Список литературы

1. *Авраменко С. В.* О гнездовании орла-могильника (*Aquila heliaca* L.) на юге Харьковской области / С. В. Авраменко // Птицы бассейна Северского Донца. Вып. 6–7: матер. 6 и 7 конф. «Изучение и охрана птиц бассейна Северского Донца». – Донецк, 2000. – С. 57–59.

2. *Атемасова Т. А.* Орнитофауна байрачных дубрав в среднем течении Северского Донца / Т. А. Атемасова, А. А. Атемасов, Т. Н. Девятко, В. Ф. Черников // Птицы бассейна Северского Донца. Вып. 9: матер. 11 и 12 конф. «Изучение и охрана птиц бассейна Северского Донца». – Донецк, 2005. – С. 13–18.

3. *Ветров В. В.* Состав и распределение хищных птиц бассейна Северского Донца / В. В. Ветров // Птицы бассейна Северского Донца: матер. конф. «Изучение и охрана птиц бассейна Северского Донца» (Донецк, 26-28 января 1993 г.). – Донецк: ДонГУ, 1993. – С. 33–38.

4. *Ветров В. В.* О гнездовании курганника в Харьковской области / В. В. Ветров // Беркут. – 2002. – Т. 11, вып. 2. – С. 165–168.

5. *Волчанецкий И. Б.* К орнитофауне лесов бассейна Северского Донца / И. Б. Волчанецкий, А. С. Лисецкий, Н. И. Капралова // Уч. зап. Харьковского ун-та. – 1954. – Т. 52. – Тр. НИИ биол. и биол. ф-та. – Т. 20. – С. 33–45.

6. *Костин Ю. В.* Уточнение гнездовой области тетеревятника в степях Украины / Ю. В. Костин // Орнитология. – М.: Изд-во МГУ, 1963. – Вып. 6. – С. 473.

7. *Пилипенко Д. В.* Орнитофауна заказника «Великоанадольская лесная дача» / Д. В. Пилипенко // Екологічни аспекти охорони птахів: матер. VII наради орнітологів Західної України. – Львів, 1999. – С. 67–69.

8. *Пилипенко Д. В.* Орнитофауна заказника «Азовская дача» / Д. В. Пилипенко // Птицы бассейна Северского Донца. Вып. 8: матер. 7-10 конф. «Изучение и охрана птиц бассейна Северского Донца». – Харьков, 2003. – С. 33–36.

9. *Пилипенко Д. В.* К изучению орнитофауны байрачных лесов Донецкой области / Д. В. Пилипенко // Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів: зб. доп. V міжнар. наук. конф. аспірантів та студентів. – Донецьк: ДонНТУ, ДонНУ, 2006. – Т. 2. – С. 20–21.

10. Природа Украинской ССР. Ландшафты физико-географическое районирование / А. М. Маринич, В. М. Пащенко, П. Г. Шищенко. – К.: Наук. думка, 1985. – 224 с.

11. *Попов С. В.* О новых и редких птицах долины Северского Донца в его среднем течении / С. В. Попов // Птицы бассейна Северского Донца. Вып. 6–7: матер. 6 и 7 конф. «Изучение и охрана птиц бассейна Северского Донца». – Донецк, 2000. – С. 38–40.

12. *Таращук В. И.* Птицы полезащитных насаждений степной зоны УССР и возможности использования их для борьбы с вредителями / В. И. Таращук. – К.: Изд-во АН УССР, 1953. – 124 с.

Пилипенко Д. В. **Птахи, що гніздяться в байрачних лісах Донецької області.** – Байрачні ліси на Україні розташовані переважно на південному сході. Будучи найцікавішими і по-своєму унікальними біотопами, вони, як і раніше, мало вивчені. Наші дослідження проводилися починаючи з 2002 р. Загалом було виявлено 63 види птахів, що гніздяться або припустимо гніздяться в цих лісах, з них 62 види – у байрачних лісах Донецького кряжа та 40 – у байрачних лісах Приазовської височини.

Ключові слова: птахи, байрачні ліси, Донецький кряж, Приазовська височина.

Pilipenko D. V. **Breeding birds bayrachnyh forests of Donetsk region.** – Forests of bayracs are situated mainly the south-east of Ukraine. It is interesting and little-studied habitats. Our researches were spent, since in 2002. Total found 63 species of nesting birds or maybe nesting in these forests, among them 62 species – in the forests on the Donetsk ridge and 40 – on the Azov Upland

Key words: birds, bayrachnye forests, Donetsk ridge, Azov Upland.

УДК 595.4

© Е. В. Прокопенко, А. В. Жуков

РАЗНООБРАЗИЕ ГЕРПЕТОБИОНТНЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ УЧАСТКЕ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ, НАРУШЕННЫХ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ

[1]Донецкий национальный университет; 83050, г. Донецк, ул. Щорса, 46
e-mail: helen_procop@mail.ru
[2] Днепропетровский государственный аграрный университет
49600, г. Днепропетровск, ул. Ворошилова, 25; e-mail: zhukov_dnepr@rambler.ru

Прокопенко Е. В., Жуков А. В. **Разнообразие герпетобионтных беспозвоночных на экспериментальном участке рекультивации земель, нарушенных горнодобывающей промышленностью.** – Исследованы таксономический состав, видовое разнообразие, динамическая плотность животного населения герпетобия участков рекультивации земель, нарушенных горнодобывающей промышленностью. Проведены кластерный анализ и ординация сообществ исследованных техноземов.

Ключевые слова: герпетобионты, структура животного населения, техноземы, рекультивация.

Введение

Более полувека в Днепропетровской области осуществляется интенсивное изучение проблемы рекультивации земель, нарушенных горными разработками [9]. Причем в степени изученности различных компонентов биогеоценозов наблюдается существенный дисбаланс. Значительное внимание уделено вопросам почвообразования [3], формированию растительного покрова [1, 2, 5, 7], биологической активности почв [4, 8] рекультивируемых территорий. Разработаны вопросы формирования и функционирования агроэкосистем на рекультивированных землях степной зоны Украины в контексте взаимосвязи эдафических свойств и развития культурных растений [6]. С другой стороны, население беспозвоночных герпетобионтов ранее не исследовалось.

Материалы и методы исследования

Сбор материала проводился на научно-исследовательском стационаре Днепропетровского государственного аграрного университета в г. Орджоникидзе. Экспериментальный участок по изучению оптимальных режимов рекультивации был создан в период с 1968 по 1970 гг. Участок занимает часть искусственного плато, созданного на месте карьера по добыче марганцевой руды. На плато находятся различные типы техноземов: педоземы (на техническую смесь глин нанесен слой чернозема мощностью 75-80 см), дерново-литогенные почвы на лессовидных суглинках, серо-зеленых и красно-бурых глинах. На склоне южной экспозиции находится искусственное лесное насаждение акации белой и грецкого ореха на дерново-литогенных лесоулучшенных техноземах.

Ловушки Барбера были установлены на экспериментальном участке в период с 10 июня по 5 июля 2009 г. (с промежуточной выемкой материала 22 июня). В каждом биогеоценозе разместили по 3 ловушки, которые располагались на вершинах равностороннего треугольника с длиной ребра 3 м [10, 12]. В качестве ловушек применяли стеклянные емкости объемом 0,5 л с диаметром отверстия 7,5 см, заполненные на 1/5 1% раствором формальдегида.

Растительный покров на экспериментальном участке был представлен двумя основными ассоциациями: злаковой с преобладанием костреца безостого (*Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub) и бобовой, представленной донником желтым (*Melilotus officinalis* (L.) Desr.) [4, 5]. После длительного периода произрастания на территории экспериментального участка культурной злаково-бобовой травосмеси (1995-2003 гг.) начался период самозарастания. Всего на участке установлен 31 вид травянистых растений [1].

На каждом типе техноземов были выбраны участки с двумя характерными растительными ассоциациями (4 типа техноземов × 2 ассоциации = 8 комбинаций). В

искусственном лесном насаждении пробы отобраны в верхней, средней и нижней трети склона.

Статистические расчеты проведены с помощью программной среды R-2.12.1 for Windows с применением библиотеки vegan [11].

Результаты и обсуждение

В исследованных техногенных ценозах зарегистрированы представители 5 классов и 8 отрядов герпетобионтных беспозвоночных (муравьи не учитывались): класс Arachnida (отряды Aranei и Opiliones), класс Diplopoda (отряд Julidae), класс Insecta-Ectognatha (отряд Coleoptera и Lepidoptera), класс Malacostraca (отряд Isopoda), класс Gastropoda (отряды Cochlicopidae и Hygromiidae). В различных растительных ассоциациях отмечено от 3 до 5 классов (табл. 1). Максимальным числом классов характеризуется верхняя треть акациевого насаждения (рис. 1, 2).

На всех участках рекультивации встречаются жуки, пауки и кивсяки. Распространение брюхоногих моллюсков ограничено кострецовой ассоциацией на педоземе и верхней третью склона акациевого лесонасаждения. Мокрицы отмечены в лесонасаждении и кострецовых ассоциациях на лессовидных суглинках и красно-бурых глинах.

Р. Уиттекер [15] впервые предложил разделить разнообразие на альфа, бета и гамма компоненты для характеристики различных его аспектов. Альфа разнообразие (α) обычно измеряется как число видов в пределах отдельной пробной площади, тогда как гамма разнообразие (γ) представляет совокупное число видов в пределах определенного географического пространства. Бета разнообразие (β) представляет собой отношение видового богатства всей территории к среднему значению числа видов в пределах отдельной пробной площади.

В целом на исследованной территории α-разнообразие составляет 81 вид герпетобионтных беспозвоночных (см. табл. 1). Наибольшее видовое богатство демонстрируют Insecta (51 вид) и Arachnida (25 видов). Другие классы значительно уступают насекомым и паукообразным: Diplopoda и Gastropoda включают по 2 вида, Malacostraca – 1 вид.

Максимальным числом видов характеризуются красно-бурые глины – 41 вид, искусственное лесонасаждение – 38 видов, дерново-литогенные почвы на лессовидном суглинке – 36 видов. На насыпном слое чернозема – 27 видов, на серо-зеленых глинах отмечено 27 видов.

Видовое богатство тесно коррелирует с индексом разнообразия Шеннона (r = 0,62; p = 0,002) и альфой Фишера (r = 0,87; p = 0,000). Индексы разнообразия Варвика-Кларка учитывают в количественной оценке разнообразия сложность таксономического древа видов, составляющих сообщество, и отражают различные его аспекты. Индекс Δ является генерализацией индекса Симпсона, который содержит элементы таксономического характера; индекс Δ^* является мерой таксономического различия видов, составляющих сообщество; индекс $\Delta+$ является средним таксономическим различием (средняя длина ветвей в таксономическом древе сообщества, нормированная к 100); индекс $\Lambda+$ является дисперсией этих длин [13, 14]. Индексы таксономического разнообразия достоверно не различаются между сообществами по типам почв.

Среднее таксономическое различие статистически достоверно различается в сообществах с различным типом растительного покрова (F = 6,28; p = 0,01): сообщество донника желтого характеризуется наибольшим таксономическим разнообразием герпетобионтов, а кострец безостый – наименьшим; искусственное лесное насаждение занимает промежуточное положение.

Таблица 1

Таксономическая структура животного населения рекультивируемых земель (экспериментальный участок ДГАУ, г. Орджоникидзе)

(приведена динамическая численность в экз./10 ловушко-суток за период 10 июня – 5 июля 2009 г.)

Класс, семейство, вид	Лессовидный суглинок		Серо-зеленые мергелистые глины		Смесь красно-бурых глин и суглинков		Педозем		Педозем лесоулучшенный		
									Акациевое насаждение и орешник		
	Донник желтый	Кострец безостый	Донник желтый	Кострец безостый	Донник желтый	Кострец безостый	Донник желтый	Кострец безостый	Склон верхняя треть	Склон средняя треть	Склон нижняя треть
Arachnida, Aranei, Agelenidae											
Agelena labyrinthica (Clerck, 1757)	–	–	–	–	–	0,3	–	–	–	–	–
Gnaphosidae											
Drassodes pubescens (Thorell, 1856)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,3	0,3
Drassodes lapidosus (Walckenaer, 1802)	–	0,4	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Gnaphosa lucifuga (Walckenaer, 1802)	–	0,7	0,8	1,5	–	0,3	4	1,3	–	–	–
Gnaphosidae gen. sp., juv	0,3	0,3	–	0,3	–	–	–	–	–	–	–
Trachyzelotes malkini (Platnik et Murphy, 1984)	–	0,3	–	–	–	0,3	0,3	–	–	–	–
Zelotes caucasicus (L. Koch, 1866)	–	–	–	0,3	–	–	–	0,5	–	–	–
Zelotes longipes (L. Koch, 1866)	–	0,3	–	–	0,3	–	–	–	–	–	–
Linyphiidae											
Diplocephalus picinus (Blackwall, 1841)	–	0,3	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Ipa terrenus (L. Koch, 1879)	–	–	–	–	–	–	–	0,3	–	–	–
Liocranidae											
Phrurolithus pullatus Kulczynski in Chyser et Kulczynski, 1897	–	0,4	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Lycosidae											
Alopecosa cursor (Hahn, 1831)	–	–	0,8	0,3	–	–	–	–	–	–	–
Alopecosa pulverulenta (Clerck,1757)	–	–	–	–	–	0,3	–	–	0,3	0,3	–
Alopecosa taeniopus Kulczynski, 1895	–	–	0,7	–	–	–	–	–	–	–	–
Lycosidae gen. sp., juv	–	0,3	0,3	0,3	0,3	–	–	1,4	0,5	0,3	–
Pardosa agrestis (Westring, 1861)	–	–	0,3	–	–	0,3	–	–	–	–	–
Trochosa terricola (Thorell, 1856)	–	–	–	0,3	–	–	–	–	–	–	–
Trochosa robusta (Simon, 1876)	0,3	0,6	–	2,2	1,5	0,8	1,4	1	1,2	0,7	–

Класс, семейство, вид	Лессовидный суглинок		Серо-зеленые мергелистые глины		Смесь красно-бурых глин и суглинков		Педозем		Педозем лесоулучшенный		
									Акациевое насаждение и орешник		
	Донник желтый	Кострец безостый	Донник желтый	Кострец безостый	Донник желтый	Кострец безостый	Донник желтый	Кострец безостый	Склон верхняя треть	Склон средняя треть	Склон нижняя треть
Trochosa ruricola (De Geer, 1778)	–	–	1,8	0,3	–	–	–	–	–	–	–
Trochosa sp., juv	–	–	–	0,3	–	–	–	–	–	–	0,3
Xerolycosa miniata (C.L. Koch, 1834)	0,7	0,3	0,9	0,5	2,4	–	–	–	0,3	0,3	–
Salticidae											
Aelurillus v-insignitus (Clerck, 1758)	–	–	–	–	0,3	0,3	–	–	–	–	–
Salticidae gen. sp., juv	–	–	–	–	–	0,3	–	0,3	–	–	–
Talavera petrensis (C. L. Koch, 1837)	–	–	–	–	0,3	–	–	0,3	–	–	–
Theridiidae											
Steatoda phalerata (Panzer, 1801)	0,4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Thomisidae											
Xysticus britcheri Gertsch, 1934	–	–	–	–	0,3	–	–	–	–	–	–
Xysticus kochi Thorell, 1872	0,3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Xysticus luctator L. Koch, 1870	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,3
Opiliones, Phalangiidae											
Opilio saxatilis C.L.Koch, 1839	0,4	–	–	–	0,3	2,1	–	0,8	–	0,3	0,5
Opilio sp., juv	–	0,3	0,3	–	–	1	–	1,3	–	–	–
Diplopoda, Julidae											
Megaphyllum kievense (Lohmander, 1928)	–	–	–	–	–	0,3	0,4	–	1,1	0,7	4
Rossiulus kessleri (Lohmander, 1927)	2,2	3,2	2,4	9,5	17,4	14,2	4,4	2,6	1,1	0,7	9,6
Gastropoda, Cochlicopidae											
Cochlicopa lubrica (O.F. Muller, 1774)	–	–	–	–	–	–	–	0,3	–	–	–
Hygromiidae											
Euomphalia strigella (Draparnaud, 1801)	–	–	–	–	–	–	–	–	0,3	–	–
Insecta, Anobiidae											
Ptilinus fuscus Fourcroy, 1785	–	–	–	–	–	–	–	0,3	–	–	–
Carabidae											
Amara (Amara) aenea (De Geer, 1774)	–	–	–	–	–	–	–	0,5	–	–	–

Класс, семейство, вид	Лессовидный суглинок		Серо-зеленые мергелистые глины		Смесь красно-бурых глин и суглинков		Педозем		Педозем лесоулучшенный		
									Акациевое насаждение и орешник		
	Донник желтый	Кострец безостый	Донник желтый	Кострец безостый	Донник желтый	Кострец безостый	Донник желтый	Кострец безостый	Склон верхняя треть	Склон средняя треть	Склон нижняя треть
Amara (Amara) similata (Gyllenhal, 1810)	–	–	–	–	0,3	0,3	–	–	0,3	–	0,3
Brachinus (Brachinus) crepitans (Linnaeus, 1758)	–	–	–	–	0,3	–	–	–	–	–	–
Broscus cephalotes (Linnaeus, 1758)	–	–	–	–	–	0,3	0,5	0,6	–	–	–
Calathus (Calathus) fuscipes (Goeze, 1777)	3,3	–	–	–	0,3	0,9	–	–	1,8	3,9	0,5
Calathus (Neocalathus) melanocephalus (Linnaeus, 1758)	–	–	–	0,3	0,3	0,8	–	–	0,5	0,4	–
Chlaenius (Chlaeniellus) tristis (Schaller, 1783)	0,3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Harpalus (Harpalus) affinis (Schrank, 1781)	0,3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Harpalus (Harpalus) distinguendus (Duftschmid, 1812)	–	0,3	–	–	0,3	–	–	0,3	0,3	–	–
Harpalus (Harpalus) latus (Linnaeus, 1758)	–	0,3	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Harpalus (Harpalus) modestus Dejean, 1829	–	–	–	–	–	–	–	–	0,3	–	–
Harpalus (Harpalus) picipennis (Duftschmid, 1812)	–	–	–	–	–	–	–	–	0,3	–	–
Harpalus (Harpalus) serripes (Quensel, 1806)	–	0,3	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Harpalus (Harpalus) servus (Duftschmid, 1812)	0,3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Harpalus (Harpalus) subcylindricus Dejean, 1829	–	–	–	–	0,3	–	–	–	–	–	–
Harpalus (Pseudoophonus) griseus (Panzer, 1797)	–	–	–	–	–	–	0,3	–	–	–	–
Harpalus (Pseudoophonus) rufipes (De Geer, 1774)	–	0,3	–	–	–	–	–	–	–	0,3	0,5
Leistus (Leistus) ferrugineus (Linnaeus, 1758)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,6	–
Ophonus (Hesperophonus) azureus (Fabricius, 1775)	–	–	0,3	–	–	–	–	–	0,3	0,8	0,3
Poecilus (Macropoecilus) sericeus Fischer von Waldheim, 1824	–	–	–	–	–	–	–	–	0,3	–	0,3
Poecilus (Poecilus) versicolor (Sturm, 1824)	–	–	–	–	–	0,3	–	–	–	–	–
Zabrus (Pelor) spinipes (Fabricius, 1798)	–	–	0,3	–	–	–	–	–	–	0,3	3,6
Zabrus (Zabrus) tenebrioides (Goeze, 1777)	–	0,3	0,6	0,3	0,3	0,8	0,3	–	–	–	0,3
Cerambycidae											
Dorcadion holosericeum Krynicki, 1832	–	–	–	–	0,3	–	–	–	–	0,3	–
Pedestredorcadion pedestre (Poda, 1761)	–	–	–	–	–	–	–	–	0,8	–	–
Pedestredorcadion pusillum (Kuster, 1847)	–	0,3	–	–	–	1,2	–	–	–	–	–

Класс, семейство, вид	Лессовидный суглинок		Серо-зеленые мергелистые глины		Смесь красно-бурых глин и суглинков		Педозем		Педозем лесоулучшенный		
									Акациевое насаждение и орешник		
	Донник желтый	Кострец безостый	Донник желтый	Кострец безостый	Донник желтый	Кострец безостый	Донник желтый	Кострец безостый	Склон верхняя треть	Склон средняя треть	Склон нижняя треть
Cetoniidae, *Cetonia aurata* (Linnaeus, 1761)											
Chrysomelidae, Chrysomelidae sp.	–	–	–	–	–	0,3	0,3	–	–	–	–
Coccinellidae											
Coccinella (Coccinella) septempunctata Linnaeus, 1758	–	–	–	–	1,3	–	–	–	–	–	–
Curculionidae, Curculionidae sp.	–	–	0,3	–	0,3	–	–	0,3	–	–	–
Dermestidae											
Dermestes (Dermestinus) laniarius Illiger, 1801	3,5	2	1,1	0,4	1,1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	1,1
Dynastidae, *Pentodon idiota* (Herbst, 1789)	–	0,3	0,3	–	0,6	–	0,6	0,6	0,3	0,3	–
Histeridae, *Hister quadrimaculatus* Linnaeus, 1758	–	0,3	–	–	–	0,3	–	0,3	–	–	0,3
Lucanidae, *Dorcus parallelipipedus* (Linnaeus, 1758)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,3	–
Meloidae, *Lytta (Lytta) vesicatoria* (Linnaeus, 1758)	–	0,3	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Silphidae											
Nicrophorus (Nicrophorus) vestigator (Herschel, 1807)	–	–	–	–	–	–	–	–	0,3	–	–
Silpha (Silpha) carinata Herbst, 1783	–	0,3	–	0,5	–	0,3	–	–	1,1	1,3	3,3
Silpha obscura Linnaeus, 1758	4,1	1,5	0,4	1	3,1	2,2	1,9	0,5	4	5	9,1
Silpha tyrolensis Laicharting, 1781	–	0,3	–	–	–	–	–	–	–	0,6	1,4
Staphilinidae											
Ocypus (Goerius) ophthalmicus (Scopoli, 1763)	–	–	–	–	–	0,7	–	–	–	–	–
Pedinus femoralis (Linnaeus, 1767)	–	–	–	–	–	–	–	0,3	–	–	–
Staphylinus erythropterus Linnaeus, 1758	–	0,3	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Tenebrionidae											
Asida lutosa Solier, 1836	–	–	–	–	–	–	–	–	0,3	0,5	–
Blaps halophila Fischer, 1822	–	–	0,5	0,7	0,3	–	0,5	0,5	0,3	–	0,5
Blaps lethifera Marsham, 1802	–	0,3	–	–	0,3	0,3	–	–	–	–	–
Crypticus quisquilius (Linnaeus 1761)	–	0,8	–	–	0,6	–	–	–	–	–	–
Gnaptor spinimanus (Pallas, 1781)	–	–	–	–	–	–	0,5	–	–	0,8	0,5
Gonocephalum granulatum pusillum (Fabricius, 1791)	1	0,8	1,5	–	0,3	–	–	1,2	0,5	0,3	–

Класс, семейство, вид	Лессовидный суглинок		Серо-зеленые мергелистые глины		Смесь красно-бурых глин и суглинков		Педозем		Педозем лесоулучшенный		
									Акациевое насаждение и орешник		
	Донник желтый	Кострец безостый	Донник желтый	Кострец безостый	Донник желтый	Кострец безостый	Донник желтый	Кострец безостый	Склон верхняя треть	Склон средняя треть	Склон нижняя треть
Opatrum sabulosum (Linnaeus, 1761)	–	1,5	0,8	0,3	2,5	1,1	–	0,5	0,7	0,3	–
Noctuidae, Noctuidae sp. sp.	0,7	0,4	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Malacostraca, Trachelipodidae											
Trachelipus rathkii (Brandt, 1833)	–	0,3	–	–	–	0,5	–	–	0,7	0,3	0,3

Таблица 2

Показатели разнообразия населения герпетобионтов на участке рекультивации

Растительность, участок профиля	Срок учета	*Sp*	*H*	*Alpha*	*Δ*	*Δ**	*Λ+*	*Δ+*
Лёссовидный суглинок								
Донник желтый	1	9	2,28	3,67	55,12	79,62	472,12	80,17
	2	15	3,00	5,64	58,86	69,50	528,23	74,61
Кострец безостый	1	30	3,96	15,90	59,93	66,08	511,68	66,88
	2	11	2,32	4,02	49,77	69,61	623,30	58,82
Серо-зеленые мергелистые глины								
Донник желтый	1	17	3,47	7,57	58,97	66,41	457,98	68,98
	2	11	3,05	5,78	65,85	75,58	499,82	72,64
Кострец безостый	1	9	1,21	2,62	16,19	45,39	363,21	62,07
	2	15	3,49	9,65	60,53	66,21	423,75	64,41
Смесь красно-бурых глин и суглинков								
Донник желтый	1	21	2,33	6,94	29,77	49,74	432,47	63,82
	2	14	2,32	4,67	50,80	73,11	665,13	70,13
Кострец безостый	1	17	2,29	6,16	28,66	48,71	575,70	61,98
	2	22	3,03	8,39	47,94	62,27	452,03	61,68
Педозём (насыпной слой чернозёма на технической смеси глин)								
Донник желтый	1	12	2,69	4,69	53,37	67,59	422,15	62,36
	2	10	2,27	3,35	47,34	64,61	426,56	64,10
Кострец безостый	1	21	3,87	10,76	55,31	59,82	572,08	61,50
	2	14	3,41	7,83	57,87	63,91	629,34	61,75
Дерново-литогенные лесоулучшенные почвы								
Склон, верхняя треть	1	21	3,61	9,97	59,28	67,40	464,69	65,50
	2	16	2,61	6,23	49,97	69,78	688,52	68,79
Склон, средняя треть	1	25	3,31	10,10	56,38	68,54	503,48	67,73
	2	19	2,54	6,88	47,07	67,65	593,65	68,02
Склон, нижняя треть	1	15	2,64	3,70	55,45	70,34	476,08	63,75
	2	16	2,01	4,86	36,12	62,38	414,57	66,67

Примечание. *Sp* – число видов; *H* – индекс разнообразия Шеннона; *Alpha* – альфа Фишера; *Δ* – индекс таксономического разнообразия Варвика-Кларка; *Δ** – индекс таксономического различия Варвика-Кларка; *Λ+* – дисперсия парных длин таксономической связи; *Ф* – среднее таксономическое различие (нормированное к 100).

Наиболее известный индекс β-разнообразия основывается на отношении общего числа видов в коллекции сайтов, т. е. выборок (*S*), к среднему видовому богатству на одном сайте ($\acute{\alpha}$) (Whittaker, 1960):

$$\beta = S / \acute{\alpha} - 1.$$

Вычитание единицы приводит к тому, что нулевое значение β достигается при отсутствии фаунистической гетерогенности между сайтами. В рассматриваемом случае β = 4,32, что свидетельствует о некотором уровне различия видового состава между сайтами, представленными различными комбинациями типов техноземов и растительного покрова. Приведенный индекс β-разнообразия имеет статистический недостаток: число видов *S* возрастает с увеличением числа сайтов даже тогда, когда все сборы делаются из одной однородной выборки.

Альтернативой является индекс, который основывается на модели Аррениуса «число видов-площадь»:

$$S = c X^{z},$$

где X – площадь, c, z – параметры. Параметр z является мерой β-разнообразия. Среднее значение этого показателя в нашем случае равно 0,69. Квантили равны: 0% – 0,24; 25% – 0,64; 50% – 0,70; 75% – 0,76; 100% – 0,87.

Индекс β-разнообразия имеет важное значение для понимания природы видового разнообразия изучаемого участка. Важно понять степень гетерогенности таксономической структуры и, прежде всего, видового разнообразия. Критерием отличия однородной структуры от закономерно изменяющейся в пределах градиента окружающей среды является значение z: если этот индекс меньше 0,3, то речь идет о выборке из одного сообщества [11]; в противном случае мы имеем выборку из гетерогенной структуры. В нашем случае речь идет не об одном, а о нескольких сообществах, которые обмениваются видами между собой, так как среднее значение z = 0,69 значительно превышает пороговый уровень.

Бета-разнообразие группы пробных площадей, сформированных по некоторому признаку (например, тип почвы или тип растительной ассоциации), может быть представлено как среднее расстояние от пробной площади до центроида группы. При этом центроид определяется в пространстве главных координат выбранной меры различия (в нашем случае – z-параметр) (рис. 1). Как видно из приведенных рисунков, тип почвы является существенным фактором, структурирующим животное население. Сообщества лесоулучшенных дерново-литогенных почв и лессовидных суглинков характеризуются значительной обособленностью. Однородную группировку представляют герпетобионты педоземов и дерново-литогенных почв на серо-зеленных глинах. Герпетобий дерново-литогенных почв на лёссах выполняет интегрирующую функцию, так как занимает промежуточное положение между остальными группировками. Растительный покров оказывает гораздо меньшее структурирующее воздействие, чем тип почвенного покрова. Животное население травянистых сообществ характеризуется значительным сходством. Напротив, сообщество искусственного лесного насаждения значительно отличается от последних. Герпетобий злаковой ассоциации костреца безостого выполняет интегрирующую функцию.

Для того, чтобы оценить статистическую достоверность влияния типа технозема и растительного покрова на структуру сообществ герпетобионтов, был проведен пермутационный множественный анализ вариации на основе матрицы расстояний (табл. 3). Установлено, что тип почвы и растительная ассоциация, а также взаимодействие между этими факторами статистически достоверно влияют на β-разнообразие комплекса герпетобионтов участка рекультивации.

Однако следует отметить, что рассматриваемые факторы и их взаимодействие определяют лишь 31 % изменчивости матрицы расстояний между сообществами герпетобионтов. Остаток дисперсии 69 % можно рассматривать как результат взаимного проникновения обособленных компонентов герпетобия.

Средняя динамическая плотность герпетобионтных беспозвоночных на исследованных участках рекультивации составляет 22,3 экз. на 10 лов.-сут. Максимальной динамической плотностью характеризовались следующие биотопы: нижняя треть склона в акациевом насаждении (37,6 экз. на 10 лов.-сут.), донниковая ассоциация на красно-бурых глинах (35,9 экз. на 10 лов.-сут.) и кострецовая ассоциация на красно-бурых глинах (31,1 экз. на 10 лов.-сут.). Низкими значениями динамической плотности отличаются донниковые ассоциации на серо-зеленых глинах (14,4 экз. на 10 лов.-сут.) и травянистые сообщества на педоземе (от 15,7 до 16,3 экз. на 10 лов.-сут.). Различия динамической плотности герпетобионтных беспозвоночных достоверно отличаются по типам техноземов (F = 3,72; p = 0,02) и по типам растительности (F = 3,51; p = 0,05).

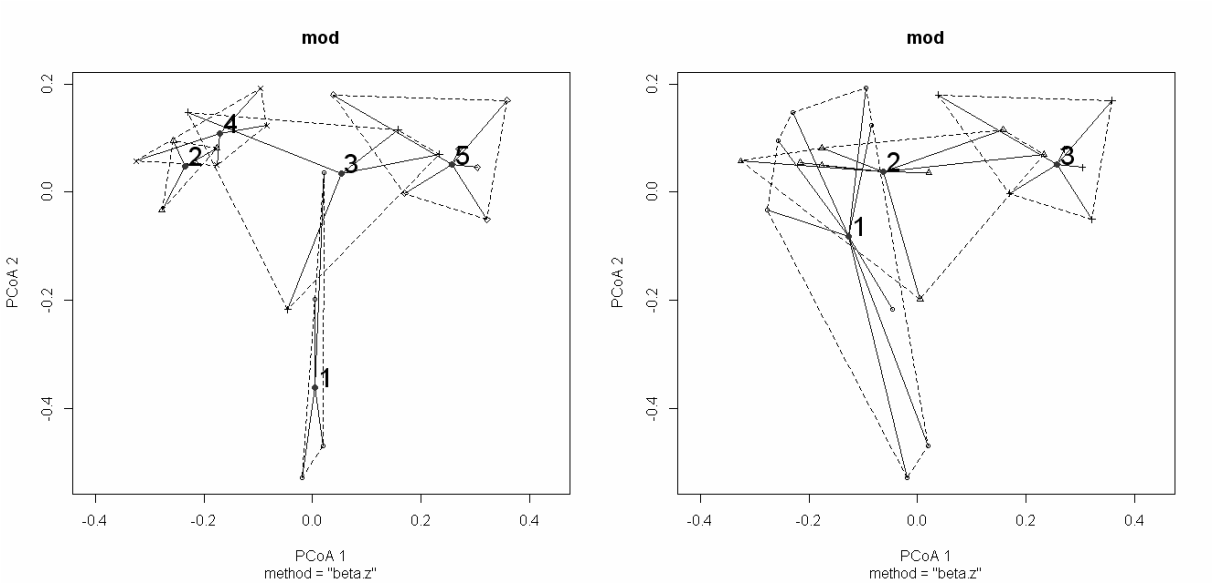


Рис. 1. Структура β-разнообразия сообществ герпетобионтов экспериментального участка.

Условные обозначения: слева – разбиение по типу почвы: 1 – лёссовидный суглинок; 2 – серо-зеленые мергелистые глины; 3 – смесь красно-бурых глин и суглинков; 4 – педозём; 5 – дерново-литогенные лесоулучшенные почвы; справа – разбиение по типу травостоя: 1 – ассоциация донника желтого; 2 – ассоциация костреца безостого; 3 – искусственное лесное насаждение (орех грецкий и акация белая).

Таблица 3

Пермутационный множественный анализ вариации на основе матрицы расстояний между сообществами герпетобионтов

Фактор	Степени свободы	Сумма квадратов	Средняя сумма квадратов	*F*-статистика	R^2	*p*-уровень
Растительная ассоциация	1	0,63	0,63	3,21	0,12	0,01
Почва	1	0,43	0,43	2,20	0,08	0,01
Ассоциация: почва	1	0,52	0,52	2,67	0,10	0,01
Остаток	18	3,51	0,19	-	0,69	-
Всего	21	5,08	-	-	1,00	-

Примечание. Ассоциация: почва – взаимодействие типа растительной ассоциации и типа технозема

На рис. 2 представлен результат анализа компонент изменчивости синэкологических характеристик населения герпетобионтов участка рекультивации (факториальный дизайн второй степени; метод ожидаемого среднего квадрата).

Из данных, приведенных на рисунке, следует, что для большинства синэкологических характеристик тип растительности является ведущим фактором изменчивости. Для дисперсии таксономических расстояний ($\Lambda+$) важную роль играет участок профиля и взаимодействие факторов «почва» и «растительность». Для параметров численности особое значение имеет тип почвы и участок профиля.

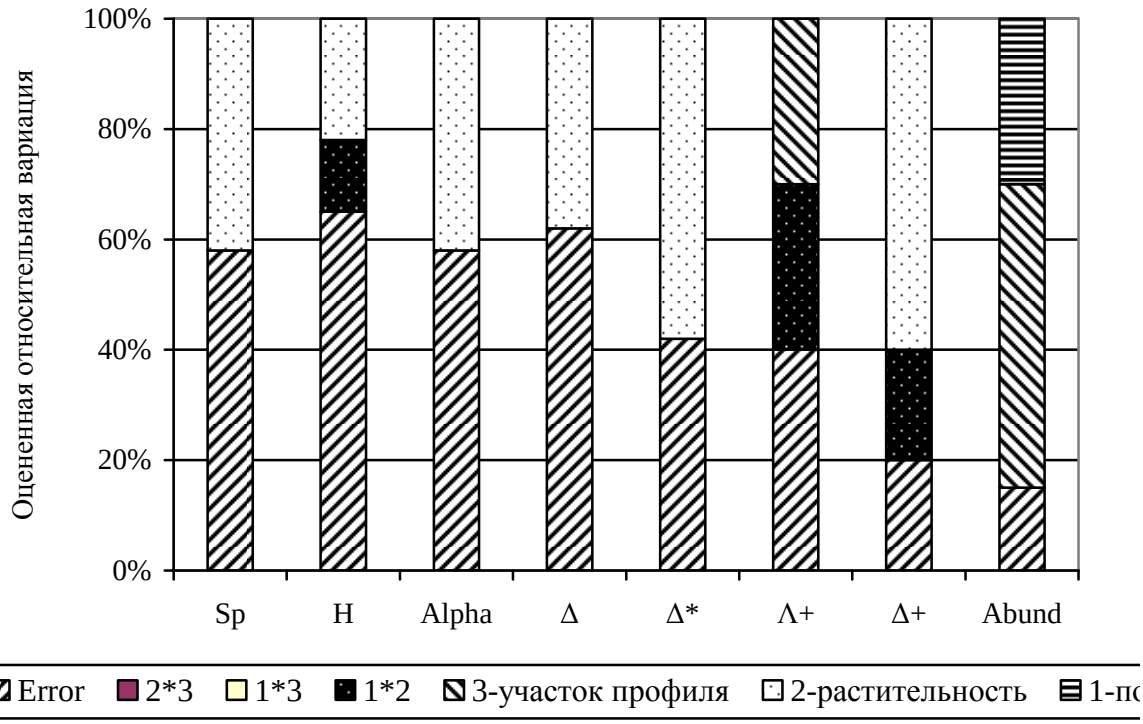


Рис. 2. Компоненты вариации синэкологических характеристик герпетобионтного населения.

Условные обозначения: см. табл. 2; Abund – обилие; Error – ошибка, т. е. необъясненная дисперсия в рамках выбранной системы предикторов; 1*2, 1*3, 2*3 – влияние взаимодействия предикторов (1 – тип почвы; 2 – тип растительности; 3 – участок геоморфологического профиля).

В большинстве исследованных ценозов наиболее обильны пауки, диплоподы и жуки (рис. 3, 4). Только в донниковой ассоциации на педоземе уровень численности пауков немного превышает остальные группы. На других участках рекультивации пауки значительно (например, в лесонасаждении) или незначительно (донник на серо-зеленых глинах) уступают жукам и (или) диплоподам. В кострецовой ассоциации на серо-зеленых глинах, донниковой и кострецовой на красно-бурых глинах доминируют диплоподы. Характерно, что наиболее выровненные соотношения трех основных групп герпетобионтных беспозвоночных складываются на педоземах – не выражено резкого преобладания ни одного из выявленных таксонов. Наиболее контрастно соотношение пауков, жуков и диплопод в верхней и средней трети лесонасаждения и донниковой ассоциации на лессовидных суглинках.

Кластерный анализ структуры населения герпетобионтных беспозвоночных позволил выделить 8 наиболее различных группировок (рис. 5). Ординация сообщества герпетобионтов с помощью анализа соответствий и расположение группировок в пространстве канонических осей дают возможность выявить природу этих группировок (рис. 6).

Ординация четко дифференцирует население на две компоненты: виды, связанные с искусственным лесным насаждением, и виды открытых пространств. Последние дифференцируются на комплекс видов, связанных с растительной формацией донника желтого и наиболее часто встречающиеся на дерново-литогенных почвах на лессах и серо-зеленных глинах, с одной стороны, и комплекс видов, связанный с кострецом и дерново-литогенными почвами на красно-бурых глинах и педоземами с насыпным слоем чернозема, с другой.

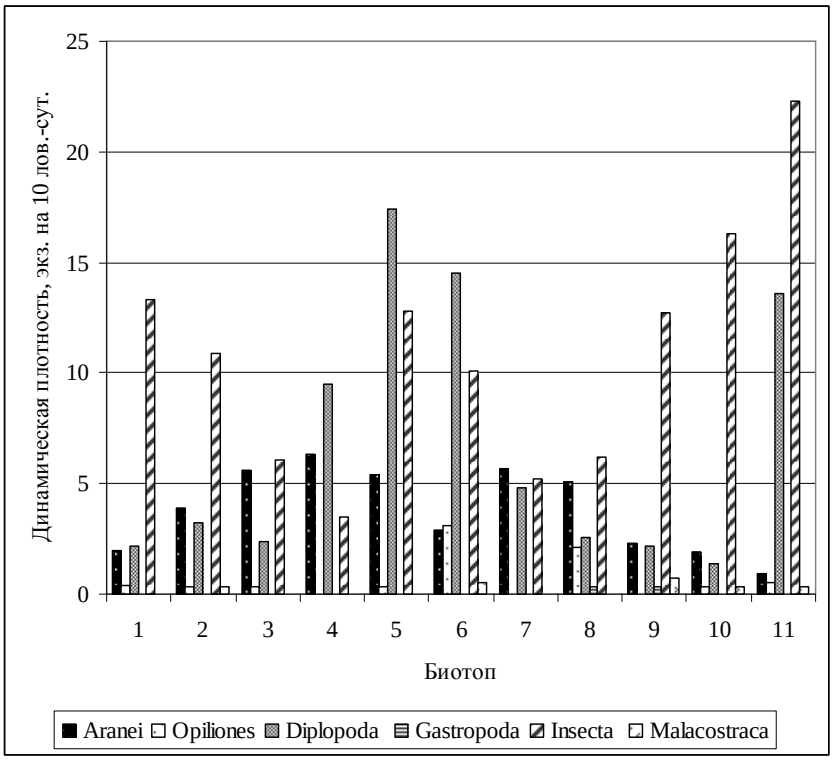


Рис. 3. Динамическая плотность герпетобионтных беспозвоночных на участках рекультивации.

Условные обозначения: 1 – донник на лессовидном суглинке, 2 – кострец на лессовидном суглинке, 3 – донник на серо-зеленых глинах, 4 – кострец на серо-зеленых глинах, 5 – донник на красно-бурых глинах, 6 – кострец на красно-бурых глинах, 7 – донник на педоземе, 8 – кострец на педоземе, 9 – верхняя треть склона акациевого лесонасаждения, 10 – средняя треть склона акациевого лесонасаждения, 11 – нижняя треть склона акациевого лесонасаждения.

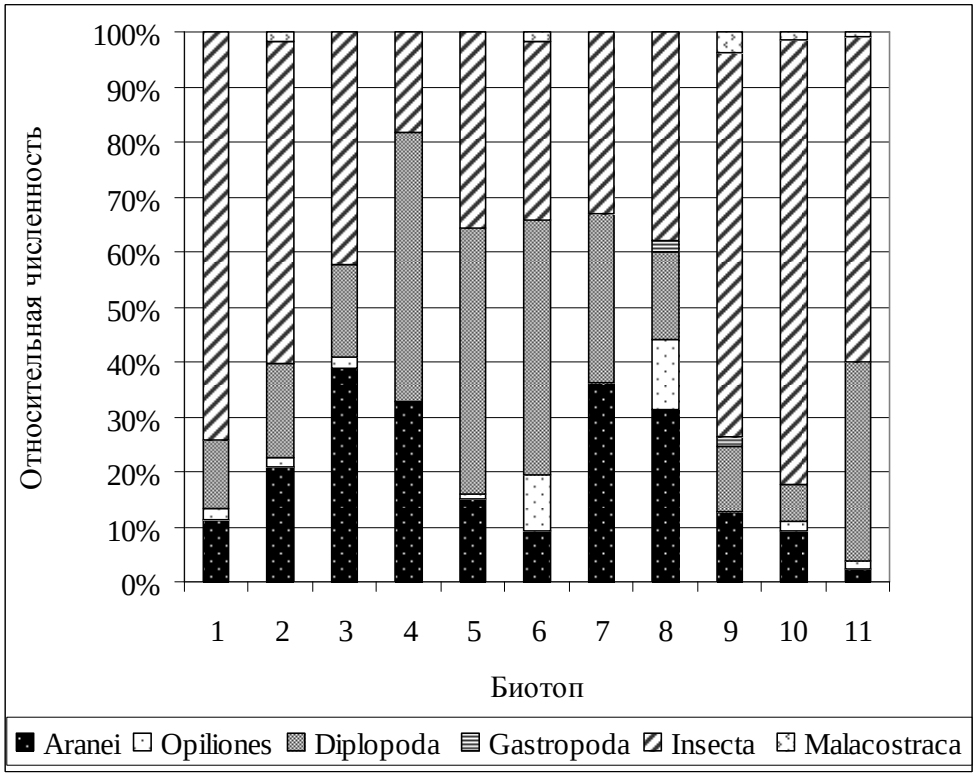


Рис. 4. Структура населения герпетобионтных беспозвоночных на участках рекультивации (условные обозначения, как на рис. 3).

С искусственным лесным насаждением связаны кластеры 2 и 7, которые отличаются предпочтением различных участков склона. В верхней и средней частях склона преимущественно встречаются представители кластера 2. Эта группировка представлена 13 видами: Arachnida – *Drassodes pubescens*; Insecta – *Calathus fuscipes, Harpalus rufipes, Leistus ferrugineus, Ophonus azureus, Poecilus sericeus, Cetonia aurata, Dorcus parallelipipedus, Nicrophorus vestigator, Silpha carinata, S. obscura, S. tyrolensis, Asida lutosa*. Представители кластера 7 предпочитают нижнюю треть откоса искусственного насаждения и представлены 14 видами: Arachnida – *Alopecosa pulverulenta, Xysticus luctator*; Diplopoda – *Megaphyllum kievense*; Gastropoda – *Euomphalia strigella*; Insecta – *Amara similata, Calathus melanocephalus, Harpalus modestus, Harpalus picipennis, Zabrus spinipes, Dorcadion holosericeum, Pedestredorcadion pedestre, Hister quadrimaculatus, Gnaptor spinimanus*; Malacostraca – *Trachelipus rathkii.*

Дифференциация животного населения в лесном насаждении на два кластера происходит ввиду различий гидротермического режима различных участков склона, что подтверждается особенностями комплексов животных. Так, в состав кластера 7 (нижняя треть склона) входят относительно влаголюбивые виды – мокрицы *T. rathkii* и моллюски *E. strigella*, а также мезофильные виды пауков – *A. pulverulenta* и *X. luctator*.

Общим для дерново-литогенных почв на лесах и серо-зеленых глинах является комплекс видов, соответствующий кластеру 8. В его состав входят 5 видов: Arachnida – *Alopecosa taeniopus, Trochosa ruricola, Steatoda phalerata, Xysticus kochi,* Insecta – Noctuidae gen. sp. (larv.). Индикатором дерново-литогенных почв на лёсах является кластер 5, представленный 6 видами: Arachnida – *Phrurolithus pullatus, Xerolycosa miniata;* Insecta – *Chlaenius tristis, Harpalus affinis, Harpalus servus, Dermestes laniarius.* Индикатором дерново-литогенных почв на серо-зеленых глинах следует рассматривать кластер 3, представленный 10 видами: Arachnida – *Drassodes lapidosus; Diplocephalus picinus; Alopecosa cursor, Pardosa agrestis;* Insecta – *Harpalus latus, H. serripes, Lytta vesicatoria, Staphylinus erythropterus, Blaps lethifera, Gonocephalum pusillum.* Три указанных кластера тяготеют к участкам, где преобладает формация донника желтого.

Педоземы с насыпным слоем чернозема и дерново-литогенные почвы на красно-бурых глинах индицируются по группе видов, соответствующих кластеру 6. Этот кластер включает 8 видов беспозвоночных: Arachnida – *Zelotes caucasicus, Ipa terrenus, Talavera petrensis, Xysticus britcheri*; Gastropoda – *Cochlicopa lubrica;* Insecta – *Amara aenea, Harpalus subcylindricus, Pedinus femoralis.* С педоземами связан кластер 4, состоящий из 16 видов: Arachnida – *Gnaphosa lucifuga, Trachyzelotes malkini, Zelotes longipes, Trochosa robusta, Opilio saxatilis;* Diplopoda – *Rossiulus kessleri,* Insecta – *Ptilinus fuscus, Brachinus crepitans, Harpalus distinguendus, Zabrus tenebrioides, Coccinella septempunctata,* Curculionidae gen. sp., *Pentodon idiota, Blaps halophila, Crypticus quisquilius, Opatrum sabulosum.*

С дерново-литогенными почвами на красно-бурых глинах связан комплекс видов, представленный кластером 1. Этот кластер включает 10 видов: Arachnida – *Agelena labyrinthica, Trochosa terricola, Xerolycosa nemoralis, Aelurillus v-insignitus;* Insecta – *Broscus cephalotes, Harpalus griseus, Poecilus versicolor, Pedestredorcadion pusillum,* Chrysomelidae gen. sp., *Ocypus ophthalmicus.*

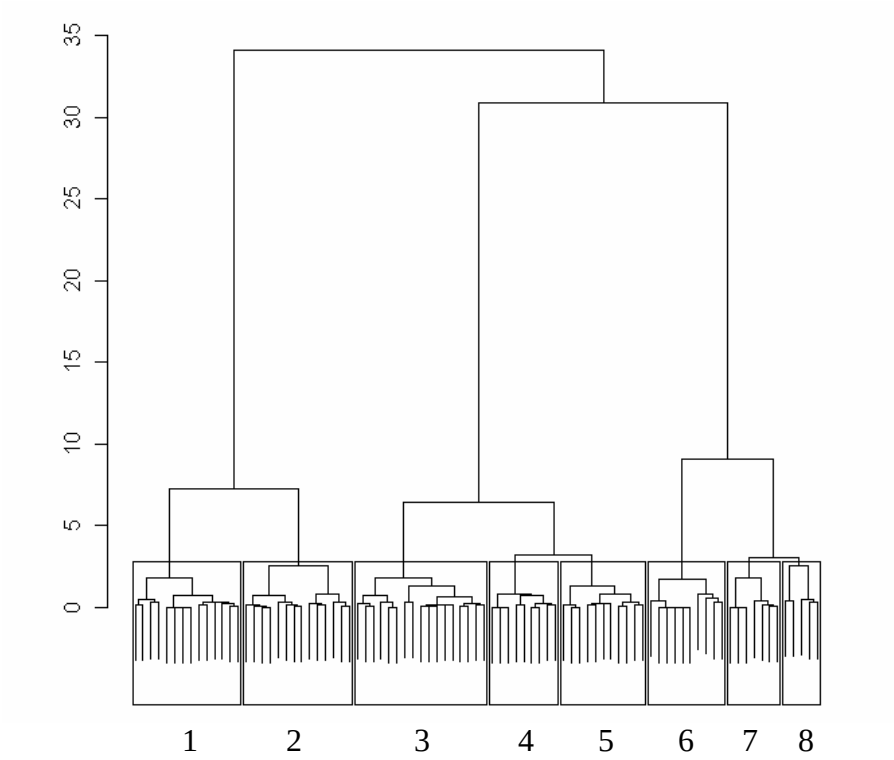


Рис. 5. Кластерный анализ сообщества герпетобионтов (евклидово расстояние, метод Уорда).

Условные обозначения: по горизонтали – виды беспозвоночных (содержание кластеров обсуждается в тексте); по вертикали – евклидово расстояние.

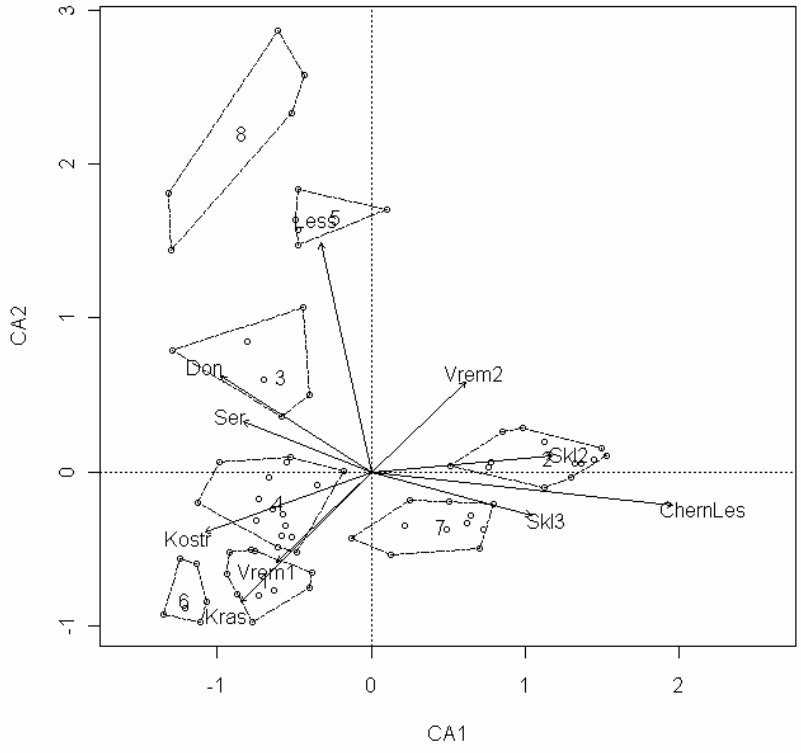


Рис. 6. Ординация сообщества герпетобионтов на участке рекультивации (анализ соответствий).

Условные обозначения: дерново-литогенные почвы на серо-зеленных глинах – Ser, на лёсовидных суглинках – Les, на красно-бурых глинах – Kras, лесоулучшенные – ChernLes; временные периоды отбора проб – Vrem1, Vrem2; средняя часть склона – Skl2, нижняя часть склона – Skl3; растительная ассоциация костреца – Kostr и донника – Don. Представлены переменные, влияние которых на структуру животного населения значимо при $p < 0,05$.

Выводы

Установлено, что тип технозема и тип растительного покрова являются важными факторами, которые оказывают существенное влияние на различные аспекты разнообразия сообщества герпетобионтов рекультивируемой территории. Необходимо отметить, что тип технозема и тип растительного покрова только условно в рамках организации сбора данных о напочвенных животных приняты как независимые факторы. Необходимо учесть, что однотипные ассоциации в пределах различных типов техноземов не тождественны друг другу как по флористическому составу, так и по продукционным характеристикам. Значительное разнообразие и обилие герпетобионтов делает этот биогеоценотический блок важным функциональным компонентом, который в свою очередь воздействует на интенсивность почвообразовательного процесса и структуру растительности.

Эдафическая обстановка и особенности растительного покрова рекультивируемых земель формируют специфические экологические условия, в ответ на которые формируются четко обособленные специфические группировки герпетобионтов. Возникает вопрос о статусе этих группировок и их отношениях к степным зональным сообществам и производным от них сообществам агроценозов.

Список литературы

1. *Бондарь Г. А.* Экологическая структура растительного покрова, сформированного в результате самозарастания дерново-литогенных почв на лессовидных суглинках / Г. А. Бондарь, А. В. Жуков // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. – 2011, № 1. – С. 54–62.

2. *Бондарь Г. А.* ГИС-анализ экологической структуры растительности дерново-литогенных почв на лессовидных суглинках / Г. А. Бондарь, Г. А. Задорожная, О. Н. Кунах, А. В. Жуков // Відновлення порушенних природних екосистем: матер. IV міжнар. наук. конф. (м. Донецьк, 18-21 жовтня 2011 р.). – Донецьк, 2011. – С. 56–60.

3. *Етеревская Л. В.* Почвообразование и рекультивация земель в техногенных ландшафтах Украины: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.03 / Л. В. Етеревская. – Харьков, 1989. – 42 с.

4. *Жуков А. В.* Целлюлозолитическая активность техноземов на экспериментальном участке рекультивации земель, нарушенных гонодобывающей промышленностью / А. В. Жуков, И. В. Лядская // Вестник Донецкого национального университета. Сер. А: Естественные науки. – 2009. – Вып. 2. – С. 286–290.

5. *Жуков А. В.* Геостатистический анализ распределения фитомассы на участке рекультивации земель, нарушенных горнодобывающей промышленностью / А. В. Жуков, И. В. Лядская, А. В. Вагнер // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. – 2010. – № 1. – С. 48–52.

6. *Забалуєв В. О.* Едафо-фітоценотичне обгрунтування формирования и функционирования стойких агроекосистем на рекультивованих землях Степи Украины: автореф. дис. ... д-ра с.-г. наук: 03.00.16 / В. О. Забалуєв. – К., 2005. – 40 с.

7. *Масюк Н. Т.* Особенности формирования естественных и культурных фитоценозов на вскрышных горных породах в местах производственной добычи полезных ископаемых / Н. Т. Масюк // Рекультивация земель: сб. науч. тр. ДСХИ. – Днепропетровск, 1974. – С. 62–105.

8. *Узбек И. Х.* Рекультивация нарушенных земель как устойчивое развитие сложных техноэкосистем: монография / И. Х. Узбек, А. С. Кобец, П. В. Волох и др. / Под ред. И. Х. Узбека. – Днепропетровск: Пороги, 2010. – 263 с.

9. *Шемавнев В. И.* Устойчивое развитие сложных экотехносистем / В. И. Шемавнев, Н. А. Гордиенко, В. И. Дырда, В. О. Забалуєв. – М., Днепропетровск, 2005. – 355 с.

10. *Desender K., Ervinck A., Tack G.* Beetle diversity and historical ecology of woodlands in Flanders / K. Desender, A. Ervinck, G. Tack // Belg. J. Zool. – 1999. – Vol. 129. – P. 139–156.

11. *Oksanen J.* Vegan: Community Ecology Package. R package version 2.0-2 / J. Oksanen, F. G. Blanchet, R. Kindt et al. – 2011. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://CRAN.R-project.org/package=vegan

12. *Pontegnie M.* Impacts of silvicultural practices on the structure of hemi-edaphic macrofauna community / M. Pontegnie, G. du Bus de Warnaffe, Ph. Lebruna // Pedobiologia. – 2005. – № 49. – P. 199–210.

13. *Warwick R. M.* New «biodiversity» measures reveal a decrease in taxonomic distinctness with increasing stress / R. M. Warwick, K. R. Clarke // Mar. Ecol. Prog. Ser. – 1995. – Vol. 129. – P. 301–305.

14. *Warwick R. M.* Practical measures of marine biodiversity based on relatedness of species / R. M. Warwick, K. R. Clark // Oceanography Mar. Biol. – 2001. – Vol. 39 (39). – P. 207–231.

15. *Whittaker R. H.* Vegetation of the siskiyou mountains, Oregon and California / R. H. Whittaker // Ecological Monographs. – 1960. – № 30. – P. 279–338.

Прокопенко О. В., Жуков О. В. **Розмаїтість герпетобіонтних безхребетних на експериментальній ділянці рекультивації земель, порушених гірничодобувною промисловістю.** – Досліджені таксономічний склад, видова розмаїтість, динамічна щільність тваринного населення герпетобію ділянок рекультивації земель, порушених гірничодобувною промисловістю. Проведені кластерний аналіз та ординація угруповань досліджених техноземів.

Ключові слова: герпетобіонти, структура тваринного населення, техноземи, рекультивація.

Prokopenko E. V., Zhukov A. V. **The diversity of the herpetobiont invertebrates community on the recultivation experimental site on the soil destroyed by the mining**. – Taxonomic structure, species diversity and dynamic abundance of the herpetobiont community on the recultivation experimental site on the soil destroyed by the mining have been investigated. The claster analysis and community ordination have been carried out.

Key words: herpetobiont invertebrates, animal community structure, technosems, recultivation.

УДК 595.771

© М. В. Рева[1], З. В. Усова, Р. Д. Семушин[2]

МОШКИ (DIPTERA, SIMULIIDAE) КАК БИОИНДИКАТОРЫ ЧИСТОТЫ ВОДОЕМОВ ЮГО-ВОСТОКА УКРАИНЫ

[1]Донецкий национальный университет; 83050, г. Донецк, ул. Щорса, 46
[2]Макеевская городская СЭС; 86106, г. Макеевка, ул. Транспортная, 1
e-mail: eco99@i.ua

Рева М. В., Усова З. В., Семушин Р. Д. **Мошки (Diptera, Simuliidae) как биоиндикаторы чистоты водоемов юго-востока Украины.** – Приведено описание видов-биоиндикаторов чистоты водоемов юго-востока Украины, а также даны систематические замечания к каждому виду и сведения по биологии.

Ключевые слова: систематика, Diptera, Simuliidae, юго-восток Украины.

Введение

Одной из важных задач современной прикладной экологии является поиск видов-биоиндикаторов степени загрязненности окружающей среды. Мошки (Diptera, Simuliidae) наряду с другими видами-фильтраторами играют важную роль в гидробиоценозах и могут служить биоиндикаторами относительного состояния водных экосистем.

Современное зоогеографическое распространение видов, их приуроченность к определенным ареалам – вопрос сложный и многофакторный. Формирование фауны симулиид происходило под влиянием эколого-географических условий местности в настоящее время и в прошлые геологические эпохи [1, 4]. Сейчас на этот процесс большое влияние оказывает хозяйственная деятельность человека. При этом отмечается увеличение численности синантропных эвритопных видов и исчезновение стенотопных реофилов.

Материал и методы исследования

Материалом для написания работы послужили сборы мошек в водотоках юго-востока Украины за период с 1965 г. по настоящее время.

Сбор мошек, камеральную обработку материала проводили по общепринятым методикам И. А. Рубцова [2], З. В. Усовой [3] с некоторыми изменениями [4].

В качестве критерия для выявления видов-биоиндикаторов была изучена видовая структура мошек биоценозов водоемов, сходных по экологическим условиям, но различных по степени загрязненности.

Результаты исследований

В настоящее время [6] на территории юго-востока Украины обнаружено 50 видов мошек, относящихся к 11 родам.

Результаты собственных исследований и анализ литературных данных показал, что в относительно незагрязненных водоемах обитают виды, не встречающиеся в водоемах, загрязненных отходами металлургической, химической, горнодобывающей промышленности, а также бытовыми стоками. К таким видам в водотоках на юго-востоке Украины следует отнести: *Hellichiella latipes* (Meigen, 1804), *Eusimulium krymense* Rubz., 1956, *Eusimulium angustipes* (Edw., 1915), *Cnetha verna* (Macquart, 1826), *Odagmia frigida* (Rubz., 1940).

Ниже приводим описание видов-биоиндикаторов в водотоках юго-востока Украины.

Hellichiella latipes (Mg.) (рис. 1, 2).

Meigen, 1804; Edwards, 1915: 41 (*Simulium subexcusum*); Edwards, 1920, 11: 244; Puri, 1925: 358-359; Рубцов, 1940: 328-329 [*Simulium* (*Astega*)]; Grenier et Rageau, 1951: 371-373 (*Cnephia*); Янковский, 2001: 10, 83, 260, 265, 266.

Самка. Длина тела – 3,0-3,2 мм.

Голова. Лоб высокий (0,24 мм), узкий (наименьшая ширина – 0,09 мм), параллельнокрайний, равномерно опушен короткими волосками. Лицо округло-квадратное, более-менее равномерно опушено. Усики и щупики черные. Длина усиков – 0,48 мм, 3-й членик примерно равен 4-му. Щупик с 4-м члеником длиной 0,20-0,22 мм, который чуть меньше длины 2-го и 3-го члеников вместе взятых (0,24 мм). Лаутерборнов орган маленький (длина – 0,04 мм, максимальная ширина – 0,04 мм), занимает приблизительно ¼ объема членика. Мандибула расширена на дистальном конце, неравномерно скошена, внутренних зубцов – 22, наружных – 10. Максилла имеет 16 внутренних и 14 наружных зубцов. Глоточный склерит длинный, прямоугольный (длина – 0,28 мм, в 2 раза больше ширины), с выростами по бокам.

Грудь. Спинка тускло-черновато-серая в желтоватом густом грубом опушении.

Ноги коричневато-черные. 1-й членик передней лапки цилиндрический, его длина (0,36 мм) в 1,5 раза меньше длины голени. 1-й членик задней лапки цилиндрический, длинный (0,50 мм), в 1,5 раза короче длины голени. Кальципала короткая (длина – 0,02 мм; ширина – 0,02 мм), занимает чуть меньше половины ширины членика на дистальном конце. Педисулькус с едва заметной неглубокой выемкой, которая занимает не более ⅓ ширины членика. Коготок с крупным зубцом у основания, который равен более половины длины коготка.

Брюшко. Вилочка с длинным (0,25 мм), слабо расширяющимся к вершине стебельком; ветви широкие, со склеротизированными полосками по бокам, расходятся под углом 75-80^0, концы ветвей остротреугольные. Базистернум с выростами по бокам, однородно окрашен. Анальные пластинки овально-треугольной формы (длина – 0,07 мм, ширина – 0,23 мм), наружный край опушен разновеликими волосками, внутренний задний край анальной пластинки вытянут. Церки шапковидной формы.

Генитальные пластинки прямоугольные, более-менее равномерно опушены.

Самец. Длина тела – 2,3-3,0 мм.

Голова. Лицевой киль высоко-колбовидной формы, по бокам опушен волосками. Усики и щупики темные, приблизительно равны по длине (0,45 мм). 3-й членик усиков в 2 раза длиннее 4-го. 4-й членик щупика короткий (0,17 мм), почти равен двум предыдущим членикам вместе взятым.

Грудь. Спинка черная в золотистых волосках.

Ноги сплошь черные, в грубом желтоватом опушении, за исключением лапок; передние бедра, а также задние бедра и голени в длинных темных волосках. Кальципала (0,02 мм) занимает приблизительно ⅓ ширины членика на дистальном конце. Педисулькус с неглубокой выемкой.

Брюшко. Гоностерн пластинчатый, овально-прямоугольный (длина – 0,09 мм примерно в 2 раза меньше ширины), с длинными (0,04 мм) тупыми крючьями. Гонококситы трапециевидной формы, сужены к основанию (длина – 0,17 мм, ширина у вершины – 0,27 мм, у основания – 0,10 мм), латеральный вырост короткий и узкий. Гоностили удлиненные (длина – 0,26 мм; ширина – 0,06 мм), конусовидные, на конце с небольшим шипиком. Гонофурка (длина – 0,10 мм; ширина – 0,04 мм) треугольной формы. Парамеры состоят из нескольких бутылковидной формы шипов и удлиненной формы (длина – 0,12 мм, ширина – 0,02 мм) гоноплеврита.

Личинка. Длина тела – 6,5-7,0 мм.

Окраска тела желтовато-коричневая, светлая.

Голова. Рисунок на лбу головной капсулы позитивный, отчетливый крестообразный, боковые затылочные пятна треугольной формы, вытянутые. Антенна длинная, расчленена на 8 члеников; длина 1-го членика равна длине последующих 5-и коротких вместе взятых. В большом веере 55-65 лучей. Мандибула длинная (длина – 0,50 мм; ширина – 0,20 мм), имеет 12 внутренних зубцов и 3-5 неравновеликих краевых, разделенных на 3 группы; вершинный зубец вдвое длиннее предвершинных, которые достигают почти одинаковой длины.

Максилла с крупным щупиком (его длина – 0,15 мм, ширина – 0,05 мм). Субментум с сильно выдающимися боковыми (5-ю) зубцами, двумя парами щетинок по сторонам и с одной парой щетинок посередине ближе к нижнему краю. Вершины промежуточных зубцов субментума лежат на разных уровнях. Вентральный вырез головной капсулы неглубокий (высота – 0,1 мм, ширина – 0,07 мм), достигает менее ⅓ длины головной капсулы. Хитиновые утолщения по бокам выреза достигают почти до его вершины.

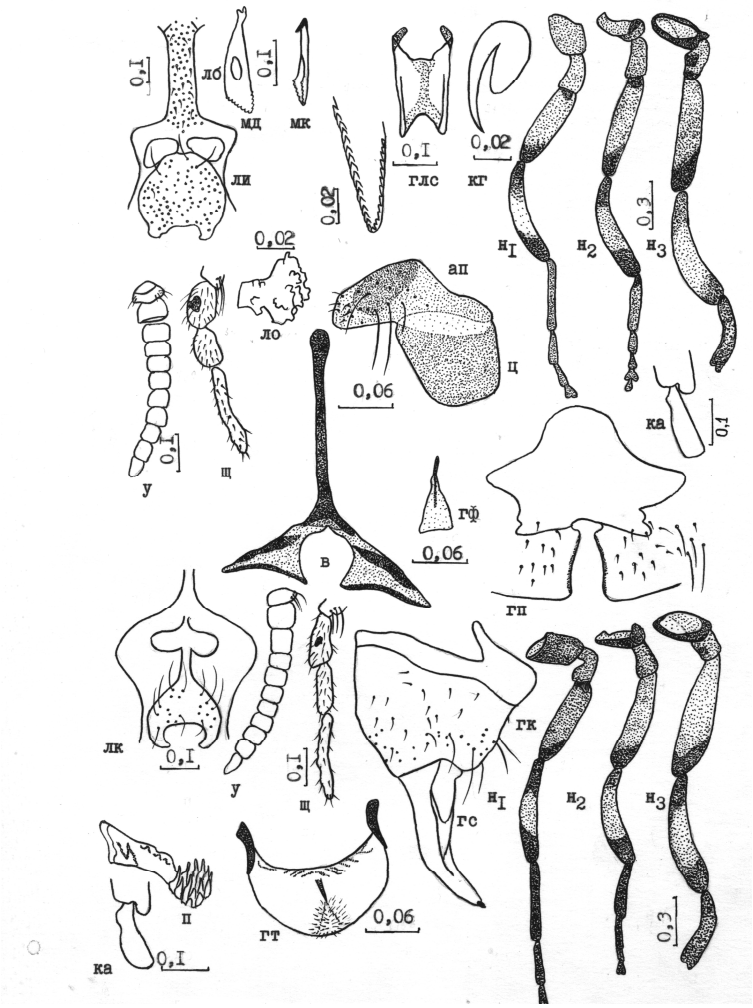


Рис. 1. *Hellichiella latipes* (Mg.): **а** – антенна личинки; **ап** – анальные пластинки; **бс** – базистернум самки; **в** – вилочка самки; **вв** – вентральный вырез личинки; **глс** – глоточный склерит; **гк** – гонококсит; **го** – голень; **гп** – генитальные пластинки самки; **гс** – гоностиль; **гт** – гоностерн; **гф** – гонофурка; **до** – дыхательный орган; **зм** – зубцы мандибулы; **ка** – кальципала; **кг** – коготок; **крк** – крючки на брюшке куколки; **лб** – лоб самки; **ло** – лаутерборнов орган; **лс** – лобный склерит личинки; **мд** – мандибула; **мк** – максилла; **мкщ** – максиллярный щупик; **н** – нога; **нгл** – надглоточник; **п** – парамеры; **см** – субментум; **у** – усик; **ц** – церки; **щ** – щупики.

Брюшко. Хитиновая рама маленькая, ее нижние ветви достигают 8-го ряда крючьев заднего прикрепительного органа, который состоит из 75-85 рядов крючьев по 10-12 крючьев в ряду.

Куколка. Длина тела – 3,4 мм.

Плетение кокона рыхлое, по переднему краю кокона посередине один длинный роговидный вырост, который выступает вперед почти на одном уровне с боковыми краями кокона. Дыхательные нити очень длинные, в количестве 6. 1-я пара идет вверх, и 2-е пары ветвящихся дихотомически – вниз. На V-м и VII-м тергитах брюшка находятся неполные

ряды мелких шипиков, на VIII-м и IX-м – ряд более крупных шипов. Каудальные шипы хорошо развиты.

Систематические замечания. Провести сравнительный анализ вида *H. latipes* (Mg.) представляется весьма затруднительным. Наши формы сходны с описанием и изображением вида *H. subexcisa* (Edw.) (по И. А. Рубцову [2]), сведенным в синонимы к *H. latipes* (Mg.). Что же касается вида *Eusimulium latipes* (Mg.), то он включает, по всей вероятности, группу из нескольких различных видов [2], некоторые из которых обнаруживают сходство с видом *H. subexcisa* (Edw.) в фазе самки. Для их выделения в самостоятельные виды необходимы дополнительные исследования.

Биология. Вид очень редкий и крайне малочисленный. Личинки заселяют узколистную водную растительность и ветви опада деревьев на затененных участках русла при скорости течения воды 0,2-0,4 м/сек.

В году имеет одно поколение. Зимуют яйца. Личинки отрождаютя в конце апреля – начале мая при температуре воды 10-12ºС. Развитие личинок длится 3-5 недель. Окукление и вылет имаго наблюдаются в конце мая – первой половине июня при температуре воды 14-17 ºС. Последние куколки встречаются во II-й декаде июня.

Места обнаружения: ручей – приток р. Красной у с. Красная Поповка Кременского района Луганской области Украины.

Общее распространение. Карелия, Европа, Канада.

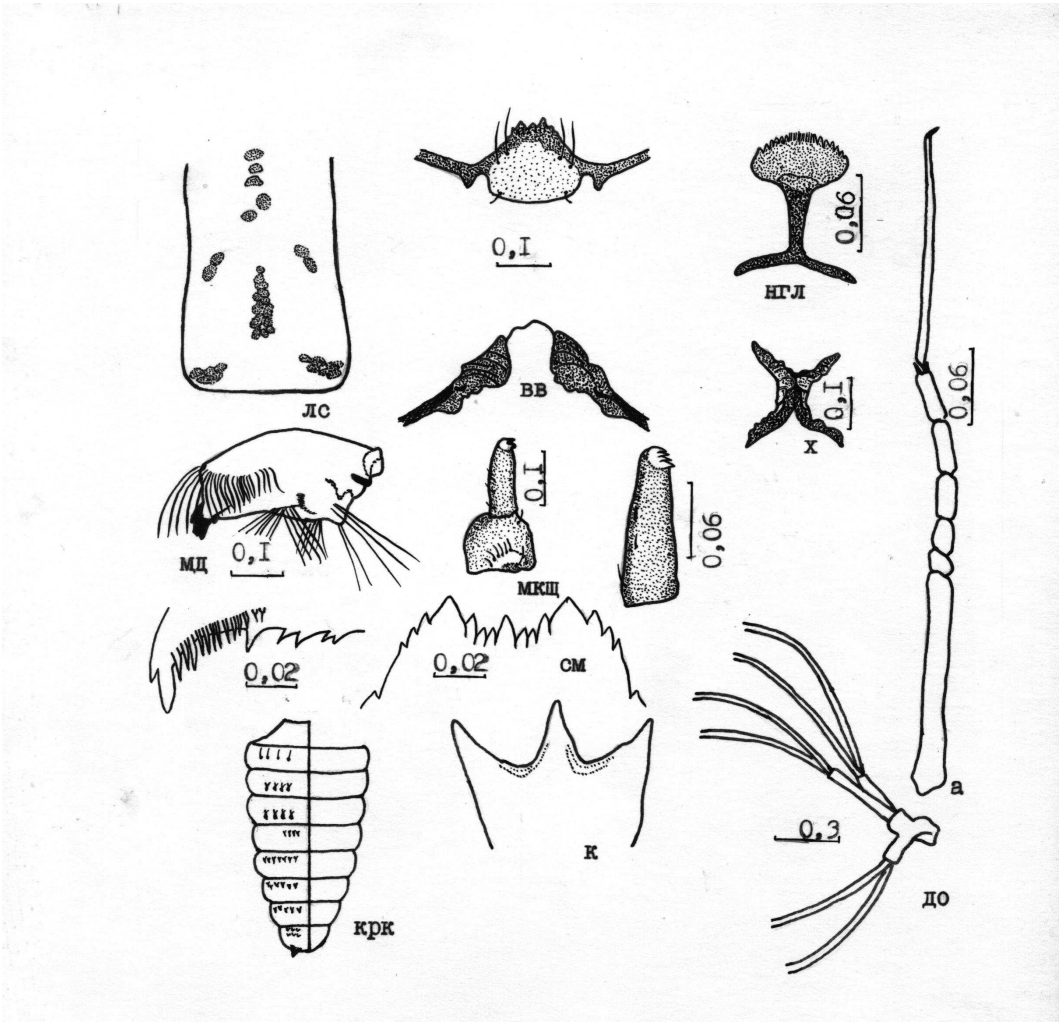


Рис. 2. *Hellichiella latipes* (Mg.) (условные обозначения – см. рис. 1).

Nevermannia lundsrtomi Enderlein, 1921 (рис. 3, 4).

Enderlein 1921: 212-224; Enderlein 1922, Konovia, I, p. 68 (*Nevermannia*); 1930, Arch. Klass. phylog. Ent. I, p. 77 (*Cnetha*); Рубцов, 1956: 482 (*Eusimulium*); Rubtzov and Carlson, 1956, Acta Univ. Lund. II, p. 25-27 (*Ch. kertessi*); Рубцов, 1962: 352 (*angustitarse*); Каплич, Сухомлин, Усова, 1992: 34-38; Янковский, 2002: 14, 360, 361, 363; Сухомлін, Зінченко, 2007: 73-78.

Самка. Длина тела – 3,0-3,3 мм.

Голова. Лоб высокий (длина – 0,19 мм, наибольшая ширина – 0,40 мм, наименьшая – 0,20 мм), опушен редкими волосками. Лицо округлое (длина – 0,25 мм, ширина – 0,23 мм), густо и равномерно опушено за исключением верхнего края. Усики коричневые, крупные (длина – 0,48 мм), 3-й членик почти равен 4-му. Щупики длинные, светло-коричневые; 2-й членик более темный, очень крупный (длина – 0,14 мм, ширина – 0,12 мм), 4-й членик по длине (0,30 мм) равен или чуть больше длины 2-го и 3-го члеников вместе взятых. Лаутерборнов орган округлый (длина – 0,07 мм, ширина – 0,04 мм), равномерно покрыт чувствительными сосочками. Мандибула несет 20 зубцов по внутреннему краю. На максилле 13 внутренних и 10 наружных зубцов. Глоточный склерит прямоугольный (длина – 0,25 мм, ширина – 0,14 мм) с короткими (0,03 мм) выростами по бокам и ровным верхним краем.

Грудь. Спинка черная, матовая с медно-желтым густым опушением.

Ноги. Окраска темная, бедра и голени наиболее интенсивно затемнены на ¼ у вершины, 1-й членик передней лапки узкий, цилиндрический (длина – 0,40 мм, ширина – 0,07 мм), в 1,5 раза короче голени. Кальципала высокая, крупная (длина – 0,04 мм), занимает половину ширины членика на дистальном конце. Коготок с хорошо выраженным зубцом у основания, который достигает половину длины тела коготка.

Брюшко. Вилочка тонкая, стебелек короткий (0,13 мм), ровный, ветви высокие (0,10 мм), широко расставлены, расходятся под углом 60-65^0, лопасти на ветвях вилочки резко суживаются на концах. Базистернум с расширенным передним краем, Т-образный. Генитальные пластинки чуть языковидно вытянуты, опушены редкими короткими волосками ближе к внутреннему краю. Анальные пластинки (длина – 0,05 мм, ширина – 0,12 мм) с вытянутым в виде рога наружным краем, внутренний край немного рассечен и опушен группой длинных волосков. Церки прямоугольно-овальные, крупные (длина – 0,05 мм, ширина – 0,12 мм), более густо опушены по нижнему наружному краю.

Самец. Длина тела – 2,8-3,2 мм.

Голова. Лицевой киль широкий (0,21 мм) и короткий (0,13 мм), опушен волосками по бокам в нижней части. Усики коричневые, длина 2-го членика (0,08 мм) в 2 раза больше длины 4-го. Длина 4-го членика щупика (0,20 мм) меньше длины 2-го и 3-го члеников вместе взятых.

Грудь. Спинка бархатисто-черная с отчетливыми серебристыми пятнами.

Ноги. Окраска темная, голени более затемнены у основания и вершины. 1-й членик передней лапки узкий, цилиндрический (длина – 0,44 мм), короче голени (0,65 мм), 1-й членик задней лапки имеет хорошо развитую кальципалу (длина – 0,03 мм) четырехугольной формы, которая занимает чуть меньше половины ширины членика на дистальном конце. Педисулькус с глубокой выемкой, которая занимает ¾ ширины членика.

Брюшко. Гоностерн пластинчатый (длина – 0,10 мм, ширина – 0,16 мм), закруглен и сужен в задней части; крючья короткие (0,07 мм) и сильно хитинизированы; валикообразный опушенный медиальный киль тянется вдоль всего тела гоностерна, выступая на заднем конце. Гоностили почти прямоугольные (длина – 0,14 мм, ширина – 0,05 мм) с небольшим носком и маленьким шипиком на вершине. Гонофурка вытянутая (0,12 мм), слегка расширена и закруглена на вершине. Парамеры состоят из одного крупного шипа и вытянутого (0,09 мм) гоноплеврита.

Личинка. Длина тела – 5,5-6,0 мм. Окраска тела серовато-желтая со светло-коричневой головой.

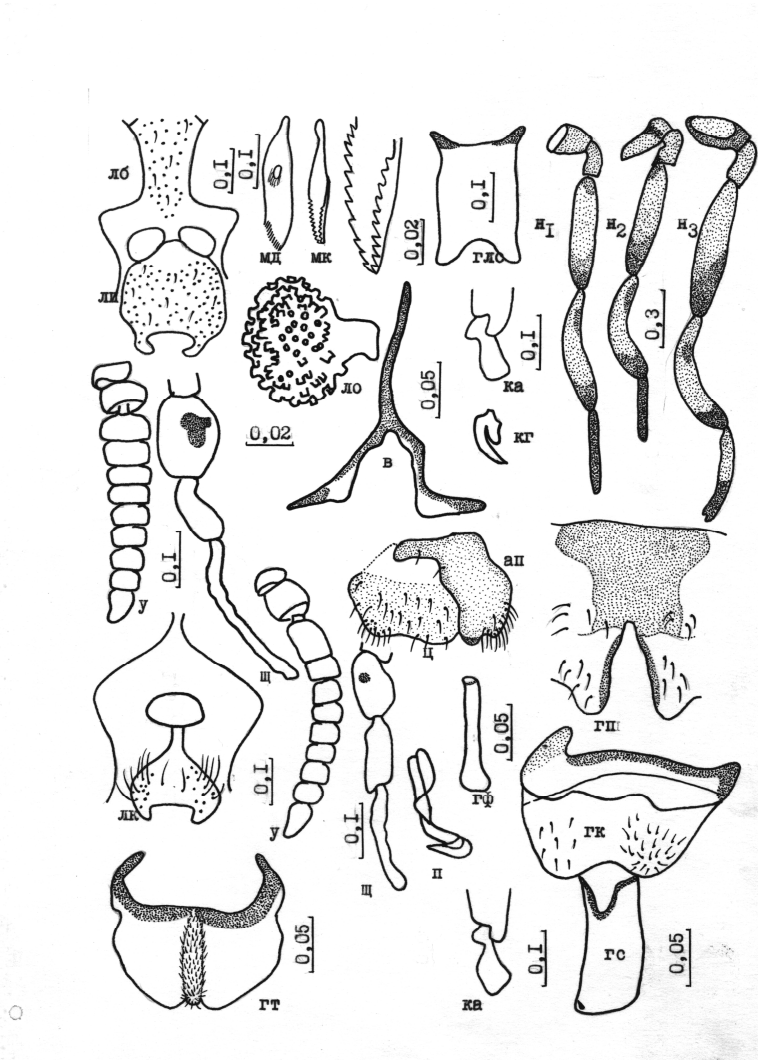


Рис. 3. *Nevermannia lundsrtomi* Enderlein, 1921 (условные обозначения – см. рис.1).

Голова. Рисунок на лбу головной капсулы темный, крестообразный, боковые пятна не явственны, нижнее срединное пятно – в виде полоски; все пятна заключены в ромбическое затемненное «облачко». Антенна длинная (0,15 мм), тонкая, светло окрашена, все членики (за исключением 1-го) приблизительно равны между собой. В большом веере 38-42 луча. Мандибула (длина – 0,14 мм, ширина – 0,06 мм) с выпуклостью по верхнему краю, наружный зубец очень короткий; вершинный зубец мандибулы длинный (0,018 мм) и тонкий; из предвершинных зубцов передний и задний равны по длине, срединный – короче их; внутренних зубцов 3-4; передний краевой зубец длинный, узкий у вершины и широкий у основания, задний зубец маленький. Максиллярный щупик длинный (длина – 0,13 мм, ширина – 0,04 мм). Субментум сужен на переднем крае, его длина (0,15 мм) больше ширины (0,05-0,06 мм), по бокам несет по 3-4 щетинки. Средний зубец крупный, выше уровня боковых, наружный промежуточный зубец выше уровня внутреннего, средний – ниже соседних. Вентральный вырез маленький, округлый (длина – 0,14 мм, ширина – 0,14 мм), занимает менее половины длины щечных склеритов.

Брюшко. Верхние ветви хитиновой рамы короткие (0,05 мм) и широкие с мелкими шипиками; нижние ветви тонкие и ребристые, по длине более чем в 2 раза превосходят верхние, достигают 12-13 ряда крючьев. В заднем прикрепительном органе 54-69 рядов крючьев по 9-11 крючков в каждом ряду.

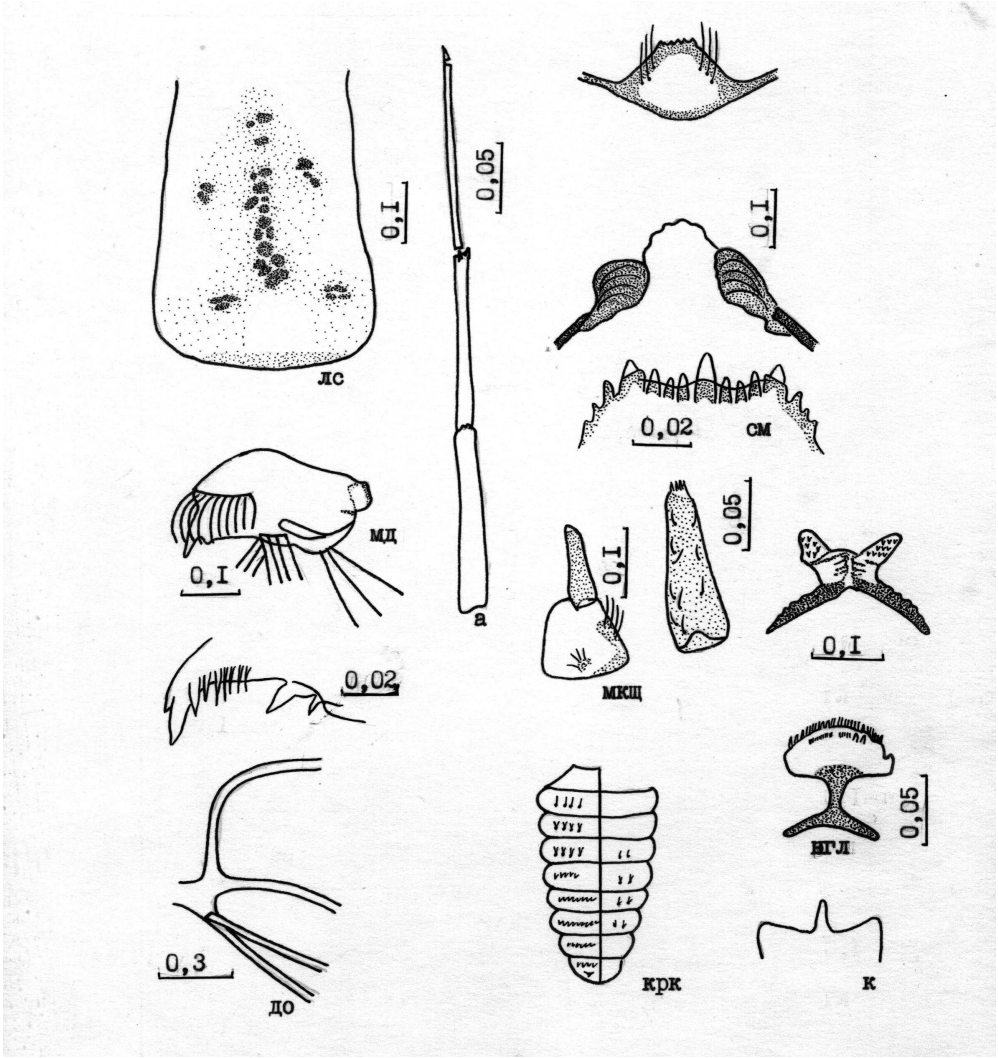


Рис. 4. *Nevermannia lundsrtomi* Enderlein, 1921 (условные обозначения – см. рис.1).

Куколка. Длина тела – 2,8-3,5 мм.

Кокон с плотным кантиком и одним длинным роговидным выростом на переднем крае, который выступает за уровень краев кокона. Дыхательных нитей – 4. Верхняя пара несколько обособлена и толще нижней, из них верхняя нить почти под прямым углом изгибается и затем идет вперед. Верхняя и нижняя нити образуют угол в 125-130^0.

Вооружение тергитов начинается с V-го сегмента. На V-м и VI-м сегментах по одному ряду разновеликих шипиков, на VII-м и VIII-м – по одному ряду крупных треугольных шипиков, на IX-м – мелкие треугольные шипики и крупный каудальный шип.

Систематические замечания. От описания, приведенного И. А. Рубцовым и Г. Карлсоном [5], наши формы отличаются деталями в строении половых придатков самцов и самок, морфологией личинок.

Биология. Малочисленный, редко встречающийся вид. Обитает в ручьях и малых речках. В сборах из ручьев бассейна р. Миус в июне-июле встречались единичные личинки и куколки *N. lundstromi*. Ширина ручьев от 0,3-0,8 до 1,2 м, глубина – 30-60 см, скорость течения воды 0,2-0,5 м/сек. Вода мутная, дно илистое или илисто-каменистое. Температура воды в июне 16-19ºС, в июле-августе 19-23ºС. Субстрат – листья и стебли опускающихся в воду растений. Зимует в фазе яйца.

Места обнаружения: ручьи в Шахтерском районе Донецкой области.

Общее распространение: Венгрия, Германия, Швеция, Северо-Запад Европейской части СНГ.

Eusimulium krymense Rubzov, 1956

Рубцов, 1956: 514; Рубцов, Янковский, 1984: 108; Янковский, 2002: 15, 371, 375, 378, 380.

Самка. Не известна.

Самец. Описание приведено по рисункам И. А. Рубцова [1].

Длина тела – 3,0-3,5 мм.

Голова. Лицевой киль широкий (0,21 мм), квадратно-колбовидный, опушен волосками в верхней части и по бокам. Усики коричневые. Длина усиков приблизительно меньше длины щупиков (0,52 мм). Длина 4-го членика щупика (0,30 мм) больше длины 2-го и 3-го члеников вместе взятых.

Грудь. Спинка бархатисто-черная с ярко-золотистыми волосками и светлыми пятнами по бокам.

Ноги. Окраска сплошь коричнево-черная, в медно-красном опушении. 1-й членик передней лапки узкий, цилиндрический (длина – 0,43 мм), короче голени (0,65 мм), передние голени со светлыми пятнами на наружной стороне в средней части. 1-й членик задней лапки веретеновидно расширен посередине, имеет хорошо развитую кальципалу (длина – 0,03 мм), которая занимает приблизительно половину ширины членика на дистальном конце. Педисулькус с глубокой выемкой, которая занимает ¾ ширины членика.

Брюшко черное, в редких темно-золотистых волосках. Гоностерн сильно сжат с боков. Гоностили с вытянутым носком (длина – 0,10 мм, ширина – 0,05 мм). Гонофурка вытянутая (0,12 мм). Парамеры состоят из одного крупного шипа и вытянутого гоноплеврита (длина – 0,10 мм).

Личинка. Длина тела – около 6 мм.

Голова. Рисунок на лбу четкий, позитивный, крестообразный. Антенна длинная (0,50 мм), тонкая, 1-й членик в 1,5 раза короче 2-го, 3-й – самый длинный. В большом веере 38-46 лучей. Мандибула прямоугольная (длина – 0,32 мм, ширина – 0,17 мм). Вершинный зубец мандибулы длинный (0,01 мм), в 3 раза длиннее переднего предвершинного, широкий (0,009 мм); внутренних зубцов 4-5; краевые зубцы крупные. Максиллярный щупик длинный (0,13 мм) и тонкий (0,04 мм). Субментум сильно сужен спереди (длина – 0,14 мм, ширина – 0,05 мм), по бокам несет по 3-4 щетинки. Средний и боковые зубцы крупные, их вершины лежат на одном уровне; из промежуточных – средний ниже уровня соседних.

Брюшко. Хитиновая рама широкая, ветви короткие (верхние – 0,08 мм, нижние – 0,13 мм). Нижние ветви достигают 10-го ряда крючьев прикрепительного органа. В нем 82-86 рядов крючьев по 13-14 крючьев в каждом ряду.

Куколка. Кокон простой, гладкий. Дыхательных нитей – 4, ветвление неправильно дихотомическое, верхняя пара расположена на стебельке, 3-я нить резко отставлена в сторону и, изгибаясь, идет в одном направлении с остальными нитями.

Биология. Вид редкий, стенотопный. Найден только в одном лесном родниковом ручье, длина которого 80-100 м, ширина до 0,5-1,2 м, глубина 5-15 см и скорость течения воды 0,2-0,4 м/сек. Вода чистая, дно песчаное. Субстрат – водная растительность и ветви опада.

Зимуют личинки. Имеет одну генерацию в году. В январе при температуре воды 3-5ºС они обычно достигают 5-6 мм в длину. В феврале при температуре воды 4-5ºС у личинок формируются дыхательные нити. В марте при температуре воды 5-7ºС происходит окукление. Кровососание не зарегистрировано.

Места обнаружения: родниковый ручей у с. Яровая Краснолиманского района Донецкой области.

Общее распространение. Крым, Европа.

Eusimulium angustipes (Edwards, 1915) (рис. 5, 6)

Edwards, 1915: 23-42; Рубцов, 1956: 514; Рубцов, 1957: 808-809; Усова, 1961: 127-129; Янковский, 2002: 14, 370, 375, 378, 379; Сухомлін, Зінченко, 2007: 90-94.

Самка. Длина тела – 2,6-2,9 мм.

Голова. Лоб высокий (0,18 мм) и узкий (0,11 мм), чуть расширен к затылку (0,13 мм), равномерно и густо покрыт волосками. Лицо округлое (длина – 0,22 мм, ширина – 0,25 мм), более светлое в нижней части, равномерно опушено волосками, голое лишь в верхней части около усиковых ямок. Усики коричневые, по длине (0,54 мм) почти равны щупикам. Щупик длинный, 2-й членик крупный (длина – 0,15 мм, ширина – 0,10 мм), в 2,5 раза шире 3-го членика, 4-й членик длиннее 2-го и 3-го члеников вместе взятых. Лаутерборнов орган крупный (длина – 0,08 мм, ширина – 0,05 мм), занимает ½ членика. Дистальный конец мандибулы треугольной формы, имеет 20 внутренних и 6 наружных зубцов. У максиллы 11 внутренних и 7 наружных зубцов. Глоточный склерит прямоугольный (длина – 0,20 мм, ширина – 0,11 мм), с небольшими (0,04 мм) выростами по бокам.

Грудь. Спинка серовато-черная в густых светло-золотистых волосках.

Ноги. Окраска светло-коричневая, бедра и голени охряные на ¾ от основания и затемнены на ¼ у вершины. 1-й членик передних лапок длинный (0,45 мм), чуть расширен на дистальном конце, его длина в 1,5 раза меньше длины голени; 1-й членик задних лапок с параллельными краями, кальципала хорошо развита (длина – 0,04 мм), занимает более половины ширины членика на дистальном конце. Педисулькус с неглубокой выемкой.

Брюшко. Вилочка высокая и тонкая, ее стебелек длинный (0,18 мм), ветви вилочки высокие (0,10 мм), расширены, расходятся под углом 60-65^0, лопасти на ветвях вилочки длинные (0,08 мм), по ширине почти равны ширине ветвей. Ветви вилочки имеют удлиненные хитиновые утолщения. Генитальные пластинки языковидно вытянуты (0,09-0,10 мм), со слабо вытянутым внутренним краем (0,02-0,03 мм), сильнее затемнены по внутреннему верхнему краю, опушены короткими разрозненными волосками. Анальные пластинки округлые (длина – 0,08 мм, ширина – 0,17 мм), с вытянутыми наружным краем и длинными волосками по внутреннему верхнему краю. Церки неправильно прямоугольные (длина – 0,08 мм, ширина – 0,19 мм), наиболее густо опушены по нижнему краю.

Самец. Длина тела – 2,5-2,9 мм.

Голова. Лицевой киль низко колбовидный, опушен волосками по сторонам, в центре голый. Усики и щупики коричневые, приблизительно одинаковы по длине (0,50 мм), 4-й членик щупика (0,19 мм) почти равен по длине 2-му и 3-му членикам вместе взятым.

Грудь. Спинка бархатисто-черная в золотистых волосках, серебристые пятна не явственны. Ноги темные. Кальципала хорошо развита, ее длина (0,03 мм) равна ширине и занимает половину ширины членика на дистальном конце. Педисулькус с заметной выемкой.

Брюшко. Гоностерн сжат с боков, его крючья толстые и короткие (0,07 мм), расширены на концах; тело гоностерна (длина 0,17 мм) опушено длинными волосками. Гонококсит трапециевидный, сильно сужен к основанию (длина – 0,22 мм, наибольшая ширина – 0,25 мм, наименьшая – 0,07 мм); латеральный вырост короткий (0,065 мм) и широкий (0,04 мм). Гоностили маленькие, крючковидные, их ширина (0,04 мм) в 6 раз меньше ширины гонококситов и в 2 раза короче их. Гонофурка в виде длинной (0,15 мм) узкой пластинки загнутой на проксимальном конце. Парамеры состоят из 1 крупного шипа и вытянутого (0,15 мм) гоноплеврита.

Личинка. Длина тела – 7,0-7,8 мм. Окраска тела серовато-желтоватая, голова светлая.

Голова. Рисунок на лбу светлый, крестообразный, все пятна заключены в легкое темное «облачко». Антенна длинная (0,53 мм), 1-й и 2-й членики почти равны между собой по длине, 3-й членик – чуть короче. В большом веере 35-36 лучей. Мандибула выпуклая по верхнему краю, ее длина (0,28 мм) в 2 раза больше ширины (0,14 мм). Вершинный зубец крупный (0,018 мм), узкий (0,005), острый, наружный – немного короче.

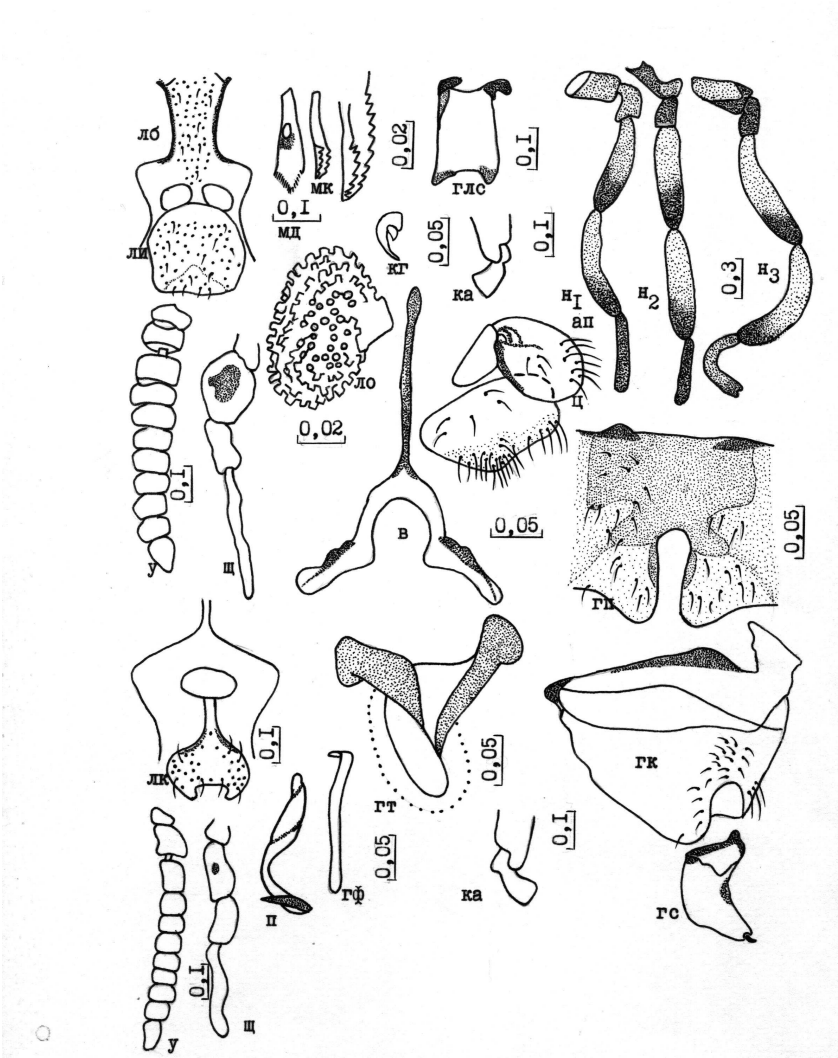


Рис. 5. *Eusimulium angustipes* (Edwards, 1915) (условные обозначения – см. рис. 1).

Передний и задний предвершинные зубцы равны по длине, срединный зубец короче; внутренних зубцов 5-6; краевые зубцы крупные, сближены; передний из них в 2 раза крупнее заднего. Максиллярный щупик крупный (длина – 0,19 мм, ширина – 0,06 мм). Субментум сильно сужен спереди (длина – 0,22 мм, ширина – 0,06 мм), несет по бокам 4-5 щетинок. Зубцы субментума крупные, срединный зубец чуть ниже уровня боковых, из промежуточных зубцов – средний ниже соседних. Вентральный вырез маленький, квадратный (0,12 мм), не достигает до середины длины щечный склеритов.

Брюшко. Ветви хитиновой рамы толстые и короткие (0,07 мм), приблизительно равны по длине. На верхних ветвях множество мелких шипиков. Нижние ветви достигают 8-9-го ряда крючьев. В прикрепительном органе 60-64 ряда крючьев по 10-12 крючьев в каждом ряду.

Куколка. Длина тела – 2,5-2,9 мм.

Дыхательных нитей – 4, верхняя пара нитей чуть толще нижних, из них верхняя нить почти под прямым углом изгибается, а затем идет вперед; угол расхождения верхней и нижней нити около 90^0.

На VI-VIII-м тергитах брюшка ряды разновеликих шипиков, на IX-м тергите мелкие шипики и небольшой каудальный шип.

Систематические замечания. Сравнивая наши формы с описанием, приведенным И. А. Рубцовым [2], видим, что их характеристики в основном совпадают, различия наблюдаются только в описании личиночных стадий: вершинный зубец мандибулы личинок более заострен, крупный, краевые зубцы крупные, задний прилегает к более крупному переднему. Зубцы субментума хорошо развиты, плотно прилегают друг к другу.

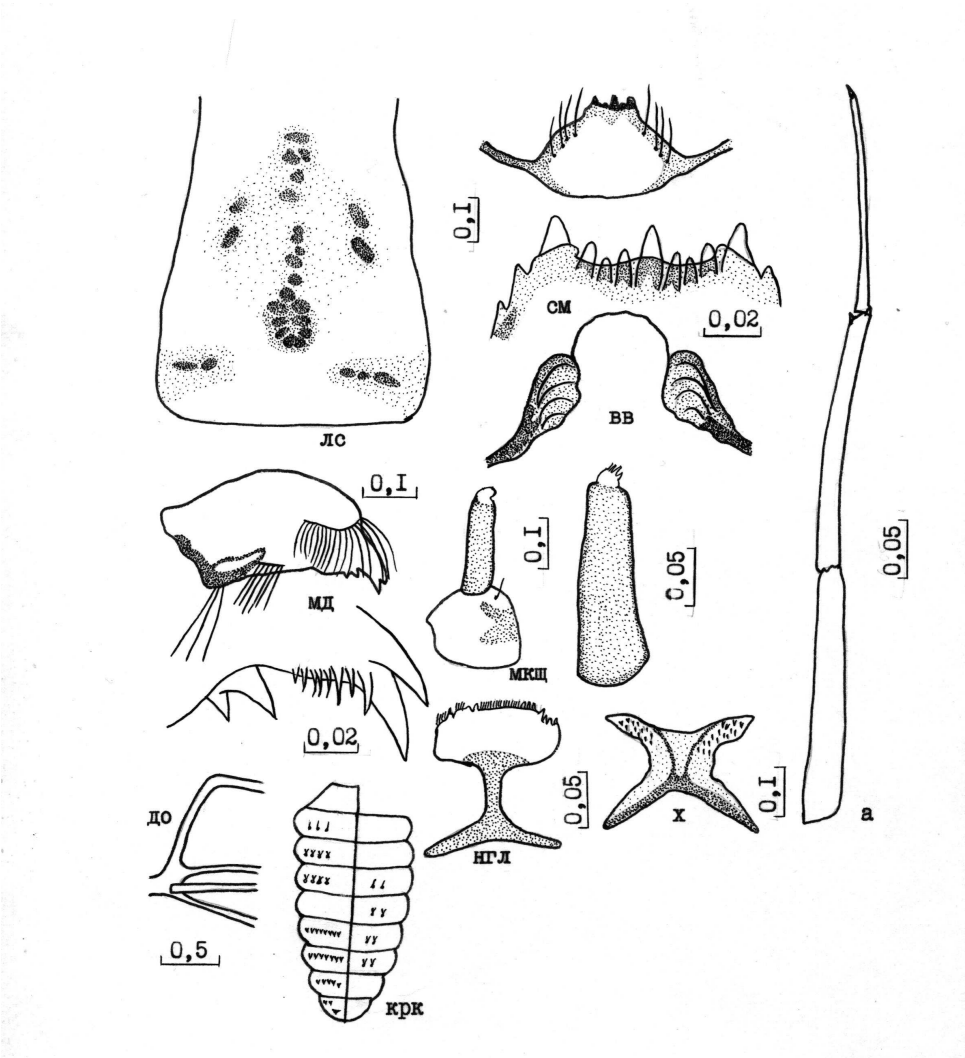


Рис. 6. *Eusimulium angustipes* (Edwards, 1915) (условные обозначения – см. рис. 1).

Биология. Вид малочисленный. Личинки и куколки встречаются в малых реках и ручьях. Населяют водотоки с чистой водой, илисто-песчаным дном, шириной до 1-3 м, глубиной до 1,5 м, скорость течения 0,3-0,7 м/сек. Субстрат – водные растения. В году развивается 2 генерации.

Зимуют личинки. Их отрождение наблюдается в октябре-ноябре при температуре воды 5-8ºС. В марте – начале апреля при температуре воды 8-12ºС у личинок появляются зачатки дыхательных нитей. Окукливание происходит в апреле – начале мая при температуре воды 12-17ºС.

С июля до начала сентября в тех же водотоках при температуре воды 18-23ºС найдены личинки и куколки летней генерации. Как кровосос не отмечен.

Места обнаружения: встречается по всей территории юго-востока Украины, за исключением Приазовья.

Общее распространение. Юго-Восточная и Восточная Европа, Казахстан, Сибирь.

Odagmia frigida (Rubzov, 1940) (рис. 7, 8).

Рубцов, 1940: 531,1956: 650-651; Каплич, Сухомлин, Усова, 1992; Янковский, 2002: 18, 452, 458, 466, 473, 480; Сухомлін, Зінченко, 2007: 133-139.

Самка. Длина тела – 3,1-3,4 мм.

Голова. Лоб высокий (0,16 мм) и широкий, его наименьшая ширина (0,14 мм) почти в 1,5 раза меньше наибольшей (0,19 мм), опушен редкими волосками по бокам. Лицо широкое

(длина – 0,22 мм, ширина – 0,27 мм), почти круглое, опушено в нижней части по бокам. Усики толстые, коричневые, их длина – 0,53 мм, ширина члеников в 2 раза больше длины. Щупики (0,65 мм) длиннее усиков, 4-й членик (0,30 мм) равен по длине 2-му и 3-му вместе взятым. Лаутерборнов орган маленький (длина – 0,04 мм, ширина – 0,03 мм), занимает ⅓ длины и ½ ширины членика, чувствительные сосочки располагаются группами. Мандибула имеет 13 наружных и 27 внутренних зубцов. Максилла с 12 наружными и 13 внутренними зубцами. Глоточный склерит прямоугольный (длина – 0,24 мм, ширина – 0,13 мм), с широкими боковыми выростами (0,04 мм) и шипом посередине верхнего края.

Грудь. Спинка сероватая, на плечевых полях несет серебристый подковообразный рисунок.

Ноги темные, коричневато-желтые, бедра на 3/4 длины коричневые, более интенсивно окрашены у вершины. Голени средних и задних ног затемнены на 2/3 длины у вершины. 1-й членик лапки передней ноги конический, с серебристым пятном, сильно расширен к вершине, его длина (0,5 мм) в 1,5 раза меньше длины голени. Кальципала высокая (0,04 мм), занимает 1/2 ширины членика на дистальном конце. Коготок с мелким зубчиком у основания.

Брюшко. Вилочка с высоким (0,19 мм), слегка расширенным на вершине стержнем; ее ветви имеют хорошо выраженные плечи и плавно расходятся под углом 84°; на лопастях пологие хитинизированные утолщения. Базистернум лентовидный, имеет прямоугольное затемнение. Генитальные пластинки с вогнутыми внутренними краями, далеко отстоящими друг от друга, опушены короткими волосками. Анальные пластинки почти овально-квадратные (длина – 0,08 мм, ширина – 0,14 мм), с неглубоким рассечением на переднем крае. Церки овальные (длина – 0,08 мм, ширина – 0,09 мм), опушены более густо в вершинной части.

Самец**.** Длина тела – 2,9-3,2 мм.

Голова. Лицевой киль опушен длинными волосками, которые располагаются по бокам. Усик темно-коричневый (0,55 мм), 2-й членик равен по длине 4-му и в 1,5 раза короче 3-го. Щупик светло-коричневый, длинный (0,62 мм), 4-й членик (0,30 мм) в 1,3 раза длиннее 2-го и 3-го вместе взятых.

Грудь. Спинка бархатисто-черная, в золотистых волосках. На плечевых полях с серебристым подковообразным рисунком.

Ноги коричневато-желтые, с серебристыми пятнами на передних голенях. Передняя и средняя голени затемнены на 1/5 у основания и 2/5 у вершины. Голени задних ног с темным пятном у основания и затемнением на 1/4 длины у вершины. 1-й членик лапки передней ноги конусовидный, его длина (0,60 мм) в 1,4 раза меньше голени (0,80 мм). Кальципала крупная (длина – 0,03 мм) и широкая (0,04мм), занимает половину ширины членика на дистальном конце. Педисулькус с глубокой выемкой, занимающей ½ ширины членика.

Брюшко. Гоностерн сжат с боков, носок его длинный (0,05 мм) и относительно узкий, опушен мелкими волосками, пятка гоностерна зубчатая, крючья (0,10 мм) чуть длиннее тела (0,09 мм). Гонококситы почти квадратные (длина – 0,17 мм, ширина – 0,20 мм), более густо опушены по заднему краю, особенно у основания; латеральный вырост небольшой (0,03 мм), крючковидный. Гоностили вытянутые (длина – 0,28 мм, ширина – 0,10 мм), сужены и заострены к вершине и несут 1 шип; бугорок у основания невысокий (0,01 мм) и вытянутый (0,08 мм), опушен мелкими волосками. Гонофурка почти прямоугольная (длина – 0,15 мм, ширина – 0,04 мм), резко сужена на проксимальном и рассечена на 1/8 длины у дистального конца. Парамеры состоят из более, чем 20 равновеликих шипов, расположенных в несколько рядов, и крупных гоноплевритов (длина – 0,14 мм, ширина – 0,10 мм).

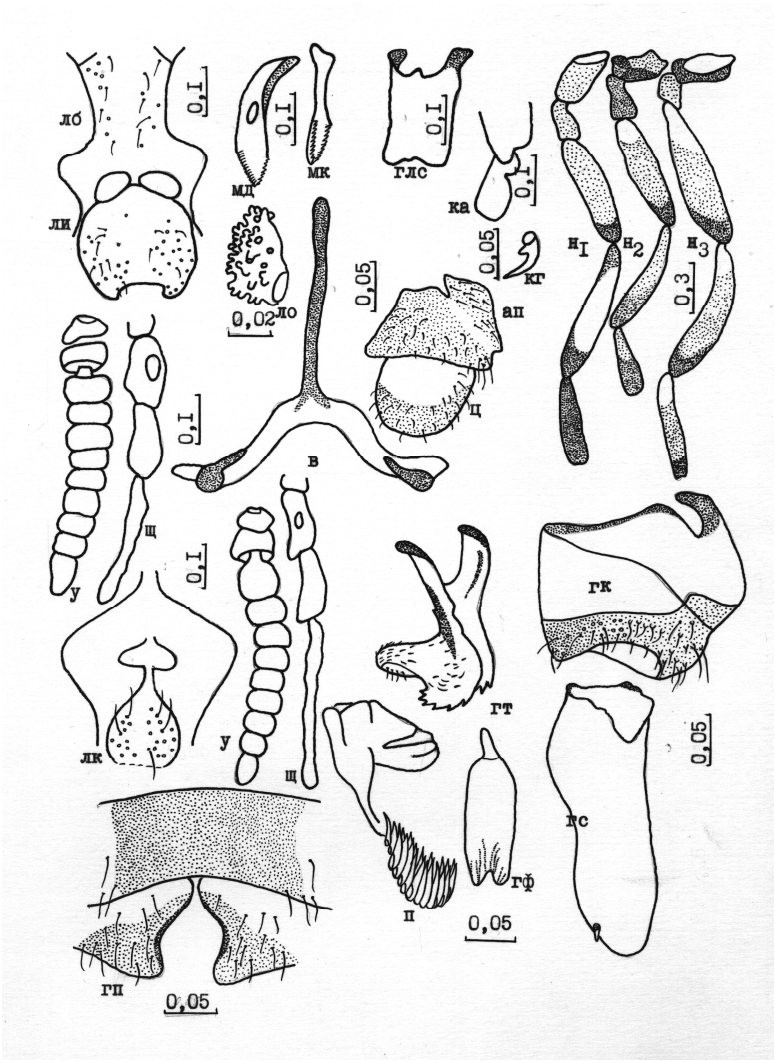


Рис. 7. *Odagmia frigida* (Rubzov, 1940) (условные обозначения – см. рис. 1).

Личинка. Длина тела – 7,1-7,8 мм. Окраска сероватая, голова светлая.

Голова. Рисунок на лбу крестообразный, широкий; верхние и срединные пятна неявственные. В большом веере 35-44 луча. Антенна светлая, длина 0,38 мм. 1-й членик (0,11 мм) приблизительно равен 3-му и в 1,5 раза короче 2-го, не имеет насечки. Мандибула прямоугольная, вытянутая (0,38 мм), её ширина (0,17 мм) в 2 раза меньше длины. Вершинный зубец крупный (0,022 мм), острый, его длина до переднего предвершинного равна 0,015 мм; предвершинные зубцы сближены, уменьшаются от переднего к заднему; внутренних зубцов 8-9; передний краевой зубец в 1,5 раза длиннее заднего. Максилла с крупным щупиком (длина – 0,12 мм, ширина – 0,05 мм). Субментум сужается спереди (длина – 0,15 мм, ширина – 0,08 мм), несет по бокам по 4-5 щетинок. Вершины срединного и боковых зубцов лежат на одном уровне; средний промежуточный зубец лежит ниже уровня соседних. Вентральный вырез маленький, вытянутый, его длина составляет 0,18 мм, ширина – 0,15 мм, занимает почти половину длины капсулы.

Брюшко. Хитиновая рама с тонкими ветвями. Верхние ветви (0,12 мм) короче нижних (0,15 мм), достигающих 12-го ряда крючьев. В заднем прикрепительном органе 62-72 ряда крючьев по 10-12 крючков в каждом.

Куколка. Длина тела – 3,0-3,2 мм. Кокон простой, с тонкими стенками и плотным кантиком. Дыхательных нитей 8, они сидят на длинных стебельках, две верхние пары нитей имеют у основания один общий стволик. Две пары нижних нитей имеют более длинные стволики. Все стволики отходят от общего основания. На VI-VIII-м сегментах брюшка по одному ряду разновеликих шипов. Каудальные шипы маленькие, тупые.

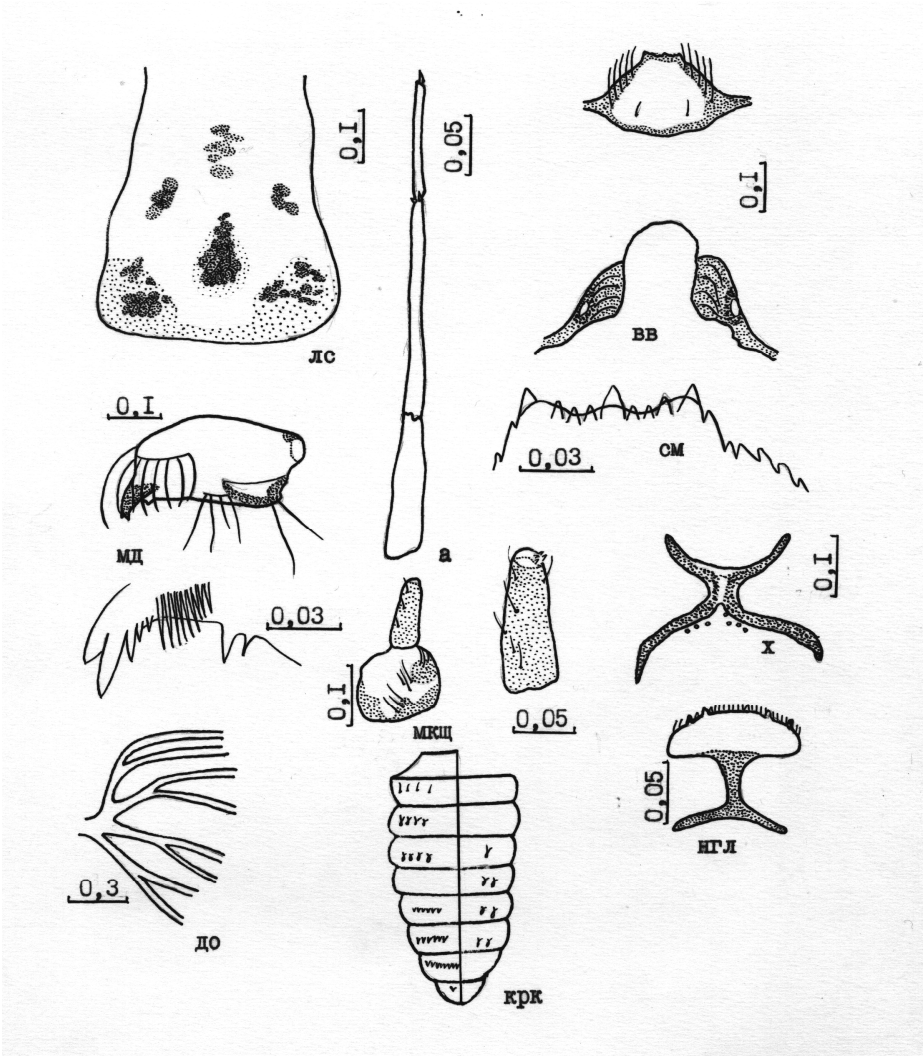


Рис. 8. *Odagmia frigida* (Rubzov, 1940) (условные обозначения – см. рис. 1).

Биология. Вид редкий. Обнаружен в ручьях, длина которых 200-500 м, ширина 0,6-1,5 м, глубина 20-60 см, скорость течения 0,3-0,7 м/сек. Температура воды: в марте – 2-6ºС, в апреле – 7-12 ºС, в мае – 12-17ºС, в июне – 16-21ºС, в июле-августе – 19-23ºС. Вода чистая, дно песчаное. Субстратом для личинок служит водная растительность. Имеет 1-2 генерации.

Зимуют яйца. Личинки старших возрастов и куколки встречались в конце мая – начале июне при температуре воды 15-20ºС.

Систематические замечания. Сравнение наших особей с описанием И. А. Рубцова [2] позволило выявить некоторые различия в строении половых придатков взрослых особей и морфологии личинок и куколок. У самок исследованной нами популяции более мелкий лаутерборнов орган, занимающий ⅓ длины 2-го членика щупика, генитальные пластинки полностью покрыты мелкими волосками; анальная пластинка овально-квадратной формы. Гонококситы самца более высокие (ширина примерно равна высоте); гоностили заострены в вершинной части; гонофурка рассечена на 1/8 длины (по И. А. Рубцову, на 1/3). Личинки отличаются строением антенны (наши формы не имеют насечки на 2-м членике) и деталями строения зубцов субментума. Куколка отличается вооружением брюшка, которое начинается с VI-го сегмента. На VI-м тергите ряд мелких шипиков, на VII-м и VIII-м крупные шипы, каудальный шип маленький и тупой.

Места обнаружения: ручьи поймы рек Северский Донец, Красная, Айдар.

Общее распространение: Европа, Предуралье, Восточная и Западная Сибирь.

Выводы

1. В водотоках на юго-востоке Украины к видам-биоиндикаторам следует отнести: *Hellichiella latipes* (Meigen, 1804), *Eusimulium krymense* Rubz., 1956, *Eusimulium angustipes* (Edw., 1915), *Cnetha verna* (Macquart, 1826), *Odagmia frigida* (Rubz., 1940).

2. Все перечисленные выше виды являются редкими и малочисленными. Зимуют в фазе яйца (искл. *Eusimulium angustipes* (Edw., 1915)). Имеют 1 поколение в году (искл. *Eusimulium angustipes* (Edw., 1915)). Биология изучена недостаточно.

Список литературы

1. *Рубцов И. А.* Об эволюции, филогении и классификации мошек (Diptera, Simuliidae) / И. А. Рубцов // Тр. ЗИН АН СССР. – 1974. – Т. 53. – С. 230–281.

2. *Рубцов И. А.* Мошки (сем. Simuliidae) / И. А. Рубцов. – М.–Л., 1956. – 860 с. (Фауна СССР. – Т. 6, вып. 6. – 2-е изд.).

3. *Усова З. В.* Фауна мошек Карелии и Мурманской области (Diptera, Simuliidae) / З. В. Усова. – М.–Л., 1961. – 286 с.

4. *Янковский А. В.* Определитель мошек (Diptera, Simuliidae) России и и сопредельных территорий (бывшего СССР) / А. В. Янковский. – СПб., 2002. – 568 с.

5. Rubtsov I. On the taxonomy of Black flies from Scandinavia and Northern USSR / I. Rubtsov, G. Carlsson // Acta Universitatis Lundensis. Sectio II. – 1965. – Bd. 18. – 40 p.

6. *Usova Z., Reva M.* Black flies of the South eastern Part of Ukraine / Z. Usova, M. Reva // The 3-d International Simuliidae symposium. – Vilnus, 2008. – P. 52–53.

Рева М. В., Усова З. В., Семушин Р. Д. **Мошки (Diptera, Simuliidae) як біоіндикатори чистоти водойм південного сходу України.** – Наведено опис видів-біоіндикаторів чистоти водойм південного сходу України, а також дано систематичні зауваження до кожного виду та відомості з біології.

Ключові слова: систематика, Diptera, Simuliidae, південний схід України.

Reva M. V., Usova Z. V., Semushin R. D. **Blackflies (Diptera, Simuliidae) as a bioindicators of water quality in the South-East of Ukraine.** – The description of spesies-bioindicators in the South-East of Ukraine has been given, systematic comments on each spesies and information about biology have been developed.

Key words: systematics, Diptera, Simuliidae, South-East of Ukraine.

УДК 595.774 : 591.52 (477.6)

© А. Е. Рязанцева, Е. Н. Маслодудова

БИОТОПЫ ПРЕИМАГИНАЛЬНЫХ ФАЗ КРОВОСОСУЩИХ ДВУКРЫЛЫХ (DIPTERA: CULICIDAE, SIMULIIDAE, CERATOPOGONIDAE, TABANIDAE) В УСЛОВИЯХ Г. ДОНЕЦКА И ЕГО ОКРЕСТНОСТЕЙ

Донецкий национальный университет; 83050, г. Донецк, ул. Щорса, 46
e-mail: maslodudova@mail.ru

Рязанцева А. Е., Маслодудова Е. Н. **Биотопы преимагинальных фаз кровососущих двукрылых (Diptera: Culicidae, Simuliidae, Ceratopogonidae, Tabanidae) в условиях г. Донецка и его окрестностей. –** В статье приведена характеристика биотопов, мест развития кровососущих видов двукрылых, составных компонентов гнуса. Представлена информация об особенностях их биологии в индустриально развитых центрах. Указаны видовые комплексы кровососов, приуроченные к развитию в определенных местах выплода. Результаты исследований окажут теоретическую и методическую помощь при изучении спецкурса «Медицинская и ветеринарная энтомология», а также специалистам в решении задач разработки мер борьбы с кровососами и профилактики заболеваний, передаваемых ими в Донецком регионе.

Ключевые слова: биотопы, преимагинальные фазы, комары, мошки, мокрецы, слепни.

Введение

Донецк – крупный индустриальный центр нашей страны. На его территории имеются благоприятный биотопы, в которых происходит развитие и выплод преимагинальных фаз кровососущих двукрылых насекомых (гнус): комаров (семейство Culicidae), мошек (семейство Simuliidae), мокрецов (семейство Ceratopogonidae), слепней (семейство Tabanidae). В период массового лета эти кровососы причиняют большое беспокойство жителям города своими укусами. Кроме того, они зарегистрированы как переносчики возбудителей опасных заболеваний: малярии, лимфоцитарного хориоменингита, лихорадки Западного Нила, дирофиляриоза, вухериоза, филяриатоза, онхоцеркоза, а также являются механическими переносчиками возбудителей туляремии, сибирской язвы, бруцеллеза.

Территория г. Донецка в гидрографическом положении относится к водоразделу бассейна Днепра и бассейна рек Приазовья.

Среди водных объектов города следует выделить 4 малые реки, а также 108 водоёмов, с площадью водного зеркала более 1 га, из них 6 водохранилищ и 72 пруда. Общая площадь водоёмов и прудов составляет 640,8 га, объем водных ресурсов – 22460,6 тыс. м^3. Основной рекой, протекающей через центр города, является Кальмиус.

Экологическое состояние водных объектов города неразрывно связано с качеством воды в р. Кальмиус и ее притоках. Длительное интенсивное водопотребление и сброс сточных вод существенно ухудшили состояние местных водотоков и бассейна р. Кальмиус. Питание реки происходит за счет весеннего снеготаяния, родников, сбрасываемых шахтных и промышленных вод и санитарных спусков воды из канала Северский Донец. В летнее время в Кальмиусе при снижении уровня воды резко уменьшается содержание кислорода и растет бактериальное загрязнение. Вода в водных объектах города по многим показателям не соответствует требованиям действующих норм.

Общий сброс сточных вод в поверхностные водоёмы города составляет 160-175 млн. м^3 в год. Для Донецка р. Кальмиус имеет важное историческое, народнохозяйственное и рекреационное значение, в связи с чем проблема охраны бассейна реки и рационального водопользования требует особого внимания.

Из 78 прудов и водохранилищ города 24 водоёма предназначены для рекреации, 6 – для рыборазведения, остальные применяются для технического водоснабжения и орошения или используются как отстойники.

В целом экологическую ситуацию с загрязнением водных объектов следует характеризовать как сложную, требующую разработки и применения комплекса мер по улучшению экологического состояния рек и водоёмов города.

На формирование мест выплода преимагинальных фаз кровососущих двукрылых большое влияние оказывают антропогенные факторы (мелиоративные работы, строительство

жилых и промышленных объектов, метро, применение инсектицидов, закрытие шахт), которые способствовали возникновению новых, не имеющих аналогов биотопов для развития и выплода преимагинальных фаз кровососущих двукрылых. В связи с этим изменяется фауна и экология некоторых видов кровососов, отмечены виды, которые перешли к синантропному образу жизни.

Благоприятные климатические условия способствуют увеличению периода развития бициклических и полициклических видов кровососов, способствуют продолжительной активности взрослых кровососов (апрель-октябрь).

Необходимо отметить, что образование новых биотопов для развития преимагинальных фаз кровососущих двукрылых опережает их ликвидацию, в связи с чем численность кровососов в городе возрастает, и это увеличивает потенциальную опасность нападения их на человека и возникновения заболеваний, передаваемых этими кровососами.

П. Я. Килочицкий с соавторами [2] указывают на тот факт, что в промышленных городах изменяется численность популяций кровососов. Под влиянием антропогенных условий резко разрушается природная сбалансированность паразитарных систем на урбанизированных территориях. Урбанизация дает новое направление в эволюции кровососущих двукрылых. В связи с этим мониторинговые отслеживания мест выплода, смены видового комплекса гнуса (кровососущих двукрылых) приобретает особое значение в современных условиях больших городов.

Методы борьбы с гнусом в водоёмах не должны быть направлены на тотальное истребление с использованием химических средств. Они могут предусматривать использование естественных врагов и паразитов, мониторинговый учет численности кровососущих видов для выявления периода массового вылета имаго и ряд других мероприятий, направленных на безопасное для окружающей среды снижение численности кровососов.

Материал и методы исследования

Изучение биотопов преимагинальных фаз кровососущих двукрылых проводилось по общепринятым методикам А. В. Гуцевича, А. С. Мончадского, А. А. Штакельберга [1], З. В. Усовой [6], И. А. Рубцова [5], Н. Г. Олсуфьева [4].

Маршрутные исследования мест выплода кровососущих двукрылых проводили в разное время в период с 2000 г. Сборы представлены личинками и куколками. Сбор имаго проводили из нападающих самок.

Результаты и обсуждение

Семейство Culicidae – кровососущие комары.

На территории города обитает 23 вида, относящиеся к 5 родам: *Anopheles* Mg. – 4 вида; *Uranotaenia* Arrib. – 1 вид; *Culiseta* Felt. – 3 вида; *Aedes* Mg. – 10 видов; *Culex* – 5 видов. Массовыми видами зарегистрированы: *Anopheles maculipennis* Meig., *An. messae* Fall., *Aedes caspius caspius* Pall., *Ae. caspius dorsalis* Mg., *A. excrusians* Walker, *A. flavescens* Mull., *A. cataphylla* Dyar., *Culex pipiens pipiens* L., *C. pipiens molestus* Forsk.

Выплод кровососущих комаров происходит как в постоянных, так и во временных водоёмах, которые представлены заболоченными берегами рек, различными прудами, в том числе биологическими прудами и картами полей фильтрации очистных сооружений, искусственными водоёмами (различные ёмкости с водой, фонтаны, автопокрышки, затопленные водой и др.). Особое значение имеют подземные искусственные водоёмы, к которым относятся подтопленные подвалы жилых домов, различных сооружений и зданий, канализационные люки, магистральные трубы парового отопления и т.д.

Необходимо отметить, что в последние годы почти во всех зарегистрированных биотопах происходит выплод преимагинальных фаз малярийных комаров, и они все в большей степени вытесняют немалярийных.

Все биотопы, в которых выплаживаются преимагинальные фазы комаров, нами условно разделены на несколько типов.

Заболоченные берега рек, прудов. На исследуемой территории протекают реки Кальмиус, Бахмутка, Грузская. К этому типу водоёмов относятся также Кальмиуское водохранилище, балки Богодуховская, Черепашкино и многочисленные городские пруды. Зарастание растительностью и заболоченность начинается у береговой зоны. Заболоченные берега зарастают камышом, осоковыми, на поверхности воды – ряска, тина. Температура воды +14-21°С, глубина 50-70 см. Дно обычно вязкое, илистое. Процентное содержание кислорода – 9-11, концентрация водородных ионов – 5,6. В этих биотопах развиваются преимагинальные фазы следующих видов комаров: *An. claviger* Mg., *An. maculipennis* Mg., *An. messae* Fall., *An. hyrcanus* Pall., *A. caspius* Pall., *A. cantans* Mg., *A. annulipes* Mg., *A. flavescens* Mull, *A. leucomelas* Mg., *A. vexans* Mg., *A. cinereus* Mg., *Culex modestus* Fic., *C. territans* Walk., *C. teileri* Theob., *C. torrentium* Mart., *C. pipiens* L.

Затененные и полузатененные водоёмы. В условиях г. Донецка отмечается выплод преимагинальных фаз комаров в заросших водоёмах, заболоченностях, загрязненных органическими веществами и сточными водами промышленных предприятий. Такими водоёмами являются заболоченности пос. Кирпичный цех и балка Сухой Яр Петровского района, искусственный водоём в Путиловской роще, Ветковский пруд, пруд ДЗХР (завод «Химреактивы») Куйбышевского района, балка Черепашкино Кировского района, пруд-отстойник Рутченковского и другие. Эти затененные и полузатененные надводной растительностью водоёмы (окружены вербами, камышом; поверхность воды покрыта ряской). В эти водоёмы плохо проникает солнечное тепло, средняя температура воды +17°С. Глубина 30-70 см, дно вязкое, илистое. Процентное содержание кислорода – 4-5, концентрация водородных ионов – 5. Здесь обитают личинки *An. maculipennis*, *An. messae*, *Uranotaenia unguiculata* Edw., *A. caspius*, *A. cataphylla* Dyar., *C. theileri* Theob., *C. torrentium* Mart., *C. p. pipiens, C. p. molestus*, *A. excrucians* Walk., *C. modestus* Fic., *A. cantans* Mg., *A. vexans* Mg., *Culiseta alascaensis* Ludl.

Временные водоёмы. Весной вследствие таяния снега, выпадения осадков образуются лужи и увеличивается площадь таких водоёмов как заболоченности. Это в свою очередь увеличивает площадь биотопов, в которых развиваются личинки и куколки кровососущих комаров. Таким образом возникают лужи в Калининском районе на улице Овнатаняна, возле Кальмиуского водохранилища, в Ботаническом саду, в Богодуховской балке, в Путиловской роще; многочисленные водоёмы в районе шахты им. Панфилова, в парках и лесопарках Петровского, Пролетарского, Ленинского и других районов города. К этим водоёмам относятся водоёмы в дуплах деревьев. Дно этих биотопов покрыто травянистой растительностью, опавшими листьям, мхом. Эти водоёмы хорошо прогреваются до +20-21°С. Глубина от 10 до 25 см. Процентное содержание кислорода – 7, концентрация водородных ионов – 5,2. Здесь обнаружены личинки следующих видов: *An. maculipennis*, *C. longiaredata* Macq., *A. cantans*, *A. caspius* Pall., *A. flavescens*. Иногда встречаются личинки *An. messae*, *A. excrucians*, *A. cataphylla*, *C. teileri*, C. *p. pipiens*, *C. p. molestus*, *A. geniculatus* Ol. В засушливое лето эти водоёмы пересыхают и образуются вновь после обильных осадков.

Искусственные водоёмы. К ним относятся заполненные водой бочки, вагонетки, бассейны, фонтаны, поилки для скота (частный сектор), подтопленные подвалы жилых домов, различных сооружений и зданий, канализационные люки. В последние годы отмечается значительный выплод преимагинальных фаз кровососущих комаров *Culex pipiens* в многочисленных подземных водоёмах, которые образовались в результате строительства метро. Температура воды в искусственных водоёмах – от 17 до 25°С. Вода в этих биотопах застаивается, часто имеет гнилостный запах. Растительность отсутствует. На поверхности воды плавают листья, ветки. Глубина от 10 до 100 см. Процентное содержание кислорода колеблется от 7 до 9. Концентрация водородных ионов – до 5-7. В вышеперечисленных биотопах развиваются преимагинальные фазы комаров *An. maculipennis, An. messae, A. caspius, C. p. pipiens, C. p. molestus, C. longiaredata, C. theileri.*

Преобладающими в этих биотопах зарегистрированы преимагинальные фазы комаров комплекса *C. pipiens*, взрослые фазы которых являются активными кровососами человека. Высокая экологическая активность и высокая численность синантропных популяций требует пристального влияния практических энтомологов к этой проблеме. Комары этого комплекса (*C. pipiens molestus*) способны к круглогодичному развитию в подтопленных подвалах жилых домов и административных зданий.

Необходимо отметить, что начиная с августа и до конца ноября комары этого комплекса преобладают по численности над другими кровососущими двукрылыми.

Приуроченность преимагинальных фаз кровососущих комаров к различным биотопам представлена в табл. 1. Массовые виды способны развиваться во всех типах водоёмов.

Таблица 1

Приуроченность преимагинальных фаз кровососущих комаров к различным биотопам

Типы водоёмов / Виды личинок кровососущих комаров	Заболоченные берега рек, прудов	Затененные и полузатененные водоёмы	Временные водоёмы	Искусственные водоёмы
Anopheles (An.) claviger Mg.	+	-	-	-
An. (An.) maculipennis Mg.	+	+	+	+
An. (An.) messae Pall.	+	+	+	+
An. (An.) hyrcanus Pall.	+	-	-	-
Uranotaenia unguiculata Edw.	-	+	-	-
Culiseta (C.) longiaredata Macq.	-	-	+	+
C. (C.) alascaensis Ludl.	+	+	-	-
C. (C.) annulata Peus.	-	-	+	
Aedes (O.) caspius Pall.	+	+	+	+
A. (O.) cantans Mg.	+	+	+	-
A. (O.) excrucians Walk.	-	+	+	-
A. (O.) annulipes Mg.	+	-	+	-
A. (O.) flavescens Mull.	+	+	+	-
A. (O.) cataphylla Dyar.	-	+	+	-
A. (O.) leucomelas Mg.	+	-	-	-
A. (A.) vexans Mg.	+	+	+	-
A. (F.) geniculatus Ol.	-	-	+	-
A. (A.) cinereus Mg.	+	+	+	-
Culex (B.) modestus Fic.	+	+	-	-
C. (N.) territans Walk.	+	+	-	-
C. (C.) teileri Theob.	+	+	+	+
C. (C.) torrentium Mart.	+	+	+	-
C. (C.) pipiens L.	-	-	-	-
C. pipiens pipiens L.	+	+	+	+
C. p. pipiens f. molestus Forst.	+	+	+	+

Семейство Simuliidae – мошки.

Мошки в отличие от других компонентов гнуса развиваются только в проточных водоёмах. В связи с этим необходимо знать места их выплода с целью разработки эффективных биологических мер снижения их численности в природе. В настоящее время проблема сохранения пресных водоёмов от химического и других видов загрязнения является актуальной. Поэтому не всегда оправданными могут быть истребительные мероприятия, направленные на уничтожение кровососов, с использованием экологически вредных способов. Гидрологические условия Донецкой области и г. Донецка характеризуются

наличием малых рек, их притоков, водохранилищ, прудов, технических сооружений, соединяющихся ручьями в единую сеть.

В окрестностях г. Донецка обследовано более 30 водотоков; из них в 23 собраны личинки и куколки мошек.

Обследованные водотоки можно условно разделить на 3 группы.

I группа – мелкие речки, притоки р. Кальмиус:

1. Речка Водяная (между Яковлевкой и Спартаком).

2. Речка, протекающая по Путиловскому лесу, огибает шахту «Бутовка-Донецкая», приток речки Водяной.

3. Речка Тихая (приток р. Скоморошиной) протекает в Водяной балке.

4. Речка Кирша, приток реки Осыковая – протекает к северу от станции Мандрыкино.

5. Речка Берестовая – приток р.Осыковой к северу от станции Доля.

6. Речка Дурная (приток) – р.Лозовая (исток притока р. Дурная – на Тепличном), р. Лозовая – между Лидиевкой и Горняком.

7. Речка Бахмутка протекает около терриконов шахты № 19 и пл. Свободы, речка Безымянная – от пос. ст. Рутченково в сторону Старомихайловки.

8. Речка Осыковая протекает через Мандрыкино – Петровское.

Названные мелкие речки имеют все признаки рек степного типа, протекающих в балках или долинах; неглубокие до 0,5-0,7 м, ширина до 1 м, вода имеет спокойное течение, часто мутная, имеет много взвешенных частиц. Придонная растительность отсутствует, по берегам растет камыш, осока. Для таких речек характерно на равнинных участках образование топких болот, густо заросших камышом – места дневок имагинальных стадий кровососов.

В водотоках этой группы зарегистрированы места выплода 5 видов мошек: *Odagmia ornata* (Meig., 1818), *Boophthora erytrocephala* (De Geer, 1776), *Simulium nolleri* (Fried, 1920), *Eusimulium aureum* (Fries, 1824), *Wilhelmia mediterranea* (Puri).

II группа – ручьи, вытекающие из прудов: в Пролетарском и Буденновском районах (Ботанический сад, пивзавод, за больницей № 16, ул. Нижне-Курганская, по маршруту автобуса № 28, Ларино и др.). Характеризуются медленным течением, дно илистое, топкое. Ширина от 0,3-1,2 м, глубина 0,3-0,5 м. Хорошо прогреваются в летнее время – до + 25-28°С, но не пересыхают. Видовой состав мошек представлен 5 видами: *Od.ornata, W.mediterranea, Nevermania angustitarsis* (Lundstr., 1911), *Eusimulium latisonum, E. aureum.*

III группа – мелкие ручьи, вытекающие из шахтных отстойников, протекающие в балках, часто в летнее время пересыхают. Их ширина 0,3-0,5 м, дно илистое, топкое, иногда заросшее водными растениями (герань луговая, лапчатка и др.), вода мутная, скорость течения слабая 0,1-0,3 м/сек. В таких ручьях развиваются мошки *Od. ornata, N. angustitarsis, E. aureum.*

Таблица 2

Приуроченность преимагинальных фаз мошек к различным типам биотопов

Водотоки / Виды мошек	I тип	II тип	III тип
Od. ornata Meig.	+	+	+
E. aureum Fries	+	+	+
E. latisonum	-	+	-
N. angustitarsis Lundstr.	-	+	+
W. mediterranea Puri	+	+	-
B. erytrocephala De Geer	+	-	-
S. nolleri Fried.	+	-	-

Массовые виды – *Od. ornata, N. angustitarsis, E. aureum, W. mediterranea* встречаются в ручьях и речках. Плотность заселения составляет иногда до 120 и более личинок на 1 дм^2. Принадлежат к реофильным обитателям, выдерживающим относительное загрязнение, повышенную мутность воды и слабое течение от 0,1 м/сек. Мошки *Od. ornata, E. aureum* перезимовывают на стадии яйца и личинки и в год имеют по два поколения.

В местах с высокой плотностью заселения личинок и куколок обнаружены зараженные микроспоридиями *Thelohania fibrata, Amblyospora bracteata*. Зараженность составляла от до 10%, а в некоторых местах – до 60% и выше. В очагах микроспоридиоза происходит значительное снижение численности мошек.

Виды *E. latisonum, B. erytrocephala* встречаются как сопутствующие.

Для фауны мошек водотоков г. Донецка характерно 7 видов, относящихся к 6 родам. Заселяют они водотоки разных типов и выдерживают значительную загрязненность воды, слабую проточность и даже после наполнения пересохших ручьев снова заселяют привычные для них стации (*N. angustitarsis*).

Семейство Ceratopogonidae – мокрецы.

Биотопами преимагинальных фаз мокрецов зарегистрированы мелководные участки рек, озер, заболоченностей со стоячей и слабопроточной водой, богатой разлагающимися органическими остатками; почва, ил стоячих водоёмов, гниющая влажная древесная труха, дупла, под корой деревьев, влажная подстилках в парках и скверах.

На исследуемой территории обитает 15 видов мокрецов.

Личинкам свойственна высокая экологическая пластичность, и в связи с этим они способны развиваться в различных субстратах и типах биотопов. Классификацию мест выплода преимагинальнных фаз мокрецов приводим с использованием работы Н. С. Прудкиной [3].

1. Постоянные природные водоёмы – реки, ручьи, заболоченность вдоль берегов рек. Эти водоёмы образуют мелкие заливы, заводи, поймы, и они являются благоприятными биотопами для выплода преимагинальных фаз. Здесь выплаживаются личинки и куколки *Culicoides obsoletus* Mg. По урезу воды в мелких лужах, в иле по береговой линии развиваются *C. fascipennis* Staeg., *C. minutissimus* Zett.

2. Постоянные антропогенные водоёмы – водохранилища, пруды. В этих биотопах создаются приятные условия для выплода преимагинальных фаз массовых видов *C. simulator* Edw., *C. punctatus* Mg., *C. fascipennis* Staeg.

3. Временные природные водоёмы – к ним относятся балки Богодуховская, Черепашкино, Сухой Яр и др.; различные лужи, образовавшиеся в понижениях рельефа в результате поднятия грунтовых вод. В этих биотопах развиваются личинки мокрецов – *C. punctatus* Mg., *C. pulicaris* L., *C. fascipennis* Staeg.

4. Временные антропогенные водоёмы. К ним относятся поля фильтрации очистных сооружений, бассейны, фонтаны. В частном секторе – различные ёмкости с водой для полива. Выявлены личинки массовых видов *C. fascipennis* Staeg., *C. nubeculosus* Mg., *C. cubitalis* Edw.

Своеобразными биотопами преимагинальных фаз мокрецов являются дупла деревьев в парках, скверах, балках. Численность личинок в таких биотопах незначительная. Обнаружен вид *C. obsoletus* Mg. Приуроченность личинок к биотопам представлена в табл. 3.

Таблица 3

Приуроченность преимагинальных фаз мокрецов к различным биотопам

Типы водоёмов / Виды личинок мокрецов	Постоянные природные водоёмы	Постоянные антропогенные водоёмы	Временные природные водоёмы	Временные антропогенные водоёмы
Culicoides pulicaris L.	-	-	+	-
C. punctatus Mg.	-	+	+	-
C. obsoletus Mg.	+	-	-	-
C. minutissimus Zett.	+	-	-	-

Типы водоёмов / Виды личинок мокрецов	Постоянные природные водоёмы	Постоянные антропогенные водоёмы	Временные природные водоёмы	Временные антропогенные водоёмы
C. fascipennis Staeg.	+	+	+	+
C. simulator Edw.	-	+	-	-
C. cubitalis Edw.	-	-	-	+
C. nubeculosus Mg.	-	-	-	+

Семейство Tabanidae – слепни.

К семейству слепни относятся самые крупные кровососущие двукрылые. На исследуемой территории видовой состав слепней незначительный.

Основными биотопами преимагинальных фаз зарегистрированы постоянные водоёмы: берега рек Кальмиус, Бахмутка, Грузская; многочисленные городские пруды и пруды Ботанического сада, ручьи; балки Богодуховская, Черепашкино, заболоченности Путиловской рощи и др. Большая часть личинок предпочитает биотопы, которые образованы заводями рек с хорошо развитой прибрежной растительностью. Личинки обитают на пологих, хорошо освещенных берегах, предпочитая участки с зарослями камыша, рогоза. Здесь плотность личинок может достигать 10-15 экз./м^2.

Живут личинки в иле или песке на дне водоёмов, в почве прибрежных зон, на водной растительности (ряска, элодея, водорослях в кочках). Перед окукливанием личинки перемещаются в более сухие места, например, в мох, более сухую растительность. Продолжительность личиночного развития до 9 месяцев. Полувзрослая личинка зимует, весной она доразвивается и превращается в подвижную куколку. Фаза куколки длится 5-7 дней. Многочисленными видами отмечены следующие.

Chrysops rufipes Mg. – развивается во влажной почве по берегам рек, прудов.

Tabanus bovinus Lw. – преимагинальные фазы развиваются на заболоченных участках Путиловской рощи.

Tabanus bromius L. – личинки развиваются на заболоченных участках берегов рек Кальмиус, Бахмутка и вдоль берегов Донецкого моря.

Tabanus autumnalis L. – личинки обитают на заболоченных участках балок Богодуховская и Черепашкино.

Hybomitra ukrainica Ols. Личинки развиваются в прибрежном иле, в грунте по урезу воды рек Кальмиус, Бахмутка, Грузская.

Hybomitra pluvialis L.– личинки развиваются в грунте прибрежной зоны прудов.

Выводы

Видовой состав и разнообразие биотопов для выплода преимагинальных фаз кровососущих двукрылых на исследуемой территории указывают на сложность энтомологической обстановки урбанизированных территорий. Это является результатом увеличения не всегда контролируемых биотопов преимагинальных фаз. Улучшение ситуации возможно при повышении санитарного контроля промышленного строительства. Со стороны энтомологов санитарно-эпидемиологических станций необходимо разрабатывать систему защиты.

Список литературы

1. *Гуцевич А. В.* Насекомые двукрылые. Т. III. Комары (семейство Culicidae) / А. В. Гуцевич, А. С. Мончадский, А. А. Штакельберг. – Л.: Наука, 1970. – С. 47–90.

2. *Килочицкий П. Я.* Динамика популяций кровососущих комаров на территории г. Киев / П. Я Килочицкий, Н. П. Килочицкая, В. П. Шеремет. – СПб., 2006. – 84 с.

3. *Прудкина Н. С.* Кровососущие двукрылые насекомые. Фауна, биология, экология, медико-ветеринарное значение / Н. С. Прудкина. – Харьков: Коллегиум, 2011. – 288 с.

4. *Олсуфьев Н. Г.* Насекомые двукрылые. Т. VII. Слепни (семейство Tabanidae) / Н. Г. Олсуфьев. – Л.: Наука, 1977. – С. 96–101.

5. *Рубцов И. А*. Краткий определитель кровососущих мошек фауны СССР / И. А. Рубцов. – М.–Л., 1962. – 227 с.

6. *Усова З. В.* Фауна мошек Карелии и Мурманской области / З. В. Усова. – М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1961. – 286 с.

Рязанцева А. Є., Маслодудова К. М. **Біотопи преімагінальних фаз кровосисних двокрилих (Diptera: Culicidae, Simuliidae, Ceratopogonidae, Tabanidae) в умовах м. Донецька і його околиць.** – У статті наведено характеристику біотопів розвитку кровосисних видів двокрилих, складових компонентів гнусу. Представлена інформація про особливості їхньої біології в індустріально розвинених центрах. Вказані видові комплекси кровососів, приурочені до місць розвитку в певних місцях виплоду. Результати досліджень нададуть теоретичну та методичну допомогу при вивченні спецкурсу «Медична і ветеринарна ентомологія», а також фахівцям у вирішенні завдань розробки заходів боротьби з кровососами і профілактики захворювань, що передаються ними в Донецькому регіоні.

Ключові слова: біотопи, преімагінальні фази, комарі, мошки, мокрець, ґедзі.

Ryazantseva A. E., Maslodudova E. N. **The biotopes of preimaginal stages of blood-suckingflies (Diptera: Culicidae, Simuliidae, Ceratopogonidae, Tabanidae) in the city of Donetsk and the surrounding area.** – The article describes the characteristic habitats, sites of blood-sucking species offlies, gnats composite components. The information about the features of their biology in industrial centers. Specified types of complexes of bloodsuckers, dedicated to the development of breeding in certain places. The research results will provide theoretical and methodological assistance in the study of the special course «Medical and Veterinary Entomology» and skilled in problem solving to develop measures to combat bloodsuckers and prevention of diseases transmitted by them in the Donetsk region.

Key words: habitat, preimaginal phase, mosquitoes, gnats, biting midges, horseflies.

УДК 592 : 595.423

© Н. Н. Ярошенко

ПАНЦИРНЫЕ КЛЕЩИ И ДРУГИЕ ПОЧВЕННЫЕ ЧЛЕНИСТОНОГИЕ ОТДЕЛЕНИЯ УКРАИНСКОГО СТЕПНОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА «МЕЛОВАЯ ФЛОРА» (ДОНЕЦКАЯ ОБЛАСТЬ)

Донецкий национальный университет; 83050, г. Донецк, ул. Щорса, 46
e-mail: eco99@i.ua

Ярошенко Н. Н. **Панцирные клещи и другие почвенные членистоногие отделения Украинского степного природного заповедника «Меловая флора» (Донецкая область).** – В пяти биотопах «Меловой флоры» в 2011 г. учтено 2024 экз. (52,44%) панцирных клещей, плотность – 16192 экз./м^2. Максимум средней плотности населения отмечен в подстилке сосны меловой, минимум – на участке петрофитной степи. Обнаружено 58 видов панцирных клещей, относящихся к 37 родам, 27 семействам. Другие почвенные обитатели составили 47,56% (1836 экз., плотность – 14688 экз./м^2) с высокой плотностью в хвойной подстилке и низкой – в петрофитной степи. Экологические условия для жизнедеятельности панцирных клещей наиболее благоприятны в лесной подстилке реликтовой сосны меловой.

Ключевые слова: панцирные клещи, почвенные членистоногие, «Меловая флора», сосна меловая.

Введение

Известно, что почвенные беспозвоночные животные принимают активное участие в почвообразовании и играют большую роль в круговороте веществ в природе. Панцирные клещи – одна из доминирующих групп почвенной фауны, обладающая высокой численностью, особенно в лесных экотопах, по сравнению со степными. Они являются сапрофагами и активно участвуют в разложении органических остатков растительного происхождения, ускоряя процессы минерализации и гумификации почв. Все исследования, проводимые в конкретных биоценозах Донбасса по изучению почвенной фауны, в том числе панцирных клещей, носят фрагментарный характер. До сих пор не реализованы все возможности инвентаризации панцирных клещей заповедных территорий с целью дальнейших мониторгинговых исследований. В связи с этим нами впервые проведены эколого-фаунистические исследования панцирных клещей и других почвенных членистоногих в условиях отделения Украинского природного степного заповедника «Меловая флора» в окр. с. Пискуновка Донецкой области.

Материал и методика исследования

В отделении «Меловая флора» материал был собран в сентябре 2011 г. в пяти биотопах в окр. с. Пискуновка. В каждом биотопе пробы брали объемом 250 см^3 (5х5х10 см) в 10-кратной повторности в «шахматном порядке». Камеральную обработку собранного материала проводили в лаборатории акарологии кафедры зоологии ДонНУ по общепринятым методикам Е. М. Булановой-Захваткиной [2], М. С. Гилярова [3], Н. Н. Ярошенко [5]. Пересчет панцирных клещей и других почвенных обитателей проводили на 1 повторность. Среднюю плотность почвенного населения определяли по методике К. К. Фасулати [4]. Индекс доминирования по обилию, выраженный в процентах, применяли при сравнении количественных характеристик панцирных клещей и других членистоногих исследуемых биотопов (свыше 5% – доминирующий, от 2 до 5% – часто встречаемый, менее 2% – редкий вид) [1].

Кластерный анализ (построение дендрограммы сходства) проведен с использованием пакета Statistica 6.0. При этом в качестве меры расстояния использовалось евклидова дистанция по методу Ward's.

Результаты и обсуждение

Отделение Украинского природного степного заповедника «Меловая флора» расположено по меловым склонам на берегу р. Северский Донец. Основной ландшафт представлен овражно-балочным и долинно-речным рельефом с зональным типом

петрофитной степи. Основной реликтовой породой из древесной растительности является сосна меловая (*Pinus sylvestris* L. var. *cretacea* Kalen. ex Kom.).

Участок петрофитной степи. Участок расположен выше вершины оврага, который под уклоном направлен к пойме р. Северский Донец. На степном участке среди разнотравья преобладает типчак. В этом биотопе из 10 почвенных проб извлечено минимальное количество панцирных клещей – 164 экз. (33,68% от общего количества почвенных обитателей), средняя плотность населения составила 6560 экз./м^2. Из них преимагинальных фаз (личинки и нимфы) панцирных клещей – 26 экз. (15,85%), что свидетельствует о неблагоприятных условиях для их развития в связи с тем, что поверхностный слой почвы большую часть года сухой, влажность почвы в момент взятия проб составила 23,46%, pH – 8,19 при температуре воздуха +20ºС. Имаго – 138 экз. (84,15%), плотность – 5520 экз./м^2, что является относительно высоким обилием для петрофитной целинной зональной степи. Видовой состав небольшой (19 видов), распределение по индексам доминирования: доминантов – 5, часто встречаемых – 4 и редких – 10 видов (табл. 1). Доминировали виды – представители трех семейств: Oppiidae Gr. – 2; Passalozetidae Gr. – 1, Oribatulidae Thor – 2. К доминантам отнесены *Microppia minus* (Paoli) – 39,13% (54 экз.), доминант восточного склона и основания оврага, часто встречаемый вид на вершине оврага и редкий – в хвойной подстилке сосны меловой; *Ramusella clavipectinata* (Mih.) – 5,07% (7 экз.), часто встречаемый вид хвойной подстилки, в остальных биотопах – редкий вид; *Passalozetes bidactylus* (Coggi) – 5,79% экз. (8), доминант восточного склона, часто встречаемый вид на вершине и редкий – в основании оврага, в хвойной подстилке не обнаружен; *Oribatula pallida* Banks – 16,66% (23 экз.), доминант основания оврага, редкий – на восточном склоне оврага, в остальных биотопах не встречался; *Zygoribatula exarata* Berl. – 8,39% (12 экз.), доминант вершины оврага, редкий – в основании оврага и в хвойной подстилке, на склоне оврага не обнаружен. Доминирующие виды степного участка в остальных биотопах проявляют себя в разных рангах в зависимости от микроусловий эдафотопа. Широко распространены часто встречаемые виды: *Tectocepheus velatus*, *Discoppia cylindrica*, *Scutovertex serratus*, *Scheloribates latipes*. С небольшим диапазоном распространения отмечен редкий вид *Mistroppia sellnicki* Balogh.

Таблица 1

Распределение панцирных клещей и других членистоногих по биотопам в условиях отделения Украинского природного степного заповедника «Меловая флора» (Донецкая обл., 2011 г.)

Вид	Степь	Вершина оврага	Восточный склон оврага	Основание оврага	Подстилка меловой сосны	Всего
Hypochthonius rufulus rufulus Koch	-	-	-	1/0,23	-	1/0,06
Sphaerochthonius dilutus Serg.	-	4/2,72	2/0,73	-	-	6/0,36
Phylozetes emmae Berl.	-	1/0,68	2/0,73	-	-	3/0,18
Eobrachychthonius borealis Forssl.	-	-	1/0,37	-	-	1/0,06
Brachychthonius berlesei Will.	1/0,73	-	-	-	-	1/0,06
B. immaculatus Forssl.	-	-	4/1,46	-	-	4/0,24
Liochthonius alpestris (Forssl.)	-	-	2/0.73	-	-	2/0,12
L. lapponicus (Trag.)	-	-	2/0,73	1/0,23	2/0,30	5/0,30
Epilohmannia styriaca Schuster	1/0,73	-	-	1/0,23	1/0,15	3/0,18
Trhypochthonius tectorum (Berl.)	-	1/0,68	-	11/2,50	2/0,30	14/0,83
Belba dubinini B.- Z.	-	2/1,36	2/0,73	5/1,14	16/2,37	25/1,49
B. corynopus (Herm.)	-	1/0,68	1/0,37	-	1/0,15	3/0,18
Metabelba pulverulenta (Koch)	-	-	2/0,73	-	11/1,63	13/0,78
M. papillipes (Nic.)	-	-	-	23/5,23	23/3,40	46/2,75
Zetorchestes micronychus (Berl.)	-	-	-	21/4,77	321/47,48	342/20,42
Microzetorchestes emeryi (Coggi)	-	-	4/1,46	24/5,45	29/4,29	57/3,40
Xenillus tegeocranus (Herm.)*	-	-	-	14/3,18	-	14/0,83
Tectocepheus velatus Mich.*	6/4,34	1/0,68	28/10,22	37/8,41	4/0,59	76/4,54
T. sarekensis Trag.	-	-	1/0,37	-	-	1/0,06

Вид	Степь	Вершина оврага	Восточный склон оврага	Основание оврага	Подстилка меловой сосны	Всего
Suctobelbella latirostris (Forssl.)	-	-	1/0,37	4/0,91	10/1,48	15/0,89
S. alloenasuta Moritz	-	-	-	10/2,27	7/1,04	17/1,01
S. subtrigona (Oudms.)	-	-	-	8/1,82	5/0,74	13/0,78
Oppiella nova (Oudms.)	-	-	78/28,47	69/15,68	51/7,54	198/11,82
Mistroppia sellnicki Balogh	1/0,73	-	-	-	-	1/0,06
Oppia translamellata (Will.)	-	-	3/1,09	-	-	3/0,18
Berniniella bicarinata (Paoli)	-	-	-	-	2/0,30	2/0,12
Microppia minus (Paoli)	54/39,13	5/3,40	50/18,25	34/7,73	10/1,48	153/9,13
M. minutissima (Selln.)	-	-	-	3/0,68	3/0,44	6/0,36
Ramusella clavipectinata (Mih.)	7/5,07	2/1,36	1/0,36	3/0,68	23/3,40	36/2,15
R. mihelcici (Perz-Inigo)	1/0,73	-	1/0,36	-	3/0,44	5/0,30
Discoppia cylindrica (Perez-Inigj)	6/4,34	2/1,36	-	-	-	8/0,48
Lauroppia maritima (Will.)	-	-	2/0,73	-	-	2/0,12
Micreremus brevipes (Mich.)	-	1/0,68	10/3,65	-	-	11/0,66
Passalozetes africanus Gr.	1/0,73	2/1,36	3/1,09	-	-	6/0,36
P. bidactylus Coggi	8/5,79	3/2,04	17/6,20	1/0,23	-	29/1,73
Scutovertex punctatus Sitn.	-	2/1,36	-	-	1/0,15	3/0,18
S. serratus Sitn.	5/3,62	-	6/2,19	8/1,82	1/0,15	20/1,19
Oribatula pallida Banks	23/16,66	-	5/1,82	41/9,32	-	69/4,12
O. tibialis Mich.	2/1,45	-	-	-	-	2/0,12
O. vera B.–Z.	-	-	1/0,37	3/0,68	-	4/0,24
O. angustolamellata Iord.	-	-	1/0,37	-	1/0,15	2/0,12
Zygoribatula frisiae (Oudms.)*	2/1,45	21/14,29	9/3,28	47/10,68	22/3,25	101/6,03
Z. terricola v. d. Hammen	-	-	-	4/0,91	-	4/0,24
Z. exarata Berl.	12/8,69	21/14,29	-	3/0,68	1/0,15	37/2,21
Scheloribates latipes (Koch)*	5/3,62	39/26,53	-	2/0,45	7/1,04	53/3,16
S. laevigatus (Koch)	1/0,73	29/19,73	-	-	2/0,30	32/1,91
S. pallidulus (Koch)	1/0,73	2/1,36	-	-	-	3/0,18
Peloribates pilosus Hammer	-	-	26/9,49	26/5,91	50/7,39	102/6,09
P. europaeus Will.	-	-	2/0,73	10/2,27	6/0,88	18/1,07
Protoribates novus Will.	-	-	-	-	1/0,15	1/0,06
P. monodactylus (Haller)	1/0,73	-	-	1/0,23	-	2/012
Trichoribates novus (Selln.)*	-	1/0,68	-	-	-	1/0,06
Punctoribates zachvatkini Schald.	-	-	7/2,55	-	-	7/0,42
Eupelops acromios (Herm.)*	-	5/3,40	-	11/2,50	2/0,30	18/1,07
Galumna lanceata Oudms.	-	-	-	-	6/0,88	6/0,36
Pilogalumna allifera (Oudms.)	-	1/0,68	-	-	50/7,39	51/3,04
Phthiracarus lanatus Faider et Suciu	-	1/0,68	-	-	-	1/0,06
Euphthiracarus cribrarius (Berl.)	-	-	-	14/3,18	2/0,30	16/0,96
Всего орибатид (имаго), экз.	138	147	274	440	676	1675
Количество проб	10	10	10	10	10	50
Количество экз. на 1 пробу	13,8	14,7	27,4	44,0	67,6	33,5
Средняя плотность, экз./м^2	5520	5880	10960	17600	27040	13400
Количество видов	19	22	30	30	33	58
Доминирующих	5	4	5	8	4	5
Часто встречаемых	4	4	4	7	5	8
Редких	10	14	21	15	24	45
Процентное отношение к общему числу панцирных клещей	84,15	76,17	75,48	85,44	85,68	82,76
Количество преимагинальных фаз (личинки и нимфы) орибатид, экз.	26	46	89	75	113	349
Количество проб	10	10	10	10	10	50
Количество экз. на 1 пробу,	2,6	4,6	8,9	7,5	11,3	6,98
Средняя плотность, экз./м^2	1040	1840	3560	3000	4520	2792
Процентное отношение к общему числу панцирных клещей	15,85	23,83	24,52	14,56	14,32	17,241
Всего панцирных клещей, экз.	164	193	363	515	789	2024

Вид	Степь	Вершина оврага	Восточный склон оврага	Основание оврага	Подстилка меловой сосны	Всего
Количество проб	10	10	10	10	10	50
Количество экз. на 1 пробу	16,4	19,3	36,3	51,5	78,9	40,48
Средняя плотность, экз./м^2	6560	7720	14520	20600	31560	16192
Процентное отношение к общему числу почвенного населения	33,68	52,88	45,83	65,61	55,14	52,44
Класс Nematoda	7/2,17	2/1,16	-	-	-	9/0,49
Класс Oligochaeta	1/0,31	-	-	-	-	1/0,06
Класс Arachnida. Отр. Aranei	1/0,31	-	-	2/0,74	1/0,16	4/0,22
Отр. Parasitiformes. Надсем. Gamasoidea	5/1,55	11/6,40	17/3,96	12/4,45	41/6,39	86/4,68
Надсем. Uropodinea	-	-	-	-	1/0,16	1/0,06
Отр. Acariformes. Сем. Acaridae	-	1/0,58	-	2/0,74	2/0,31	5/0,27
Сем. Trombiculidae	13/4,02	1/0,58		3/1,11	1/0,16	19/1,03
Прочие сем. отр. Acariformes	147/45,51	107/62,21	186/43,36	179/66,29	178/27,72	797/43,41
Класс Myriapoda. Подкл. Chilopoda	-	-	2/0,47	-	1/0,16	3/0,16
Подкл. Diplopoda, *Pilyxena lagurus*	-	25/14,54	32/7,46	27/10,00	116/18,06	200/10,89
Класс Insecta. Отр. Podura	91/28,17	18/10,47	176/41,02	19/7,04	243/37,85	547/29,79
Отр. Psocoptera	-	1/0,58	3/0,70	2/0,74	22/3,43	28/1,53
Отр. Hemiptera	-	-	-	1/0,37	1/0,16	2/0,11
Отр. Homoptera. Подотр. Aphidinea	-	-	-	2/0,74	1/0,16	3/0,16
Отр. Thysanoptera	1/0,31	-	4/0,93	2/0,74	5/0,77	12/0,65
Отр. Hymenoptera. Надсем. Formicoidea	48/14,86	3/1,74	5/1,17	12/4,45	17/2,64	85/4,63
Надсем. Ichneumonoidea	-	-	-	-	1/0,16	1/0,06
Отр. Coleoptera	3/0,93	-	2/0,47	-	-	5/0,27
Отр. Diptera	-	-	-	1/0,37	-	1/0,06
Личинки насекомых	6/1,86	3/1,74	1/0,23	6/2,22	11/1,71	27/1,47
Всего других почвообитателей, экз.	323	172	429	270	642	1836
Количество проб	10	10	10	10	10	50
Количество экз. на 1 пробу	32,3	17,2	42,9	27,0	64,2	36,72
Средняя плотность, экз./м^2	12920	6880	17160	10800	25680	14688
Процентное отношение к общему числу почвообитателей	66,32	47,12	54,17	34,39	44,86	47,56
Всего почвенного населения, экз.	487	365	792	785	1431	3860
Количество проб	10	10	10	10	10	50
Количество экз. на 1 пробу	48,7	36,5	79,2	78,5	143,1	77,2
Средняя плотность, экз./м^2	19480	14600	31680	314000	57240	30880

Примечания:

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

Других почвенных обитателей учтено 323 экз. (66,32%), плотность – 12920 экз./м^2. Членистоногие составили 8 таксономических единиц и по 1 экз. почвенных нематод и олигохет. Доминировали коллемболы – 91 экз. (28,17%), муравьи – 48 экз. (14,86%) и сборная группа акариформных клещей – 147 экз. (45,51%). Часто встречались краснотелковые клещи. Остальные представители (гамазовые клещи, трипсы, жуки и личинки насекомых) встречались единично (см. табл. 1). Таким образом, в целинной петрофитной степи преобладали членистоногие – 66,32%, а панцирные клещи составили 33,68% от общего количества учтенных почвенных обитателей – 487 экз., плотность – 19480 экз./м^2, что в 2,9 раза меньше, чем в хвойной подстилке меловой сосны.

Вершина оврага. На границе со степным участком начинается пологий склон верхней части пологого оврага с преобладанием разнотравья. Из 10 проб извлечено несколько больше панцирных клещей – 193 экз. (52,88%), плотность – 7720 экз./м^2. Имаго составили 76,17% (147 экз.), плотность – 5880 экз./м^2, преимагинальные фазы – 23,83% (46 экз.), плотность – 1840 экз./м^2 при температуре воздуха +20°С, влажности субстрата 17,65%, pH 8,27.

Численность преимагинальных фаз увеличилась в 1,7 раза по сравнению со степным участком. Видовое богатство имаго увеличилось до 22. Доминировали и часто встречались по 4 и редко – 14 видов (см. табл. 1). Доминанты отнесены к двум семействам: Oribatulidae Thor – 2: *Zygoribatula frisiae* (Oudms.) – 21 экз. (14,29%), доминант основания оврага, часто встречаемый вид на восточном склоне оврага и в хвойной подстилке, редкий – в степи; *Z. exarata* Berl. – 14,29% (21 экз.) – доминирующий вид в степи, редкий – в основании оврага и в хвойной подстилке, на восточном склоне оврага не обнаружен; Scheloribatidae (Berl.) – 2 вида: *Scheloribates latipes* (Koch) – 26,53% (39 экз.), часто встречаемый вид на степном участке, редкий – в основании оврага и в хвойной подстилке, в остальных биотопах не встречался; *S. laevigatus* (Koch) – 19,73% (29 экз.), редкий – в степи и в хвойной подстилке, в остальных биотопах отсутствовал. К часто встречаемым отнесены широко распространенные в степной зоне виды: *Sphaerochthonius dilutus, Microppia minus, Passalozetes bidactylus, Eupelops acromios*. Редкий вид фауны Донбасса – *Belba corynopus* (Herm.), спорадически встречается вид *Micreremus brevipes* (Mich.). Численность других почвенных обитателей в верхней части оврага сократилась, по сравнению со степью, склоном, основанием оврага и хвойной подстилкой, соответственно в 1,8–2,5–1,5–3,7 раза – 172 экз. (47,12%), плотность – 6880 экз./м^2. Спектр членистоногих представлен 7 таксонами. Из диплопод доминировал вид *Polyxena lagurus* – 14,54% (25 экз.), коллемболы – 10,47% (18 экз.) и сборная группа акариформных клещей – 62,21%. (107 экз). Остальные представители (акароидные, гамазовые клещи, сеноеды, муравьи и личинки насекомых) были единичны. Здесь собрано минимальное количество почвенных обитателей – 365 экз., плотность – 14600 экз./м^2. Таким образом, пограничная зона степи и вершины оврага менее благоприятна для обитания и развития почвенного населения, чем в остальных исследуемых биотопах.

На пологом восточном склоне оврага, покрытом разнотравьем и местами сосной меловой, численность панцирных клещей увеличилась в 2,2–1,9 раза по сравнению со степным участком и вершиной оврага – 363 экз.(45,83%), плотность – 14520 экз./м^2. Имаго составили 75,48% (274 экз.), плотность – 10960 экз./м^2, личинки и нимфы – 24,52% (89 экз.), плотность – 3560 экз./м^2. По сравнению с предыдущими биотопами, численность панцирных клещей увеличилась, при температуре воздуха +20ºС, влажности почвы 16,28%, pH 7,86. Количество видов панцирных клещей увеличилось в сравнении со степью и вершиной оврага в 1,5–1,3 раза. Определено 30 видов. Доминировали 5, часто встречались 4 и редко – 21 вид (см. табл. 1). Доминирующие виды отнесены к 4 семействам: Tectocepheidae Gr. – *Tectocepheus velatus* Mich. – 10,22% (28 экз.), характерен для степной зоны, доминировал на восточном склоне и в основании оврага, часто встречаемый вид на степном участке, редкий – в остальных биотопах; Oppiidae Gr. – *Oppiella nova* (Oudms.) – 28,47% (78 экз.), доминировал на склоне, в основании оврага и в подстилке сосны меловой, в остальных биотопах не обнаружен; *Microppia minus* (Paoli) – 18,25% (50 экз.), доминант степи и основания оврага, часто встречаемый вид на вершине оврага и единичный в хвойной подстилке меловой сосны; Passalozetidae Gr. – *Passalozetes bidactylus* (Coggi) – 6,20% (17 экз.), обитал в 4-х биотопах, в хвойной подстилке меловой сосны не встречался; Haplozetidae Gr. – *Peloribates pilosus* Hammer – 9,49% (26 экз.), доминант трех биотопов, не встречался в степи и на вершине оврага. Таким образом, на восточном склоне оврага число доминирующих видов увеличилось до 5, что обусловлено экспозицией склона, хорошо прогреваемого солнечными лучами. Отмечен как часто встречаемый вид *Micreremus brevipes* (Mich.), который редко встречается в условиях Донбасса.

Других почвенных членистоногих учтено 429 экз. (54,17%), плотность – 17160 экз./м^2. Определено 9 таксонов, из которых преобладали *Polyxena lagurus* – 7,46% (32 экз.), коллемболы – 41,02% (176 экз.) и сборная группа акариформных клещей – 43,36% (186 экз.). Остальные представители (краснотелковые клещи, многоножки, сеноеды, трипсы, муравьи, жуки, личинки насекомых) малочисленны. Всего почвенного населения на восточном склоне обнаружено 792 экз., плотность – 31680 экз./м^2, что превышает численность двух предыдущих биотопов (степь и вершина оврага) в 1,6–2,1 раза.

Основание оврага. С понижением рельефа в сторону р. Северского Донца численность панцирных клещей значительно увеличилась. Здесь собрано 515 экз. (65,61%), плотность – 20600 экз./м^2, что в 3,1–2,6–1,4 раза больше, чем в степи, на вершине и склоне оврага, соответственно. Из них имаго – 440 экз. (85,44%), плотность – 17600 экз./м^2, преимагинальных фаз – 75 экз. (14,56%), плотность – 3000 экз./м^2. Большое обилие преимагинальных фаз отражает благоприятные эдафические условия для жизнедеятельности почвенного населения, при влажности субстрата 23,46%, pH 8,19. Определено 30 видов. Доминировали 8, часто встречались 7 и редко – 15 видов. Доминирующие виды отнесены к 6 семействам: Belbidae Will. – *Metabelba papillipes* (Nic.) – 5,23% (23 экз.), часто встречался в хвойной подстилке, в остальных биотопах не обнаружен; Zetorchestidae Mich. – *Microzetorchestes emeryi* (Coggi) – 5,45% (24 экз.), часто встречаемый вид в подстилке меловой сосны, редок на восточном склоне оврага, в остальных биотопах не обнаружен; Tectocepheidae Gr. – *Tectocepheus velatus* Mich. – 8,41% (37 экз.), обитатель всех биотопов; Oppiidae Gr. – *Oppiella nova* (Oudms.) – 15,68% (69 экз.), доминант трех биотопов, в степи и на вершине оврага не обнаружен; *Microppia minus* (Paoli) – 7,73% (34 экз.), отмечен во всех биотопах; Oribatulidae Thor – *Oribatula pallida* Banks – 9,32% (41 экз.), не обнаружен на вершине оврага и в хвойной подстилке; *Zygoribatula frisiae* (Oudms.) – 10,68% (47 экз.), обитатель всех биотопов; Haplozetidae Gr. – *Peloribates pilosus* Hammer – 5,91% (26 экз.), доминант трех биотопов, на вершине оврага и в степи не встречался. В нижней части оврага число доминирующих видов увеличивается в 1,6–2 раза.

Численность 11 таксонов других членистоногих в этом биотопе сократилась до 270 экз. (34,39%), плотность – 10800 экз./м^2. Преобладали *P. lagurus* – 10,0% (27 экз.), коллемболы – 7,04% (19 экз.), прочие акариформные клещи – 66,29% (179 экз.). Часто встречались личинки насекомых и муравьи. Остальные представители (акароидные и краснотелковые клещи, сеноеды, тли, трипсы, клопы, двукрылые) были малочисленны. Общая численность почвенных обитателей примерно одинакова со склоном оврага – 785 экз., плотность – 31400 экз./м^2 (см. табл. 1).

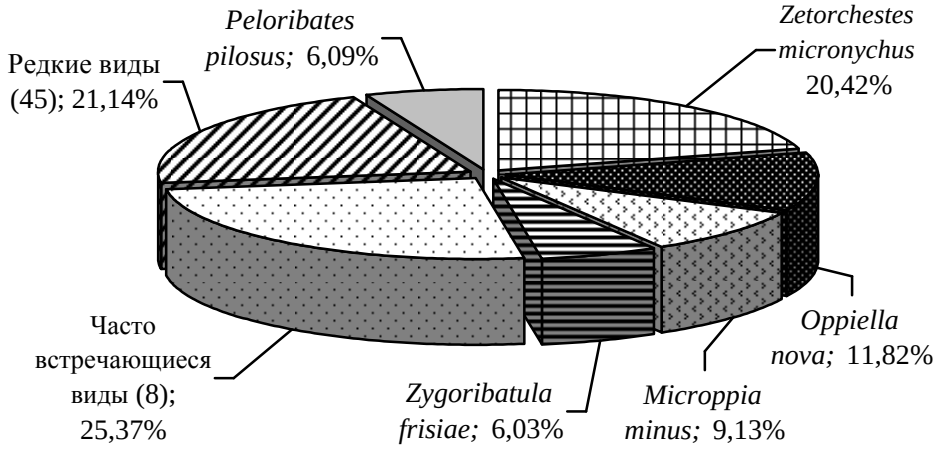
Подстилка меловой сосны. Хвойная подстилка с меловым пылевидным субстратом собрана под реликтовой сосной меловой, где численность панцирных клещей была высокой – 789 экз. (55,14%), плотность – 31560 экз./м^2. Имаго – 676 экз. (85,68%), плотность – 27040 экз./м^2, преимагинальных фаз – 113 экз. (14,32%), плотность – 4520 экз./м^2. Видовое богатство здесь максимально – 33 вида (доминантов – 4, часто встречаемых 5 и редких – 24 вида). Доминирующие виды представлены 4 семействами: Zetorchestidae Mich. – *Z. micronychus* (Berl.) – 47,48% (321 экз.), массовый вид, часто встречаемый в основании оврага, в остальных биотопах не обнаружен; Oppiidae Gr. – *Oppiella nova* (Oudms.) – 7,54% (51 экз.), Haplozetidae Gr. – *Peloribates pilosus* Hammen – 7,39% (50 экз.), доминанты трех биотопов, в степи и на вершине оврага не обнаружены; Galumnidae Gr. – *Pilogalumna allifera* (Oudms.) – 7,39% (50 экз.), редок на вершине оврага, в остальных биотопах не встречался. Высокая численность, обилие и видовое богатство панцирных клещей наблюдается в биотопе лесного характера закрытого типа (сосна меловая). Хвойная подстилка с меловой пылью (влажность 14,95%, pH 8,14) является хорошим субстратом для грибов, водорослей, являющихся кормом для панцирных клещей.

Других почвенных обитателей учтено 642 экз. (44,46%), плотность – 25680 экз./м^2. Среди 16 таксонов доминировали гамазовые клещи – 6,39% (41 экз.), прочие акариформные клещи – 27,72% (178 экз.), *P. lagurus* – 18,06% (116 экз.), коллемболы – 37,85% (116 экз.). Часто встречались муравьи и сеноеды. Остальные представители были малочисленны. Общая численность почвенного населения составила 1431 экз., плотность– 57240 экз./м^2, что в 2,9–3,9–1,8–1,8 раза превышает численность петрофитной степи, вершины, восточного склона и основания оврага, соответственно.

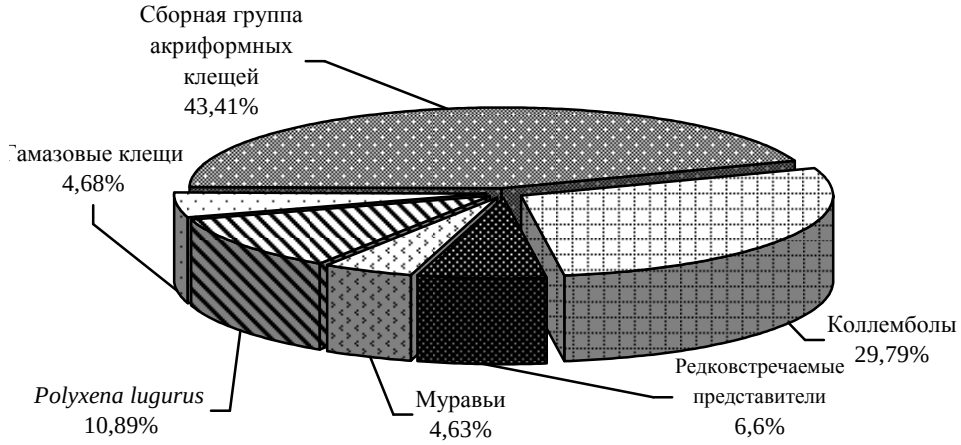
Таким образом, в исследуемых биотопах «Меловой флоры» в 50 пробах учтено 2024 экз. (52,44%) панцирных клещей, средняя плотность населения которых составила 16192 экз./м^2. Имаго – 1675 экз. (82,76%), плотность – 2792 экз./м^2, преимагинальных фаз (личинок

и нимф) – 349 экз. (17,24%), плотность – 2792 экз./м^2. Определено 58 видов панцирных клещей, относящихся к 37 родам и 28 семействам. Из них 7 видов могут принимать участие в цикле развития ленточных червей из семейства Anoplocephalidae. Для фауны Донецкой области впервые отмечен редкий вид *Belba corynopus* (Herm.). Видовой состав панцирных клещей носит зональный степной характер. Доминировали 5 видов: *Zetorchestes micronychus* (Berl.) – 20,42% (342 экз.), *Oppiella nova* (Oudms.) – 11,82% (198 экз.), *Microppia minus* (Paoli) – 9,13% (153 экз.), *Zygoribatula frisiae* (Oudms.) – 6,03% (101 экз.), *Peloribates pilosus* Hammer – 6,09% (102 экз.). Доминирующие виды составили 53,49%, часто встречаемые – 25,37%, редкие – 21,14%. Количество доминантов в исследуемых биотопах варьировало от 4 до 8 в зависимости от характера биотопа и биологической активности панцирных клещей. Массовые и часто встречаемые виды вносят основной вклад в изменение показателя численности, а редкие виды увеличивают видовое разнообразие панцирных клещей в биотопе (рис. 1 А, 2).

Других почвенных обитателей в 5 биотопах учтено 1836 экз. (47,56%), плотность – 14688 экз./м^2. Всего почвенного населения учтено 3860 экз., плотность – 30880 экз./м^2. Доминировала сборная группа акариформных клещей – 43,41% (797 экз.), *Polyxena lagurus* – 10,89% (200 экз.), коллемболы – 29,79% (547 экз.), составившие 84,09%, численность которых резко изменялась в зависимости от микроклиматических условий обитания. Часто встречались гамазовые клещи и муравьи. Остальные представители были малочисленны (см. табл. 1, рис. 1 Б, 3).



А



Б

Рис. 1. Распределение панцирных клещей (А) и других почвообитателей (Б) в отделении Украинского природного степного заповедника «Меловая флора» (сентябрь, 2011 г.).

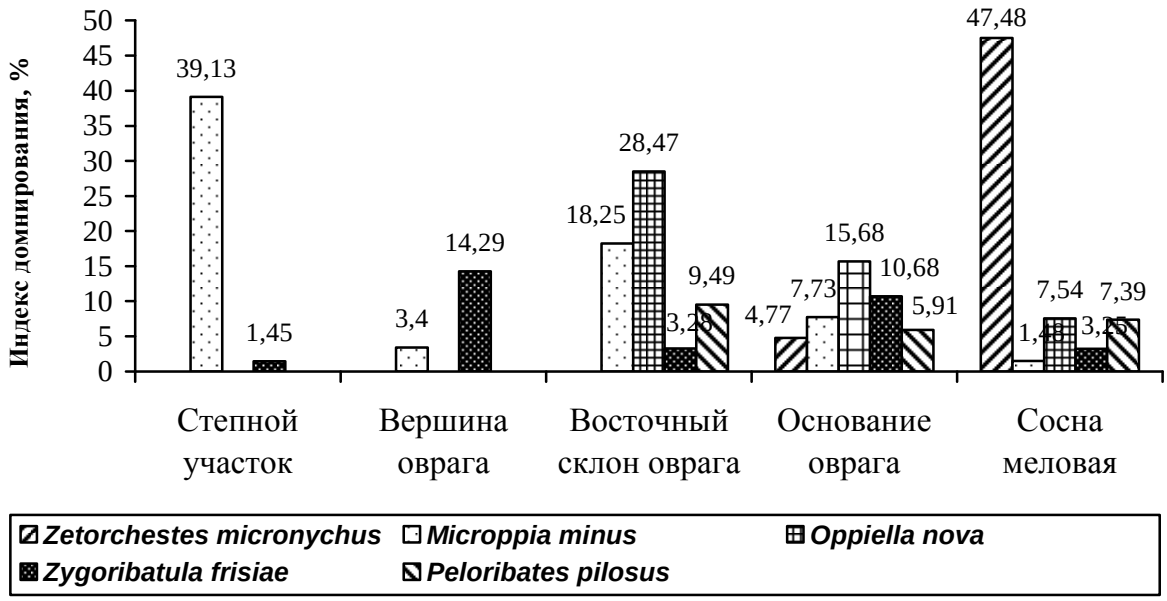


Рис. 2. Доминирующие виды панцирных клещей в отделении Украинского природного степного заповедника «Меловая флора» (сентябрь, 2011 г.).

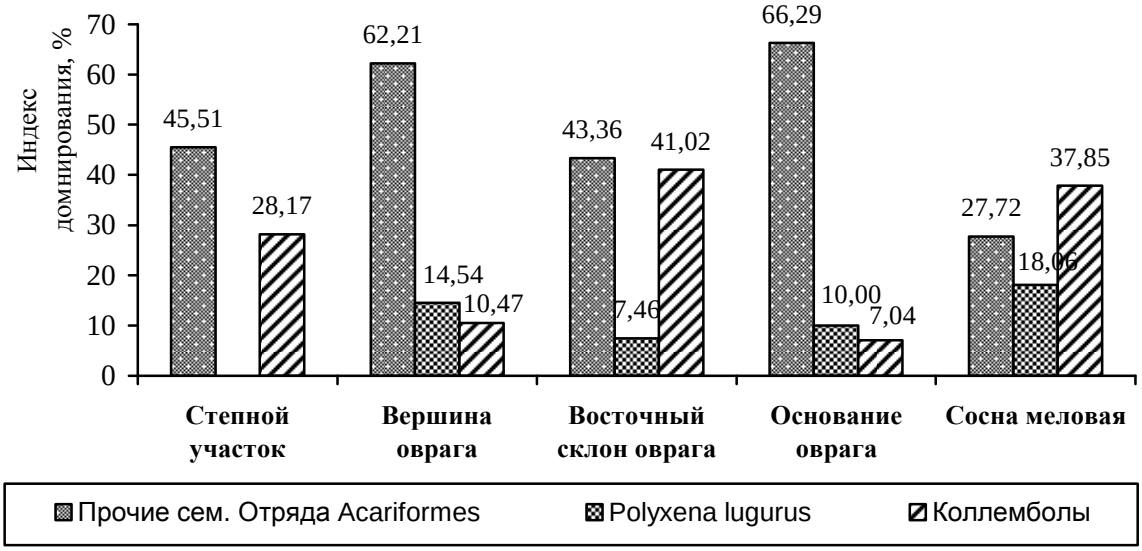


Рис. 3. Доминирующие группы почвенных членистоногих в отделении Украинского природного степного заповедника «Меловая флора» (сентябрь, 2011 г.).

В результате проведенного кластерного анализа установлено, что наиболее сходны между собой сообщества панцирных клещей основания и склона оврага, а также вершины оврага и степного участка. Сообщество орибатид подстилки сосны меловой отличается значительным своеобразием (рис. 4).

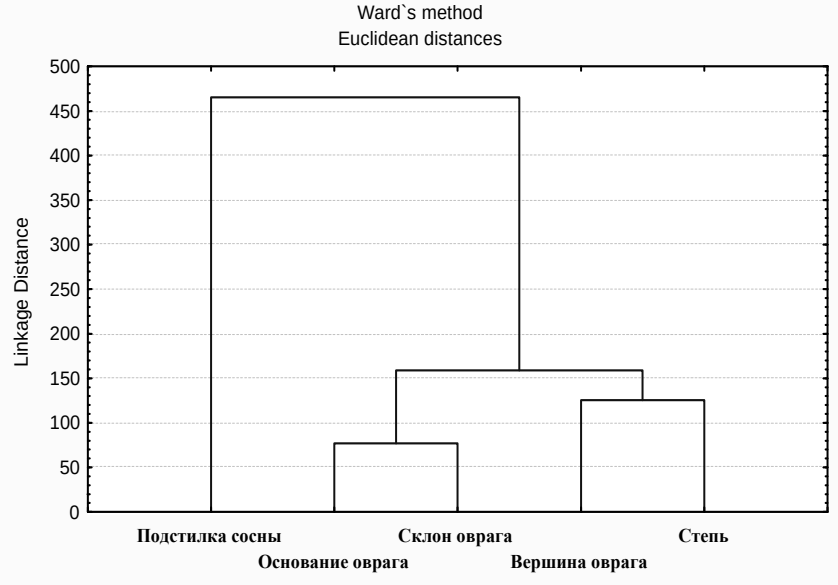


Рис. 4. Кластерный анализ сообществ панцирных клещей отделения Украинского природного степного заповедника «Меловая флора» (сентябрь, 2011 г.).

Выводы

1. На территории отделения Украинского природного степного заповедника «Меловая флора» в 2011 г. впервые проведены исследования по фауне и динамике численности панцирных клещей и других почвенных членистоногих в 5 биотопах. Определено 58 видов панцирных клещей, относящихся к 37 родам, 27 семействам. Для фауны Донецкой области впервые отмечен редкий вид *Belba corynopus* (Herm.).

2. В исследуемых биотопах панцирные клещи составили 52,44% (2024 экз.), плотность – 16192 экз./м^2 от всего почвенного населения (3860 экз.), плотность – 30880 экз./м^2. Высокая плотность населения панцирных клещей отмечена в подстилке меловой сосны – 31560 экз./м^2, низкая – на участке петрофитной степи – 6560 экз./м^2, что характеризует разнообразие эдафических условий в биотопах.

3. Видовое богатство панцирных клещей варьировало от 33 (хвойная подстилка) до 19 (петрофитная степь). Доминировали 5 видов: *Zetorchestes micronichus* (Berl.) – доминант хвойной подстилки, часто встречаемый вид в основании оврага, в трех биотопах не обнаружен; *Oppiella nova* (Oudms.) – преобладал в трех биотопах, в степи и на вершине оврага не встречался; *Microppia minus* (Paoli) – обитатель 5 биотопов, доминировал в степи и на восточном склоне оврага; *Zygoribatula frisiae* (Oudms.) – доминирующий и часто встречаемый вид в четырех биотопах, редкий – в петрофитной степи; *Peloribates pilosus* Hammer – преобладал в трех биотопах, в степи и на вершине оврага не обнаружен. Количество доминирующих видов варьировало от 4 (вершина оврага, хвойная подстилка) до 8 (основание оврага).

4. Другие почвенные обитатели в 5 биотопах составили 47,56% (1836 экз.), плотность – 14688 экз./м^2. Максимальная плотность населения зарегистрирована в хвойной подстилке – 25680 экз./м^2, минимальная – на участке петрофитной степи – 12920 экз./м^2. Доминировали акариформные клещи, *Polyxena lagurus* и коллемболы, часто встречались гамазовые клещи и муравьи.

Список литературы

1. *Беклемишев В. Н.* Термины и понятия, необходимые при количественном изучении популяций эктопаразитов и нидиколов / В. Н. Беклемишев // Зоол. журн. – 1961. – Вып. 2. – С. 143–158.

2. *Буланова-Захваткина Е. М.* Панцирные клещи-орибатиды / Е. М. Буланова-Захваткина. – М.: Высш. шк., 1967. – 254 с.

3. *Гиляров М. С.* Зоологический метод диагностики почв / М. С. Гиляров. – М.: Наука, 1965. – 278 с.

4. *Фасулати К. К.* Полевое изучение наземных беспозвоночных / К. К. Фасулати. – М.: Высш. шк., 1971. – 421 с.

5. *Ярошенко Н. Н.* Орибатидные клещи (Acariformes, Oribatei) естественных экосистем Украины / Н. Н. Ярошенко. – Донецк: ДонНУ, 2000. – 313 с.

Ярошенко М. М. **Панцирні кліщі й інші ґрунтові членистоногі відділення Українського природного степового заповідника «Крейдяна флора» (Донецька область).** – У п'ятьох біотопах «Крейдяної флори» в 2011 р. враховано 2024 екз. (52,44%) панцирних кліщів, щільність – 16192 экз./м^2. Максимум середньої щільності населення відзначений у підстилці сосни крейдяної, мінімум – на ділянці петрофітного степу. Виявлено 58 видів панцирних кліщів, що відносяться до 37 родів, 27 родин. Інші ґрунтові мешканці склали 47,56% (1836 екз., щільність – 14688 экз./м^2) з високою щільністю у хвойній підстилці й низкою – у петрофітному степу. Екологічні умови для життєдіяльності панцирних кліщів найбільш сприятливі в лісовій підстилці реліктової сосни крейдяної.

Ключові слова: панцирні кліщі, ґрунтові членистоногі, «Крейдяна флора», сосна крейдяна.

Yaroshenko N. N. **The oribatid mites and others soil Arthropoda of separation of the Ukrainian steppe natural reserve «Melovaya flora» (Donetsk area).** – In five biotopes of «Melovaya flora» **(**in 2011) 2024 specimens (52,44%) of oribatid mites, density – 16192 specimens/m^2 are taken into account. The maximum of average density of the population is marked in forest floor of a *Pinus sylvestris* L. var. *cretacea*, minimum – on a steppe. 58 species of oribatid mites concerning to 37 genera, 27 families are revealed. Other soil inhabitants have made 47,56% (1836 specimens, density – 14688 specimens/m^2), with high density in coniferous forest floor and low – in steppe. The ecological conditions are most favorable for vital activity of oribatid mites in forest floor of a relict *Pinus sylvestris* L. var. *cretacea*.

Key words: oribatid mites, soil Arthropoda, «Melovaya flora», *Pinus sylvestris* L. var. *cretacea*.

ФІЗІОЛОГІЯ ТА ЕКОЛОГІЯ РОСЛИН, МІКОЛОГІЯ
ФИЗИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ, МИКОЛОГИЯ
PHYSIOLOGY AND ECOLOGY OF THE PLANT, MYCOLOGY

УДК 635.8

© С. І. Демченко, А. Є. Дерев'янко, К. С. Швиндіна

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ МІНЛИВОСТІ ПРИРОДНИХ ШТАМІВ *PLEUROTUS OSTREATUS* (JACQ.: FR.) KUMM.

Донецький національний університет; 83050, м. Донецьк, вул. Щорса, 46
e-mail: sdemch5@mail.ru

Демченко С. І., Дерев'янко А. Є., Швиндіна К. С. **Дослідження індивідуальної мінливості природних штамів *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kumm.** – У роботі представлені результати дослідження індивідуальної мінливості 22 природних штамів *Pleurotus ostreatus*. Наведено дані швидкості лінійного росту вегетативного міцелію на агаризованих середовищах, фенологічних спостережень, обліку габітусних параметрів плодових тіл і врожайності дослідних штамів.

Ключові слова: гриб *Pleurotus ostreatus*, природні штами, індивідуальна мінливість, урожайність.

Вступ

Гриб *Pleurotus ostreatus* є найбільш поширеним видом родини Pleurotaceae, який зустрічається переважно у всіх географічних зонах [2, 7]. Через неповторні смакові якості, незамінні лікарські властивості та простоту вирощування глива звичайна набула широкої популярності в Україні. На сьогоднішній день майже у всіх областях України вже існують крупні підприємства з виробництва цього їстівного гриба, також є вітчизняні виробники міцелію, які виробляють стабільний якісний посівний матеріал, що не поступається іноземному, є досвідчені спеціалісти-мікологи, які знайомі з передовими світовими технологіями [2, 6, 7, 9]. Проте темпи розвитку грибівництва в Україні ще не дуже високі. У 2010 р. в Україні вироблено 40 тис. т. грибів, тоді як у Франції, яка за територією приблизно дорівнює Україні, щорічно виробляється 230-240 тис. т., а в Польщі – 350 тис. т. [17]. Така статистика пояснюється тим, що в Україні немає єдиної інфраструктури галузі промислового грибівництва. Причини цього полягають у відсутності єдиної технологічної схеми культивування грибів і стандартних технічних рішень по обладнанню грибних господарств. Крім того, існує недостатня кількість вітчизняних високопродуктивних штамів їстівних грибів, придатних для промислового культивування. Наприклад, до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні, в 2011 р. (витяг станом на 14.12.2011 р.) внесено лише один штам гриба *P. ostreatus* НК-35, власником якого є угорські селекціонери [16]. Тому подальший розвиток грибівництва в Україні потребує створення вітчизняних високопродуктивних сортів їстівних грибів.

Селекція – найдешевший, найрезультативніший та екологічно чистий чинник зростання виробництва продукції грибів. За сучасних тенденцій підвищення вартості енергозатрат на одиницю виробленої продукції і за наявності проблем, що виникли внаслідок загрози забруднення навколишнього середовища, селекції відводиться особлива економічна і суспільна роль [12].

Селекційна робота починається з відбору вихідного матеріалу, джерелом якого є природні й гібридні популяції, інцухт-лінії, штучні мутації тощо. При цьому успіх в селекційній роботі рослин і грибів визначається наявністю біологічної мінливості у вихідного матеріалу. Вона є результатом реакції генотипу в процесі індивідуального розвитку організму на умови навколишнього середовища [4].

Матеріалом для селекційного процесу є спадкова мінливість, що зумовлена виникненням різних типів мутацій і їх комбінацій в подальших схрещуваннях. Модифікаційна мінливість не може поставляти матеріал для відбору і тому не може відігравати велику роль в селекції. Проте неспадкова мінливість є відображенням спадково зумовленої здатності організму відповідати визначеною мінливістю ознак і властивостей на

вплив факторів навколишнього середовища. Межи неспадкової мінливості визначаються нормою реакції генотипу на умови середовища. Сорти рослин і грибів, що мають широку норму реакції генотипу, є найбільш цінними в сільськогосподарському виробництві. Вони екологічно більш пластичні, тому легше переносять несприятливі умови довкілля, зберігаючи при цьому стабільний врожай [4, 12].

Метою нашої роботи було дослідження індивідуальної мінливості природних штамів *P. ostreatus* за швидкістю лінійного росту вегетативного міцелію та деякими цінними господарськими ознаками.

Об'єкти та методи дослідження

У дослідженнях використовували дикаріотичні міцеліальні культури *P. ostreatus*, що виділені з тканини трами свіжозібраних плодових тіл. Плодові тіла збирали з листяних порід у паркових зонах м. Донецька. Всього було отримано 22 дикаріотичні ізолята, які зберігаються на кафедрі фізіології рослин ДонНУ в стандартних умовах. Характеристики природних штамів наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Природні ізоляти *P. ostreatus*

Кількість ізолятів	Ізоляти (штами)	Субстрат	Сезон і рік збору
1	Р-01	*Populus sp.*	осінь, 2001
5	Р-203, Р-205, Р-210, Р-211, Р-212	*Populus sp.*	осінь, 2003
1	Р-12,	*Populus sp.*	осінь, 2004
1	Р-104	*Acer sp.*	осінь, 2004
2	І-3, І-5	*Salix sp.*	осінь, 2005
1	Т-6	*Populus sp.*	осінь, 2005
3	Т-12, Т-15, Р-207	*Populus sp.*	осінь, 2006
2	Р-208, Р-6v	*Acer sp.*	осінь, 2006
1	Р-кл	*Acer sp.*	осінь, 2007
4	Т-16, Т-20, Р-107, Р-039	*Populus sp.*	осінь, 2007
1	Т-25	*Populus sp.*	весна, 2008

Для вивчення швидкості радіального росту вегетативного міцелію ізолятів *P. ostreatus* кожну дикаріотичну культуру вирощували при температурі 26±1ºС в чашках Петрі на двох агаризованих середовищах: агаризоване пивне сусло (СА) і картопляно-глюкозний агар (КГА). Ці середовища готували й стерилізували за загальноприйнятими методиками [13].

Розміри колоній вимірювали в чотирьох взаємоперпендикулярних напрямах через дві доби, починаючи з другої доби після інокуляції до повного обростання середовища. Швидкість радіального росту (V_R, мм/добу) вегетативного міцелію визначали в логарифмічну фазу росту за такою формулою [3]:

$$V_R = \frac{R_t - R_0}{t - t_0},$$

де R_0 – радіус колонії на початку логарифмічної фази росту, мм; R_t – радіус колонії наприкінці фази лінійного росту, мм; $t - t_0$ – тривалість лінійної фази росту, доба.

Для узагальнення одержаних даних використовували такий показник, як узагальнена швидкість радіального росту міцелію культур (YV_R, мм/добу), яку розраховували за середніми значеннями V_R, отриманих на двох середовищах.

Тест на утворення примордіїв дикаріонами *P. ostreatus* проводили в лабораторних умовах. Як субстрат використовували зволожене соняшникове лушпиння. Зволожений субстрат (10 г соняшникового лушпиння і 40 мл дистильованої води) поміщали в колби Ерленмейера ємністю 250 мл і стерилізували в автоклаві протягом однієї години під тиском 1,4-1,8 атм з температурою 125,4-130,6ºС. Охолоджений субстрат засівали інокулюмом, яким слугували 7-мидобові культури гриба, що були попередньо вирощені на КГА. Дикаріони спочатку культивували в повній темряві при температурі 26±1ºС до повного обростання субстрату міцелієм (фаза інкубації), після чого колби виставляли на стелажі під лампи денного світла (інтенсивність освітлення становила 400 лк, температура – 16-18ºС). Протягом досліду фіксували тривалість фази ініціації плодоутворення та підраховували кількість примордіїв в одній колбі. Термін культивування після світлової індукції складав 30 діб. Культури, що не утворювали примордіїв при заданій температурі, оброблено холодовим шоком, умовами якого є температура 0ºС протягом 3-4 діб [2], а далі дослід проводили за методикою, що наведена вище.

Урожайність природних ізолятів *P. ostreatus* вивчали в лабораторних умовах за допомогою стерильної технології [14]. Як субстрат в дослідах із плодоношення використано соняшникове лушпиння (вологість 65±5%, початкова pH 7,8). Соняшникове лушпиння замочували в окропі протягом 1,5 години, потім воду зливали й субстрат розфасовували в скляні банки об’ємом 1 л. Банки закривали фольгою і автоклавували при 1,2-1,4 атм протягом 1 години. Після теплової обробки субстрат пересипали по 1 кг в поліпропіленові мішки, одночасно інокулюючи посівним міцелієм. Як посівний матеріал використовували вегетативний міцелій природних штамів *P. ostreatus,* який попередньо був вирощений на стерильному зерні пшениці за загальноприйнятими методиками [14]. Норма посіву складала 5% посівного міцелію від сирої маси субстрату. Гриби спочатку вирощували в термостаті при температурі 26±1ºС. Після повного обростання субстрату вегетативним міцелієм блоки переносили до камери плодоношення, де підтримувався такий мікроклімат: температура повітря – 14-17ºС, освітлення – 400 лк протягом 12 год/добу, відносна вологість повітря – 85-90%.

Врожайність природних штамів визначали в першу хвилю плодоношення на стадії технологічної зрілості і виражали у % відносно абсолютно сухої маси субстрату (біологічна ефективність (БЕ)).

Розміри карпофорів природних штамів оцінювали за їх середньою вагою [5]. Для характеристики пропорційності плодових тіл використовували коефіцієнт габітусу, який розраховували за формулою [5]:

$$K = \frac{x - y}{x - z},$$

де x – діаметр шапинки, мм; y – довжина ніжки, мм; z – максимальний діаметр ніжки, мм.

Повторність усіх проведених дослідів була триразовою. Статистичну обробку отриманих даних проводили за методами дисперсійного, варіаційного, кореляційного, кластерного аналізів і множинного порівняння середніх значень за критерієм Дункана [10].

Результати та обговорення

Головною стратегією в селекції штамів грибів, перспективних для практичного застосування, є відбір культур з великою швидкістю росту вегетативного міцелію. Це пояснюється тим, що швидка колонізація субстрату міцелієм запобігає розвитку конкурентної мікрофлори і скорочує цикл культивування на всіх його етапах [8]. Швидкість росту міцеліальних організмів визначається в лабораторних умовах на агаризованих середовищах, оскільки такий спосіб культивування є досить наближеним до умов росту цих грибів у природі [3]. Крім того, агаризовані середовища певного складу використовують у практиці виробництва посівного міцелію їстівних та лікарських грибів на етапі отримання маточної культури [7, 9, 11].

Найбільш сприятливими агаризованими середовищами, що рекомендовані у літературі для отримання маточної культури *P. ostreatus*, є агаризоване пивне сусло (СА), пшеничний агар (ПА), ячмінний агар (ЯА), вівсяний агар (ВА), картопляно-глюкозний агар (КГА) тощо [2, 11, 14]. Ці середовища у вітчизняному виробництві слугують повноцінною заміною значно дорожчих комерційних імпортних середовищ [8]. Тому перший етап нашої роботи полягав у дослідженні індивідуальної мінливості швидкості лінійного росту вегетативного міцелію природних штамів *P. ostreatus* на двох агаризованих середовищах (СА і КГА), що є оптимальними для міцеліальних культур цього їстівного гриба.

На підставі отриманих експериментальних даних нами встановлено, що природні штами *P. ostreatus* мали низький рівень мінливості швидкості лінійного росту міцелію на досліджених середовищах (рис. 1). Так, на СА ростові показники варіювали від 6,0 до 9,3 мм/добу (CV=13%), а на КГА – від 6,0 до 9,5 мм/добу (CV=12%). Більшість дослідників також вважають, що природні штами гливи звичайної значно не відрізняються один від одного за швидкістю росту вегетативного міцелію на поживних середовищах [9, 11, 15]. Проте деякі вчені відмічають дуже широкий діапазон коливання значень швидкості росту у різних штамів *P. ostreatus* [6, 8]. Наприклад, М. Л. Ломберг [8] встановила, що радіальна швидкість росту вегетативного міцелію у *P. ostreatus* змінюється від 3,5 до 8,5 мм/добу на СА і від 4,8 до 9,8 мм/добу на КГА. Можна припустити, що велика амплітуда мінливості міцеліальних культур гливи звичайної за ростовими показниками пов’язана з різним географічним походженням штамів, що були використані в роботі М. Л. Ломберг.

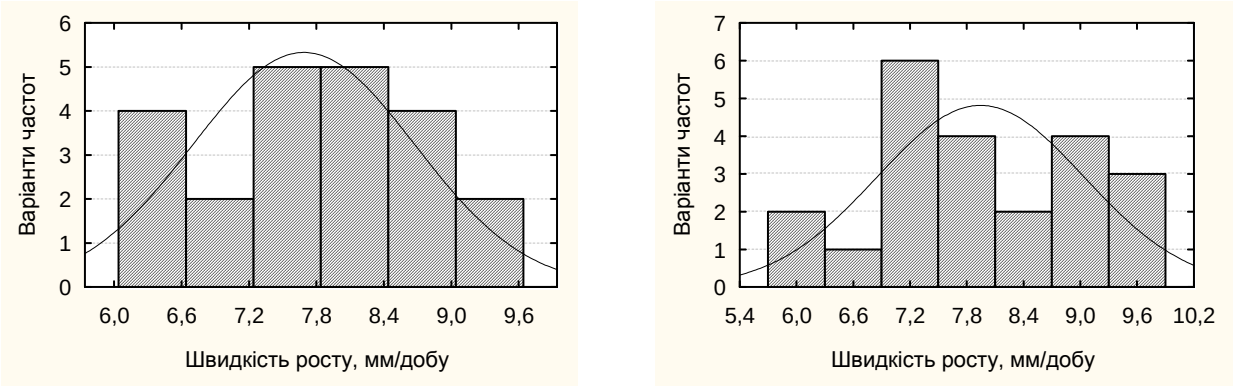


Рис. 1. Гістограма мінливості швидкості росту вегетативного міцелію природних штамів *P. ostreatus* на сусло-агаровому середовищі (А) і картопляно-глюкозному агарі (Б).

Швидкість росту міцеліальних культур переважної більшості штамів залежала від складу середовища, що збігається з літературними джерелами [6, 8, 11]. Для 35% досліджених штамів максимальну швидкість росту забезпечувало лише СА, для 40% штамів – КГА. У 25% культур радіальна швидкість росту була достовірно однаковою на двох середовищах.

У зв’язку з тим, що деякі природні штами мали різні ростові показники на досліджених середовищах, нами введено показник усередненої швидкості росту міцелію (YV_R, мм/добу). За цим показником штами умовно розподілено на 3 групи (метод К-середніх кластерного аналізу): швидкозростаючі (YV_R > 8,2 мм/добу), із середньою швидкістю росту (YV_R = 7,1-8,2 мм/добу), повільнозростаючі (YV_R < 7,1 мм/добу). У дослідженій вибірці домінували швидкозростаючі природні штами *P. ostreatus* (41% від загальної кількості досліджених) (рис. 2).

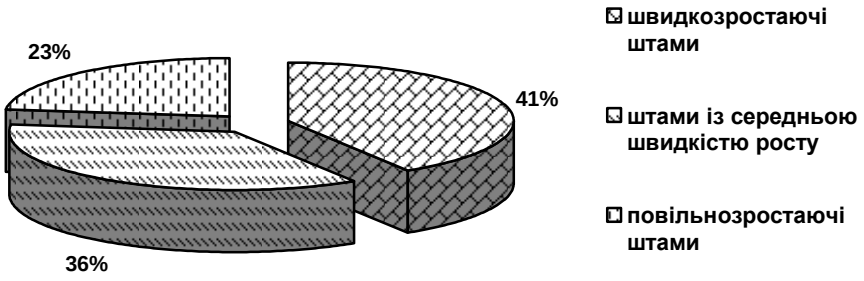
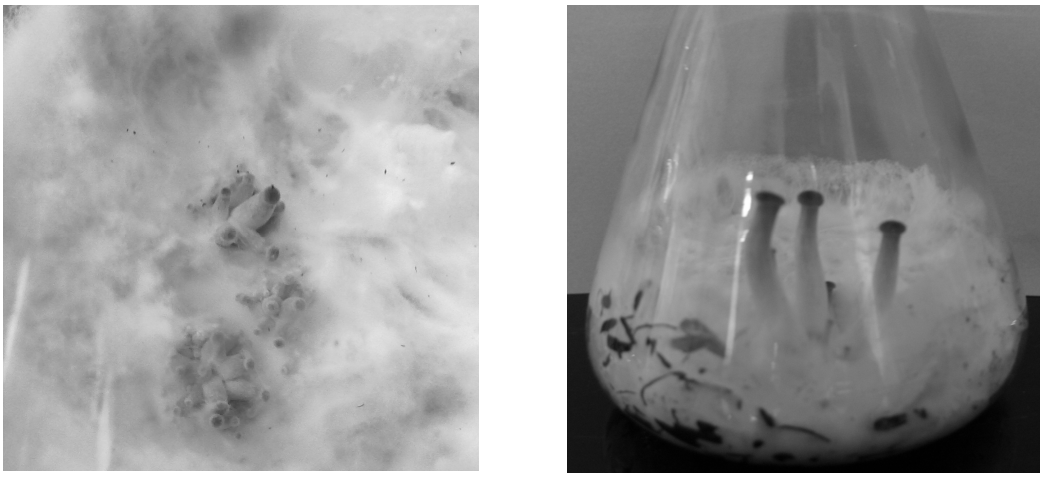


Рис. 2. Розподіл природних штамів *P. ostreatus* на групи за узагальненими даними середньої швидкості росту вегетативного міцелію на агаризованих середовищах.

На другому етапі наших досліджень вивчена варіабельність природних штамів за комплексом господарсько цінних ознак. Тест на утворення примордіїв дозволив встановити, що здатність до плодоношення на зволоженому соняшниковому лушпинні мали 100% природних штамів (рис. 3). Вони утворювали примордії на 22-35 добу після інокуляції. Кількість зачатків плодових тіл коливалася в межах від 5 до більше 20 штук в одній колбі. Фаза ініціації плодоутворення у більшості природних штамів (60% від загальної кількості) почалася при температурі 16-18°С. У 30% досліджених природних штамів поява перших примордіїв спостерігалася лише після холодового шоку (видержування культур гриба при температурі 0°С протягом 3-4-х діб). Подальший морфогенез плодових тіл у цих штамів відбувався при температурі нижче 15°С.



А **Б**

Рис. 3. Формування примордіїв (А) і плодових тіл (Б) *P. ostreatus* на соняшниковому лушпинні (на прикладі дикаріотичної культури Р-01).

До найбільш важливих господарських ознак їстівних грибів відноситься врожайність. Для дослідження цього показника у *P. ostreatus* в лабораторних умовах більшість дослідників рекомендують застосовувати банкову або пакетну стерильну технологію [8, 14]. Н. В. Дорошкевич [6] пропонує вивчати біологічну продуктивність штамів гливи звичайної інтенсивним методом в колбах Ерленмейера об’ємом 250 мл. Однак, на нашу думку, остання технологія вирощування *P. ostreatus* не є ефективною. Як показали наші попередні дослідження, на зволоженому соняшниковому лушпинні в колбах Ерленмейера природні штами гливи звичайної не досягають біологічної зрілості, порушується співвідношення між діаметром шапинки і довжиною ніжки (утворюються плодові тіла з довгою ніжкою і малою

шапинкою в діаметрі), із-за порушення оптимального мікроклімату іноді з'являються коралоподібні карпофори. Це призводить до того, що не спостерігається позитивна кореляція між урожайністю *P. ostreatus* в лабораторних і виробничих умовах. Тому для господарсько-біологічної оцінки природних штамів *P. ostreatus* в лабораторних умовах нами застосована стерильна пакетна технологія.

Під час вирощування гливи інтенсивним методом проводили фенологічні спостереження: відмічали тривалість фаз інкубації (повне освоєння субстрату міцелієм), ініціації плодоутворення (поява перших примордіїв) та морфогенезу плодових тіл (розвиток примордіїв в диференційовані репродуктивні структури). Крім того, проведено облік біологічної ефективності та габітусних параметрів плодових тіл *P. ostreatus*.

Встановлено, що фаза інкубації у природних штамів *P. ostreatus* мала достовірно однакову тривалість – 14-15 діб після інокуляції. Проте досліджені штами не виявили синхронності в утворенні перших примордіїв. Тривалість фази ініціації плодоутворення варіювала від 5 до 19 діб після світлової індукції при середній величині 12 діб і коефіцієнті варіації 18% (рис. 4). Спостерігалася правобічна асиметрія розподілення штамів за цим показником (As = 0,21). Мажорні штами за швидкістю утворення перших примордіїв становили приблизно 14% від загальної кількості.

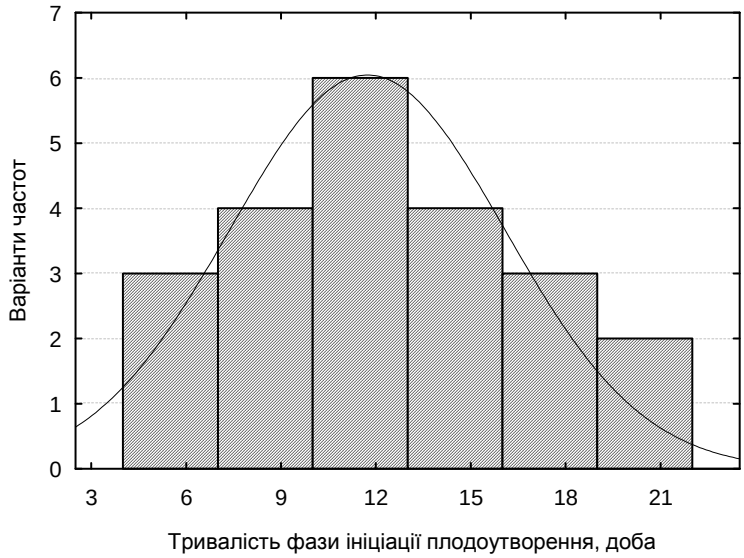


Рис. 4. Гістограма мінливості швидкості утворення перших примордіїв у природних дикаріонів *P. ostreatus.*

Технологічна зрілість плодових тіл у природних дикаріонів *P. ostreatus* наставала на 12-14 добу після появи перших примордіїв, тобто суттєвих відмінностей між дослідженими штамами за цією ознакою не виявлено.

При вивченні врожайності природних штамів *P. ostreatus* отримано дані про амплітуду мінливості цієї ознаки. Вона була досить високою, оскільки коефіцієнт варіації дорівнював 35%. Максимальна врожайність (42±0,4%) перевершувала найменшу (15±0,7%) приблизно в 2,8 рази. Середнє значення біологічної ефективності в дослідженій вибірці штамів становило 27,9%. Найбільша врожайність на соняшниковому лушпинні спостерігалася у 14% природних штамів від загальної кількості досліджених.

При успішному розвитку промислового грибівництва і насиченні ринку продукцією на перший план вийдуть показники її якості. На практиці якість грибів в основному визначають за зовнішнім виглядом. Габітус або зовнішній вигляд гливи звичайної включає декілька основних характеристик: забарвлення і форма шапинки, консистенція, розміри і пропорції плодових тіл [2, 14].

У лабораторних умовах плодові тіла природних штамів *P. ostreatus* утворювали зростки карпофорів, у яких останні розташовувалися черепицеподібно один над одним або поруч в кількості від 5 до 20 штук. Форма шапинок карпофорів була вухоподібною, воронопоподібною

та округлою, а їх забарвлення за шкалою А. С. Бондарцева [1] варіювало від сірого (в4, Griseus) до темно-бурого (в6, Brunneus). Досліджені штами суттєво відрізнялися один від одного за консистенцією і розмірами плодових тіл. У 30% штамів карпофори мали достатньо м'яку консистенцію та невеликі розміри (середня маса плодового тіла знаходилася в межах від 3,1 до 6,7 г). У більшості випадках зустрічалися форми з крупними щільними базидіомами, у яких середня маса варіювала від 7,6 до 11,9 г. Відносно всієї вибірки, що досліджувалася, середня маса плодового тіла склала 7,7 г, а коефіцієнт варіації дорівнював 23%.

Для характеристики пропорційності плодових тіл використовували коефіцієнт габітусу карпофорів (К), який може набувати такі значення: 1) К < 0, якщо довжина ніжки більше діаметру шапинки; 2) К = 1, якщо довжина ніжки дорівнює діаметру шапинки; 3) 0 < К < 1, якщо діаметр ніжки менше її довжини; К = 1, якщо довжина ніжки дорівнює її діаметру; К > 1, якщо діаметр ніжки більше її довжини [5]. У досліджених штамів *P. ostreatus* коефіцієнт габітусу карпофорів знаходився в межах від 0,71 до 0,96 із середнім значенням 0,85 і коефіцієнтом варіації 31%.

З позиції споживача найкращими вважаються плодові тіла з великою шапинкою, товстою і короткою ніжкою. Вони краще зберігаються, легше переносять механічні навантаження при транспортуванні. Тому гриби з високим коефіцієнтом габітусу карпофорів мають високі споживчі якості [5]. До цієї категорії за результатами наших досліджень віднесено 14% штамів від загальної кількості досліджених, у яких коефіцієнт К дорівнював 0,94-0,96.

Господарсько цінні ознаки гливи віддалені від кодуючих генів на багато метаболічних кроків і, оскільки можливий вплив умов життя на метаболічну експресію кожного кроку, не виключена помилка, при якій за генетичну мінливість буде прийнята морфологічна варіабельність, що зумовлена особливостями росту організму. Тому при вивченні мінливості ознак у грибів Ю. Г. Дьяков [9] пропонує розраховувати коефіцієнти успадкування, які дозволяють оцінити ступінь внеску генотипу у фенотипічну мінливість досліджуваних ознак.

У табл. 2 наведені коефіцієнти успадкування деяких важливих господарських ознак, що виявили середній або високий ступінь мінливості у природних штамів *P. ostreatus*.

Таблиця 2

Коефіцієнти успадкування (H^2) господарських ознак *P. ostreatus*

Ознаки	H^2
Урожайність (біологічна ефективність)	0,53
Число плодових тіл	0,80
Середня маса плодового тіла	0,66
Середній діаметр шапинки	0,71
Середня довжина ніжки	0,60
Середня швидкість утворення перших примордіїв	0,71

Усі досліджені ознаки гливи звичайної мали високий коефіцієнт успадкування, причому найнижчий показник (H^2 = 0,53) виявлений у найбільш важливої ознаки – врожайності, що узгоджується з літературними джерелами [2, 9]. Це можна пояснити тим, що ознака «врожайність» штучна і складається шляхом перемноження двох інших ознак – «число плодових тіл» та «середня маса плодового тіла». Таким чином, генетична варіанса вносить великий внесок у загальну мінливість важливих господарських ознак природних штамів *P. ostreatus*.

За допомогою кластерного аналізу була охарактеризована схожість досліджених штамів гливи звичайної за швидкістю лінійного росту вегетативного міцелію на агаризованих середовищах, біологічною ефективністю, швидкістю утворення перших прирмордіїв, розмірами та пропорційністю плодових тіл.

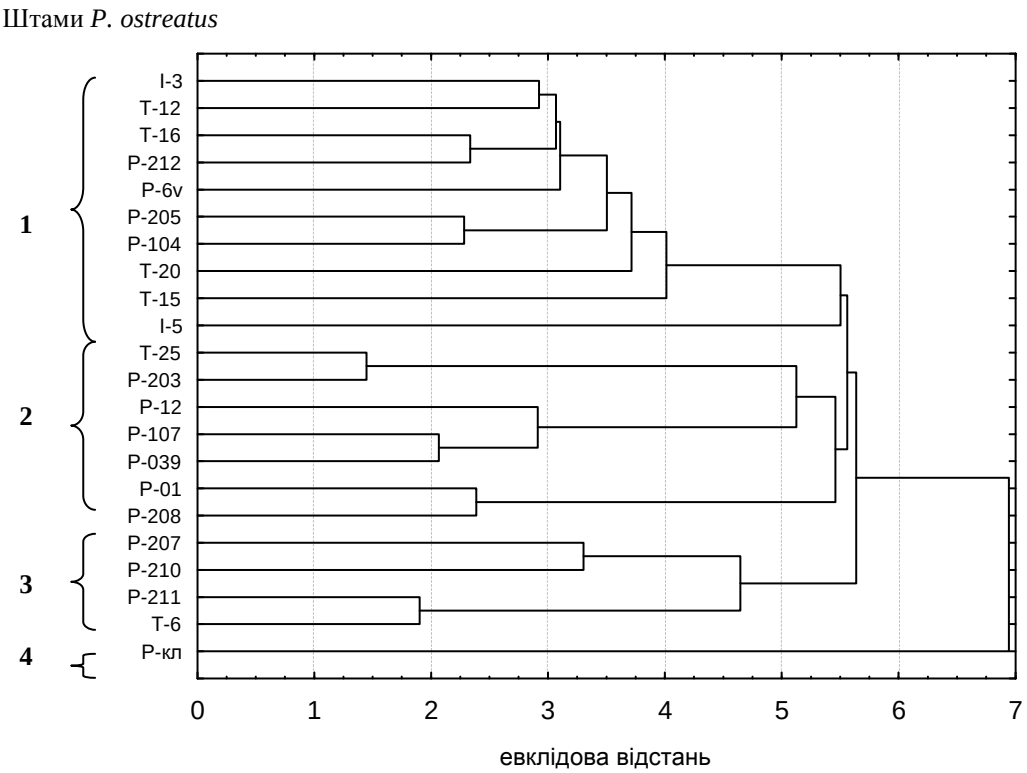


Рис. 5. Дендрограма схожості природних штамів *P. ostreatus* за швидкістю росту вегетативного міцелію й господарсько важливими ознаками.

На дендрограмі можна виділити декілька уособлених груп штамів гливи звичайної. Найбільш чисельною виявилася перша група, до складу якої увійшли низьковрожайні природні штами. Штами із середньою врожайністю об'єдналися в другу групу. Третя група представлена штамами із середньою врожайністю (Р-211 і Т-6) і високоврожайними (Р-207 і Р-210). Уособлене положення займав штам Р-кл, який мав середню врожайність на соняшниковому лушпинні (БЕ = 38%), проте швидко утворював примордії (на 6 добу після світлової індукції). Цікаво зазначити, що групування штамів всередині кластера не мало ніякого зв'язку з місцем та роком їх збору та деревом-хазяїном.

Висновки

Природні штами *P. ostreatus* з однаковим географічним походженням (паркові зони м. Донецька) мали низький рівень мінливості за ростовими показниками, проте виявили високий ступінь поліморфізму за господарсько важливими ознаками. Це дозволяє рекомендувати досліджену вибірку природних дикаріонів гливи звичайної як вихідний матеріал для моноспорової селекції продуктивних штамів.

Подяки

Автори висловлюють щиру вдячність доценту кафедри фізіології рослин, к.б.н. О. В. Федотову за збір колекції природних ізолятів *P. ostreatus* та одержання дикаріотичних міцеліальних культур.

Список літератури

1. *Бондарцев А. С.* Шкала цветов: пособие [для биологов при научных и научно-прикладных исследований] / А. С. Бондарцев. – М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1954. – 28 с.

2. *Бисько Н. А.* Биология и культивирование съедобных грибов рода вешенка / Н. А. Бисько, И. А. Дудка. – К.: Наук. думка, 1987. – 148 с.

3. *Бухало А. С.* Высшие съедобные базидиомицеты в чистой культуре / А. С. Бухало. – К.: Наук. думка, 1986. – 144 с.

4. *Воробьева Л. И.* Генетические основы селекции растений и животных / Л. И. Воробьева, О. В. Тиглина. – Харьков: Колорит, 2006. – 224 с.

5. Горное грибоводство / [С. Ф. Негруцкий, Ю. А. Шапошник, П. А. Сычев и др.]. – Донецк: РИП «Лебедь», 1995. – 168 с.

6. *Дорошкевич Н. В.* Господарсько-біологічна оцінка нових штамів *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kummer: автореф. дис. ... канд. с.-госп. наук.: спец. 06.01.06 «Овочівництво» / Н. В. Дорошкевич. – К., 2010 – 20 с.

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

8. *Ломберг М. Л.* Лікарські макроміцети у поверхневій та глибинній культурі: дис. … канд. біол. наук: 03.00.21 / Ломберг Маргарита Леонідівна. – К., 2005. – 231 с.

9. Основы биотехнологии высших грибов: уч. пос. / [Н. А. Заикина, А. Е. Коваленко, В. А. Галынкин и др.]. – СПб.: Проспект Науки, 2007. – 336 с.

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

11. Промышленное культивирование съедобных грибов / [И. А. Дудка, С. П. Вассер, А. С. Бухало и др.] / Под ред. И. А. Дудки. – К.: Наук. думка, 1978. – 264 с.

12. Селекція і насінництво сільськогосподарських рослин [підручник для студ. агрон. спец. вищ. навч. закл] / М. Я. Мольцький, С. П. Васильківський, В. І. Князюк, В. А. Власенко. – К.: Вища освіта, 2006. – 163 с.

13. *Семенов С. М.* Лабораторные среды для актиномицетов и грибов: справочник / С. М. Семенов. – М.: Агропромиздат, 1990. – 240 с.

14. *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.

15 *Штаер О. В.* Сравнительный анализ природных популяций *Pleurotus pulmonarius* (Fr.) Quel.: автореф. дис. ... канд. биол. наук: спец. 03.00.24 «Микология» / О. В. Штаер. – М., 2006. – 25 с.

16. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://sops.gov.ua/uploads/files/documents/reyestr_sort/Reestr14.12.11.pdf

17. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://proconsulting.com.ua/market_research/market/2011/05/05/obzor_rynka_gribov_u_37406.html

Демченко С. И., Деревянко А. Е., Швиндина Е. С. **Исследование индивидуальной изменчивости природных штаммов *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kumm.** – В работе представлены результаты исследования индивидуальной изменчивости 22 природных штаммов *Pleurotus ostreatus*. Приведены данные скорости линейного роста вегетативного мицелия на агаризованных средах, фенологических наблюдений, учетов габитусных параметров плодовых тел и урожайности опытных штаммов.

Ключевые слова: гриб *Pleurotus ostreatus*, природные штаммы, индивидуальная изменчивость, урожайность.

Demchenko S. I., Derevjanko A. E., Shvindina K. S. **The investigation of individual variability of *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kumm. natural strains. –** In this thesis the results of individual variability of twenty two *Pleurotus ostreatus* natural strains are presented. The data of the growth rate of vegetative mycelium on agar media, fenological observation, habitus index registration and harvest of investigated oyster's strains are offered.

Key words: fungus *Pleurotus ostreatus*, natural strains, individual variability, harvest.

УДК 581.52 : 631.619

© С. П. Жуков

РАСТЕНИЯ, УСТОЙЧИВЫЕ К ПОВЫШЕННОЙ КИСЛОТНОСТИ ПОЧВ, В ФИТОЦЕНОЗАХ ОТВАЛОВ ДОНБАССА

Донецкий ботанический сад НАН Украины; 83059, г. Донецк, пр. Ильича, 110
e-mail: ser64luk@yandex.ru

Жуков С. П. **Растения, устойчивые к повышенной кислотности почв, в фитоценозах отвалов Донбасса**. – Рассмотрено значение устойчивости растений к повышенной кислотности почвенных субстратов при выживании растений в условиях породных отвалов, выделено несколько групп по отношению к кислотности почв. Проанализирована роль устойчивости к этому фактору в отборе видов пионерных и серийных сообществ, возможные пути подбора перспективных фитомелиорантов по этому признаку.

Ключевые слова: кислотность, устойчивость, породный отвал, фитоценозы.

Введение

Значительную часть в нарушенных территориях такого горнопромышленного региона, как Донбасс в связи со спецификой хозяйственной деятельности составляют различные отвальные новообразования, аккумулятивные формы рельефа техногенной природы. Это и породные отвалы угольных шахт, и отвалы вскрышных пород, отвалы отходов обогащения минерального сырья, места временного и длительного складирования как сырья, так и отходов строительства и промышленности. Во многих из этих отвалов складированы горные породы, добытые со значительной глубины, не прошедшие процессов физико-химического и биологического выветривания. При этом зачастую эти породы содержат заметное количество соединений серы и углерода. При контакте с кислородом воздуха происходит окисление этих веществ с образованием различных кислот, в том числе серной, понижающей значения pH почвенных растворов до крайне низких значений, нетипичных для природных местообитаний. Так, на породных отвалах угольных шахт и углеобогатительных фабрик или цехов углеподготовки коксохимических заводов могут встречаться породы с pH 3-4. Такая повышенная кислая реакция среды не может не сказываться самым активным образом на растениях, которые поселяются в таких экотопах или высаживаются там в ходе их рекультивации. Устойчивость формирующихся почв к воздействию образующихся кислот во многом может определяться устойчивостью почвенного микробного сообщества, но отвалы шахт как раз отличаются несформированностью микробоценозов [1]. В современных условиях на процесс развития почв на отвалах накладывается и воздействие глобальных изменений климата [3, 7]. Также и водный режим почв в техногенных условиях, даже при наличии почвенного перекрытия, может отличаться специфическими особенностями от автоморфных почв, что также осложняет существование растений [6]. В начальных стадиях процесса развития эдафотопов отвалов угольных шахт кислотность породных субстратов и связанная с нею в генезисе засоленность являются ведущими факторами, определяющими характер зарастания и возможность выращивания мелиоративных насаждений. Выделяемые при этом стадия окисления, характеризующаяся отсутствием поселения растений, и стадия вымывания, на которой начинают появляться первые растения, четко различаются по реакции почвенных растворов [5]. С другой стороны, на отвалах вскрыши, где складируются породы из верхних геологических горизонтов, наблюдается противоположное явление: преобладание щелочной и сильнощелочной реакции среды, что позволяет использовать эти отвалы для сравнительного изучения стойкости растений к реакции почв.

Цель работы – определить роль растений, устойчивых к повышенной кислотности почвенных субстратов, в фитоценозах отвалов Донбасса, выявить возможности применения таких растений при рекультивации отвалов, а также влияние кислотности пород на структуру формирующихся на отвалах сообществ.

Материал и методы исследования

Исследование проведено на породных отвалах угольных шахт городов Донецка, Макеевки, Дзержинска. Отбор проб грунтов проводился согласно ГОСТу 17.4.3.01 – 83. Определение состава водной вытяжки, сухого остатка, ионного состава выполнялись общепринятыми в агрохимии методами (ГОСТ 26423–85 и ГОСТ 26428–85, 1985) в отделе фитоэкологии Донецкого ботанического сада НАН Украины [4]. Выделение видов, устойчивых к влиянию кислотности почв, проводилось по результатам изучения их распространения и жизненного состояния в экотопах с повышенной кислотностью почв породных отвалов в сравнении с экотопами отвалов Докучаевского флюсо-доломитного комбината и Комсомольского рудоуправления, которые характеризуются щелочной реакцией среды, но подобны по другим основным параметрам: механическому составу, плодородию, засоленности.

Результаты и обсуждение

При рассмотрении кислотности породы на отвалах угольных шахт в первую очередь обращает на себя внимание неравномерность проявления этого фактора по территории отвалов, особенно конической формы. Учитывая технологию формирования породы в конический отвал, можно заметить, что в процессе отсыпки породы происходит частичное ее разделение на фракции, при этом содержание крупнообломочной фракции увеличивается в направлении от вершины к основанию отвала, а верхняя часть обогащена мелкодисперсными частицами. Происходит это вследствие явления сегрегации породы: крупные обломки сохраняют большую кинетическую энергию при скатывании по склону, а мелкие фракции заполняют промежутки между более крупными частицами в первую очередь вблизи места отсыпки и сильнее тормозятся при соударении с ранее отсыпанной породой. В результате в верхней части отвалов концентрируется сильно измельченная порода с высокой удельной площадью поверхности частиц относительно их объема. Это облегчает процессы окисления сернистых соединений – основного источника образования серной и сернистой кислоты. Также в условиях мелкодисперсной породы задерживается вымывание кислых соединений осадками сравнительно с крупнофракционными участками породы внизу склонов. С другой стороны, имеется и неоднородность показателей кислотности породы во времени. По годам наблюдается изменение кислотности сначала в сторону ее повышения, а потом, по мере затухания окислительных процессов на отвале, стабилизации его формы, идет постепенное снижение кислотности в экотопах породных отвалов. Имеется и сезонная динамика кислотности: в осенне-зимний период кислотность снижается в результате снижения температуры и выпадения основной части количества осадков за год, а в весенне-летний период наблюдается повышение кислотности. Менее значительные изменения происходят в меньших временных масштабах, например, при выпадении сильных осадков летом. Возможны также локализованные во времени и пространстве небольшие изменения кислотности вследствие местных нарушений поверхности, например, при водной эрозии, вывале деревьев. К примеру, рассмотрим варьирование кислотности по породным отвалам № 1-5 и № 18 шахт им. Артема и «Новая» в г. Дзержинске. Выделен 21 экотоп с различной степенью зарастания, в которых отобраны образцы породы для анализа. Значения pH варьируют от 3,83 до 6,78, два образца имеют очень сильнокислую реакцию (3,92; 3,83) и два – сильнокислую реакцию (4,04; 4,32), в шести образцах реакция среднекислая (4,81; 5,05, 4,88; 4,65; 4,63; 4,82), в двух – слабокислая (5,53; 5,32) и в остальных нейтральная или близкая к нейтральной (5,63-6,78). На многих отвалах, запланированных в ходе реструктуризации угольной промышленности к рекультивации, наблюдается подобное распределение экотопов по их кислотности. С другой стороны, на отвалах вскрыши в Комсомольском и Стыле значения pH изменяются от 8,31 до 8,78. И в обоих случаях преобладают слабозасоленные породы с большим содержанием крупноразмерных фракций и камней. Соответственно, если широко распространенные виды растений встречаются в эдафотопах с кислой реакцией, но отсутствуют при щелочной реакции, можно предположить

наличие устойчивости, специфической адаптации к таким условиям. А при наличии вида в обоих вариантах эдафотопов это говорит об экологической пластичности вида, его широкой экологической амплитуде.

С учетом всего вышесказанного можно выделить несколько групп растений по характеру их приспособления к существующим условиям повышенной кислотности эдафотопов породных отвалов шахт.

1. Растения, устойчивые к сильнокислой реакции эдафотопов (pH 4,1-4,5): 1) растения, приуроченные к местообитаниям с естественным закислением почв и потому приспособленные к кислым эдафотопам; 2) растения с широкой экологической амплитудой по отношению к свойствам эдафотопов; 3) растения, использующие относительно благоприятный для развития временной период с середины осени до начала лета.

2. Растения, устойчивые к среднекислой реакции эдафотопов (pH 4,6-5,3).

Растения, устойчивые к высокой кислотности почв, встречаются в экотопах породных отвалов с сильнокислой и иногда с очень сильнокислой реакцией среды. Среди них можно выделить подгруппы по специфике приспособленности и с различной ролью в сообществах.

Растения, эволюционно приуроченные к местообитаниям с естественным закислением почв, приспособленные к подобным условиям, видимо, обладают устойчивостью в эдафотопах с кислой реакцией почвенных растворов. Это в первую очередь *Persicaria maculosa* S. F. Gray, различные виды тополей и ив (*Populus alba* L., *P. nigra* L., *P. premula* L., *Salix cinerea* L.), в природе произрастающие в увлажненных понижениях, прибрежно-водных и болотных местообитаниях, где естественным образом формируется кислая реакция почвенных растворов. Довольно часто в нашем регионе такие экотопы обладают и несколько повышенной засоленностью, что также способствует первичной адаптации этих растений на отвалах. Эти виды растений или являются пионерами заселения породных отвалов, или формируют стабильные локалитеты на участках отвалов, малопригодных для других растений. Вначале поселение растений идет рассеянно, затем могут формироваться плотные одновидовые заросли. Обычно растения этой группы характеризуются значительными отклонениями в габитусе, размерах, анатомических особенностях, продолжительности жизни от характерных для них в природных местообитаниях. Малоконкурентоспособные в сообществах, однолетники при формировании даже маловидовых группировок обычно быстро и полностью выпадают из состава сообщества. Древесные растения могут отличаться низкой продолжительностью жизни, но при гибели дают обильную поросль. Или же просто формируется куртина при вегетативном размножении. *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. является переходным видом между представителями этой группы и следующей.

Растения с широкой экологической амплитудой, которые могут переносить достаточно низкие значения pH. Это такие виды, как *Ambrosia artemisiifolia* L., *Diplotaxis tenuifolia* (L.) DC., *Oberna behen* (L.) Ikonn., *Reseda lutea* L. и др. В типичном случае это широкоареальные эксплеренты, часто заносные в регионе, ширина экологической ниши которых позволяет им довольно успешно переносить специфику комплекса экологических факторов отвалов (кислотность, засоленность, жесткие гидротермические условия), которые ограничивают выживание в этих условиях большинства местных видов растений. Также, как и растения предыдущей группы, эти виды участвуют в пионерных группировках, легко колонизируют нарушенные территории, но могут длительное время сохраняться даже при формировании более или менее сомкнутых сообществ. Обычно менее устойчивы к экстремальным значениям кислотности почв, чем виды первой группы. При этом отклонения в размерах под влиянием биотических факторов могут быть более значительными, чем даже при воздействии одного абиотического стресса. Минимального размера особи *Ambrosia artemisiifolia*, образующие 1-2 семя на растение, отмечены как раз в ценозах, где эдафотопы уже стали относительно благоприятны для растений, видовой состав которых расширился и амброзия конкурентно подавляется. Длительное время сохраняются в местах локальных нарушений.

Растения, жизненный цикл которых укладывается в относительно благоприятный период временного сезонного снижения кислотности почвенных субстратов и их повышенной увлажненности с осени по весну. За счет низкой температуры также снижается влияние кислотности. Это в основном растения, которые относятся к жизненной форме эфемеры и эфемероиды, например, это *Anisantha tectorum* (L.) Nevski, *Senecio viscosus* L., *S. vernalis* Waldst & Kit., *Holosteum umbellatum* L., *Poa bulbosa* L., или представляют собой озимые однолетники, как *Phalacroloma annuum* (L.) Dumort – вид, промежуточный по приспособлению к условиям отвалов с предыдущей группой видов. Эти виды также являются пионерами зарастания, некоторые эфемеры даже опережают остальные группы в освоении экотопов породных отвалов, если есть источник заноса семян на прилегающих территориях. Обычно у этих видов по сравнению с природными местообитаниями отклонения от размеров меньше, чем у предыдущих групп. Благодаря уходу от конкуренции в другую временную нишу длительное время сосуществуют с сообществами последующих стадий сукцессии.

Растения, устойчивые к среднекислой реакции эдафотопов. В небольшом количестве могут встречаться и в экотопах с сильнокислой реакцией породы, но скорее они находят там относительно благоприятные участки. Достаточно обширная и разнообразная группа растений, поселяющаяся после некоторого периода первичного развития эдафотопов отвалов, когда для них подготовлены условия жизнедеятельностью растений вышеописанных групп. Однолетники и многолетники, травы и древесные растения. По происхождению есть местные и заносные виды. Например, *Artemisia absinthium* L., *Centaurea diffusa* Lam., *Melilotus albus* Medik., *Poa compressa* L., *Berteroa incana* (L.) DC., *Acer negundo* L., *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle и др. По сути, это растения сообществ второй стадии сукцессии растительности отвалов угольных шахт [2]. Поскольку механический состав формирующихся на отвалах почв характеризуется недостатком глинистой фракции, это может смягчать влияние повышенной кислотности на растения. Возможно, и в этой группе растения различным образом приспособлены к повышенной кислотности эдафотопа. Так, *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, относимый к этой группе, в природе отмечался нами как массовый вид в относительно влажных участках сосновых лесов, пораженных корневой губкой. То есть у него, видимо, также есть определенная приспособленность к таким условиям, как у первой подгруппы видов, устойчивых в сильнокислых эдафотопах. Есть и растения с коротким жизненным циклом.

Применение видов растений, устойчивых к повышенной кислотности почвенных субстратов, позволит повысить эффективность воздаваемых насаждений и посевов, снизить затраты на этапе технической рекультивации, уменьшить объемы или обойтись без известкования породы, что не всегда выполнимо вследствие обилия камней на породных отвалах и отсутствия соответствующей техники.

При подборе фиторекультивантов, устойчивых к повышенной кислотности, необходимо учитывать также и влияние на эти растения других факторов, характерных для отвалов: жестких гидротермических условий, недостатка в формирующихся почвах (техноземах) глинистой фракции и питательных веществ, в первую очередь азота, ветровое воздействие и пр. Естественно, также важны и собственно рекультивационные качества растений, влияние их на формирование эдафотопов и сообщества, выявление диапазона экотопов, в которых применение данного вида наиболее эффективно. Перспективен подбор и фиторекультивантов, стойких к средней кислотности техноземов, так как большинство отвалов к моменту выхода из эксплуатации имеет участки такого уровня кислотности, покрытые растительным покровом в результате самозарастания. Также многие шахтные отвалы, выведенные из эксплуатации при реструктуризации угольной промышленности в предыдущие два десятилетия, характеризуются преобладанием таких условий. Соответственно, нет надобности рекультивировать всю поверхность отвала, так как на участках с развитым растительным покровом требуется только улучшить его структуру и повысить санитарно-защитную эффективность на менее развитых участках, что может быть

достигнуто внедрением такого типа растений. Например, такой вид второй группы, как *Calamagrostis epigeios*, который в данное время проходит экспериментальную проверку, благодаря позднему началу вегетации пригоден для посадки частями корневищ, устойчив в слабо- и среднекислых экотопах северных склонов различного механического состава, формирует путем вегетативного размножения куртины с высокими противоэрозионными свойствами, за счет чего стабилизирует склоны, продуцирует большое количество биомассы в подземной и надземной части, способствуя развитию почв.

Выводы

Установлены растения, стойкие к повышенной кислотности эдафотопов, на породных отвалах Донбасса и роль этих видов в формирующихся сообществах. Выделены группы видов растений по их стойкости к сильнокислой и среднекислой реакции почвенных субстратов. Среди видов, устойчивых к сильнокислым эдафотопам, можно выделить виды из местообитаний с естественным закислением почв и потому приспособленные к кислым эдафотопам, виды, устойчивые за счет своей широкой экологической амплитуды, и виды растений, использующие относительно благоприятный период времени для развития. Повышенная кислотность ведет к экотопическому отбору видов, обеднению видового богатства группировок и сообществ, пятнистости в их пространственной структуре. Значение устойчивых к повышенной кислотности видов растений заключается в интенсификации начального почвообразования, закреплении поверхности и стабилизации склонов, подготовке условий для внедрения видов последующих стадий развития.

Список литературы

1. *Ананьева Н. Д.* Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв / Н. Д. Ананьева. – М.: Наука, 2003. – 223 с.

2. *Жуков С. П.* Про напрям антропогенної сукцесії рослинності відвалів вугільних шахт Донбасу / С. П. Жуков // Укр. ботан. журн. – 1999. – № 3. – С. 245–249.

3. *Кудеяров В. Н.* Глобальные изменения климата и почвенный покров / В. Н. Кудеяров, В. А. Демкин, Д. А. Гиличинский и др. // Почвоведение. – 2009. – № 9. – С. 1027–1042.

4. Почвоведение: учеб. для высш. с.-х. учеб. зав. / Под ред. И. С. Кауричева. – М.: Колос, 1982. – 496 с.

5. Промышленная ботаника / [Е. Н. Кондратюк, В. П. Тарабрин, В. И. Бакланов и др.]; под ред. Е. Н. Кондратюка. – К.: Наук. думка, 1980. – 257 с.

6. *Шеин Е. В.* Структурное состояние техноземов и формирование в них преимущественных потоков влаги / Е. В. Шеин, Д. И. Щеглов, А. Б. Умарова и др. // Почвоведение. – 2009. – № 6. – С. 687–695.

7. *Lopes de Gerenyu V. O.* Effect of temperature and moisture content on CO_2 evolution rate of cultivated Phaeozem: analyses of long-term field experiment / V. O. Lopes de Gerenyu, I. N. Kurganova, L. N. Rozanova, V. N. Kudeyarov // Plant, Soil and Environment. – 2005. – Vol. 51, N 5. – P. 213–219.

Жуков С. П. **Рослини, стійкі до підвищеної кислотності ґрунтів, у фітоценозах відвалів Донбасу**. – Розглянуто роль стійкості рослин до підвищеної кислотності ґрунтів при їх виживанні в умовах породних відвалів, виділено кілька груп за відношенням до кислотності ґрунтів. Проаналізовано роль стійкості до цього фактора у відборі видів піонерних та серійних угруповань, можливі шляхи підбору перспективних фітомеліорантів за цією ознакою.

Ключові слова: кислотність, стійкість, породний відвал, фітоценози.

Zhukov S. P. **Plants resistant to increased acidity of the soil in dumps phytocenoses of Donbass.** – The value of the resistance of plants to increased acidity of soil substrates with survival of plants in the conditions of coal dumps are considered. The few groups are distinguished in relation to acidity of soils. The role of the resistance to this factor in the selection of types of pioneer and serial associations and possible ways of selection of perspective phytomeliorants on this sign are analysed.

Key words: acidity, stability, coal dumps, phytocenoses.

УДК 581.162.3

© С. М. Ковтун-Водяницька

СПОСІБ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ З ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ПИЛКОВИХ ЗЕРЕН ВИДІВ РОДУ *NEPETA* L.

Національний ботанічний сад ім. М. М. Гришка НАН України
01014, м. Київ, вул. Тимірязєвська, 1; e-mail: chanya-s@yandex.ru

Ковтун-Водяницька С. М. **Спосіб проведення експерименту з визначення якості пилкових зерен видів роду *Nepeta* L.** – Запропоновано спосіб визначення фертильності та життєздатності пилкових зерен видів роду *Nepeta* L. на штучному живильному середовищі. Проаналізовано пилок 28 зразків 15 видів і 1 форми. Шляхом експерименту підібрано оптимальний температурний режим та тривалість пророщування пилку, вивчено особливості перебігу процесу проростання. За результатами оцінювання якості пилку зроблено висновок про адаптивність інтродуцентів роду *Nepeta* до умов Правобережного Лісостепу України.

Ключові слова: види роду *Nepeta*, пилок, проростання, метод.

Вступ

Інтродукційна робота передбачає вивчення та оцінку рослинного об`єкту з позиції екологічної валентності до біотичних і абіотичних чинників. Ключовим свідченням успішності процесу є репродуктивна здатність рослин. На плодоношення запилюваних рослин має безпосередній вплив гармонійний розвиток репродуктивних органів [8-10, 21].

Пилкове зерно рослини (*granum pollinis*) є головним агентом запилення: це чоловічий гаметофіт, функція якого полягає в утворенні, зберіганні та транспортуванні генетичного матеріалу – чоловічих гамет до жіночої репродуктивної сфери. Результативність процесу запилення залежить від формування рослиною якісного пилку в достатній кількості, на що впливають умови зростання рослин, їх фізіологічний стан та вік, а також рівень популяційної мінливості, зумовлений спадковими ознаками [3, 4, 7].

На сьогодні дослідження пилку рослин є досить різноплановими з використанням різних методів: морфологічних, цитоембріологічних, сканінг-електронно-мікроскопічних, біохімічних та ін. У роботах вітчизняних та зарубіжних дослідників найбільш широко представлені результати досліджень морфологічної структури пилкових зерен рослин, якісні ж показники пилку при цьому розглядаються побіжно або взагалі не наводяться [13, 15-19, 23].

На даний час серед таксономічних груп маловивченими з палінологічної точки зору є представники роду *Nepeta* L. родини Lamiaceae Lindley [1, 14, 20, 24].

Види роду *Nepeta* на сьогодні є перспективними об`єктами інтродукційних досліджень насамперед як ефіроноси. Попри вміст в надземній частині рослин біологічно активних речовин для представників даного роду є властивим високий ступінь полімофізму в поєднанні з поліхімізмом, що дає розмаїтість форм і забезпечує широку палітру вихідного матеріалу для інтродукційно-селекційної роботи. Чимала кількість видів має медоносні властивості та декоративні ознаки. З огляду на широкий спектр використання представників роду *Nepeta* постає надзвичайно важливе питання їх насінного розмноження за умови інтродукції. В розрізі вивчення цього питання є важливим дослідження якості пилку інтродуцентів.

У результаті аналізу літературних інформативних джерел нами не виявлено відомостей стосовно якісних характеристик пилку видів роду *Nepeta*. Відсутність такого плану досліджень спонукало до розгляду даного питання у власних дослідженнях.

Матеріал і методи дослідження

Дослідження виконано в Національному ботанічному саду ім. М. М. Гришка НАН України (Правобережний Лісостеп) у 2011 р.

Мета роботи – визначити якісні характеристики пилкових зерен видів роду *Nepeta*.

Об`єкти дослідження – полікарпічні трав`янисті багаторічні види роду *Nepeta* різного географічного походження: 28 зразків 15 видів і 1 форми, інтродуковані в колекцію протягом

2006-2009 рр. Досліджено двостатеві квітки *Nepeta* у фазі статевого дозрівання з повністю розкритими нормальними функціональними пиляками. Експериментальним матеріалом слугував пилок живих рослин.

Якість пилку розглянуто з позиції його фертильності, стерильності і життєздатності з використанням непрямого та прямого методів дослідження. Фертильність визначено йодним методом, життєздатність – шляхом пророщування на штучному живильному середовищі [12, 22]. Оцінку якості пилку проведено згідно трирівневої шкали [11, 17].

Препарати вивчено під поляризаційно-інтерференційним мікроскопом «Biolar PI». Мікрозйомку виконано цифровою камерою eTREK DSM 520.

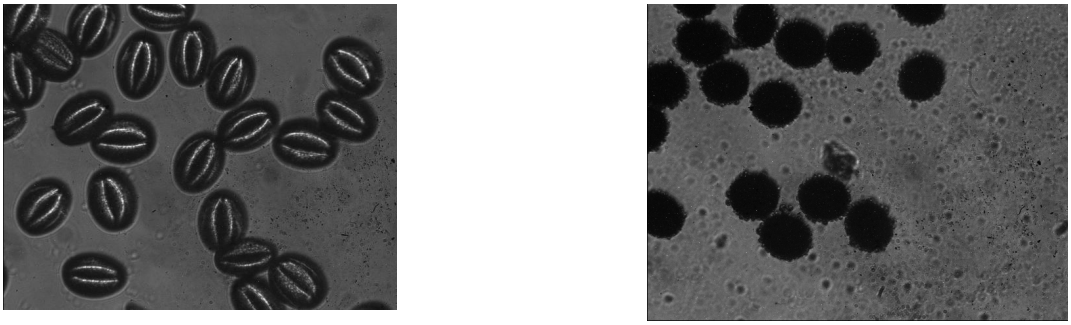
Систематичне положення дослідних видів наведено згідно із останньою систематичною обробкою роду *Nepeta* [2].

Експериментальні дані опрацьовано стандартними статистичними методами з використанням програми MS Excel 2010 [5-6].

Результати та обговорення

Дослідження пилку в лабораторних умовах та встановлення його якісних характеристик з використанням непрямого та прямого методів дозволило оцінити ефективність процесу запилення у видів роду *Nepeta*, інтродукованих в Правобережному Лісостепу України.

Завдяки використанню йодного методу встановлено фертильність пилку інтродуцентів. Даний метод ґрунтується на зміні кольору крохмалю в пилкових зернах внаслідок йодної реакції (рис. 1). Відомо, що недорозвинені (стерильні) пилкові зерна мають неправильну форму, зморшкуваті, деформовані, тобто присутні очевидні ознаки недорозвинення і пошкодження, а також не містять крохмаль або містить лише його сліди. Тому після застосування методу спостерігали забарвлення фертильних пилкових зерен в темно-коричневий колір, а стерильних – у жовтий або ж вони взагалі лишалися незабарвленими.



a b

Рис. 1. Пилкові зерна *Nepeta mussinii* Spreng. ex Henckel: a – загальний вигляд; b – під час визначення їх фертильності.

По закінченню досліду фертильність пилку обраховано як співвідношення числа забарвлених зерен від загального числа зерен і подано у відсотках.

Шляхом пророщування пилку in vitro на предметному склі з нанесеним штучним живильним середовищем встановлено його життєздатність. Живильне середовище готували безпосередньо перед використанням. Для його приготування ми обрали найбільш прості складові, використані у такій пропорції: цукру – 2 г, желатину – 1 г, дистильованої води – 13 мл. Після нанесення пилкових зерен на живильне середовище, предметні скельця поміщали в чашки Петрі на вологий фільтрувальний папір. Потім чашки Петрі переносили до термостату з постійною температурою в 29°С.

Поняття життєздатності в проведених дослідженнях нами вжито більш вузько за традиційне, а саме: як опис проростання пилку. Життєздатними ми вважали пилкові зерна, довжина трубок яких перевищувала діаметр самого зерна. Під час досліду підрахунки проведено в 10 полях зору.



Рис. 2. Проростання пилкових зерен *Nepeta mussinii* Spreng. ex Henckel.

Шляхом експерименту встановлено, що оптимальним для пророщування пилку рослин видів роду *Nepeta* є постійний температурний режим в межах 29-30°С. Зниження температури до 24-25°С викликало пониження життєздатності пилку в дослідних зразків на 5-19%.

З метою більш точного встановлення здатності пилку до запилення вивчали динаміку його проростання. Підрахунок пророслих пилкових зерен проводили через 1, 4 і 6 годин (рис. 3).

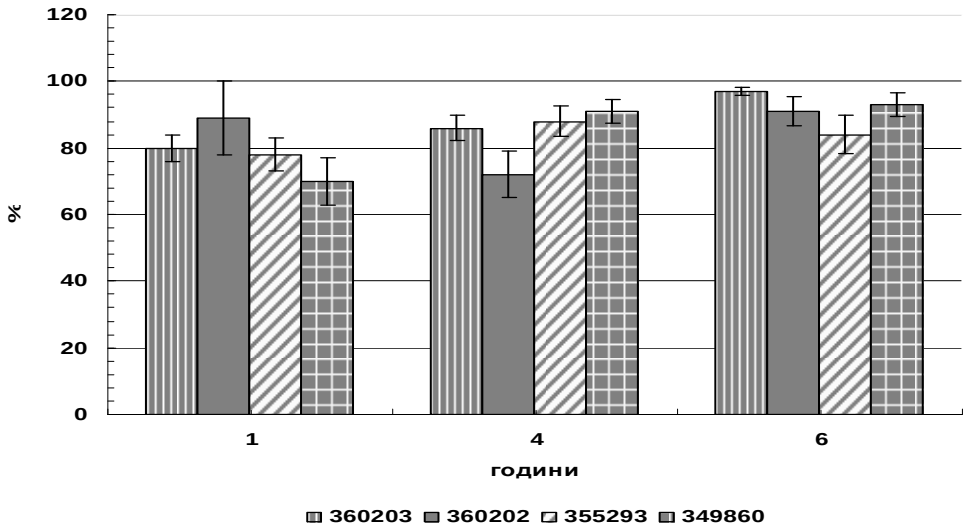


Рис. 3. Динаміка проростання пилку зразків *Nepeta grandiflora* Bieb. на живильному середовищі.

Встановлено, що початок проростання пилку в досліджених видів *Nepeta* спостерігався на 4-5 хвилині після нанесення на предметне скло з живильним середовищем. Процес проростання є достатньо динамічним. Оптимальна тривалість пророщування пилку складає 6 годин, після чого відбувався стрімкий лізис пилкових зерен.

Експерименти, проведені в лабораторних умовах, дозволили визначити та надати оцінку якісному стану життєздатності чоловічого гаметофіту рослин видів роду *Nepeta* у фазу масового цвітіння (табл. 1).

Відповідно до шкали оцінки якості пилку життєздатність менша за 30% вважається низькою, 31-70% – середньою, понад 70% – високою. За результатами оцінювання серед досліджених видів абсолютно неякісний пилок має *Nepeta nepetella*, середньої якості – *N. elliptica* L., решта дослідних видів продукують пилок високої якості.

Таблиця 1

Характеристика якості пилку видів роду *Nepeta* L., інтродукованих в Національному ботанічному саду ім. М. М. Гришка НАН України (Правобережний Лісостеп)

Назва секції, виду	Зразок		Показники якості пилку			
	номер реєстрації	походження	фертильність, %		життєздатність, %	
			$M \pm m_M$	$V \pm m_V$, %	$M \pm m_M$	$V \pm m_V$, %
***Macronepeta* Benth.**						
Nepeta sibirica L.	360210	Росія, Республіка Хакасія, м. Абакан	95,1±1,24	4,1±0,9	88,4±3,6	12,9±2,9
	360209	Україна, м. Львів	74,7±6,2	26,4±5,9	64,7±7,66	37,4±8,4
	355297	Польща, м. Вроцлав	98,2±1,7	5,5±1,2	92,2±4,09	14,1±3,1
***Spicatae* (Benth.) Pojark.**						
N. elliptica L.	347265	Польща, м. Вроцлав	89,4±3,6	12,9±2,9	69,7±5,8	26,6±5,9
N. laevigata (D.Don) Handel-Mazzetti	349061	Польща, м. Вроцлав	90,3±2,3	8,1±1,8	85,0±5,01	18,9±4,2
N. royleana R. R. Stewart	360208	Україна. м. Львів	96,4±1,9	6,3±1,4	91,6±4,2	14,4±3,2
***Sparthonepeta* (Briq.) Rech.**						
N. distans Royle ex Benth.	349976	Німеччина, м. Байройт	99,2±0,8	0,80±0,6	92,4±2,3	7,8±1,7
***Macrostegiae* (Boiss.) Rech.**						
N. sibthorpii Benth.	394207	Швейцарія, м. Женева	95,6±2,0	6,6±1,5	77,7±7,2	29,4±6,6
N. parnassica Heldr. et Sart.	348721	Великобританія, м. Віслі	91,4±5,2	18,1±4,1	81,4±5,3	20,5±4,6
***Orthonepeta* Benth.**						
N. nuda L.	355295	Польща, м. Вроцлав	95,2±1,6	5,2±1,2	87,6±4,3	15,7±3,5
Nepeta						
N. cataria L.	360214	Україна, с. Березоточа	97,7±0,8	2,6±0,6	86,3±4,1	15,02±3,4
	360213	Україна, м. Нова Каховка	83,2±3,4	13,08±3,0	87,4±3,1	11,2±2,5
с. Кентавр	361997	Росія, м. Москва	96,9±1,1	3,4±0,8	88,2±3,7	13,4±3,0
N. cataria var. *citriodora* Dum.	360216	Україна, м. Дніпропетровськ	88,7±2,8	10,1±2,3	87,9±5,2	18,7±4,2
N. grandiflora Bieb.	360203	Україна, м. Київ	98,8±0,4	1,4±0,3	96,8±1,2	3,8±0,9
	360202	Росія, м. Москва	92,4±2,8	9,6±2,3	91,2±4,3	14,7±3,3
	355293	Польща, м. Вроцлав	97,4±1,3	4,1±0,9	88,4±4,4	15,7±3,5
	349860	Бельгія, м. Мейс	97,9±1,2	3,8±0,8	93,0±3,6	12,2±2,7

Назва секції, виду	Зразок		Показники якості пилку			
	номер реєстрації	походження	фертильність, %		життєздатність, %	
			$M \pm m_M$	$V \pm m_V$, %	$M \pm m_M$	$V \pm m_V$, %
N. mussinii Spreng. ex Henckel	360206	Україна, м. Дніпропетровськ	97,7±1,7	1,7±1,2	84,4±5,4	20,1±4,5
	349123	Італія, м. Когне	93,9±1,8	6,0±1,3	85,9±4,7	17,4±3,9
	352770	Італія, м. Курмайор	97,5±1,0	3,1±0,7	86,0±4,1	15,2±3,4
	349801	Чехія, м. Брно	95,4±2,1	6,97±1,56	85,7±5,0	18,5±4,1
	360207	Україна, с. Березоточа	96,8±2,0	6,5±1,5	89,0±3,8	13,5±3,0
N. transcaucasica Grossh.	360205	Україна, с. Березоточа	82,1±6,6	25,5±5,7	89,1±3,8	13,9±3,0
	360204	Україна, м. Прилуки	98,3±0,8	2,5±0,6	88,7±3,6	12,9±2,9
N. nepetella L.	352771	Італія, м. Курмайор	< 0,2	-	-	-
N. racemosa Lam. cv. Benth Chatto	346866	Чехія, м. Пльзень	96,6±1,4	4,5±1,0	82,4±3,4	13,±2,9
***Shizocalyx* (Boiss.) Pojark.**						
N. melissaefolia Lam.	351671	Польща, м. Вроцлав	74,2±3,4	14,3±3,2	74,4±6,3	26,7±6,0

Висновки

У результаті проведених досліджень з визначення якості пилкових зерен видів роду *Nepeta*, інтродукованих у Національному ботанічному саду ім. М. М. Гришка НАН України, встановлено, що в переважній більшості дослідних зразків домінує показник високої фертильності та життєздатності пилкових зерен. Високі показники є підтвердженням загальної стабільності інтродуцентів при зростанні в умовах Правобережного Лісостепу.

Рекомендуємо в дослідженнях з встановлення якісних показників пилкових зерен представників роду *Nepeta* дотримуватися таких умов проведення експерименту: постійний температурний режим 29-30°С, підрахунок життєздатності пилку після 6 годин пророщування в чашках Петрі, спостереження динаміки проростання від першої години тривалості експерименту.

Список літератури

1. *Аксенов Ю. В.* Морфологические особенности пыльцы видов рода *Nepeta* L., интродуцированных в Никитском ботаническом саду / Ю. В. Аксенов, В. Д. Работягов, С. А. Дроботов // Вісті Біосферного заповідника «Асканія-Нова». – 2004. – Т. 6. – С. 63–67.

2. *Буданцев А. Л.* Конспект рода *Nepeta* L. (Lamiaceae) / А. Л. Буданцев // Бот. журн. – 1993. – Т. 78, № 1. – С. 93–107.

3. *Годин И. Н.* Изменчивость морфологических признаков пыльцевых зерен и фертильности пыльцы в ценопопуляциях *Pentaphylloides fruticosa* (*Rosaceae*) Алтае-Саянской горной области / И. Н. Годин // Растительный мир Азиатской России. – Новосибирск, 2008. – № 2. – С. 47–53.

4. *Демьянова Е. И.* К антэкологии и семенной продуктивности трех видов многоколосника (*Agastache* Clayt. ex Gronov.) в условиях интродукции в Приуралье / Е. И. Демьянова, С. А. Шумихин, М. М. Дубровских // Вестник Удмуртского университета. Биология. Науки о земле. – 2011. – Вып. 2, сер. 6. – С. 61–65.

5. *Зайцев Г. Н.* Математическая статистика в экспериментальной ботанике / Г. Н. Зайцев. – М., 1984. – 424 с.

6. *Зайцев Г. Н.* Математический анализ биологических данных / Г. Н. Зайцев. – М., 1991. – 184 с.

7. *Лан М. З.* Влияние температуры и длины дня на фертильность пыльцы у чувствительной к фотопериоду формы риса indica с мужской стерильностью / М. З. Лан, Л. Ж. Ден, Л. Б. Чен // Физиол. раст. – 2008. – Т. 55, № 5. – С. 771.

8. *Макогон И. В.* Качество пыльцы *Abies* (L.) Karst. в дендрарии Донецкого ботанического сада НАН Украины / И. В. Макогон // Промышленная ботаника. – 2007. – Вып. 7. – С. 148–150.

9. *Николаевская Т. С.* Изучение пыльцы у аборигенных и интродуцированных в условиях Карелии представителей рода *Betula* L. / Т. С. Николаевская, Л. В. Ветчинникова, А. Ф. Титов, О. Н. Лебедева // Тр. Карельского науч. центра РАН. – Петрозаводск, 2009. – № 4. – С. 90–95.

10. *Никончук В. М.* Популяційна мінливість рівня фертильності пилку і кількості насіннєвих зачатків у зав`язі люцерни та її зв`язок з насіннєвою продуктивністю: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: спец. 03.00.15 «Генетика» / В. М. Никончук. – К., 2004. – 19 с.

11. *Опалко О. А.* Формування, морфологія і пилкова продуктивність мікроспорофілів представників роду *Malus* Mill. / О. А. Опалко // Автохтонні та інтродуковані рослини України: Зб. наук. пр. – К., 2010. – Вип. 6. – С. 30–36.

12. *Паушева З. П.* Практикум по цитологии растений / 4-е изд., перераб. и доп. / З. П. Паушева. – М., 1988. – 271 с.

13. *Ahmad K.* Pollen fertility estimation of some sub-tropical flora of Pakistan / K. Ahmad, N. Shaheen, M. Ahmad, M. Khan // African Journal of Biotechnology. – 2010. – Vol. 9 (49). – P. 8313-8317.

14. *Celenk S.* A palynological study of the genus *Nepeta* L. (Lamiaceae) / S. Celenk, T. Dirmenci, H. Malyer, A. Bicakci // Plant systematics and evolution. – 2008. – Vol. 276, № 1–2. – P. 105–123.

15. *Dinc M.* Micromorphological studies of *Lallemantia* L. (Lamiaceae) species growing in Turkey / M. Dinc, N. Pinar, S. Dogu, S. Yildirimli // Acta Biologica Cracoviensia. Ser. Botanica. – 2009. – 51/1. – P. 45–54.

16. *Firmage D.* Field Tests for Pollen Viability; a Comparative Approach / D. Firmage, A. Dafni // Acta Horticulturae. Proc. 8th Pollination Symposium. – 2001. – P. 87–94.

17. *Florin R.* Pollen production and incompatibilities in apples and pears / R. Florin // Horticultural Society of New York Memor. – 1927. – Vol. 3. – P. 87–118.

18. *Jang T.-S.* Comparative pollen morphology of *Glechoma* and *Marmoritis* (Nepetinae, Lamiaceae) / T.-S. Jang, S.-P. Hong // Jornal of Systematics and Evolution. – 2010. – V. 48 (6). – P. 464–473.

19. *Moon H.-K.* Comparative pollen morphology and ultrastructure of *Mentheae* subtribe *Nepetinae* (Lamiaceae) / H.-K. Moon, E. S. Vinckier, S. Huysmans // Review of Palaeobotany and Palynology. – 2008. – V. 149 (3–4). – P. 174–186.

20. *Perveen A.* Pollen morphology of the family Labiates from Pakistan / A. Perveen, M. Qaiser // Pakistan Journal of Botany. – 2003. – V. 35 (5). – P. 671–693.

21. *Yankova E.* Analysys on pollen and seed productivity and effectivenes in *Gentiana lutea* L. / E. Yankova, G. Baldzhiev, M. Petrova, E. Zayova, P. Yurukova: II Balcan conferense on biology, 50 years of Plovdiv (Plovdiv, 21-23 May 2010). – Plovdiv, 2010. – P. 45–48.

22. *Айвазян П. К.* Селекция виноградной лозы / П. К. Айвазян, Е. Н. Докучаева / Под ред. С. А. Мельника. – 1960. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://vinograd.info/info/selekciya-vinogradnoy-lozy.html

23. *Ройчев В. Р.* Фертильность и жизнеспособность пыльцевых зерен у бессемянных и семенных сортов винограда и гибридных сеянцев / В. Р. Ройчев. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://vinograd.info

24. *Zafar M.* Pollen flora of Lamiaceae from Rawalpindi – Pakistan / M. Zafar, M. Ahmad, M. Khan. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.gu.edu.pk

Ковтун-Водяницкая С. М. **Способ проведения эксперимента по определению качества пыльцевых зерен видов рода *Nepeta* L. –** Предложен способ определения фертильности и жизнеспособности пыльцевых зерен видов рода *Nepeta* L. на искусственной питательной среде. Проанализирована пыльца 28 образцов 14 видов и 1 формы. Путем эксперимента подобран оптимальный температурный режим и длительность проращивания пыльцы, изучены особенности протекания процесса прорастания. Согласно результатам оценки качества пыльцы сделан вывод об адаптивности интродуцентов рода *Nepeta* к условиям Правобережной Лесостепи Украины.

Ключевые слова: виды рода *Nepeta*, пыльца, прорастание, метод.

Kovtun-Vodyanitska S. M. **The method of conducting experiment to determine the quality of pollen grains species of the genus *Nepeta* L**. – A method for determining the fertility and viability of pollen grains of the genus *Nepeta* L. on the artificial nutrient medium. Pollen samples analyzed 28 of 14 species and 1 form. By experiment to select the optimal temperature and duration of the germination of pollen examined characteristics of the process of germination. According to the evaluation of the quality of pollen concluded adaptability of exotic species of genus *Nepeta* to the conditions of right-bank forest-steppe zone of Ukraine.

Key words: species of the genus *Nepeta*, pollen germination, the method.

УДК 582.542.12 : 612.015.4

© В. Г. Миколайчук, О. М. Вергун, Д. Б. Рахметов

ДИНАМІКА ФОТОСИНТЕТИЧНИХ ПІГМЕНТІВ ЗАЛЕЖНО ВІД РОСТУ ТА РОЗВИТКУ РОСЛИН *CYPERUS ESCULENTUS* L. ПРИ ІНТРОДУКЦІЇ В ПРАВОБЕРЕЖНОМУ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Національний ботанічний сад ім. М. М. Гришка НАН України
01014, м. Київ, вул. Тімірязєвська, 1; e-mail: mikolaychuk07@mail.ru

Миколайчук В. Г., Вергун О. М., Рахметов Д. Б. **Динаміка фотосинтетичних пігментів рослин *Cyperus esculentus* L. при інтродукції в Правобережному Лісостепу України**. – Подано результати досліджень динаміки фотосинтетичних пігментів *Cyperus esculentus* L. протягом вегетації. Встановлено відмінності вмісту хлорофілів та каротиноїдів у різних клонів рослин при інтродукції в Правобережному Лісостепу України. Максимальне співвідношення хлорофілів відмічено в фазу формування бульб (8,4-10,3). Спостерігалось зменшення каротиноїдів у кінці вегетації. Найбільше співвідношення ∑*Chl/car* встановлено у зразків сорту Фараон у кінці вегетації (3,77).

Ключові слова: *Cyperus esculentus,* ортотропні вегетативні пагони, парцели, фотосинтетичний пігмент, хлорофіл, каротиноїди.

Вступ

Cyperus esculentus L. (чуфа, смикавець їстівний) – малопоширений трав'янистий монокарпік родини Cyperaceae, який походить з долини Білого Нілу і введений в культуру жителями Стародавнього Єгипту ще з III тис. до н. е., до цього часу не втрачає свого значення [3, 4, 6]. *C. esculentus* належить до підродини Cyperoideae триби Cypereae Nees. підтриби Cyperinae [25, 32], є лектотипом роду. Вид має ряд синонімів: *Cyperus aureus* Ten., *C. melanorrhizum* Del., *C. hydra* H.B.K. (non Mich.), *C. nervosus* Roem. et Schult., *C. tenorii* Presl., *C. tenorianus* Schult., *C. sieberianus* Link (non Spreng.), *C. fenzelianus* C. B. Clarke, *Chlorocyperus aureus* Palla, *Ch. esculentus* Palla [3, 6, 25].

C. esculentus відомий як багаторічний полікарпік, при інтродукції в помірній зоні є трав'янистим однорічником з моноциклічними ортотропними вегетативними і генеративними надземними пагонами, плагіотропними кореневищами, столонами і бульбами [2, 15].

Ортотропні пагони формуються за рахунок листків. Велике значення для процесу фотосинтезу рослин відіграють серединні листки. У рослин *C. esculentus* вони сидячі, стеблеобгортні, формуються в пучку від периферії до центру. Листки з листковими пластинками, вузькі, довгі, паралельнонервові, зеленого забарвлення, без опушення, досягають довжини 50-72 см. Їх розміщення на рослині, кількість та кут відхилення важливі для формування архітектоніки посівів [2, 6, 4].

Вирощують рослини переважно для отримання бульб, що мають приємний солодкий смак та високу поживність. Чуфа є перспективною і практично безвідходною культурою для різних галузей харчової та переробної промисловості, тваринництва тощо. Бульби містять 15-36% жирної олії (ліпідів), до складу якої входить 18% насичених (переважно пальмітинова і стеаринова) і 82% ненасичених (переважно олеїнова і ліноленова) жирних кислот, 20-35% – крохмалю, 12-28% – цукрів, 5-9% – білку, до 24% клітковини, ферменти, вітаміни А, Е і мікроелементи [4, 6, 13, 14, 28, 30-33].

Завдяки збалансованому вмісту речовин бульби чуфи вважають перспективними для виробництва продуктів дитячого, дієтичного і спеціального призначення. Вони використовуються у фармакології для лікування і профілактики гіпертонії, цукрового діабету, стресових станів, варикозів, СНІДу тощо [1, 13, 17, 27, 33].

Культуру вирощують у Національному ботанічному саду ім. М. М. Гришка (НБС) з 1945 р. Колекційний фонд відділу нових культур НБС нараховує два сорти чуфи української селекції та сім клонів різного походження. Проводяться дослідження з встановлення морфологобіологічних та біохімічних особливостей, продуктивності рослин, клонових відмінностей та селекційні роботи [14].

Протягом вегетації рослини *C. esculentus* проходять фази розвитку: відростання (1-а декада червня), парцеляція (3-я декада червня), формування бульб (3-я декада липня), закінчення вегетації (1-а декада жовтня).

Для встановлення потенціалу продуктивності культури необхідно дослідити його пігментний апарат: вміст хлорофілів, каротиноїдів та їх співвідношення. Система фотосинтетичних пігментів асиміляційного апарату рослин формується залежно від генотипу, екологічних умов і стадії розвитку рослини [10, 21]. Вміст хлорофілів у листку є однією з найвиразніших характеристик адаптації фотосинтетичного апарату рослин до умов природного середовища та свідчить про пристосованість до певної інтенсивності освітлення [9, 10, 19, 29].

Система жовтих пігментів, яка включає каротиноїди, відображує рівень стійкості пластидного апарату до стресових факторів [16]. Каротиноїди виконують важливу фотопротекторну функцію в процесі фотосинтезу та їх вміст в рослинах збільшується в умовах стресу [20, 24]. Їх роль пов'язана з активністю провітаміну А, антиоксидантними та імуномоделюючими властивостями [22]. Співвідношення суми хлорофілів до вмісту каротиноїдів є важливим показником, що відображує віковий стан рослини. Відомо, що в нормальних умовах їх співвідношення для світлових рослин становить 4,2-5,0, для темнових – 5,5-7,0. Низькі показники цього співвідношення є індикатором старіння, стресу чи пошкодження рослин і фотосинтетичного апарату, що пов'язане із зниженням вмісту хлорофілів [26].

Переважна більшість біохімічних досліджень культури стосується підземних органів (бульб), у той час як залишаються маловивченими особливості фотосинтетичного апарату рослин. Дослідження динаміки пігментного апарату надземних органів рослин *C. esculentus* на рівні клонів в Україні проводилися вперше.

Матеріал і методи дослідження

Об'єктом досліджень були сорт Фараон, створений у відділі нових культур НБС у 2008 р., та два перспективні клони з різними властивостями: скоростиглістю (К-1), високою врожайністю бульб та технологічністю збору (К-2). За біохімічними показниками бульби всіх зразків відповідають стандартам ЄС [32].

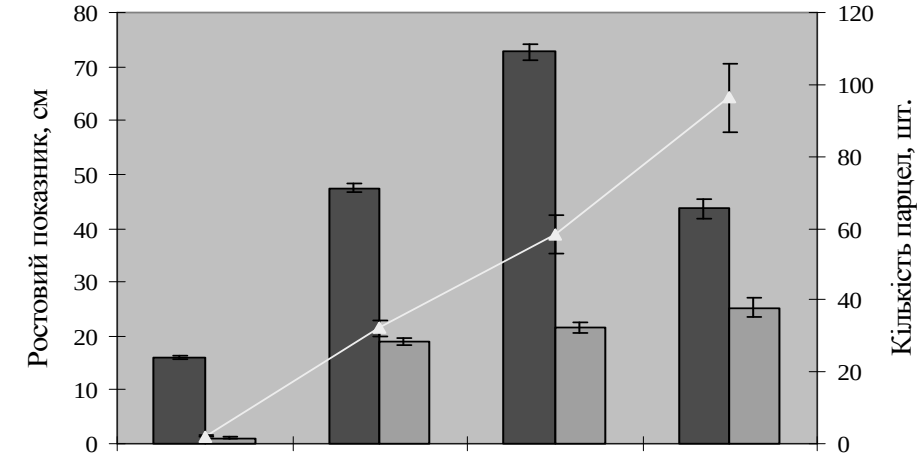
Ділянки, на яких вирощували *C. esculentus*, розміщувалися рендомізовано, повторність чотирикратна. Дослідження динаміки ростових показників рослин (висота, ширина підгону, кількість парцел) проводили протягом вегетації за фазами розвитку за рекомендаціями Н. Ф. Сергеєвої [15] та «Методикой фенологических наблюдений в ботанических садах» [11]. Відбір зразків проводили за методикою Б. А. Доспехова [5]. Статистичну обробку отриманих експериментальних даних проводили в MS Excel 7.0, використовуючи методики Г. М. Зайцева [7, 8].

Дослідження вмісту фотосинтетичних пігментів *C. esculentus* проводили спектрофотометрично (2800 UV/VIS Spectrophotometer, Unico), застосовуючи ацетонові витяжки рослинної сировини. Концентрацію пігментів (Chl *a*, Chl *b*, car) обраховували за Ліхтенталером [12].

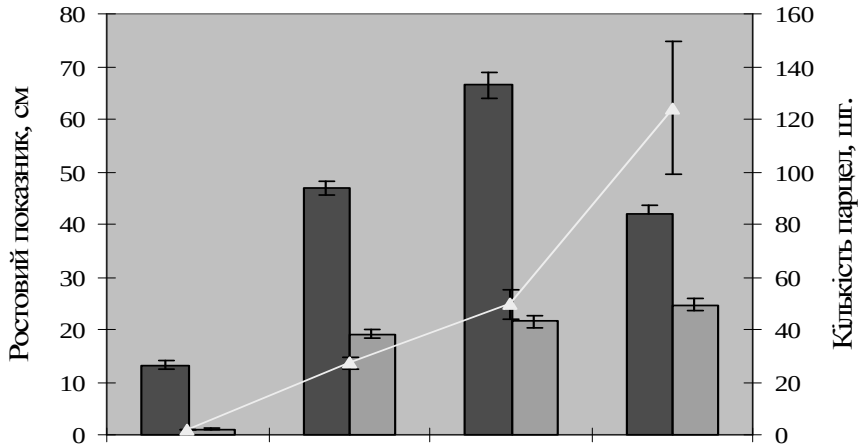
Результати та обговорення

Тривалість вегетації рослин *C. esculentus* становить 150-160 діб. Проходження фаз розвитку рослинами різних клонів істотно не відрізнялися, лише для клону 1 в'янення і засихання надземних органів відбувалися на 5-8 діб раніше, ніж у інших зразків.

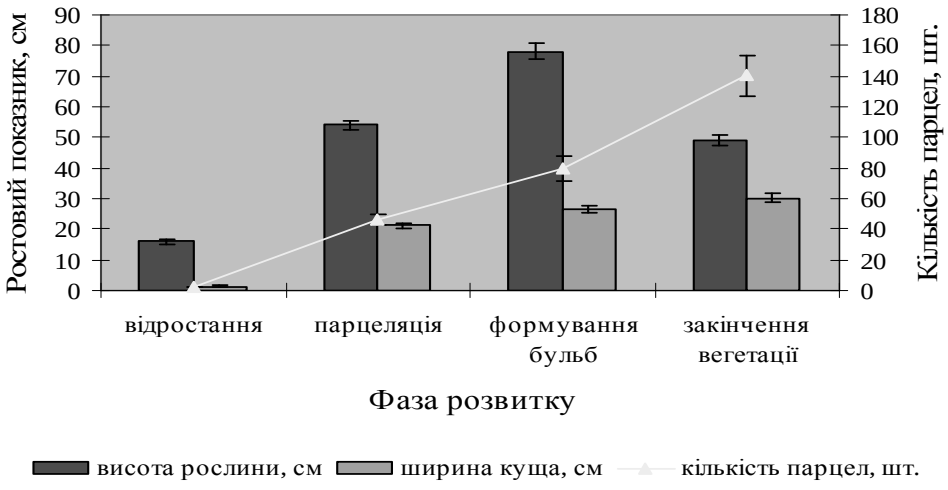
У результаті досліджень встановлено, що для всіх зразків рослини *C. esculentus* характерне інтенсивне збільшення висоти протягом вегетації в період від відростання до формування бульб (рис. 1); найбільш інтенсивно відбувається в рослин К-1, найменш інтенсивно – у с. Фараон (в 5,04 та 4,56 рази відповідно).



а – с. Фараон



б – К-1



в – К-2

Рис. 1. Динаміка росту рослин *C. esculentus* протягом вегетації.

Максимальної ширини підгону рослини (ширини куща) досягають в жовтні, що пов’язано із збільшенням кількості парцел більших порядків та їх відцентровим наростанням. У зразків рослин інтенсивність збільшення ширини підгону від відростання до закінчення вегетації відрізняється: максимальний коефіцієнт збільшення (співвідношення між шириною в кінці та на початку вегетації) характерний для с. Фараон, а більш компактні

кущі в рослин клону 2 (23,4 та 21,8). Найбільша ширина формується в рослин клону 2, що на 18,2% більше, ніж у клону 1, та на 16,6%, ніж у с. Фараон (див. рис. 1).

Максимальна кількість парцел формується в кінці вегетації рослин і має клонові відмінності: найбільші показники характерні для рослин клону 2, що на 31,5% більше, ніж с. Фараон, та на 18,6% – ніж клону 1.

Дослідженнями пігментного складу асиміляційного апарату *C. esculentus* встановлено особливості вмісту хлорофілів та каротиноїдів в різних зразках культури протягом вегетації.

Виявлено, що вміст хлорофілів *a* та *b* у клонів 1 та 2 збільшувався в період між фазами парцеляції та формування бульб, після чого спостерігалось його зменшення до закінчення вегетації (рис. 2). Отримані результати свідчать про те, що пігментний апарат рослин має найбільші показники в період активної вегетації і запасання поживних речовин. У зразків сорту Фараон зафіксовано зворотну реакцію в накопиченні цих пігментів. Найбільшим вмістом суми хлорофілів відрізнялися рослини с. Фараон у фазі парцеляції, найменшим – клону 1 у фазі закінчення вегетації. Це пов'язане з тим, що останній зразок має коротший період вегетації.

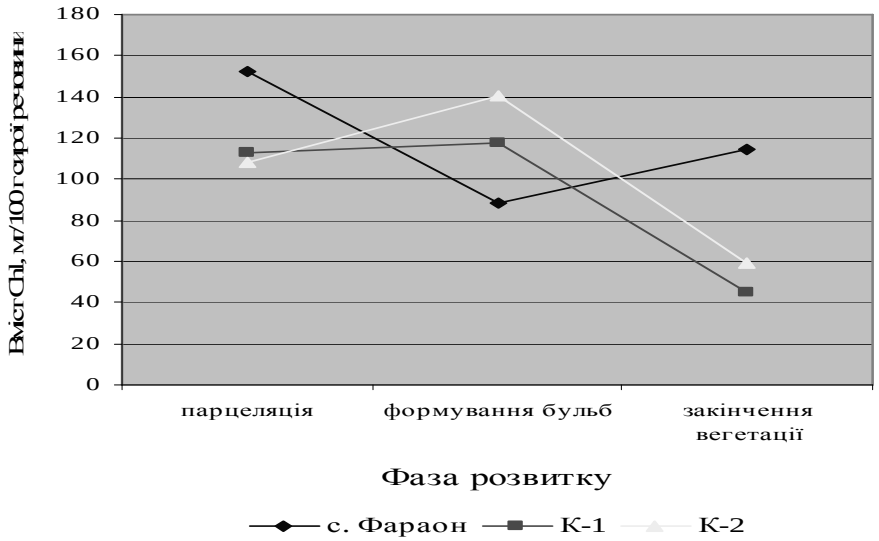


Рис. 2. Вміст суми хлорофілів рослин *C. esculentus* залежно від фази розвитку.

Співвідношення концентрації хлорофілу *a* до концентрації хлорофілу *b* є індикатором функціональності пігментного складу та світлової адаптації фотосинтетичного апарату. Зміна співвідношення хлорофілів відбувається в основному за рахунок лабільності хлорофілу *a* [16, 18, 23]. У рослин, що зростають в умовах затемнення, співвідношення концентрації хлорофілів нижче, ніж у світлових рослин. Теоретично вважається оптимальним співвідношення хлорофілів *a*/ *b* у темнових рослин 2,5-2,9, у світлових – 3,2-4,0 [26].

Встановлено, що максимальне співвідношення хлорофілів характерне для усіх зразків в період формування бульб, яке становило від 8,4 (с. Фараон) до 10,3 (клон 2). Мінімальне співвідношення характерне для рослин усіх зразків у фазі закінчення вегетації, і воно становило від 0,7 до 1,9 (рис. 3). Для клону 2 характерні вищі, порівняно з іншими зразками, показники співвідношення хлорофілів протягом всієї вегетації.

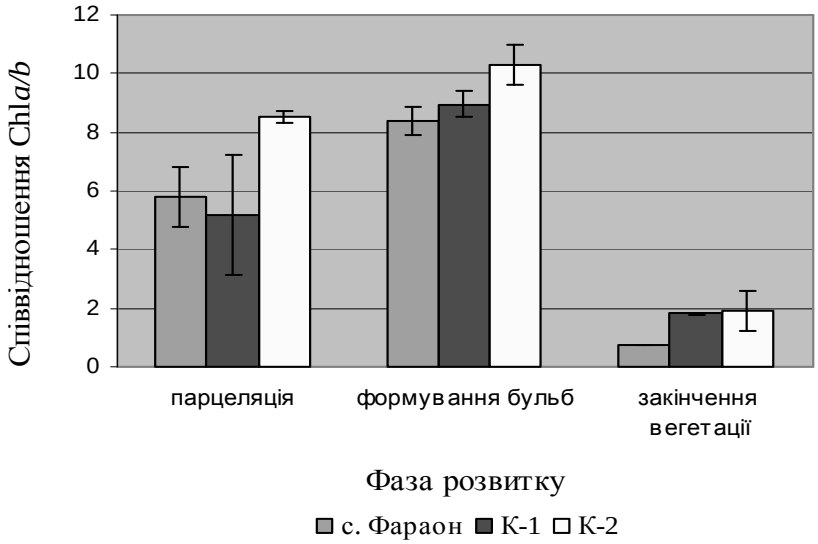


Рис. 3. Співвідношення хлорофілів рослин *C. esculentus* залежно від фази розвитку.

Отримані результати свідчать про те, що рослини *C. esculentus* є світловими, вони здатні ефективно використовувати світлову енергію завдяки високій концентрації хлорофілів.

Для всіх зразків характерне зменшення каротиноїдів у фазі закінчення вегетації, але протягом вегетаційного сезону між зразками існують відмінності. Вміст каротиноїдів у клонів 1 та 2 збільшувався в період між фазами парцеляції та формування бульб й був максимальним в фазі формування бульб, після чого спостерігалось його зменшення (рис. 4). У с. Фараон зафіксовано поступове зменшення вмісту каротиноїдів протягом вегетації. Найбільшим вмістом каротиноїдів відрізнялись клон 2 у фазі формування бульб, найменшим – клон 1 у кінці вегетації.

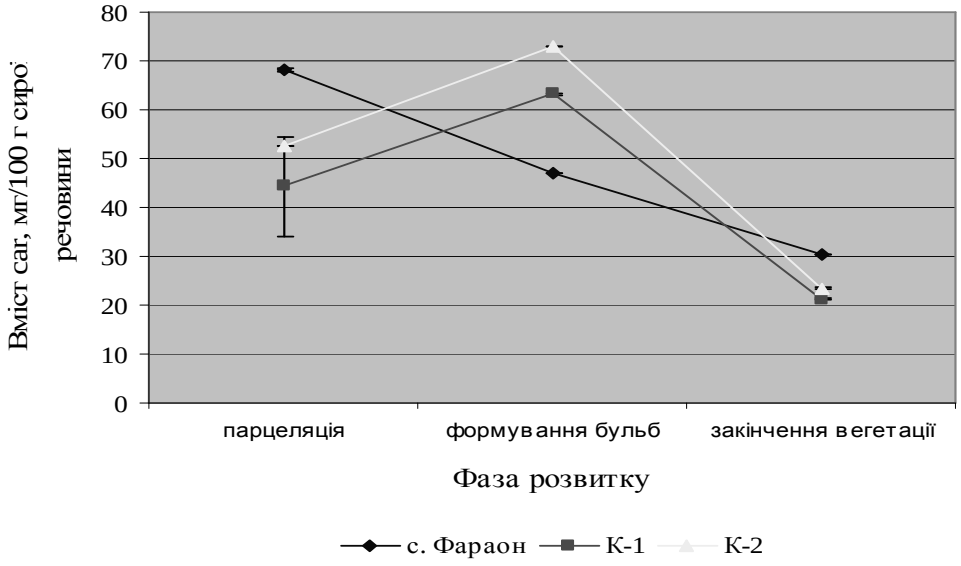


Рис. 4. Вміст каротиноїдів у надземних органах зразків рослин *C. esculentus* залежно від фази розвитку.

У результаті дослідження співвідношення між вмістом хлорофілів та каротиноїдів у різних зразків протягом вегетації встановлено, що найбільше співвідношення хлорофілів до каротиноїдів спостерігалось у зразків сорту Фараон у кінці вегетації (рис. 5). Для клону 1 найбільші показники спостерігаються у фазі парцеляції, в подальшому вони незначно зменшуються. Для клону 2 характерні незначні зміни протягом вегетації. У цілому

співвідношення між вмістом хлорофілів і каротиноїдами становило від 1,86 у клона 1 (фаза формування бульб) до 3,77 у с. Фараон (фаза закінчення вегетації).

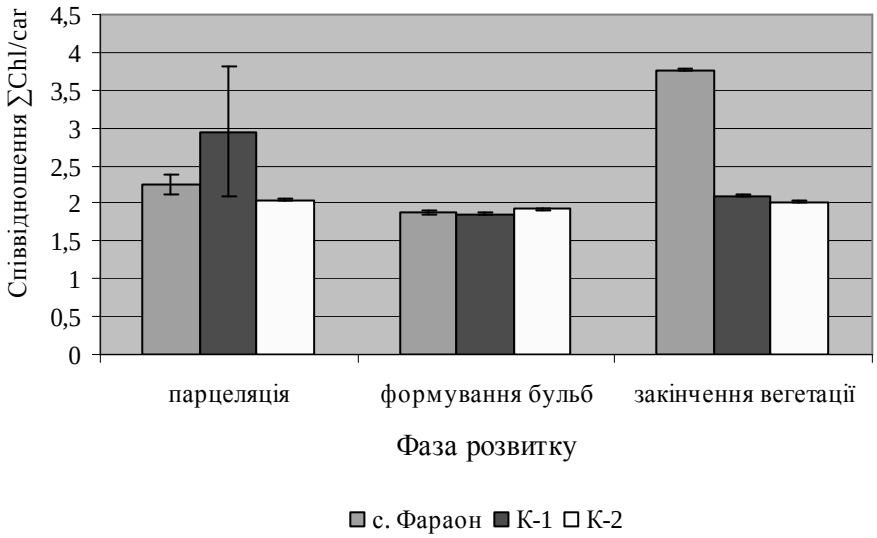


Рис. 5. Співвідношення суми хлорофілів та каротиноїдів у надземних органах рослин *C. esculentus* протягом вегетації залежно від клонових особливостей.

Висновки

У результаті досліджень пігментного апарату рослин *C. esculentus* при інтродукції в Правобережному Лісостепу України встановлено, що він залежить від фаз розвитку рослин, тривалості вегетації та клонових особливостей. У період активної вегетації для всіх зразків характерні високі показники співвідношення між хлорофілами *a* і *b*. Співвідношення між сумою хлорофілів та каротиноїдами в усіх зразках *C. esculentus* протягом вегетації було невисоким, що свідчить про несприятливі умови росту або є ознакою старіння рослин.

Список літератури

1. Адаптоген стресскорректор [текст] / Ю. Н. Чернов и др. – М., 2001. – Пат. РФ № 2176516.

2. *Алексеев Ю. Е.* Осоки: морфология, биология, эволюция / Ю. Е. Алексеев. – М.: Агрус, 1996. – 215 с.

3. *Вульф Е. В.* Мировые ресурсы полезных растений: справочник / Е. В. Вульф, О. Ф. Малеева. – Л.: Наука, 1969. – 565 с.

4. *Голицын С. В.* Чуфа – новое культурное растение для СССР: научное наследие / С. В. Голицин. – Воронеж: Научная книга, 2010. – 147 с.

5. *Доспехов Б. А.* Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 350 с.

6. *Жуковський П. М.* Культурные растения и их сородичи (систематика, экология, использование, происхождение, использование) / П. М. Жуковський. – Л.: Колос, 1971. – 751 с.

7. *Зайцев Г. Н.* Фенология травянистых многолетников / Г. Н. Зайцев. – М.: Наука, 1978. – 149 с.

8. *Зайцев Г. Н.* Математическая статистика в экспериментальной ботанике / Г. Н. Зайцев. – М.: Наука, 1984. – 424 с.

9. *Лукьянова Л. М.* Эколого-физиологические аспекты изучения пигментной системы растений. II. Влияние эколого-географических условий и систематической принадлежности растений / Л. М. Лукьянова // Ботан. журн. – 1982. – Т. 67, № 4. – С. 409–418.

10. *Маргітай Л.* Аналіз результатів спектрофотометричного дослідження вмісту фотосинтезу вальних пігментів у листках рослин із застосуванням комп'ютерних програм /

Л. Маргітай, Б. Паляниця, О. Терек // Вісник Львівського університету. Сер. біол. – 2006. – Вип. 41. – С. 123–131.

11. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР. – М.: Изд-е ГБС АН СССР. – 1972.

12. *Мусієнко М. М.* Спектрофотометричні методи в практиці фізіології, біохімії та екології рослин / М. М. Мусієнко. – К.: Фітосоціоцентр, 2001. – 200 с.

13. *Окладников Ю. Н.* Включение в рацион человека чуфы как источника полиненасыщенных жирных кислот / Ю. Н. Окладников //Вопросы питания. – 1977. – № 3. – С. 45–48.

14. *Рахметов Д.* Чуфа – перспективна культура комплексного використання / Д. Рахметов, С. Рахметова, В. Миколайчук // Пропозиція. – 2008. – № 11. – С. 54–56.

15. *Сергеева Н. Ф.* К биологии чуфы (*Cyperus esculentus)* / Н. Ф. Сергеева // Науч.-произв. сб. ВНИИМК. – Краснодар: Изд-во ВНИИМК, 1933. – № 4. – С. 40–48.

16. *Стржалка К.* Каротиноиды растений и стрессовое воздействие окружающей среды: роль модуляции физических свойств мембран каротиноидами / К. Стржалка, А. Костецка-Гугала, Д. Латовски // Физиол. раст. – 2003. – Т. 50, № 2. – С. 188–193.

17. *Чернов Ю. Н.* Адаптогенные стресс-корректорные свойства препаратов на основе *Cyperus esculentus* L. / Ю. Н. Чернов, В. С. Бузлама, Ю. В. Водолазский, О. А. Муракбашина: матер. V междунар. съезда «Актуальные проблемы создания новых лекарственных препаратов природного происхождения» (Петродворец, 5–7 июля 2001 г.). – 2001. – 670 с.

18. *Asakaviciute R.* Study of chlorophyll a and b in itiolated and androgenic plants of barley (*Hordeum vulgare* L.) / R. Asakaviciute, C. Jacquard, C. Clement // Journ. of Stress Physiology & Biochemistry. – 2006. – Vol. 2. – № 1. – P. 10–15.

19. *Blackburn G. A.* Hyperspectral remote sensing of plant pigments / G. A. Blackburn // Journal of Experimental Botany. – 2007. – Vol. 58, № 4. – P. 855–867.

20. *Cinar I.* Carotenoid pigment loss of freeze-dried plant samples under different storage conditions / I. Cinar // Electronical Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry. – 2003. – Vol. 2, № 5. – P. 563–569.

21. *Cloete H.* Shoot heterogeneity effects on Shiraz/Richter 99 grapevines. III. Leaf chlorophyll content / H. Cloete, E. Arher, V. Novello, J. J. Hunter // South African Journal Enol. Vitic. – 2008. – Vol. 29, № 1. – P. 9–12.

22. *Daly T.* Carotenoid content of commonly consumed herbs and assessment of their bioaccessibility using an in vitro digestion model / T. Daly, M. A. Jiwan, N. M. O'Brien, S. A. Aherne // Plant Foods for Human nitrition. – 2010. – Vol. 65. – P. 164–169.

23. *Ferus P.* Variability of chlorophyll content under fluctuating environment / P. Ferus, M. Arkosiova // Acta fytotechnica et zootechnica. – 2001. – Vol. 4. – P. 123–125.

24. *Garrity S. R.* Disentangling the relationships between plant pigments and the photochemical reflectance index reveals a new approach for remote estimation of carotenoid content / S. R. Garrity, J. U. H. Eitel, L. A. Vierling // Remote Sensing of Environment. – 2011. – Vol. 115. – P. 628–635.

25. *Kükenthal G.* Cyperaceae, Scirpoideae, Cypereae / G. Kükenthal. – A. Eldes, Lfs. Pflanzenreich 4.20. Verlag Engelman. – Leipzig, 1936. – P. 116–121.

26. *Lichtenthaler H. K.* Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes / H. K. Lichtenthaler // Methods in Enzymology. – 1987. – Vol. 148. – P. 350–382.

27. *Rashmi R.* Pharmacognostic studies of *Cyperus esculentus* Tuber. / R. Rashmi // Journal of Plant Anatomy and Morphology (Jodhpur). – 1993. – № 6. – P. 56–62.

28. *Wills G. D.* Anatomy of yellow nutsedge (*Cyperus esculentus*) / G. D. Wills, R. E. Hoagland, R. N. Paul // Weed Science. – 1980. – № 28. – P. 432–437.

29. *Wettstein D.* Chlorophyll biosynthesis / D. Wettstein, S. Gough, C. G. Kannangara // The Plant Cell. – 1995. – Vol. 7. – P. 1039–1057.

30. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.chufadevalencia.org

31. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://valenciana.com.ua/images/horchata/chufa_hand.png

32. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.tigernuts.com/skinned_tigernuts.html

33. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.s-u-g.ch/5002679ce10caa201/urkornhof/braunhirseunderdmandeln

Миколайчук В. Г., Вергун Е. М., Рахметов Д. Б. **Динамика фотосинтетических пигментов растений *Cyperus esculentus* L. при интродукции в Правобережной Лесостепи Украины**. – Представлены результаты исследований динамики фотосинтетических пигментов *Cyperus esculentus* на протяжении вегетации. Выявлены отличия содержания хлорофиллов и каротиноидов у различных клонов растений при интродукции в Северной части Правобережной Лесостепи Украины. Максимальное соотношение хлорофиллов отмечено в фазе формирования клубней (8,4-10,3). Наблюдается уменьшение каротиноидов в фазе окончания вегетации. Наибольшее соотношение ∑*Chl/car* установлено для образца с. Фараон в фазе окончания вегетации (3,77).

Ключевые слова: *Cyperus esculentus*, ортотропные вегетативные побеги, парцеллы, фотосинтетический пигмент, хлорофилл, каротиноиды.

Mikolajchuk V. G., Vergun O. M., Rakhmetov J. B. **The dynamic of photosynthetic pigments *Cyperus esculentus* L., introducted in right-bank forest-steppe zone of Ukraine. –** The results of studies of the dynamics of photosynthetic pigments during the growing season are presented. Differences between the content of chlorophylls and carotenoids in various clones of plants for introduction into the Northern of the right-bank forest-steppe zone of Ukraine are observed. The maximum ratio of chlorophyll observed in the phase of forming tubers. Decrease of carotenoids at the end of the growing season are established. The most ratio ∑*Chl/car* of samples of var. Faraon at the end of growing season are found.

Key words: *Cyperus esculentus*, ortotropic vegetative propagules, parcella, photosynthetic pigments, chlorophyll, carotinoid.

Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону. – 2011. – № 1 (11).

© Ю. Г. Приседский, А. А. Корсун

ВЛИЯНИЕ ВНЕСЕНИЯ ТОРФА НА РОСТОВЫЕ ПРОЦЕССЫ ЦВЕТОЧНО-ДЕКОРАТИВНЫХ РАСТЕНИЙ НА ОБЕДНЕННЫХ ПОЧВАХ

Донецкий национальный университет; 83050, г. Донецк, ул. Щорса, 46
e-mail: g_prisedsky@ukr.net, lady.korsun2011@yandex.ua

Приседский Ю. Г., Корсун А. А. **Влияние внесения торфа на ростовые процессы цветочно-декоративных растений на обедненных почвах.** – Изучалось влияние внесения торфа в песчаную почву на ростовые процессы цветочно-декоративных растений. Установлено, что торф вызывает близкую к достоверной тенденцию увеличения сырой и сухой массы проростков и площади их листьев.

Ключевые слова: удобрения, нейтральный торф, обедненные почвы.

Введение

Существенным недостатком песчаных почв является низкий уровень жизненных процессов в них, так как почвенные микроорганизмы испытывают нехватку влаги и питательных веществ. Это неизбежно влечет за собой неудовлетворительное обеспечение растущих растений питательными и активными веществами, приходится чаще вносить органические удобрения, которые становятся единственным источником питания растений на таких почвах. Однако эти приемы не всегда эффективны, так как удобрения быстро разлагаются поступающей в песчаные почвы водой, проходя в нижние слои почвы, и вымываются, что приводит к ограниченной доступности питательных веществ для растений. Для улучшения структуры и основных характеристик песчаных почв в них следует регулярно вносить в больших количествах уплотняющие и связывающие компоненты, такие, как торф, илистые образования, глиняную и буровую муку для заполнения пор между песчаными частицам, что создает благоприятную среду обитания почвенных микроорганизмов. Внесение торфа является оптимальным способом улучшения таких характеристик почв, как пористость, плотность, воздухоёмкость, влагоёмкость, микробиологический и питательный состав. Торф оздоравливает почву, оптимизирует содержание нитратов в выращиваемой продукции, препятствует накоплению в растениях тяжелых металлов и других вредных веществ, ослабляет воздействие попадающих в почву ядохимикатов. Перегной, образующийся в почве при длительном внесении торфа, препятствует вымыванию легкорастворимых удобрений. Торф содержит растительные волокна (улучшающие водно-воздушное состояние почвы), гуминовые кислоты (активируют рост растений), элементы минерального питания – азот, калий, фосфор, кальций, железо, магний, микроэлементы [9].

Целью нашей работы было изучение влияния различных доз торфа на морфометрические характеристики цветочных декоративных растений; выяснение возможности использования торфа для повышения уровня плодородия бедных почв.

Материал и методы исследования

Объектами исследований являются проростки календулы лекарственной (*Calendula officinalis* L.), бархатцев прямостоячих сорта лимон принц (*Tagetes erecta* V. lemon prince L.), фацелии пижмолистной (*Phacelia tanacetifolia* L.), которые выращивались на почве, отобранной на территории Краснолиманского района, с. Иличевка, Голубые озера [6, 7].

Семена растений высевались на подготовленную почву. В качестве контроля использовали исследуемую почву. Доза внесения торфа верхового составляла 80 и 100 г/м^2 [8, 9]. Выращивание растений велось на протяжении 30 дней при продолжительности светового дня 11 ч., температуре 20-22°С, влажности почвы 60-70% полной влагоёмкости.

В опытах использовали полиэтиленовые сосуды для выращивания рассады овощных растений. В каждый сосуд помещали по 350 гр. почвы, в которую предварительно вносили торф в соответствии со схемой, представленной в табл. 1.

Таблица 1

Варианты внесения торфа в исследуемую почву

Вариант опыта	Доза внесения торфа, (г/м ^{2})
1	Песчаная почва без внесения торфа (контроль)
2	Песчаная почва с внесением торфа 80 г/м^2
3	Песчаная почва с внесением торфа 100 г/м^2

Во время снятия опыта у проростков измеряли длину надземной части, длину корня, сырую и сухую массу растений, площадь листовой пластинки и суммарную площадь листьев. Площадь листовой пластинки измеряли с помощью специально разработанной программы после их сканирования с разрешением 100PPI. Остальные показатели роста измеряли по стандартным методикам. Полученные данные подвергались математической обработке по методу однофакторного дисперсионного анализа. Сравнение средних осуществлялось по Даннету. Расчеты проводились с помощью программ, разработанных на кафедре физиологии растений ДонНУ [4, 5].

Результаты и обсуждение

Ростовые процессы растений являются одним из основных показателей их развития и неоднозначно реагируют на внесение в почву торфа у изученных видов растений (табл. 2).

Так, внесение в песчаную почву торфа в дозе 80 г/м^2 (вар. 2) не оказывает достоверного изменения ростовых процессов надземной части опытных растений календулы лекарственной по сравнению с контролем. Доза торфа 100 г/м^2 достоверно угнетает длину стеблей на 17,1% по сравнению с растениями, выращиваемыми на исходной почве. На развитие корневых систем растений этого вида внесение в почву торфа не оказывает достоверного влияния независимо от его дозы.

Таблица 2

Влияние внесения в почву торфа на ростовые процессы растений

Вариант опыта	Длина стебля, см			Длина корня, см		
	M±m	D	D^D	M±m	D	D^D
Календула лекарственная						
1	3,86±0,92	-	-	4,27±1,51	-	-
2	3,68±1,20	0,18	0,64	4,52±1,65	0,25	1,06
3	3,22±1,01	0,64	0,73	4,00±1,29	0,27	1,21
Фацелия пижмолистная						
1	8,28±1,71	-	-	5,06±2,23	-	-
2	8,68±2,45	0,40	1,20	2,97±0,85	2,09	1,49
3	8,74±2,17	0,46	1,65	1,49±0,89	3,57	2,05
Бархатцы прямостоячие						
1	7,70±1,62	-	-	4,24±1,77	-	-
2	7,66±2,98	0,04	2,61	2,83±1,01	1,41	1,15
3	8,18±2,55	0,48	3,31	2,70±1,25	1,54	1,46

У фацелии пижмолистной и бархатцев прямостоячих обе дозы внесения торфа не влияют на ростовые процессы надземных частей, хотя у обоих видов наблюдается тенденция к увеличению этого показателя на 4,8-6,2%. Вместе с тем торф значительно угнетает рост корней у этих видов растений. Так, у фацелии пижмолистной этот показатель в зависимости от дозы составляет 58,9 и 29,4% (вар. 2 и 3 соответственно) от уровня контрольных растений.

Вероятно, такое воздействие торфа связано с некоторым подкислением исследуемой почвы, что неблагоприятно сказывается на росте растений фацелии и бархатцев.

Таблица 3

Влияние внесения в почву торфа на биомассу растений

Вариант опыта	Сырая масса, мг			Сухая масса, мг		
	M±m	D	D^D	M±m	D	D^D
Календула лекарственная						
1	572±44	-	-	165±39	-	-
2	664±38	92	267	231±31	66	219
3	565±30	7	304	145±14	20	249
Фацелия пижмолистная						
1	348±28	-	-	196±23	-	-
2	404±44	56	296	329±43	133	261
3	300±27	47	215	183±26	13	190
Бархатцы прямостоячие						
1	463±44	-	-	243±34	-	-
2	378±30	85	447	240±34	3	473
3	454±42	9	354	289±39	45	374

В табл. 3 представлены данные об изменении сырой и сухой массы проростков изученных видов растений. Анализ цифрового материала таблицы показывает, что у всех изученных растений не происходит достоверных изменений в накоплении биомассы в зависимости от внесения торфа в почву. Вместе с тем у календулы лекарственной и фацелии пижмолистной при внесении в песчаную почву торфа в дозе 80 г/м^2 (вар. 2) наблюдается тенденция к увеличению как сырой, так и сухой массы растения на 16,1% (сырая масса) и 40,0-67,8% (сухая масса) по сравнению с контрольными растениями, выращенными на почве без внесения торфа.

Таблица 4

Влияние внесения в почву торфа на площадь листовой пластинки растений

Вариант опыта	Площадь листовой пластинки, см^2			Суммарная площадь листьев, см^2		
	M±m	D	D^D	M±m	D	D^D
Календула лекарственная						
1	3,01±0,15	-	-	11,30±0,49	-	-
2	3,01±0,20	0,04	0,64	12,44±0,62	1,13	3,85
3	3,50±0,21	0,53	0,58	12,32±0,59	1,01	3,38
Фацелия пижмолистная						
1	0,67±0,04	-	-	3,32±0,20	-	-
2	0,60±0,03	0,07	0,19	2,67±0,19	0,65	2,45
3	0,80±0,05	0,13	0,14	3,59±0,36	0,26	1,78
Бархатцы прямостоячие						
1	0,77±0,02	-	-	3,10±0,07	-	-
2	0,89±0,03	0,11	0,29	4,73±0,16	1,63	3,20
3	0,96±0,08	0,19	0,24	4,52±0,39	1,42	2,53

Сравнение данных по влиянию торфа на площадь листовых пластинок и суммарную листовую поверхность (табл. 4) позволяет сделать вывод об отсутствии достоверного влияния удобрения на эти показатели, хотя внесение торфа в дозе 100 г/м^2 (вар. 3) оказывает стимулирующее влияние на площадь листьев у всех изученных видов растений. Так,

площадь листовой пластинки в этом варианте составляет 112,9-124,7%, а суммарная листовая поверхность – 105,8-145,8% от величины этих показателей контрольных растений. Наибольший эффект наблюдается у бархатцев прямостоячих. Следует отметить, что у этого вида стимулирующее воздействие происходит и при внесении в почву торфа в дозе 100 г/м^2 (на 15,6% – площадь листовой пластинки и на 52,6% – общая листовая поверхность).

Таким образом, внесение торфа в песчаную почву не оказывает достоверного влияния на ростовые процессы изученных видов растений, хотя у календулы лекарственной и фацелии пижмолистной имеется тенденция к увеличению массы проростков и площади листьев.

Выводы

1. Внесение торфа в почву в дозах 80 и 100 г/м^2 не оказывает достоверного влияния на ростовые процессы растений изученных видов.
2. Наблюдается тенденция к увеличению массы проростков календулы лекарственной и фацелии пижмолистной при внесении торфа в дозе 80 г/м^2.
3. Внесение торфа в дозе 100 г/м^2 стимулирует рост листьев у всех изученных видов растений.
4. Возможность применения торфа для оптимизации роста растений нуждается в дальнейшем изучении для уточнения его доз.

Список литературы

1. *Гринченко Т. Л.* Атлас мониторинга комплексной оценки плодородия почв лесостепи и степи Украины 1996-2005 гг. / Т. Л. Гринченко. – Х., 2008. – 195 с.
2. *Докучаева В. В.* Агрофизические методы исследования почв / В. В. Докучаева. – М.: Наука, 1966. – 354 с.
3. *Кобозев И. В.* Предотвращение критических ситуаций в агроэкосистемах / И. В. Кобозев, В. А. Тюльдюков, Н. В. Парахин. – М.: Изд-во МСХА, 1995. – 264 с.
4. *Приседський Ю. Г.* Пакет програм для проведення статистичної обробки результатів біологічних експериментів: навч. пос. / Ю. Г. Приседський. – Донецьк: ДонНУ, 2005. – 75 с.
5. *Приседський Ю. Г.* Статистична обробка результатів біологічних експериментів / Ю. Г. Приседський. – Донецьк: Кассіопея, 1999. – 210 с.
6. *Приходько С. Н.* Декоративные растения открытого и закрытого грунта / С. Н. Приходько. – К.: Наук. думка, 1985. – 664 с.
7. Рубрика: Полезная информация. Елена Бабаева // В мире растений. – 2003. – № 11.
8. *Сычев П. А.* Почвоведение с основами земледелия: метод. указ. / П. А. Сычев, Ю. Г. Приседский, О. В. Федотов. – Донецк: ДонНУ, 2004. – С. 5–9.
9. Якість ґрунту та сучасні стратегії добрив / За ред. Д. Мельничука, Дж. Хофман, М. Городнього. – К.: Арісней, 2004. – 489 с.

Приседский Ю. Г., Корсун А. А. **Вплив внесення торфу на ростові процеси квітково-декоративних рослин на збіднених ґрунтах**. – Вивчався вплив внесення торфу в піщаний ґрунт на ростові процеси квітково-декоративних рослин. Встановлено, що торф викликає близьку до достовірної тенденцію збільшення сирої та сухої маси проростків і площі їхнього листя.

Ключові слова: добрива, нейтральний торф, збіднені ґрунти.

Prisedsky Yu. G., Korsun A. A. **Using the physiologically active substances for the cultivation of ornamental plants in depleted soils.** – It was studying the effect of applying the turf for the cultivation of ornamental plants in depleted soils. It has established, that the turf can provocate a positive tendention of increase the damp and dry mass of sprouts and the area of their leaves.

Key words: fertilizers, neutral turf, depleted soil.

УДК 631.8

© Ю. Г. Приседский, А. М. Миронова

ВЛИЯНИЕ ГУМАТА НАТРИЯ НА РОСТОВЫЕ ПРОЦЕССЫ БАРХАТЦЕВ МЕЛКОЦВЕТНЫХ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ ФТОРИДАМИ И СУЛЬФИТАМИ

Донецкий национальный университет; 83050, г. Донецк, ул. Щорса, 46
e-mail: g_prisedsky@ukr.net, Anyta250291@rambler.ru

Приседский Ю. Г., Миронова А. М. **Влияние гумата натрия на ростовые процессы бархатцев мелкоцветных в условиях загрязнения почвы фторидами и сульфидами.** – Изучено влияние гумата натрия на *Tagetes patula* L. в условиях загрязнения почвы фторидами и сульфитами. В качестве загрязнителей использовали сульфит натрия (Na_2SO_3) и фторид натрия (NaF). Опыт вели по схеме трехфакторного трехуровневого эксперимента. Установлено значительное негативное влияние загрязнения почвы фтором и серой на рост и развитие *T. patula*. Добавление гумата натрия в концентрации 0,3 г/м^2 положительно воздействует на ростовые процессы *T. patula*, а в концентрации 0,6 г/м^2 угнетает рост растения.

Ключевые слова: гумат натрия, *Tagetes patula* L., сульфит натрия, фторид натрия.

Введение

В настоящее время исследования городской среды и связанные с ними теоретические и прикладные экологические проблемы необычайно актуальны, так как города становятся основной средой обитания человека. В последние десятилетия наблюдается интенсивное насыщение атмосферы городов газообразными и пылевидными отходами транспортных средств и промышленных предприятий [3]. Они вызывают ухудшение условий существования человека и других организмов, создавая угрозу здоровью населения, нарушению климата в локальных и глобальных масштабах [1]. В связи с этим остро ощущается потребность в научно обоснованных и рациональных мероприятиях по предотвращению загрязнения атмосферы и сохранению нормальных условий жизни, труда и отдыха людей и биосферы в целом [4].

Среди компонентов живого вещества биосферы наиболее существенным фактором нейтрализации газообразных токсикантов является растительность. Поэтому одним из перспективных подходов для биологической характеристики окружающей среды является оценка устойчивости растений к промышленным выбросам и способов ее повышения [2].

Почва является накопителем промышленных и транспортных выбросов, которые оседают из воздуха или попадают в нее непосредственно при транспортировании и переработке различных веществ. В последние годы загрязнения тяжелыми металлами, сульфатами, фторидами, пестицидами и другими токсичными веществами значительно возрастает [14]. Поскольку растения развиваются в присутствии таких соединений в обычных фоновых концентрациях, в этих условиях редко наблюдаются какие-либо отрицательные воздействия на них. Вместе с тем такие воздействия обнаруживаются тогда, когда концентрация загрязнений оказывается выше допустимого порогового уровня [14].

Каждое из загрязнений воздействует своим особым образом, однако все загрязнения оказывают влияние на некоторые основные процессы. В первую очередь воздействию подвергаются системы, регулирующие поступление загрязняющих веществ, а также химические реакции, ответственные за процессы фотосинтеза, дыхания и производство энергии [7].

Под действием загрязняющих веществ происходит подавление фотосинтеза, нарушение водообмена, многих биохимических процессов, снижение транспирации, общее угнетение роста и развития растений. Это приводит к изменению окраски листьев, некрозу, опадению листьев, изменению формы роста, ветвлению и т. д. [11]. Накапливаясь в тканях листа сверх допустимого уровня, токсикант вызывает у растений различные нарушения в структурной организации и функциональной деятельности. Начальными признаками поражения являются снижение транспирации и фотосинтеза, ухудшение поглощающих функций корня. Эти сдвиги вначале обратимы, но по мере накопления отравляющего вещества происходят резкие изменения ультраструктуры клеток (разбухание оболочки,

нарушение структуры митохондрий и хлоропластов), а затем и ухудшение углеводного, белкового и фосфорного обменов [5].

Установлено, что SO_2 является сильнодействующим ассимиляционным ядом [12]. В то же время SO_2 является местным ядом, убивающим только те участки мезофилла листа, в которые он проник, не затрагивая существенно жизнедеятельность соседних участков мезофилла. Растений, абсолютно устойчивых к сернистому газу, как и к другим вредным промышленным отходам, практически нет. Растения, у которых участки повреждений составляют до 20% общей площади листьев, относят к слабоповреждаемым. У среднеповреждаемых видов участки повреждений составляют до 50% и у сильноповреждаемых – свыше 50%. Под влиянием SO_2 у растений усиливаются признаки ксероморфности: уменьшается площадь листовых пластинок, увеличивается степень жилкования и количество устьиц, размеры клеток устьичного аппарата уменьшаются [3].

Фтор влияет на метаболизм растений и способен вызывать снижение темпов поглощения кислорода, расстройства респираторной деятельности, снижение ассимиляции питательных веществ, уменьшение содержания хлорофилла, подавление синтеза крахмала, разрушение ДНК и РНК и ингибировать ряд других процессов. Установлено, что фториды ингибируют ферменты: энолазу, фосфорглюкомутазу, фосфотазу.

Некоторые растения настолько восприимчивы к загрязнению воздуха и почвы, что поражаются при концентрации фторидов незначительно превышающей фоновую. Это свойство растений используется в мониторинге загрязнения воздуха, почв и других средств как метод биоиндикации и симптомологии [6].

На устойчивость растений к загрязнению среды влияет много факторов. Для повышения их устойчивости применяются внесения в почву минеральных удобрений, регулирование водного режима, внесение физиологически активных соединений, в том числе гуматов натрия и аммония. Положительное влияние гумата натрия, внесенного в почву с минеральными удобрениями, сказалось на снижении негативного эффекта повышенных доз токсикантов и некоторых других инсектофунгицидов. Гумат натрия является также и радиопротектором [13].

В связи с этим целью наших исследований было изучение ростовых процессов *Tagetes patula* L. и влияние на них гумата натрия в условиях загрязнения почвы фторидами и сульфитами.

Объект и методы исследования

В качестве объекта исследования использовали *T. patula* – вид многолетнего растения рода *Tagetes* семейства Asteraceae. Стебли прямостоячие, 30-80 см высотой, сильно ветвистые у основания. Листья небольшие, перистораздельные, с линейно-ланцетными долями, по краю пильчатые. Соцветия – корзинки 4-6 см в диаметре, одиночные или в щитковидных соцветиях расположенные в концах стеблей, чашеобразные, разнообразные по форме. Цветет в июле-августе. Плоды созревают в августе-октябре.

При проведении эксперимента семена *T. patula* высаживались в емкости, которые содержали по 350 г почвы. Перед внесением загрязнителей почву просеивали через почвенное сито с диаметром отверстий 3 мм. В качестве загрязнителей использовали сульфит натрия (Na_2SO_3) и фторид натрия (NaF). Опыт вели по схеме трехфакторного трехуровневого эксперимента (табл. 1) [9].

Опытные растения выращивались на протяжении 30 суток, при освещении 12000 лк, температуре 18-21ºС, влажности почвы – 60-70% полной влагоемкости.

При снятии опыта измеряли длину надземной части и корневых систем растений, сырой и сухой массы проростков [12]. Площадь листа определяли после их сканирования с разрешающей способностью 100 пикселей/дюйм при помощи специально разработанной программы обработки изображений.

Таблица 1

Схема опыта по влиянию гумата натрия на физиологические показатели растений в условиях загрязнения почвы фторидами и сульфитами

№ опыта	Концентрации загрязнителей и гумата		
	F^- (мг/кг)	S^{2-} (мг/кг)	Гумат натрия г/м^2
1	0	0	0
2	100	0	0
3	200	0	0
4	0	1	0
5	100	1	0
6	200	1	0
7	0	2	0
8	100	2	0
9	200	2	0
10	0	0	0,3
11	100	0	0,3
12	200	0	0,3
13	0	1	0,3
14	100	1	0,3
15	200	1	0,3
16	0	2	0,3
17	100	2	0,3
18	200	2	0,3
19	0	0	0,6
20	100	0	0,6
21	200	0	0,6
22	0	1	0,6
23	100	1	0,6
24	200	1	0,6
25	0	2	0,6
26	100	2	0,6
27	200	2	0,6

Полученные данные обработаны статистически по методу трехфакторного дисперсионного анализа. Сравнение средних проводили по методу Даннета [11, 14, 15].

Результаты и обсуждение

Проведенные исследования загрязнения почвы серой и фтором на ростовые процессы побегов бархатцев мелкоцветных позволяют сделать вывод о значительном негативном воздействии загрязнителей на рост и накопление биомассы растениями. Влияние загрязнения почвы в значительной мере зависит от концентраций токсичных веществ.

Как свидетельствуют данные табл. 2, в контроле площадь листовой пластинки составила 82%. В вариантах 2 и 3 площадь заметно снизилась до 25-30%, что свидетельствует о негативном влиянии Na_2SO_3 и NaF при отсутствии гумата натрия. При низком содержании солей и внесении гумата натрия в концентрации 0,3 г/м^2 в вариантах 11-13 происходит увеличение площади листовой пластинки. В варианте 25 из-за высокого содержания фторидов и сульфитов в почве, несмотря на внесение гумата натрия, происходит снижение площади листьев на 99% по сравнению с растениями, выращенными на незагрязненной почве. В вариантах 26 и 27 все проростки погибли. В вариантах 17 и 18 при внесении гумата в дозе 0,3 г/м^2 площадь листовых пластинок увеличивается на 32% по сравнению с контролем.

Таблица 2

Влияние гумата натрия на площадь листовой пластинки бархатцев в условиях загрязнения почвы фторидами и сульфитами

№ варианта	Площадь листовой пластинки ($см^2$)			Суммарная листовая площадь ($см^2$)		
	M ± m	D	D^D	M ± m	D	D^D
1	0,71±0,10	-	-	3,29±0,52	-	-
2	0,15±0,17	0,56	0,54	0,78±0,09	2,51	0,54
3	0,54±0,33	0,17	0,54	1,35±1,09	1,93	0,54
4	0,50±0,30	0,21	0,54	3,36±0,71	0,07	0,54
5	0,09±0,05	0,62	0,54	3,36±0,70	0,07	0,54
6	0,65±0,11	0,06	0,54	3,66±0,70	0,37	0,54
7	0,27±0,16	0,44	0,54	1,09±0,76	2,20	0,54
8	0,60±0,14	0,11	0,54	2,98±0,91	0,31	0,54
9	0,23±0,27	0,48	0,54	0,79±0,01	2,50	0,54
10	0,35±0,22	0,36	0,54	0,77±0,58	3,52	0,54
11	0,48±0,29	0,23	0,54	2,04±1,41	1,25	0,54
12	0,47±0,31	0,24	0,54	2,69±1,88	0,60	0,54
13	0,02±0,01	0,69	0,54	0,28±0,03	3,01	0,54
14	0,21±0,24	0,50	0,54	0,70±0,85	2,59	0,54
15	0,33±0,01	0,38	0,54	1,20±0,22	2,09	0,54
16	0,12±0,14	0,59	0,54	0,59±0,71	2,70	0,54
17	0,26±0,16	0,45	0,54	1,29±0,81	2,00	0,54
18	0,29±0,19	0,42	0,54	1,56±0,10	1,73	0,54
19	0,19±0,11	0,52	0,54	0,57±0,35	2,72	0,54
20	0,13±0,15	0,58	0,54	0,39±0,47	2,90	0,54
21	0,16±0,18	0,55	0,54	0,61±0,73	2,68	0,54
22	0,02±0,01	0,69	0,54	0,55±0,07	2,74	0,54
23	0,36±0,27	0,35	0,54	0,81±0,55	2,75	0,54
24	Растения погибли			Растения погибли		
25	0,21±0,25	0,50	0,54	0,62±0,747	2,67	0,54
26	Растения погибли			Растения погибли		
27	Растения погибли			Растения погибли		

Анализ цифрового материала табл. 3 показывает, что загрязнение почвы фторидами и сульфитами оказывает значительное отрицательное влияние на рост стебля и корней проростков. Так, в вариантах 2-8 длина стебля снижаются на 3,2-65,5% по сравнению с растениями, выращенными без внесения загрязнителей (вар. 1). При высокой дозе поллютантов (вар. 9) угнетение роста надземной части растения составляет 95% от контроля). Аналогичная закономерность наблюдается и в изменении ростовых процессов корневых систем. Внесение гумата натрия в дозе 0,3 $г/м^2$ (вар. 10-18) позволяет оптимизировать рост стебля, тогда как на ростовые процессы корней подкормка не оказывает существенного влияния. Гумат в дозе 0,6 $г/м^2$ (вар. 21-27) оказывает угнетающее влияние на ростовые процессы проростков бархатцев, не приводя к снижению отрицательного воздействия загрязнения почвы на растения. Сочетание высоких доз загрязнения и гумата натрия приводят к гибели проростков (вар. 24, 26 и 27).

Таблица 3

Влияние гумата натрия на длину стебля и корня растений бархатцев в условиях загрязнения почвы фторидами и сульфитами

№ вар.	Длина стебля (см)			Длина корня (см)		
	M ± m	D	D^D	M ± m	D	D^D
1	2,580±0,259	-	-	1,553±0,360	-	-
2	0,897±1,086	1,683	2,291	0,673±0,812	0,880	1,881
3	1,670±1,017	0,910	2,291	1,337±0,886	0,217	1,881
4	1,837±1,132	0,743	2,291	1,337±0,812	0,217	1,881
5	0,840±1,017	1,740	2,291	0,670±0,404	0,883	1,881
6	2,500±0,354	0,080	2,291	1,667±0,408	0,113	1,881
7	1,503±0,931	1,077	2,291	0,670±0,404	0,883	1,881
8	2,500±0,354	0,080	2,291	1,500±0,354	0,053	1,881
9	0,040±0,037	2,540	2,291	0,010±0,001	1,543	1,881
10	2,337±2,337	0,243	2,291	1,003±0,704	0,550	1,881
11	0,040±0,019	2,540	2,291	2,003±1,221	0,450	1,881
12	1,587±0,970	0,993	2,291	1,003±0,704	0,550	1,881
13	0,673±0,812	1,907	2,291	0,507±0,608	1,047	1,881
14	1,007±1,221	1,573	2,291	0,563±0,678	0,990	1,881
15	2,167±0,204	0,413	2,291	1,083±0,102	0,470	1,881
16	0,673±0,812	1,907	2,291	0,340±0,404	1,213	1,881
17	1,337±0,812	1,243	2,291	0,670±0,404	0,883	1,881
18	1,337±0,812	1,243	2,291	1,500±0,354	0,550	1,881
19	1,170±0,732	1,410	2,291	1,003±0,704	0,050	1,881
20	0,673±0,812	1,907	2,291	1,503±1,057	1,213	1,881
21	0,507±0,608	2,073	2,291	0,340±0,404	1,213	1,881
22	0,507±0,608	2,073	2,291	0,340±0,404	1,213	1,881
23	1,503±0,931	1,077	2,291	0,340±0,404	1,197	1,881
24	Растения погибли			Растения погибли		
25	1,007±1,221	1,573	2,291	0,010±0,001	0,880	1,881
26	Растения погибли			Растения погибли		
27	Растения погибли			Растения погибли		

Влияние подкормки гуматом натрия на сырую и сухую массу растений, растущих в условиях загрязнения почвы фторидами и сульфитами, представлено в табл. 3. Как следует из табл. 3 загрязнение почвы неоднозначно влияет на накопление биомассы проростками. Наиболее сильное угнетение накопления сырой и сухой массы наблюдается при комплексном загрязнении почвы с высокими дозами фторидов и сульфитов (вар. 9). Гумат натрия в дозе 0,3 г/м^2 значительно стимулирует накопление биомассы бархатцев. Так, на незагрязненной почве сырая масса проростков увеличивается в 3,9 раза по сравнению с растениями, выращенными на незагрязненной почве без внесения гумата, а сухая масса – в 3,3 раза. При загрязнении почвы фторидами (вар. 11-12) сырая масса подкормленных растений составляет 314,3-464,3% от контрольных растений и в 3,1-5,0 раз превосходит этот показатель растений, выращенных на почве с фторидным загрязнением. На сухую массу проростков внесение гумата натрия в этой дозе также оказывает значительный стимулирующий эффект. В вариантах с сульфитным и комплексным загрязнением (вар. 13-18) накопление как сырой, так и сухой массы проростками практически не отличается от незагрязненного контроля и на 20-40% превосходит аналогичные показатели растений, произрастающих на загрязненной почве без внесения гумата натрия. Доза гумата натрия 0,6 г/м^2 (вар. 20-27) не оказывает положительного влияния на накопления сырой и сухой

массы проростками, а сочетание высоких доз загрязнителей и гумата натрия приводит к гибели растений, что может свидетельствовать о повышении чувствительности растений к загрязнению при внесении гумата.

Таблица 4

Влияние гумата натрия на сырую и сухую массу растений бархатцев в условиях загрязнения почвы фторидами и сульфитами

№ вар.	Сырая масса (мг)			Сухая масса (мг)		
	M ± m	D	D^D	M ± m	D	D^D
1	0,014±0,003	-	-	0,003±0,001	-	-
2	0,013±0,003	0,002	0,049	0,009±0,001	0,006	0,020
3	0,013±0,021	0,017	0,049	0,038±0,029	0,034	0,020
4	0,025±0,009	0,011	0,049	0,014±0,003	0,011	0,020
5	0,014±0,003	0,000	0,049	0,004±0,003	0,001	0,020
6	0,013±0,004	0,001	0,049	0,006±0,003	0,002	0,020
7	0,010±0,001	0,004	0,049	0,005±0,003	0,002	0,020
8	0,026±0,005	0,011	0,049	0,012±0,004	0,009	0,020
9	0,010±0,000	0,004	0,049	0,010±0,000	0,007	0,020
10	0,054±0,027	0,040	0,049	0,010±0,001	0,006	0,020
11	0,040±0,019	0,026	0,049	0,006±0,003	0,003	0,020
12	0,065±0,065	0,050	0,049	0,005±0,003	0,001	0,020
13	0,014±0,004	0,001	0,049	0,008±0,003	0,004	0,020
14	0,015±0,006	0,001	0,049	0,007±0,001	0,007	0,020
15	0,015±0,002	0,001	0,049	0,008±0,002	0,003	0,020
16	0,011±0,001	0,003	0,049	0,009±0,000	0,005	0,020
17	0,020±0,007	0,005	0,049	0,060±0,007	0,006	0,020
18	0,018±0,005	0,004	0,049	0,010±0,006	0,057	0,020
19	0,018±0,005	0,004	0,049	0,010±0,001	0,007	0,020
20	0,017±0,009	0,003	0,049	0,012±0,003	0,007	0,020
21	0,013±0,003	0,002	0,049	0,007±0,004	0,009	0,020
22	0,013±0,004	0,001	0,049	0,011±0,001	0,004	0,020
23	0,027±0,011	0,013	0,049	0,010±0,001	0,008	0,020
24	Растения погибли			Растения погибли		
25	0,014±0,004	0,001	0,049	0,010±0,000	0,006	0,020
26	Растения погибли			Растения погибли		
27	Растения погибли			Растения погибли		

Выводы

1. Загрязнение почвы фторидами и сульфитами оказывает значительное негативное влияние на ростовые процессы *T. patula*.

2. Добавление гумата натрия в дозе 0,3 г/м^2 положительно воздействует на рост и развитие *T. patula* в условиях повышенного содержания фторидов и сульфитов в почве, тогда как внесение его в дозе 0,6 г/м^2 повышает чувствительность растений к загрязнению почвы.

Список литературы

1. *Абрамов Н. В.* Флора Республики Марий Эл: инвентаризация, районирование, охрана и проблемы рационального использования ее ресурсов / Н. В. Абрамов. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2000. – 164 с.

2. *Быховская М. С.* Быстрые методы определения вредных веществ в атмосфере / М. С. Быховская, Е. А. Перегут, Е. В. Гернет. – М.: Химия, 1970. – 125 с.

3. *Воскресенская, О. Л.* Организм и среда: факториальная экология / О. Л. Воскресенская, Е. А. Скочилова и др. – Йошкар-Ола, 2005. – 175 с.

4. *Воскресенская О. Л.* Экология города Йошкар-Олы / О. Л. Воскресенская, Е. А. Алябышева и др. – Йошкар-Ола, 2004. – 200 с.

5. *Гейнрих Д.* Экология: пер. с нем. / Д. Гейнрих, М. Гергт. – М.: Рыбари, 2003. – 287 с.

6. *Гелашвили Д. Б.* Количественные методы оценки загрязнения атмосферного воздуха / Д. Б. Гелашвили // Экологический мониторинг. Методы биологического и физико-химического мониторинга. – Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2000. – Ч. IV. – 427 с.

7. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Марий Эл в 2003 году. – Йошкар-Ола, 2004. – 179 с.

8. *Павлов И. Н.* Глобальные изменения среды обитания древесных растений / И. Н. Павлов. – Красноярск: СибГТУ, 2003. – 156 с.

9. *Приседский Ю. Г.* Пакет програм для проведення статистичної обробки результатів біологічних експериментів / Ю. Г. Приседский. – Донецк: ДонНУ, 2005. – 75 с.

10. *Приседський Ю. Г.* Статистична обробка результатів біологічних експериментів / Ю. Г. Приседський. – Донецьк: Кассіопея, 1999. – 210 с.

11. *Романова А. К.* Физиолого-биохимические признаки и молекулярные механизмы адаптации растений к повышенной концентрации CO_2 в атмосфере / А. К. Романова // Физиология растений. – 2005. – Т. 52, № 1. – С. 123–132.

12. Рост концентрации CO_2 в атмосфере – всеобщее благо? / [Алексеев и др.] // Природа. – 1999. – № 9. – С. 13–16.

13. *Семина И. В.* Гумат натрия как фактор, повышающий устойчивость растений к загрязнителям биосферы / И. В. Семина // Удобрения. – 2008. – № 5. – С. 18–20.

14. *Хван Т. А.* Промышленная экология / Т. А. Хван. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2003. – 315 с.

15. *Lin C.* // Trends in plant science. – 2000. – Vol. 5, № 8. – P. 337–342.

Приседський Ю. Г., Миронова Г. М. **Вплив гумата натрію на ростові процеси чорнобривців дрібноквіткових в умовах забруднення ґрунту фторідами та сульфітами.** – Досліджено вплив гумата натрію на *Tagetes patula* L. в умовах забруднення ґрунту фторідами та сульфітами. В якості забруднювачів використовували сульфіт натрію (Na_2SO_3) та фторід натрію (Na_4F). Дослід вели за схемою трифакторного трьохрівневого експерименту. Встановлено значний негативний вплив забруднення ґрунту фтором та сіркою на ріст та розвиток *T. patula*. Додавання гумата натрію в концентрації 0,3 г/м^2 позитивно впливає на ростові процеси *T. patula*, а в концентрації 0,6 г/м^2 пригнічує ріст рослини.

Ключові слова: гумат натрію, *Tagetes patula* L., сульфіт натрію, фторід натрію.

Prisedsky Yu. G., Mironova A. M. **Influence of a humate of sodium on the processes of stature *Tagetes patula* L. in the conditions of pollution of soil by fluorides and sulfites.** – Influence of a humate of sodium in the conditions of pollution of soil by fluoride and sulfite on the *Tagetes patula* L. us studied. All pollutants used sulfite (Na_2SO_3) of sodium fluoride (Na_4F). Experience conducted under the three-factorial three-level experiment. Conciderable negative influence of pollution of soil by fluorine and sulphur on growth and development *T. patula* is established. Addition of a humate of sodium in concentration 0,3 g/m^2 positively influences on the processes of stature *T. patula*, and in concentration 0,6 g/m^2 oppresses plant growth.

Key words: humate of sodium, *Tagetes patula* L., sodium sulfite, sodium fluoride.

УДК 631.53

© О. Г. Усольцева[1], С. І. Демченко[2]

ДИНАМІКА АКТИВНОСТІ ПЕРОКСИДАЗИ В ПАГОНАХ ІНТРОДУКОВАНИХ ХВОЙНИХ РОСЛИН ПРИ ЖИВЦЮВАННІ ТА ОКОРІНЕННІ

[1] Донецький ботанічний сад НАН України; 83059, м. Донецьк, пр. Ілліча, 110
e-mail: donetsk-sad@mail.ru
[2]Донецький національний університет; 83050, м. Донецьк, вул. Щорса, 46
e-mail: sdemch5@mail.ru

Усольцева О. Г., Демченко С. І. **Динаміка активності пероксидази в пагонах інтродукованих хвойних рослин при живцюванні та окоріненні.** – Досліджено динаміку активності пероксидази в пагонах 6 культиварів 3 видів інтродукованих хвойних рослин (*Juniperus sabina* L. `Tamariscifolia`, *Thuja occidentalis* L. `Ericoides`, *J. chinensis* L. `Blue Alps`, *T. occidentalis* `Kornic`, *J. chinensis* `Stricta-variegata`, *J. sabina* `Variegata`). Висловлено припущення, що рівень активності пероксидази в тканинах хвойних пагонів в різні фази росту та розвитку можна використовувати як показник регенераційної здатності.

Ключові слова: хвойні рослини, активність пероксидази, живцювання, регенераційна здатність.

Вступ

Хвойні рослини стали невід'ємною частиною багатьох ландшафтних композицій. У зв'язку з цим актуальним стає питання їх розмноження з метою поповнення асортименту рослинного матеріалу, що використовується для озеленення в умовах техногенного регіону, яким є Донбас. При вивченні особливостей вегетативного розмноження важливе місце посідають дослідження, що спрямовані на з'ясування особливостей росту і розвитку придаткових коренів на стеблових живцях. Процес морфогенезу придаткових коренів деревних рослин, особливо хвойних, складний і ще мало досліджений [1, 2, 5, 8].

Останнім часом дослідники значну увагу приділяють ферментним системам рослин, що є головними серед регулювальних сил живої клітини. Визначенню рівня активності пероксидази (КФ 1.11.1.7) в тканинах різних рослин надається особливе значення [7, 11, 12]. Цей фермент бере участь у багатьох процесах життєдіяльності рослин, таких, як ріст, морфогенез тощо. Виявлені широкі можливості використання його як діагностичного реагенту або маркерного ферменту. Пероксидаза є надзвичайно функціонально лабільним ферментом, що реагує на порушення гомеостазу клітинного метаболізму при дії різноманітних стресорів [10, 11]. За літературними джерелами [5, 7, 9], висока активність пероксидази сприяє утворенню придаткових коренів.

Метою нашої роботи було дослідження активності пероксидази в живцях хвойних рослин в різні фази їх росту і розвитку для обґрунтування можливості використання цього показника в якості маркерної ознаки регенераційної здатності.

Об’єкти та методи дослідження

Об’єктами нашого дослідження були види та культивари хвойних рослин з родини Cupressaceae Bartling., що належать до груп з різною регенераційною здатністю, які були визначені в попередніх дослідженнях [1, 2]. Ними були: *Juniperus sabina* L. `Tamariscifolia`, *Thuja occidentalis* L. `Ericoides` (група з високою регенераційною здатністю), *J. chinensis* L. `Blue Alps`, *T. occidentalis* `Kornic` (група з середньою регенераційною здатністю), *J. chinensis* `Stricta-variegata`, *J. sabina* `Variegata` (група з низькою регенераційною здатністю).

При живцюванні хвойних рослин використовували загальноприйняті [4, 14], а також спеціальні [5, 8] методики. Живцювання проводили в різні фази росту та розвитку дослідних видів та культиварів хвойних рослин здерев’янілими живцями в III декаду квітня, II декаду травня, I і III декади червня. Спостереження за утворенням придаткових коренів проводили за методикою І. А. Комарова [6]. Активність пероксидази визначали за методом О. М. Бояркіна [3].

Результати та обговорення

Досліджено укоріненість стеблових живців (рис. 1) і динаміку активності пероксидази в пагонах 6 культиварів 3 видів хвойних рослин в різні фази росту й розвитку (табл. 1).

Таблиця 1

Динаміка активності пероксидази в пагонах дослідних видів та культиварів хвойних рослин

Вид та культивар	Дата живцювання	Активність пероксидази, у. од.
Група з високою регенераційною здатністю		
Juniperus sabina L. `Tamariscifolia`	29.04	0,72 ± 0,05
	19.05	0,48 ± 0,09
	2.06	0,44 ± 0,11
	24.06	0,70 ± 0,04
Thuja occidentalis L. `Ericoides`	29.04	0,84 ± 0,03
	19.05	0,43 ± 0,09
	2.06	0,34 ± 0,04
Група з середньою регенераційною здатністю		
J. chinensis L. `Blue Alps`	29.04	0,39 ± 0,08
	19.05	0,37 ± 0,05
	2.06	0,21 ± 0,02
	24.06	0,34 ± 0,07
T. occidentalis `Kornic`	29.04	0,82 ± 0,07
	19.05	0,34 ± 0,04
	2.06	0,29 ± 0,06
Група з низькою регенераційною здатністю		
J. sabina `Variegata`	29.04	0,81 ± 0,08
	19.05	0,67 ± 0,03
	2.06	0,44 ± 0,08
	24.06	0,74 ± 0,06
J. chinensis `Stricta-variegata`	29.04	0,41 ± 0,05
	19.05	0,32 ± 0,02
	2.06	0,31 ± 0,01

Проведення дисперсійного аналізу отриманих даних та множинне порівняння середніх значень за критерієм Дункана (D^{DK} = 0,06 у. од.) дозволило встановити, що активність пероксидази в пагонах досліджених культиварів та видів хвойних рослин була достовірно вищою в III декаду квітня (29 квітня). У цей термін ми спостерігали також і високу укоріненість їх стеблових живців.

Зниження активності пероксидази в пагонах досліджених видів та культиварів хвойних рослин виявлено з II декади травня (19 травня). Укоріненість стеблових живців, нарізаних з пагонів у цей термін, також знижувалась. Виключення становили стеблові живці *J. chinensis* L. `Blue Alps`, у яких ступінь окорінення й біосинтез пероксидази значно зменшувалися лише в I декаду червня.

У III декаду червня (24 червня) зафіксовано другий пік активності пероксидази в пагонах *J. sabina* `Tamariscifolia`, *J. chinensis* L. `Blue Alps`, *J. sabina* `Variegata`, а також збільшення укоріненості живців цих видів та культиварів, за винятком *J. chinensis* L. `Blue Alps`. У цього культивара підвищення активності пероксидази не приводило до збільшення укоріненості стеблових живців.

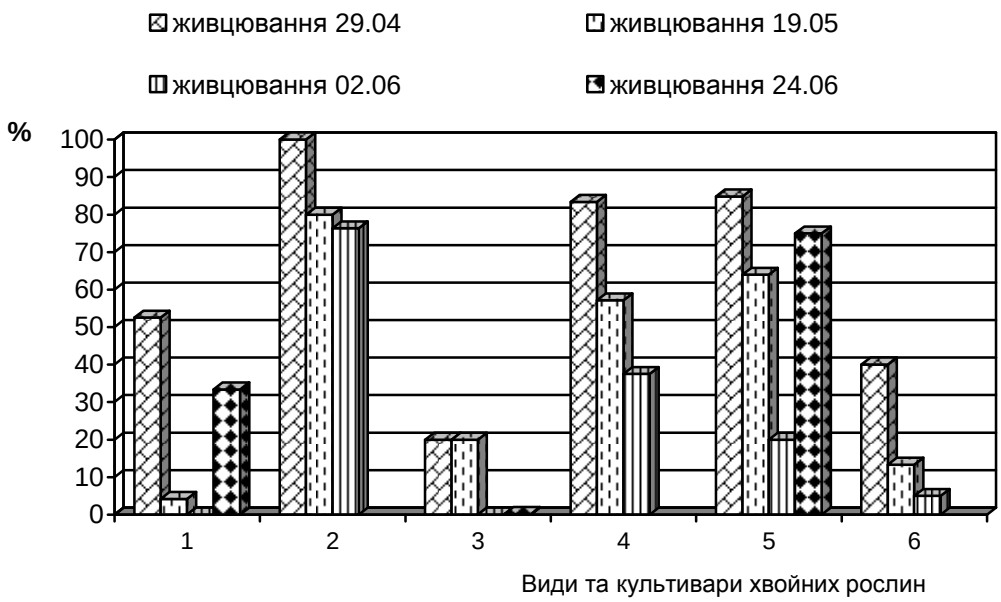


Рис. 1. Укоріненість дослідних видів і культиварів хвойних рослин: 1 – *Juniperus sabina* L. `Tamariscifolia`, 2 – *Thuja occidentalis* L. `Ericoides`, 3 – *J. chinensis* L. `Blue Alps`, 4 – *T. occidentalis* `Kornic`, 5 – *J. sabina* `Variegata`, 6 – *J. chinensis* `Stricta-variegata`.

Таким чином, максимальне накопичення пероксидази в пагонах досліджених видів та культиварів хвойних рослин спостерігається до початку їх активного росту. Після відростання пагонів, у період відносного спокою, біосинтез пероксидази знову посилюється.

Висновки

Виявлено позитивну кореляцію між активністю пероксидази в пагонах досліджених хвойних рослин та укоріненістю їх стеблових живців. Отже, результати проведених досліджень дають можливість припустити, що рівень активності пероксидази в тканинах пагонів хвойних рослин можна використовувати як показник їх регенераційної здатності.

Список літератури

1. *Глухов А. З.* Ускоренное размножение хвойных в условиях юго-востока Украины / А.З. Глухов, О. Г. Шпакова. – Донецк: Норд-Пресс, 2006. – 136 с.

2. *Глухов А. З.* Интродукционный потенциал, размножение и использование хвойных растений для садово-парковых композиций в условиях юго-востока Украины / А. З. Глухов, О. Г. Усольцева // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона: межвед. сб. науч. работ. – Донецк: ДонНУ, 2008. – Вып. 8. – С. 42–47.

3. *Ермаков А. И.* Методы биохимического исследования растений / А. И. Ермаков, В. В. Арасимович, М. И. Смирнова-Иконникова. – Л.: Колос, 1972. – 456 с.

4. *Ермаков Б .С.* Выращивание саженцев методом черенкования / Б. С. Ермаков. – М.: Лесн. пром-сть, 1975. – 152 с.

5. *Иванова З. Я.* Биологические основы и приемы вегетативного размножения древесных растений стеблевыми черенками / З. Я. Иванова. – К.: Наук. думка, 1982. – 288 с.

6. *Комаров И. А.* К методике учета сроков корнеобразования у летних черенков / И. А. Комаров // Бюл. Гл. ботан. сада АН СССР. – 1968. – Вып. 70. – С. 79–81.

7. *Кучеренко В. П.* Активность пероксидазы в тканях растений разного возраста / В. П. Кучеренко // Охрана среды и рациональное использование растительных ресурсов. – М.: Наука, 1976. – С. 196–197.

8. *Маринич І. С.* Розмноження хвойних рослин / І. С. Маринич, В. К. Балабушка, Л. В. Ібрагім. – К.: КП «Дім, сад, город», 2005. – 29 с.

9. *Опалко О.* Фізіологічний стрес – індуктор ризогенної активності живців садових рослин / О. Опалко, О. Балабак // Вісник Львівського ДАУ: Агрономія. – 1999. – № 4. – С. 179–181.

10. *Савич И. М.* Пероксидазы – стрессовые белки растений / И. М. Савич // Усп. совр. биол. – 1989. – Т. 107, вып. 3. – С. 406–417.

11. *Садаквасова Г. Г.* Некоторые физико-химические и физиологические свойства пероксидазы растений / Г. Г. Садаквасова, Р. М. Кунаева // Физиол. и биохим. культ. раст. – 1987. – № 2 (19). – С. 107–119.

12. *Сарсенбаев К. Н.* Роль ферментов в устойчивости растений / К. Н. Сарсенбаев, Ф. А. Полимбетова. – Алма-Ата: Наука, 1986. – 180 с.

13. Турецкая Р. Х. Физиология корнеобразования у черенков и стимуляторы роста / Р. Х. Турецкая. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 208 с.

14. *Шкутко Н. В.* Ускоренное размножение деревьев и кустарников / Н. В. Шкутко, Е. Д. Антонюк. – Минск: Наука и техника, 1988. – 64 с.

Усольцева О. Г., Демченко С. И. **Динамика активности пероксидазы в побегах интродуцированных хвойных растений при черенковании и укоренении.** – Исследована динамика пероксидазной активности в побегах 6 культиваров 3 видов интродуцированных хвойных растений (*Juniperus sabina* L. ‘Tamariscifolia`, *Thuja occidentalis* L. `Ericoides`, *J. chinensis* L. `Blue Alps`, *T. occidentalis* `Kornic`, *J. chinensis* `Stricta-variegata`, *J. sabina* `Variegata`). Высказано предположение, что уровень активности пероксидазы в тканях хвойных побегов в разные фазы роста и развития можно использовать в качестве показателя регенерационной способности.

Ключевые слова: хвойные растения, активность пероксидазы, черенкование, регенерационная способность.

Usoltseva O. G., Demchenko S. I. **The dynamics of peroxidase activity in innovation shoots of introduced coniferous plants at cutting and rooting.** – The dynamics of peroxidase activity in innovation shoots of 6 cultivars of 3 coniferous species (*Juniperus sabina* L. ‘Tamariscifolia`, *Thuja occidentalis* L. `Ericoides`, *J. chinensis* L. `Blue Alps`, *T. occidentalis* `Kornic`, *J. chinensis* `Stricta-variegata`, *J. sabina* `Variegata`) is investigated. It is suggested to use the peroxidase activity in tissues of coniferous shoots in the different phases of growth and development as an index of regeneration ability.

Key words: coniferous plants, peroxidase activity, cutting, regeneration ability.

УДК 581.192 : 582.287.37

© О. В. Федотов

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ МІКОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ У БІОІНДИКАЦІЇ ДОВКІЛЛЯ

Донецький національний університет; 83050, м. Донецьк, вул. Щорса, 46
e-mail: bio.graff@yandex.ua

Федотов О. В. **Фізико-хімічні показники мікологічних об'єктів у біоіндикації довкілля.** – Вивчалися процеси перекисного окиснення ліпідів та активність антиоксидантних ферментів базидіоміцетів за дії факторів культивування. Встановлено, що фізико-хімічні показники базидіоміцетів можуть бути використані в системі індикації стану довкілля чи наявності певних полютантів у середовищі, що аналізується. Перспективним напрямком є використання в біотестуванні довкілля новітніх методів і приладів з фіксацією хемілюмінесценції, оскільки реакції вільних радикалів і антиоксидантного захисту в живих системах, інтенсивність яких змінюється під впливом різноманітних факторів, супроводжуються слабким світінням.

Ключові слова: перекисне окиснення ліпідів, активність антиоксидантних ферментів, базидіоміцети, біоіндикація.

Вступ

Сучасний розвиток суспільства характеризується зростанням антропогенного навантаження на екосистеми та техногенного забруднення довкілля, що спричиняє суттєве погіршення здоров'я населення [7, 13]. У зв'язку з цим пріоритетного характеру набувають дослідження, спрямовані на розробку ефективних способів утилізації промислових відходів, пошук чутливих тест-об'єктів і впровадження методів біоіндикації і біомоніторингу екологічного стану антропогенно зміненого середовища [13, 21, 22, 25].

Біотичний підхід є новітньою тенденцією в екологічному контролі шкідливих впливів, оскільки хімічний аналіз свідчить лише про наявність «маркерів» – певних концентрацій забруднювачів і нічого не говорить про стан і перспективу розвитку різних компонентів біоти й екосистеми в цілому. Тому гострою й актуальною проблемою екологічного контролю є вибір інформативних біологічних показників і адаптація біологічних методів для екоконтролю [2, 16, 21].

Індикаційні властивості виявляються на різних рівнях біологічної організації – як на рівні популяції чи організму, так і в змінах молекулярних, біохімічних, фізіологічних, тканинних та інших параметрів [25]. Виходячи з цього, для вирішення завдань екологічної індикації розглядаються можливості застосування різних організмів – як прокаріот, так і еукаріот, що може забезпечити проведення швидких і дешевих випробувань [10, 25]. Роботи щодо використання вищих грибів у якості біоіндикаторів поодинокі [8, 9, 16-20, 23]. Однак велике значення макроміцетів у забезпеченні нормального функціонування природних екосистем виправдовує необхідність практичного застосування результатів мікологічних досліджень, включення мікологічних показників у системи біотичних спостережень. Вивчення реакцій їх окремих видів на забруднення різних типів може стати придатним у проведенні якісного та всебічного тестування навколишнього середовища та відкриває новий напрямок їхнього практичного застосування. Крім того, апробовані способи ведуть до удосконалення методів біологічної індикації, котрі передбачають ідентифікацію забруднюючих речовин та встановлення їх концентрації [16, 20].

Відомий спосіб проведення біоіндикації на основі використання міксоміцетів для дослідження токсичності нафтозабруднених ґрунтів, а також ґрунтів з надлишковим засоленням пластовими водами, що формуються на відвалах фосфогіпсу та знаходяться в зоні металургійних комбінатів [22]. Відповідно до цього способу проводять експрес-оцінку ступеня токсичного навантаження на природні системи, аналізують вплив замочування спор у розчинах біхромату калію на їх проростання, а саме: в лабораторних умовах на агаризованих середовищах вирощують міцелій різних видів міксоміцетів, змивають конідії з поверхні культури, замочують спори в розчинах біхромату калію таких концентрацій – 0,5 ppm, 50 ppm та підраховують кількість пророслих конідій. На основі отриманих даних інгібування проростання конідій встановлюють чутливість до токсиканту. Обмежує

застосування цього способу патогенність міксоміцетів по відношенню до людини, яка виявляється в здатності викликати алергічні реакції. Недоліком цього способу також є необхідність постійного культивування грибів у лабораторних умовах.

Доведено принципову можливість використання фітопатогенних мікроміцетів як біологічних тест-систем. Зокрема обґрунтовано використання фітопатогенних мікроміцетів для моніторингу на біоценотичному та популяційному рівнях. Раннє виявлення відхилень від нормальних співвідношень у складі комплексів різних еколого-систематичних груп мікроміцетів, характерного для природних резерватів, дає можливість прогнозувати ситуацію та вживати практичні заходи для усунення негативного антропогенного пресингу [10]. Проаналізовано можливості використання фітопатогенних грибів як тест-об'єктів із застосуванням фізіолого-біохімічних параметрів. Зазначається, що для характеристики стресових факторів доцільно використовувати в якості параметрів проростання спор, ріст первинних гіф і фрагментів міцелію, агресивність. При цьому слід оцінювати саме зміну цих параметрів відносно контролю, оскільки вплив стресорів на фітопатогенні гриби може зумовлювати в них як інгібуючі, так і стимулюючі ефекти. Негативний вплив факторів може виявлятися не тільки в пригніченні, але й у стимуляції розвитку патогенних грибів [10]. Мікроскопічні гриби також давно використовують в якості тест-об'єктів для оцінки мутагенності різних сполук, отже, є можливість застосування мікроміцетів у мікотестуванні із залученням молекулярно-генетичних методів [6, 10, 14]. Недоліками представлених напрямків використання цих тест-об'єктів є патогенність мікроміцетів по відношенню як до рослин, так і до людини.

Розглянуто закономірності зміни співтовариств мікроскопічних грибів у навколишньому середовищі під впливом широкого набору антропогенних впливів (промислового, автотранспортного, сільськогосподарського забруднень, рекреації тощо), особливості формування мікобіоти в містах. Сформульовано підходи мікологічної біоіндикації. Описано реакції мікроскопічних грибів на всіх стадіях їхнього життєвого циклу (проростання спор, росту міцелію, утворення колоній, репродукції) на антропогенні фактори [11, 12].

Ще одним напрямком використання мікологічних організмів є включення їх у технології утилізації промислових відходів Розроблені та апробовані біосорбенти для очистки поверхні природних і штучних водойм, стічних вод і рідких відходів виробництв від забруднення нафтою і нафтопродуктами з одночасною утилізацією забруднення мікроорганізмами. Біосорбенти включають біомасу штамів певних мікроміцетів чи їх консорціум [3]. Запропоновані способи не містять дані щодо реакцій окремих видів мікроміцетів на забруднення нафтою і нафтопродуктами.

Запатентовано спосіб біотестування забруднення навколишнього середовища полютантами з використанням зморшкових грибів [16]. Ступінь токсичного навантаження на природні системи визначають за відсотком зниження чисельності пророслих спор та порівнюють ці дані з впливом розчинів біхромату калію при концентраціях – 1,3; 1,5; 1,7; 1,9; 2,1; 2,3; 2,5 та 3 мг/л на проростання аскоспор та формування ростових трубок. Недоліком цього способу є необхідність зберігання аскоспор з певними характеристиками проростання чи постійного культивування зморшкових грибів для отримання аскоспор.

Проведені ґрунтовні роботи щодо з'ясування можливості використання в біоіндикації вищих базидіальних грибів. Зокрема встановлено, що в лісових екосистемах України вміст ^{137}Cs у макроміцетах у середньому на один-два порядки вищий, ніж у лісовій підстилці, яку впродовж усього післячорнобильського періоду вважають основним депо радіонуклеїдів. Цей факт дає можливість використовувати макроміцети для біоіндикації забруднення радіоцезієм. Результати багаторічних досліджень дозволили виявити види грибів із гіпернакопичувальними (щодо радіоцезію) властивостями, серед яких деякі представники мікосимбіотрофних родин Cortinariaceae, Gomphidiaceae, Russulaceae, Boletaceae та Hydnaceae. Для довгострокового радіоекологічного моніторингу рекомендовано поширені види-біоіндикатори *Lactarius rufus* і *Paxillus involutus* [8]. Картографування із застосуванням

індикаторних видів показало наявність виразного градієнта радіаційно-індукованого забруднення плодових тіл макроміцетів із північної та північно-західної до центральної та південної частини Київської області. Аналіз динаміки накопичення ^{137}Cs дикорослими грибами свідчить про довгострокову небезпеку від використання їх із харчовою і лікарською метою [8]. Є суттєвою можливість екстраполяції результатів цього дослідження на інші території з радіаційним забрудненням.

Автори цього дослідження [8] зазначають, що використання для експрес-діагностики обраних біоіндикаторних видів дозволяє оцінити ризик вживання дикорослих грибів, прогнозувати стан забрудненості ґрунтів, інших дикорослих грибів та ягід на певній території і уникнути проведення масштабних висококошторисних досліджень. Проте слід зазначити, що мікоіндикація в такому разі не дає статистично достовірних даних щодо рівня забруднення території через високий рівень варіабельності вмісту радіоцезію в зразках грибів навіть у межах зборів одного виду з одного місцезнаходження.

Виходячи з вищезазначеного метою наших досліджень було з'ясування можливості використання фізико-хімічних показників мікологічних об'єктів у індикації довкілля.

Матеріали та методи дослідження

Об'єктами дослідження були плодові тіла (ПТ) та штами базидіальних грибів.

Дикорастучі в природі плодові тіла 4 видів *Flammulina velutipes* (Curt.: Fr.) Sing., *Laetiporus sulphureus* (Bull.: Fr.) Bond et Sing., *Schizophillum commune* Fr. та *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kumm., зібрані в м. Донецьку та Донецькій області – різних за екологічними умовами місцях зростання – та отримані з них чисті міцеліальні культури. Дослідні штами культивували поверхнево в колбах Ерленмейєра ємністю 250 мл на глюкозо-пептонному живильному середовищі (pH_0=6,3±0,3) об'ємом 50 мл такого складу, г/л [4]: глюкоза – 10,0; пептон – 3,0; KH_2PO_4 – 0,6; K_2HPO_4 – 0,4; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ – 0,5; $CaCl_2$ – 0,05; $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ – 0,001. Інокулюмом слугували 10-ти денні міцеліальні культури штамів на сусло-агарі. Температура культивування – 27,5°С. Строк ферментації – 20 діб. Визначення ферментативної активності в міцелії (на одиницю маси, г) та культуральному фільтраті (на одиницю об'єму, мл) проводили на 5, 10, 15 та 20-ту добу культивування. Матеріалами для досліджень були гомогенізований міцелій (МГ) та культуральний фільтрат (КФ) [19]. Досліджувану ферментативну активність в міцелії та КФ оцінювали спектрофотометричними методами: пероксидазну (ПА) – за інтенсивністю забарвлення продукту окислювання о-діанізидину перекисом водню [17]; каталазну – за забарвленням продукту реакції перекису водню з молібдатом амонію [18]. Інтенсивність процесів перекисного окиснення ліпідів визначали за вмістом продуктів ПОЛ, активних до тіобарбітурової кислоти (ТБК-АП) [19].

Досліди проводили в трикратній повторності. Отримані експериментальні дані обробляли за методом дисперсійного аналізу з використанням програм для проведення статистичної обробки результатів біологічних експериментів, порівняння дат здійснювали за методом Дункана, достовірною вважалася різниця за рівня вірогідності $P>0,95$ [15].

Результати та обговорення

Результати експериментальних досліджень показали, що дикорослі плодові тіла досліджуваних базидіоміцетів мають рівень каталазної та пероксидазної активності, який вірогідно відрізняється як за видовою ознакою, так і за місцем походження ПТ. Так, для міцелію 9 плодових тіл *P. ostreatus* зафіксовано рівень каталазної активності, середнє значення якого в 1,3 рази вище за цей показник 11 ПТ *F. velutipes*. Каталазна активність міцелію плодових тіл, які зібрані на екологічно забруднених територіях, значно вища значень КА міцелію плодових тіл з дендрарію Донецького ботанічного саду НАНУ (контроль): у 1,4 рази для штамів *P. ostreatus* та у 1,6 – для *F. velutipes*. Щодо пероксидазної активності міцелію досліджених ПТ, то її середнє значення у *F. velutipes* перевищує цей показник у *P. ostreatus* в 1,6 рази. ПА плодових тіл, зібраних у м. Донецьку, перевищує

контрольні значення у 2,5 рази для *P. ostreatus* та у 2,8 рази для *F. velutipes.*

На основі цих даних розроблено способи визначення стресового стану базидіоміцетів та екологічного стану місця їх зростання, які містять визначення каталазної або пероксидазної активності дикорослих плодових тіл базидіоміцетів, зібраних у різних місцях росту, та міцеліальних культур цих грибів при штучному культивуванні [17, 18].

Також нами запропоновані способи визначення стресового стану базидіоміцетів і екологічного стану місця їх зростання та індикації фенолу за вмістом продуктів перекисного окиснення ліпідів [19, 20]. Способи містять визначення вмісту продуктів перекисного окислення ліпідів у міцелії дикоростучих плодових тіл базидіоміцетів з різних за екологічними умовами місць зростання та міцеліальних культурах цих грибів при штучному культивуванні в оптимальних умовах (контроль) і за дії стресорів.

Порівняльне вивчення інтенсивності ПОЛ міцелію показало, що найвищий вміст ТБК-АП характерний для досліджених культур *S. commune*, середнє значення якого в 1,8 рази вище за цей показник для *F. velutipes*, в 2,4 рази – для *P. ostreatus* та в 5,9 рази – для *L. sulphureus.* Як і у випадку з дослідженою ферментативною активністю, спостерігається залежність інтенсивності ПОЛ від місця зростання плодових тіл. Так, плодові тіла *P. ostreatus*, зібрані в національному природному парку «Святі Гори» і в дендрарії Донецького ботанічного саду (ДБС), мали вміст ТБК-АП в 2,7 рази, а *F. velutipes* – в 2,2 рази нижчий, ніж зібрані в м. Донецьку.

Вивчення впливу концентрацій фенолу в інтервалі від 0,005 до 0,15% на інтенсивність процесів ПОЛ досліджуваного штаму F-610 *F. velutipes* показало наступне. Зміна вмісту продуктів ПОЛ в культуральній рідині при концентрацій фенолу 0,005% порівняно з контролем не є вірогідною. Отже, порогом чутливості на фенол – найменшою величиною параметра, яку може фіксувати штам F-610, є концентрація 0,01%. При цій концентрації найбільша кількість продуктів ПОЛ у міцелії зафіксована на 24 годину експозиції фенолу, що перевищувала цей показник у контролі в 1,6 рази, а у культуральній рідині – у 1,4 рази. Максимальна кількість продуктів ПОЛ у міцелії була зафіксована при концентрації фенолу 0,05% і перевищила контрольну у 9,99 рази. Найбільший вміст ТБК-АП у КФ зафіксовано при концентрації 0,15%, що у 2,95 рази більше за контрольну пробу. Концентрація фенолу в 0,15% є верхнім порогом чутливості для штаму F-610 *F. velutipes*, оскільки подальше підвищення концентрації фенолу у середовищі до 0,3% веде до пригнічення процесів перекисного окиснення ліпідів в міцелії та зменшення вмісту їх продуктів у культуральній рідині.

Проведені дослідження підтверджують загальнобіологічну закономірність про те, що будь-який організм під час впливу на нього нового фактору зовнішнього середовища чи при освоєнні нової еконіши або є резистентний, або, як правило, адаптується, набуваючи при цьому властивості і зміну норм реакції, що досягається за рахунок варіабельності онтогенетичних і фізіологічних властивостей [21]. Виявлені адаптаційні перебудови, скоріше за все, ведуть і до формування мікобіоти урбанізованих систем цих міст. Недоліками цих способів є необхідність збору дикорослих плодових тіл певних базидіоміцетів на визначених територіях чи культивування їх у лабораторних умовах.

Отже, вищі базидіоміцети та їх фізико-хімічні показники можуть бути застосовані як індикатори стану довкілля чи наявності певних полютантів у середовищі, що аналізується. Цікавим є використання отриманих результатів у біотестуванні довкілля з використанням новітніх методів і приладів з фіксацією хемілюмінесценції, оскільки реакції вільних радикалів супроводжуються слабким світінням [1, 5, 24].

Як відомо, хемілюмінесценцією (ХЛ) називається світіння, що супроводжує деякі біохімічні реакції. Клітини і тканини організмів зазвичай випромінюють надслабке світло в процесі своєї життєдіяльності [1]. Це власне світіння клітин і тканин зумовлене, в основному, реакціями з участю вільних радикалів. Низька інтенсивність цього світіння може бути посилена в присутності певних сполук, які називають активаторами чи підсилювачами (*enhancer*) хемілюмінесценції. За механізмом дії активатори розподіляють на дві чітко

розмежовані групи – хімічні і фізичні [5].

Хімічні активатори хемілюмінесценції (хромофори) – це сполуки, що вступають в хімічні реакції з активними формами кисню або органічними вільними радикалами, в ході яких утворюються молекули продуктів у збудженому електронному стані. Спостережуване при цьому світіння пов'язане з переходом молекул до основного стану, що приводить до висвічування фотонів:

$$R + A \rightarrow P_A^* \rightarrow P_A ,$$

де R – радикал, A – хімічний активатор, P – відповідальний за хемілюмінесценцію продукт перетворення молекули активатора в збудженому (P_A^*) і основному (P_A) електронних станах [5].

Добре відомі хемілюмінесцентні індикатори – люмінол (5-аміно-1,2,3,4-тетрагідро-1,4-фталазиндіон або гідразид 3-амінофталевої кислоти) і люцигенін (динітрат 10,10′-диметил-9,9′-діакридинію).

Хемілюмінесцентні індикатори під час участі у хемілюмінесцентних реакціях піддаються незворотному окисненню і не регенеруються. Тому їх назва є дещо умовною, відрізняється від назви *індикатор* у традиційному розумінні цього слова. Хемілюмінесцентні реакції індикаторів є окисно-відновними реакціями, механізм яких складний і для більшості систем дотепер залишається недостатньо вивченим.

Люмінол у кислих та нейтральних середовищах при опроміненні УФ-світлом спричиняє флуоресценцію ($\lambda_{збуд}$=350нм, $\lambda_{макс}$=450нм), у лужному середовищі в присутності окисників – блакитну хемілюмінесценцію ($\lambda_{макс}$=425нм) (рис. 1). Під дією окисника (у даному випадку радикала гідроксилу) відбувається утворення радикала люмінолу, який потім вступає в реакцію з надоксидним аніон-радикалом оксигену OO^-, утворюючи внутрішній (трансануляний) пероксид (діоксид). Його розкладення приводить до утворення збудженої молекули 3-амінофталату. Перехід цієї молекули до основного стану супроводжується випромінюванням кванта світла.

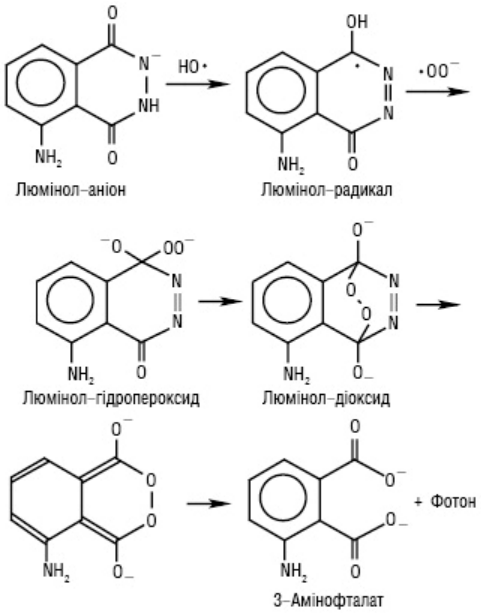


Рис. 1. Хемілюмінесцентне окиснення люмінолу [5].

Люмінол – хемілюмінесцентний індикатор при кислотно-основному, окисно-відновному (броматометрія тощо) та комплексонометричному титруванні. Застосовують для хемілюмінесцентного визначення мікрокількостей H_2O_2, активних форм оксигену (зокрема OH, OO^-), $K_3[Fe(CN)_6]$, $S_2O_8^{2-}$, ClO^-, $KMnO_4$, Cl_2, Br_2, гемоглобіну крові, Cu(II), Co(II), Ni(II),

Fe(III), Mn(II), Cr(III), Ag(I), Ti(IV), Zr(IV), Ce(IV), V(V), Sb(V), платинових металів, а також органічних сполук 8-оксихіноліну, фенілендіамінів, фенолів, катехоламінів, флавоноїдів, аскорбінової кислоти, похідних фосфонової та фосфатної кислот (пестициди, інсектициди, фосфоровмісні бойові хімічні отруйні речовини) з нижньою межею від 0,5 нг до 0,1мкг до мл кінцевого об'єму.

Люцигенін дає зеленувато-блакитне світіння ($\lambda_{макс}$=479нм) лише в присутності гідроген пероксиду і/або OO^-. У лужному середовищі сильні відновники-нуклеофіли, такі, як гідразин, диметилгідразин, аскорбінова кислота, цистеїн, N-ацетилцистеїн, солі Fe(II), S^{2-}, SO_3^{2-}, SnO_2^{2-}, NH_2OH, Cr(II) тощо, викликають яскраву хемілюмінесценцію в присутності в розчині оксигену повітря. За оптимальних умов цей процес є найбільш ефективним серед неферментних хемілюмінесцентних реакцій, відомих на сьогодні.

Естери акридинію та 9-ціано-10-метилакридинію нітрат (ЦМА) також вступають у високоефективні реакції з H_2O_2, даючи акридон (рис. 2, 3). В усіх вказаних реакціях утворюється проміжна сполука одного типу, а саме: лабільний заміщений 1,2-діоксетан. Вилученню світла передує узгоджене розщеплення декількох спряжених подвійних зв'язків цього ключового інтермедіату, а потім відбувається утворення збуджених молекул N-метилакридону – емітера хемілюмінесценції (див. рис. 2).

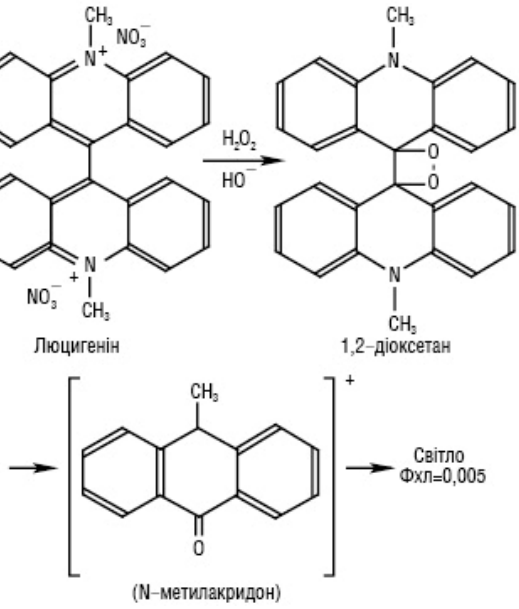


Рис. 2. Окиснення люцигеніну [5].

Хемілюмінесцентні індикатори можуть бути використані при багатьох pH та реакціях окиснення-відновлення. У випадку pH їх дія ґрунтується на виникненні або зникненні окисно-відновної реакції, яка супроводжується хемілюмінесценцією при досягненні певного значення pH розчину в процесі титрування. Хемілюмінесцентні індикатори придатні для визначення вмісту кислот у темнозабарвлених винах, жирах та маслах, для аргентометричного визначення йодидів, для коплексонометричного визначення іонів купруму (II) та інших металів, при хроматографічному визначенні іонів плюмбуму (IV). Суміш люмінолу з флуоресцеїном у присутності гідроген пероксиду використовують для титрування слабких і сильних кислот та лугів за відсутності в них карбонатів. У реакціях люцигеніну з біологічними відновниками (аскорбінова кислота, глюкоза, фруктоза) та гідроген пероксидом, а також люмінолу з гідроген пероксидом уведення катіонних ПАР збільшує інтенсивність хемілюмінесценції на порядок.

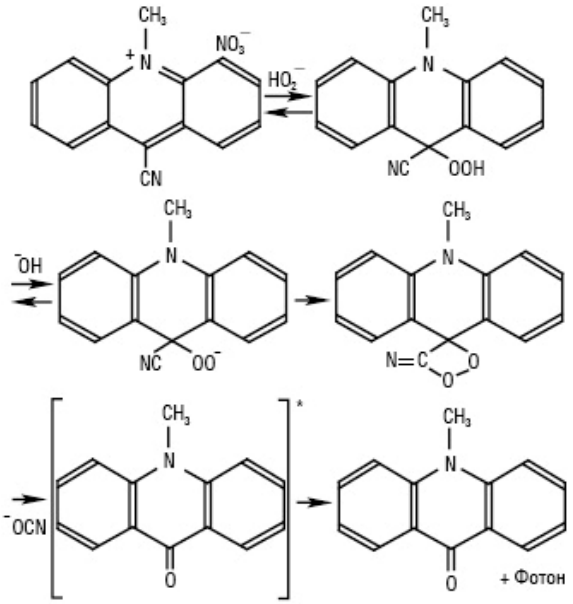


Рис. 3. Окиснення нітрату 9-ціано-10-метилакридинію (ЦМА) [5].

Відомі й інші хемілюмінесцентні індикатори: лофін (2,4,5-трифенілімідазолу) і деякі сполуки, близькі за структурою та силоксен.

Унаслідок пошуку хемілюмінесцентних індикаторів більш вибіркових, ніж люмінол, у 1977 р. запропоновано використовувати галову кислоту. При окисненні галової кислоти гідрогенпероксидом у лужному середовищі спостерігається світіння у двох спектральних діапазонах – інтенсивна смуга при 643 нм і більш слабка при 478 нм. Цінною властивістю реакцій за участю цього індикатора є те, що на відміну від інших хемілюмінесцентних систем на випромінювання впливає дуже невелика кількість неорганічних речовин, хоча чутливість у цих випадках дещо нижча [5].

Фізичні активатори не вступають в хімічні реакції і не впливають на хід реакцій, що супроводжуються світінням, але, тим не менше, в багато разів посилюють інтенсивність хемілюмінесценції. В основі їх дії лежить фізичний процес переносу (міграції) енергії з молекули продукту хемілюмінесцентної реакції на активатор:

$$R \rightarrow P_A^* \rightarrow P + \text{фотон 1 (неактивована ХЛ)},$$

$$P_A^* + A \rightarrow P_A + A^* \text{ (перенос енергії)},$$

$$A^* \rightarrow A + \text{фотон 2 (активована ХЛ)}.$$

Інтенсивність світіння при реакціях хемілюмінесценції ($I_{хл}$) залежить від трьох параметрів: швидкості хімічної реакції, яка супроводжується світінням ($u_{хл}$), ймовірності утворення молекули продукту в електронно-збудженому стані (квантовим виходом збудження, η_{exc}) та ймовірності висвічування фотона при переході збудженої молекули продукту до основного стану (квантовий вихід люмінесценції, η_{lum}) [5]:

$$I_{хл} = u_{хл} \text{ і } \eta_{exc} \text{ і } \eta_{lum}$$

Хімічні активатори світіння по суті направляють реакції вільних радикалів до нового стану, оскільки реагують з радикалами з утворенням збуджених молекул продуктів цієї реакції. Світіння при цьому має високу інтенсивність, оскільки всі три співмножники в рівнянні в цих реакціях досить великі.

Фізичні активатори хемілюмінесценції (в англомовній літературі звані сенсибілізатор –

sensitizers) не впливають на хід хімічних реакцій і збільшують інтенсивність люмінесценції за рахунок фізичного процесу перенесення енергії на молекулу активатора, яка володіє високим квантовим виходом люмінесценції. Іншими словами, вони збільшують тільки величину квантового виходу випускання фотона збудженою молекулою продукту (η_{lum}).

Як зазначалось, у звичайних реакціях вільних радикалів ця величина досить мала, всього десяті або навіть соті частки відсотка, від чого й сама неактивована хемілюмінесценція має дуже низьку інтенсивність. Але якщо всі молекули продукту передадуть енергію електронного порушення на молекули активатора, то інтенсивність світіння буде визначатися вже квантовим виходом люмінесценції активатора, який в ідеалі наближається до одиниці. Інтенсивність світіння збільшується при цьому на 3-4 порядки.

До фізичних активаторів можна віднести деякі люмінесцентні сполуки, застосовувані для посилення ХЛ при ланцюговому окисленні ліпідів. Справа в тому, що, незважаючи на корисність одержуваної інформації, вимір цієї хемілюмінесценції поки ще не став рутинним лабораторним методом значною мірою через її низьку інтенсивність. Тому ведеться пошук речовин, що підсилюють ліпідну ХЛ. Виявилося, що деякі барвники та комплекси рідкоземельних елементів мають здатність багаторазово посилювати інтенсивність такої хемілюмінесценції [5].

Найефективнішим активатором виявилася речовина – похідне кумарину під назвою С-525 (рис. 4), яке посилює хемілюмінесценцію, супроводжуючу ланцюгове окиснення ліпідів більш ніж в 1500 разів, ніяк не впливаючи при цьому на ХЛ при взаємодії радикалів кисню (гідроксилу і супероксиду).

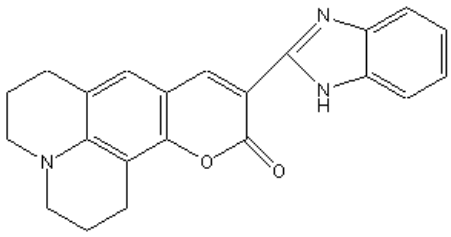


Рис. 4. Кумарин С-525.

У разі ланцюгового окислення ліпідів утворюються збуджені молекули кетону (L=O)*. У присутності кумаринів відбувається перенесення енергії на цю яскраво люмінесціюючу сполуку, при цьому інтенсивність хемілюмінесценції різко зростає:

$$LOO^{\bullet} + LOO^{\bullet} \rightarrow LOH + L{=}O^{*} + O_2,$$

$$L{=}O^{*} \rightarrow L{=}O + h\nu_1 \text{ (слабке світіння; } \eta_{lum} = 10^{-4}),$$

$$L{=}O^{*} + A \rightarrow L{=}O + A^{*} \text{ (переніс енергії)},$$

$$A^{*}\ A + h\nu_A \text{ (яскраве світіння; } \eta_{lum} = 10^{-1}).$$

Описані методи хемілюмінесцентного аналізу [1, 5, 24] дають змогу вимірювати рівень вільних радикалів, оцінювати параметри антиоксидантного захисту та впливу антиоксидантів. Виявлені механізми та хімічні сполуки – підсилювачі хемілюмінесценції можуть знайти широке використання в біохімічному аналізі при вивченні здатності біологічного матеріалу розкладати перекис водню з утворенням радикалів, різноманітних патологічних станів організмів та впливів на них факторів довкілля.

Висновки

Фізико-хімічні показники базидіальних грибів можуть бути використані в системі індикації стану довкілля чи наявності певних полютантів у середовищі, що аналізується. Використання в біотестуванні довкілля новітніх методів і приладів з фіксацією хемілюмінесценції є перспективним напрямком дослідження, оскільки реакції вільних радикалів і антиоксидантного захисту в живих системах, інтенсивність яких змінюється під впливом різноманітних факторів, супроводжуються слабким світінням.

Список літератури

1. *Бабко А. К.* Хемилюминесцентный анализ / А. К. Бабко, Л. И. Дубовенко, Н. М. Луковская. – К.: Техніка, 1966. – 250 с.

2. Биомодификатор для определения фенола и его производных / Цивилева О. М., Никитина В. Е., Кучменко Т. А., Силина Ю. Е. // Патент 2346051 Россия МПК 7 C12Q 1/00, Ин-т биохимии и физиол. растений и микрооганизмов РАН № 20071106772/13; заявл. 26.02.07; опубл. 10.02.09 // Бюл. № 4.

3. Биосорбент для очистки водоемов от нефтепродуктов на основе бактерий и дрожжевых грибов / Хабибуллина Ф. М., Арчегова И. Б., Ибатуллина И. З. и др. // Патент 2318736 Россия МПК 7 C02F 3/34, Ин-т биологии КНЦ УрО РАН № 2006104082/13, заявл. 10.02.06; опубл. 10.03.08. // Бюл. № 4.

4. *Бисько Н. А.* Высшие съедобные базидиомицеты в поверхностной и глубинной культуре / Н. А. Бисько, А. С. Бухало, С. П. Вассер, Дудка И. А. – К.: Наук. думка, 1983. – 312 с.

5. *Владимиров Ю. А.* Активированная хемилюминесценция и биолюминесценция как инструмент в медико-биологических исследованиях // Соросовский образовательный журнал. – 2001. – Т. 7, № 1. – С. 16–23.

6. *Глазко В. И.* Введение в генетику: биоинформатика, ДНК-технология, генная терапия, ДНК-экология, протеомика, метаболика / В. И. Глазко, Г. В. Глазко. – К.: КВІЦ, 2003. – 640 с.

7. *Горова А. І.* Цитогенетичний моніторинг довкілля та здоров'я людини / А. І. Горова, Т. В. Скворцова, І. І. Клімкіна та ін. // Вісн. Укр. тов-ва генетиків і селекціонерів. – 2005. – Т. 3, № 1-2. – С. 36–47.

8. *Гродзинська Г. А.* Макроміцети – біоіндикатори забруднення радіоцезієм лісових екосистем України / Г. А. Гродзинська, С. О. Сирчин, М. Д. Кучма, В. В. Коніщук // Вісник НАН України. – 2008. – № 9. – С. 26–37.

9. *Дудка І. О.* Мікологічний моніторинг як засіб оцінки і прогнозування фітосанітарного стану лісових екосистем / І. О. Дудка, Т. О. Мережко, В. П. Гайова // Укр. ботан. журн. – 1994. – Т. 51, № 6. – С. 53–59.

10. *Дяченко А. І.* Перспективи використання фітопатогенних мікроміцетів як тест-об’єктів для моніторингу стану навколишнього середовища / А. І. Дяченко, М. І. Гуща, Ю. В. Шиліна // Наукові праці ІКБГІ. – 2008. – Т. 53, вип. 40. – С. 65–69.

11. *Иванова А. Е.* Влияние экологических факторов на способность к росту фрагментов мицелия и прорастания спор микроскопических грибов // Микробиология. – 2001. – Т. 70, № 2. – С. 235–240.

12. *Марфенина О. Е.* Антропогенная экология почвенных грибов / О. Е. Марфенина. – М.: Медицина для всех, 2005. – 196 с.

13. *Мелехова О. П.* Биологический контроль окружающей среды. Биоиндикация и биотестирование: учеб. пособие / О. П. Мелехова, Е. И. Сарапульцева, Т. И. Евсеева – М.: Академия, 2007. – 287 с.

14. Мутационный процесс у грибов / И. А. Захаров, С. В. Ковальцова, Т. Н. Кожина и др. – Л.: Наука, 1980. – 222 с.

15. *Приседський Ю. Г.* Статистична обробка результатів біологічних експериментів / Ю. Г. Приседський. – Донецьк: Кассиопея, 1999. – 210 с.

16. Спосіб біотестування забруднення навколишнього середовища полютантами з використанням грибів / Сухомлин М. М., Куткова О. В. // Патент 41752 Україна МПК (2009) A01H 15/00, A01G 7/00, Київський нац. ун-т ім. Т. Шевченка, № u200814059; заявл. 05.12.08; опубл. 10.06.09 // Бюл. № 11.

17. Спосіб визначення стресового стану базидіоміцетів та екологічного стану місця їх зростання / Федотов О. В. // Патент 6372 Україна МПК (2005) 7A01G7/00, A01H3/00, Донецький нац. ун-т, № 20040605160, заявл. 29.06.2004, опубл. 16.05.2005 // Бюл. № 5.

18. Спосіб визначення стресового стану базидіоміцетів та екологічного стану місця їх зростання за рівнем каталазної активності / Федотов О. В. // Патент 26736 Україна МПК (2006), A01H15/00, Донецький нац. ун-т, № u200703598, заявл. 02.04.2007, опубл. 10.10.2007 // Бюл. № 16.

19. Спосіб визначення стресового стану базидіоміцетів та екологічного стану місця їх зростання за вмістом продуктів перекисного окиснення ліпідів / Федотов О. В. // Патент 12384 Україна МПК A01G 7/00, C30B 28/00, C04B 35/00, A01H 3/00, Донецький нац. ун-т, № u200504732; заявл. 20.05.2005; опубл. 15.02.2006 // Бюл. № 2.

20. Спосіб мікотестування забруднення навколишнього середовища фенолом / Федотов О. В., Перцевой М. С. // Патент 57945 Україна МПК (2011.01), A01G7/00, A01H15/00, Донецький нац. ун-т, № u201009019, заявл. 19.07.2010, опубл. 25.03.2011 // Бюл. № 6.

21. *Терехова В. А.* Микотестирование химических воздействий / В. А. Терехова // Матер. II Съезда микологов России. Современная микология в России. – М.: Нац. акад. микологии, 2008. – Т. 2. – С. 106–108.

22. *Терехова В. А.* Микромицеты в экологической оценке водных и наземных экосистем / В. А. Терехова. – М.: Наука, 2007. – 216 с.

23. *Щеглов А. И.* Грибы – биоиндикаторы техногенного загрязнения / А. И. Щеглов, О. Б. Цветнова // Природа. – 2002. – № 11. – С. 13–16.

24. Chemiluminescence in analytical chemistry / Ed. by Ana M. Garcia-Campaňa. – New York; Basel, 2001. – XIV. – 621 p.

25. International bioindicators. International Conference on Environmental bioindicators. – Praha, 2005.

Федотов О. В. **Физико-химические показатели микологических объектов в биоиндикации окружающей среды.** – Изучались процессы перекисного окисления липидов и активность антиоксидантных ферментов базидиомицетов при действии факторов культивирования. Установлено, что физико-химические показатели базидиомицетов могут быть использованы в системе индикации состояния окружающей среды или наличия определенных поллютантов в анализируемой среде. Перспективным направлением является использование в биотестировании среды новейших методов и приборов с фиксацией хемилюминесценции, поскольку реакции свободных радикалов и антиоксидантной защиты в живых системах, интенсивность которых меняется под влиянием различных факторов, сопровождаются слабым свечением.

Ключевые слова: перекисное окисление липидов, активность антиоксидантных ферментов, базидиомицеты, биоиндикация.

Fedotov O. V. **Physical and chemical indexes of mycological in bioindication of environment.** – The processes of lipid peroxidation and the activity of antioxidant enzymes of basidiomycetes under the of cultivation was studied. The physical and chemical parameters of basidiomycetes can be used in the environmental indicator system or to determined certain pollutants in analyzable environment were established. Perspective direction is the use the newest environmental biotesting methods and the instruments for the fixation of chemiluminescence as the reaction of free radicals and antioxidatic protection in live system attended by weak luminescence.

Key words: processes of lipid peroxidation, activity of antioxidant enzymes, basidiomycetes, bioindication.

УДК 632.15 : 504.054

© О. В. Хромих

ВПЛИВ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТУ КОБАЛЬТОМ ТА МАРГАНЦЕМ НА РОСТОВІ ПОКАЗНИКИ ДЕЯКИХ ВИДІВ КВІТКОВО-ДЕКОРАТИВНИХ РОСЛИН

Донецький національний університет; 83050, м. Донецьк, вул. Щорса, 46
e-mail: hromyh82@mail.ru

Хромих О. В. **Вплив забруднення ґрунту кобальтом та марганцем на ростові показники деяких видів квітково-декоративних рослин**. – Досліджували вплив забруднення ґрунту кобальтом та марганцем на морфометричні показники десяти видів квіткових декоративних рослин. Обидва метали викликали зниження біомаси проростків, пригнічували ростові процеси надземної частини і коренів. Рослини неоднозначно реагували на різні концентрації забруднювачів. Реакція рослин залежала від металу, його концентрації і видової специфіки виду.

Ключові слова: кобальт, марганець, стрес, морфометричні показники.

Вступ

Важкі метали за темпами їх надходження до біосфери та рівнем токсичності, порівняно з іншими інгредієнтами промислових викидів, становлять найбільшу загрозу для середовища [2]. В індустріальних центрах України найбільшого негативного впливу зазнають рослини, які ростуть безпосередньо на майданчиках промислових підприємств та на незначній відстані від джерел забруднення. Встановлено, що під впливом важких металів у рослинах відбувається не тільки пригнічення ростових процесів, але і порушення біосинтезу білків, їх денатурація, зниження активності ряду ферментів, зменшення концентрації хлорофілів, пошкодження мембран, порушення транспорту води та транспірації [12]. Тому в основі підбору рослин для озеленення промислових регіонів, поряд з еколого-біологічними властивостями рослин, велика увага повинна приділятися їх толерантності до дії токсикантів.

Значна кількість літературних джерел присвячена результатам вивчення деревних рослин в умовах техногенного забруднення [1, 3, 4, 16]. Було встановлено, що деревні та чагарникові рослини по-різному реагують на дію важких металів. Так, *B. pendula, A. platanoides* і *S. vulgaris* віднесені до нестійких, а *L. vulgare* та *R. pseudoacacia* – відносно стійких видів [2]. Численні роботи присвячені вивченню впливу важких металів на сільськогосподарські культури рослин. Так, В. В. Таланова та ін. [14, 15] вивчали вплив іонів свинцю та кадмію на накопичення біомаси проростками огірка (*Cucumis sativus* L.), ячменя (*Hordeum vulgare* L.), пшениці (*Triticum aestivum* L.) та з'ясували, що рівень стійкості рослин залежить від видових особливостей рослин, а також від механізму дії токсикантів (концентрації металів та тривалості інкубації).

В. Б. Іванов та ін. [3] вивчали токсичну дію важких металів на пригнічення приросту кореня за першу, другу та третю добу після початку інкубації, на зміни довжини зони бічних коренів та час розвитку бічних коренів та встановили, що довжина зони бічних коренів при дії важких металів зменшувалась в залежності від концентрації полютантів.

У своїх дослідженнях впливу надлишку міді, цинку, молібдену та свинцю в поживному середовищі на ростові показники пшениці та квасолі (*Phaseolus vulgaris* L.) О. І. Левчик та ін. [5] з'ясували, що на надлишок важких металів рослини можуть реагувати або пригніченням розвитку (відсутність третього і затримка розгортання другого листка в пшениці та гальмування виходу листка із сім’ядолі у квасолі), або стимуляцією розвитку (потовщення конуса наростання) залежно від металу та його концентрації. При визначенні ступеню чутливості рослин до негативного впливу важких металів ефективно можуть використовуватись ряд показників: індекси толерантності та пригнічення росту, кореневий індекс. Найбільш інформативними показниками токсичного впливу надлишкових концентрацій важких металів на рослини є зниження інтенсивності ростових процесів і зменшення біомаси. Проте недостатня увага приділена квітково-декоративним рослинам, у той час як вони є невід'ємними компонентами озеленення промислових підприємств. Тому

нами були проведені досліди з вивчення впливу комплексної дії кобальту та марганцю на ростові показники та накопичення біомаси десятьма видами квітково-декоративних рослин.

Матеріали та методи дослідження

Як об'єкт дослідження при проведенні експерименту були використані проростки квітково-декоративних рослин: кукіль звичайний (*Agrostemma githago*), фацелія пижмолиста (*Phacelia tanacetifolia*), льон звичайний (*Linum usitatissimum*), лутига садова (*Atriplex hortense* L.), нагідки лікарські (*Calendula officinalis*), чорнобривці прямостоячі (*Tagetes erectus* L.), жоржина звичайна (*Dahlia variabilis* Desf.), космея рожева (*Cosmos sulphureus* Cav.), агератум Гаустона (*Ageratum houstonianum* cv. Bule Lagoon), сілєна рожева (*Silene coeli rosa*).

Дослідження впливу забруднення ґрунту кобальтом та марганцем на квітково-декоративні рослини проводили за схемою повного двофакторного п'ятирівневого експерименту. В якості забруднювачів використовувались сульфат кобальту та сульфат марганцю в перерахунку на кількість іонів кобальту та марганцю у концентраціях 0,5 ГДК, 1ГДК, 1,5 ГДК та 2 ГДК, відповідно.

Насіння рослин пророщували відповідно до їх особливостей. Після утворення головного кореня довжиною близько 1 см проростки висаджувались у посудини з ґрунтом, у які вносилися забруднювачі. Вирощування проводили протягом тридцяти днів за освітленості 12000 люкс, тривалості світлового дня 14 годин, температурі 20-22°С і вологості ґрунту близько 70% повної вологості. У кожну посудину примішували по 350 г ґрунту, просіяного через ґрунтове сито з діаметром отворів 3 мм, у який попередньо вносили сульфат кобальту та марганцю відповідно до схеми планування експерименту. Кількість солей розраховували за стехіометричними співвідношеннями кобальту та марганцю в молекулах сульфату кобальту та сульфату марганцю відповідно.

Під час зняття досліду в проростків вимірювали довжину надземної частини, довжину коренів, сиру і суху маса. Усі виміри проводили в 3-9-кратній повторності. Отримані дані піддавали математичній обробці за методом двофакторного дисперсійного аналізу. Порівняння середніх здійснювалося за методом Даннета. Розрахунки проводили з використанням ПОМ за допомогою спеціально розробленої програми [10, 11].

Результати та обговорення

У наших дослідах довжина кореня та надземної частини вивчених видів рослин залежить від іонів важкого металу, його концентрації та видової специфіки рослин. Аналіз впливу забруднювачів на ріст проростків квіткових декоративних рослин свідчить про значний негативний вплив забруднення ґрунту марганцем на ростові процеси надземної частини і кореня деяких вивчених видів рослин. Так, при забрудненні ґрунту сполуками марганцю (концентрація Mn 1,5 г/кг ґрунту) у проростків *C. officinalis, D. variabilis, S. coeli rosa* спостерігалось значне пригнічення росту коренів на 14-17% порівняно з контрольними рослинами. За концентрації марганцю у 3 г/кг гнітюча дія полютанту підсилюється. Візуально пригнічення ростових процесів виражалось у некрозах листків, зменшенні площі листової пластини та гальмуванні розвитку надземної частини рослин. У найбільш чутливого до забруднення ґрунту важкими металами виду *C. officinalis* спостерігалось побуріння листків при забрудненні ґрунту марганцем (рис. 1). Ця реакція є прикладом проявів чутливості до надлишку сполук марганцю у ґрунті [17]. Менш чутливими до негативного впливу іонів марганцю є проростки *T. erectus, P. tanacetifolia* та *A. githago.* Внесення в ґрунт сполук марганцю в невеликих кількостях активує ростові процеси як наземної частини, так і кореня цих видів рослин на 13-25% у порівнянні з контролем. Хоча при більш високих концентраціях іонів марганцю спостерігалось незначне гальмування росту кореня та стебла.

На ростові показники проростків *L. usitatissimum, A. hortense* та *A. houstonianum* cv. Bule Lagoon внесення в середовище проростання сполук марганцю не впливало, а в деяких варіантах ростові процеси активувалися на 6-11% у порівнянні з рослинами, які вирощувалися на незабрудненому ґрунті.

Внесення в ґрунт сполук кобальту не пригнічувало ростові процеси проростків майже всіх вивчених видів рослин, а у варіантах незначного забруднення іонами кобальту (варіанти 2, 3) довжина кореня та стебла або практично не відрізнялася від контролю, або простежувалося активування ростових процесів на 10-21% у порівнянні з контролем (табл. 1). Винятком є проростки *D. variabilis* та *S. coeli rosa,* у яких знижувався ріст кореня та стебла, особливо за високих концентрацій полютанту (варіанти 3, 4) на 17,4-26%.

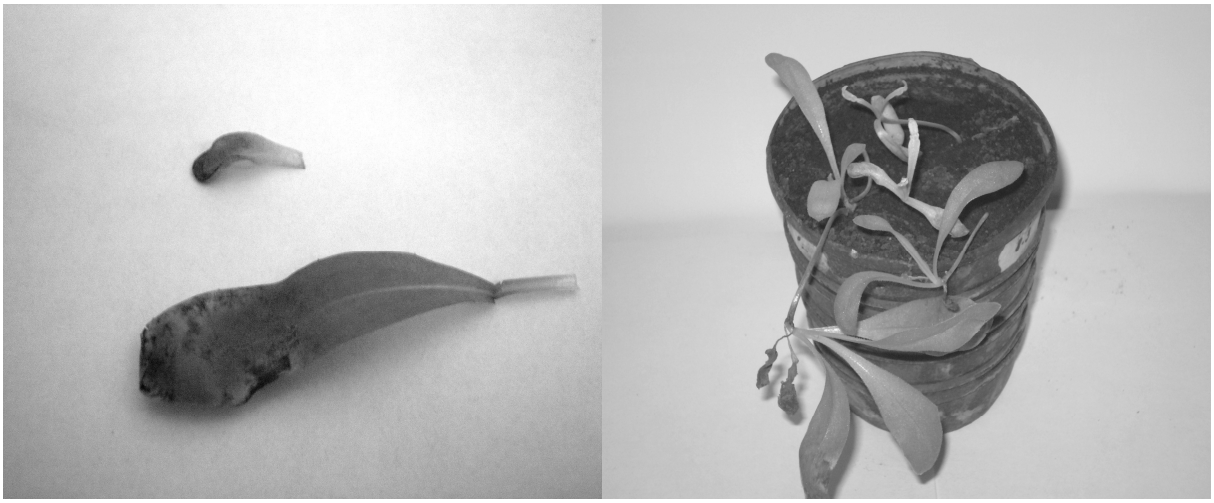


Рис. 1. Реакція відповіді проростків *Calendula officinalis* на надлишок у ґрунті важких металів.

Внесення в ґрунт комплексу забруднювачів чинило значний гнітючий ефект на ростові процеси як кореня, так і стебла всіх вивчених видів рослин, особливо за високих концентрацій іонів важких металів.

Таблиця 1

Вплив забруднення ґрунту на ростові показники квітково-декоративних рослин

Варіанти забруднення	Довжина надземної частини, см			Довжина кореня, см		
	M±m	D	D^D	M±m	D	D^D
Atriplex hortense L.						
1	8,092±0,263	-	-	4,533±0,355	-	-
2	7,558±0,345	-0,534	1,168	3,075±0,222	-1,458	1,321
3	7,358±0,525	-0,734	1,168	4,300±0,336	-0,233	1,321
4	8,892±0,248	0,800	1,168	4,025±0,547	-0,508	1,321
5	8,483±0,432	0,391	1,168	2,958±0,420	-1,575	1,321
6	8,600±0,192	0,508	1,168	3,117±0,292	-1,416	1,321
7	8,258±0,389	0,166	1,168	3,317±0,385	-1,216	1,321
8	8,367±0,280	0,275	1,168	3,125±0,264	-1,408	1,321
9	8,125±0,209	0,033	1,168	3,608±0,505	-0,925	1,321
10	8,542±0,288	0,450	1,168	3,183±0,271	-1,350	1,321
11	8,275±0,426	0,183	1,168	2,867±0,359	-1,666	1,321
12	8,600±0,284	0,508	1,168	2,817±0,314	-1,716	1,321
13	8,708±0,337	0,617	1,168	4,542±0,360	0,009	1,321
14	8,683±0,228	0,591	1,168	2,933±0,369	-1,600	1,321
15	8,517±0,368	0,425	1,168	3,508±0,626	-1,025	1,321
16	8,500±0,293	0,408	1,168	2,092±0,169	-2,441	1,321
17	8,483±0,348	0,391	1,168	3,058±0,379	-1,475	1,321
18	8,300±0,283	0,208	1,168	3,008±0,261	-1,525	1,321
19	7,575±0,344	-0,517	1,168	2,717±0,201	-1,816	1,321

Варіанти забруднення	Довжина надземної частини, см			Довжина кореня, см		
	M±m	D	D^D	M±m	D	D^D
20	8,600±0,351	0,508	1,168	3,183±0,558	-1,350	1,321
21	8,275±0,287	0,183	1,168	3,492±0,573	-1,041	1,321
22	7,067±0,270	-1,025	1,168	2,933±0,328	-1,600	1,321
23	7,642±0,334	-0,450	1,168	3,608±0,441	-0,925	1,321
24	6,758±0,450	-1,334	1,168	2,275±0,341	-2,258	1,321
25	7,667±0,157	-0,425	1,168	1,958±0,273	-2,575	1,321
Linum usitatissimum						
1	15,887±0,261	-	-	6,673±0,567	-	-
2	16,180±0,293	0,293	1,640	6,113±0,398	-0,560	1,247
3	16,287±0,385	0,400	1,640	3,700±0,376	-2,973	1,247
4	15,620±0,426	-0,267	1,640	4,100±0,452	-2,573	1,247
5	15,867±0,318	-0,020	1,640	3,713±0,382	-2,960	1,247
6	17,673±0,338	1,786	1,640	4,667±0,453	-2,006	1,247
7	18,447±0,397	2,560	1,640	4,073±0,305	-2,600	1,247
8	16,887±0,602	1,00	1,640	3,700±0,330	-2,973	1,247
9	18,047±0,167	2,160	1,640	5,200±0,436	-1,473	1,247
10	19,280±0,206	3,393	1,640	4,813±0,512	-1,860	1,247
11	15,887±0,688	0	1,640	4,193±0,294	-2,480	1,247
12	16,833±0,368	0,996	1,640	3,673±0,419	-3,00	1,247
13	16,767±0,270	0,880	1,640	4,740±0,457	-1,933	1,247
14	15,553±0,393	-0,354	1,640	4,413±0,411	-2,260	1,247
15	15,760±0,478	-0,127	1,640	3,660±0,394	-3,013	1,247
16	17,013±0,567	1,126	1,640	4,453±0,475	-2,220	1,247
17	17,753±0,203	1,866	1,640	5,027±0,420	-1,646	1,247
18	16,660±0,834	0,773	1,640	4,507±0,254	-2,166	1,247
19	16,667±0,388	0,780	1,640	4,753±0,447	-1,920	1,247
20	15,507±0,485	-0,380	1,640	4,300±0,356	-2,373	1,247
21	18,220±0,352	2,333	1,640	3,713±0,270	-2,960	1,247
22	17,340±0,467	1,453	1,640	3,593±0,327	-2,720	1,247
23	16,687±0,632	0,800	1,640	3,860±0,457	-2,813	1,247
24	15,813±0,634	-0,074	1,640	3,033±0,375	-3,640	1,247
25	17,267±0,559	1,380	1,640	4,540±0,527	-2,133	1,247
Calendula officinalis						
1	3,275±0,235	-	-	6,292±0,332	-	-
2	2,817±0,146	-0,458	0,631	5,167±0,379	-1,125	1,623
3	2,900±0,192	-0,375	0,651	6,975±0,263	0,683	1,556
4	2,817±0,199	-0,458	0,651	5,442±0,444	-0,850	1,695
5	2,817±0,126	-0,458	0,651	6,633±0,355	0,341	1,695
6	3,083±0,196	-0,192	0,651	5,475±0,600	-0,817	0,679
7	2,742±0,151	-0,533	0,651	6,625±0,449	0,333	1,504
8	3,042±0,225	-0,233	0,651	5,158±0,318	-1,134	1,695
9	2,967±0,170	-0,308	0,651	4,692±0,474	-1,600	1,592
10	3,150±0,184	-0,125	0,548	4,033±0,418	-2,259	1,695
11	2,517±0,183	-0,758	0,651	5,767±0,726	-0,525	1,623
12	2,625±0,156	-0,650	0,645	4,083±0,765	-2,209	1,695
13	2,508±0,235	-0,767	0,651	6,925±0,476	0,633	1,592
14	2,775±0,167	-0,500	0,577	5,050±0,829	-1,242	1,504
15	3,533±0,205	0,258	0,651	6,450±0,641	0,158	1,695

Варіанти забруднення	Довжина надземної частини, см			Довжина кореня, см		
	M±m	D	D^D	M±m	D	D^D
16	2,767±0,254	-0,508	0,651	5,067±0,676	-1,225	1,643
17	2,892±0,180	-0,383	0,651	5,567±0,499	-0,725	1,695
18	3,192±0,222	-0,083	0,651	5,858±0,429	-0,434	1,695
19	2,858±0,219	-0,417	0,651	4,267±0,686	-2,025	1,695
20	3,175±0,197	-0,100	0,651	5,333±0,385	-0,959	1,695
21	2,533±0,259	-0,742	0,651	4,492±0,421	-1,800	1,556
22	3,267±0,256	-0,008	0,611	2,425±0,349	-3,867	1,695
23	2,883±0,365	-0,392	0,577	2,775±0,653	-3,517	1,427
24	2,867±0,216	-0,408	0,597	4,517±0,644	-1,775	1,664
25	2,692±0,290	-0,583	0,651	3,750±0,694	-2,542	1,695
Phacelia tanacetifolia						
1	8,48±0,945	-	-	4,842±0,712	-	-
2	7,48±0,714	-1	2,59	3,633±0,418	-1,209	1,661
3	7,11±1,219	-,137	2,59	3,758±0,707	-1,084	1,661
4	7,63±0,772	-0,85	2,59	4,925±0,465	0,083	1,661
5	10,55±0,961	2,07	2,59	3,633±0,366	-1,209	1,661
6	8,48±1,223	0	2,59	4,242±0,491	-0,600	1,661
7	8,02±0,710	-0,46	2,59	3,967±0,436	-0,875	1,661
8	7,93±0,534	-0,55	2,59	4,692±0,461	-0,150	1,661
9	8,13±1,049	-0,35	2,59	4,308±0,539	-0,534	1,661
10	7,32±0,263	-1,16	2,59	0,925±0,181	-3,917	1,661
11	8,07±0,718	-0,41	2,59	3,700±0,440	-1,142	1,661
12	4,83±0,602	-3,65	2,59	2,825±0,444	-2,017	1,661
13	7,9±0,742	-0,58	2,59	4,792±0,626	-0,050	1,661
14	7,93±0,742	-0,55	2,59	4,442±0,527	-0,400	1,661
15	4,38±0,492	-4,1	2,59	3,517±0,781	-1,325	1,661
16	7,44±0,731	-1,04	2,59	2,808±0,560	-2,034	1,661
17	7,65±0,523	-0,83	2,59	3,600±0,476	-1,242	1,661
18	5,99±0,677	0,45	2,59	3,525±0,443	-1,317	1,661
19	8,93±0,932	0,45	2,59	4,158±0,582	-0,684	1,661
20	5,69±0,629	-2,79	2,59	2,583±0,403	-2,259	1,661
21	6,33±0,441	-2,15	2,59	3,442±0,418	-1,400	1,661
22	4,48±0,352	-4	2,59	2,217±0,465	-2,625	1,661
23	5,51±0,302	-2,97	2,59	3,108±0,367	-1,734	1,661
24	7,08±0,693	-1,4	2,59	3,233±0,272	-1,609	1,661
25	7,00±0,512	-1,48	2,59	2,267±0,415	-2,575	1,661
Cosmos sulphureus Cav.						
1	5,544±0,461	-	-	6,978±0,639	-	-
2	5,289±0,578	-0,255	1,049	5,567±0,801	-1,411	1,839
3	5,600±0,325	0,056	1,006	4,956±0,387	-2,022	1,839
4	6,122±0,200	0,578	1,096	5,578±0,549	-1,400	1,549
5	4,022±0,200	-0,922	1,029	4,300±0,835	-2,678	1,839
6	5,111±0,538	-0,433	0,922	3,667±0,711	-3,311	1,549
7	5,222±0,294	-0,322	0,972	4,500±0,639	-2,478	1,839
8	4,556±0,404	-0,988	1,096	4,289±0,910	-2,689	1,839
9	5,056±0,536	-0,488	1,096	4,511±1,020	-2,467	1,839
10	5,100±0,318	-0,444	1,096	4,278±0,706	-2,700	1,839
11	5,156±0,242	-0,388	0,922	4,889±0,861	-2,089	1,839

Варіанти забруднення	Довжина надземної частини, см			Довжина кореня, см		
	M±m	D	D^D	M±m	D	D^D
12	4,167±0,236	-1,377	1,096	4,811±0,847	-2,167	1,839
13	4,744±0,236	-0,800	1,096	3,200±0,079	-3,778	1,839
14	4,300±0,352	-1,244	1,096	5,222±0,797	-1,756	1,839
15	2,933±0,053	-2,611	1,096	1,778±0,200	-5,190	1,839
16	4,033±0,193	-1,511	1,006	6,367±0,646	-0,611	1,728
17	2,856±0,246	-2,688	1,076	3,256±0,366	-3,722	1,839
18	3,433±0,352	-2,111	1,096	4,300±0,424	-2,678	1,823
19	3,867±0,184	-1,677	1,096	3,922±0,679	-3,056	1,839
20	4,778±0,138	-0,766	1,096	5,878±0,113	-1,100	1,839
21	5,122±0,434	-0,422	1,096	4,511±0,416	-2,467	1,839
22	4,078±0,429	-1,466	1,062	3,033±0,326	-3,945	1,839
23	4,478±0,344	-1,066	1,096	4,200±0,384	-2,778	1,839
24	4,767±0,169	-0,777	1,086	5,067±0,357	-1,911	1,633
25	4,500±0,031	-1,044	1,096	3,400±0,031	-3,578	1,839
Dahlia variabilis Desf.						
1	11,050±0,254	-	-	7,883±0,166	-	-
2	10,800±0,185	-0,250	2,207	6,200±1,048	-1,683	0,896
3	9,133±0,244	-1,917	2,046	7,083±0,072	-0,800	0,954
4	9,283±0,034	-1,767	2,305	8,050±0,062	0,217	0,954
5	10,083±1,305	-0,967	2,235	4,600±0,439	-3,233	0,954
6	10,050±0,024	-1,00	1,941	4,550±0,047	-3,283	0,846
7	8,333±0,417	-2,717	2,305	3,400±0,063	-4,483	0,925
8	6,917±1,771	-4,133	1,941	2,900±0,063	-4,983	0,954
9	6,417±1,034	-4,633	2,305	1,683±0,066	-6,150	0,954
10	8,183±1,226	-2,867	2,305	2,250±0,430	-5,633	0,954
11	10,533±1,171	-0,517	2,305	1,700±0,089	-6,183	0,803
12	12,683±1,540	1,633	2,305	2,550±0,285	-5,333	0,945
13	7,283±0,855	-3,767	2,305	3,350±0,222	-4,533	0,936
14	6,583±0,096	-4,467	2,305	3,450±0,411	-4,433	0,954
15	6,600±0,040	-4,450	2,305	1,567±0,046	-6,316	0,954
16	8,200±0,040	-2,850	2,284	1,167±0,073	-6,716	0,803
17	9,083±0,125	-1,967	2,305	1,533±0,588	-6,350	0,954
18	7,417±0,178	-3,633	2,3,05	0,417±0,052	-7,466	0,913
19	9,817±0,438	-1,233	2,263	0,400±0,040	-7,483	0,954
20	10,483±1,276	-0,567	2,305	2,383±0,389	-5,500	0,954
21	9,867±0,756	-1,183	2,165	1,133±0,405	-6,750	0,875
22	7,967±0,073	-3,083	2,305	0,517±0,066	-7,366	0,954
23	8,017±0,205	-3,033	2,305	0,500±0,057	-7,383	0,954
24	7,050±0,047	-4,00	2,116	0,567±0,061	-7,316	0,954
25	5,167±0,073	-5,883	2,305	0,500±0,040	-7,383	0,954
Silene coeli rosa						
1	4,700±0,363	-	-	1,556±0,206	-	-
2	5,889±0,473	1,189	8,473	2,111±0,226	0,555	0,914
3	5,633±0,977	0,933	8,473	1,667±0,108	0,111	0,914
4	8,144±0,031	3,444	8,473	1,156±0,040	-0,400	0,914
5	7,200±0,906	2,500	8,473	1,256±0,176	-0,300	0,914
6	11,467±0,169	6,767	8,473	2,167±0,047	0,611	0,914
7	7,033±0,536	2,333	8,473	1,900±0,273	0,344	0,914

Варіанти забруднення	Довжина надземної частини, см			Довжина кореня, см		
	M±m	D	D^D	M±m	D	D^D
8	6,844±0,359	2,144	8,473	2,167±0,284	0,611	0,914
9	8,456±0,517	3,756	8,473	2,733±0,285	1,177	0,914
10	16,044±11,41	11,344	8,473	2,567±0,302	1,011	0,914
11	7,811±1,076	3,111	8,473	2,067±0,313	0,511	0,914
12	5,500±0,827	0,800	8,473	1,278±0,197	-0,278	0,914
13	5,344±0,566	0,644	8,473	1,656±0,237	0,100	0,914
14	5,211±0,610	0,511	8,473	1,689±0,265	0,133	0,914
15	6,700±0,456	2,00	8,473	2,022±0,188	0,466	0,914
16	8,289±0,736	3,589	8,473	2,733±0,332	1,177	0,914
17	7,289±0,080	2,589	8,473	3,300±0,265	1,744	0,914
18	6,578±0,738	1,878	8,473	1,556±0,340	0	0,914
19	6,344±0,591	1,644	8,473	2,022±0,371	0,466	0,914
20	6,122±0,324	1,422	8,473	2,111±0,413	0,555	0,914
21	3,944±0,303	-0,756	8,473	1,044±0,211	-0,512	0,914
22	6,922±0,762	2,222	8,473	1,789±0,331	0,233	0,914
23	5,633±0,833	0,933	8,473	0,889±0,252	-0,667	0,914
24	3,500±0,633	-1,200	8,473	0,767±0,174	-0,789	0,914
25	2,833±0,503	-1,867	8,473	0,700±0,081	-0,856	0,914
Tagetes erectus L.						
1	8,211±1,453	-	-	9,889±1,935	-	-
2	8,667±1,093	0,456	3,267	13,111±3,42	3,222	4,161
3	9,544±1,217	1,333	3,226	9,889±1,795	0	4,533
4	9,956±1,812	1,745	2,837	9,156±2,497	-0,733	4,533
5	8,433±1,427	0,222	3,308	9,978±2,047	0,089	4,533
6	9,300±1,483	1,089	3,165	11,778±2,228	1,889	4,340
7	10,589±1,165	2,078	3,370	12,344±2,764	2,455	4,257
8	9,656±1,594	1,445	3,370	7,333±1,868	-2,556	4,340
9	7,533±0,814	-0,678	3,370	5,011±1,360	-4,878	4,533
10	8,444±1,650	0,233	3,370	7,833±2,111	-2,056	4,533
11	9,244±1,139	1,033	3,308	6,478±0,730	-3,411	3,816
12	10,267±1,681	2,056	3,339	8,633±2,208	-1,256	4,023
13	10,822±1,363	2,611	3,370	7,333±0,814	-2,556	4,533
14	7,856±1,171	-0,355	3,370	5,011±0,741	-4,878	4,395
15	8,256±1,425	0,045	3,370	5,844±0,603	-4,045	4,533
16	8,044±0,641	-0,167	3,370	6,222±0,867	-3,667	4,023
17	6,889±1,006	-1,322	3,267	6,744±1,344	-3,145	4,257
18	6,211±0,666	-2,00	3,093	7,967±0,973	-1,922	4,533
19	6,578±0,559	-1,633	3,370	7,011±0,959	-2,878	4,533
20	7,944±1,201	-0,267	3,165	6,011±0,988	-3,888	4,491
21	7,178±0,967	-1,033	2,991	5,611±1,092	-4,278	3,816
22	6,222±0,718	-1,989	3,093	6,822±1,409	-3,067	4,450
23	6,178±0,484	-2,033	2,837	7,022±0,754	-2,867	4,533
24	7,767±0,423	-0,444	2,991	7,467±0,936	-2,422	4,533
25	5,300±0,773	-2,911	3,370	6,978±1,431	-2,911	4,533
Ageratum houstonianum cv. Bule Lagoon						
1	3,867±0,488	-	-	7,833±0,619	-	-
2	3,500±0,106	-0,317	0,985	3,733±0,247	-4,100	1,480
3	5,767±0,460	1,900	0,985	5,867±0,591	-1,966	1,480

Варіанти забруднення	Довжина надземної частини, см			Довжина кореня, см		
	M±m	D	D^D	M±m	D	D^D
4	4,067±0,108	0,200	0,985	7,00±0,451	-0,833	1,480
5	3,222±0,386	-0,645	0,985	4,100±0,949	-3,733	1,480
6	6,400±0,451	2,533	0,985	7,700,603±	-0,133	1,480
7	4,433±0,204	0,566	0,985	4,567±0,569	-3,266	1,480
8	3,733±0,208	-0,134	0,985	3,867±0,510	-3,966	1,480
9	3,700±0,201	-0,167	0,985	5,533±0,513	-2,300	1,480
10	2,767±0,197	-1,100	0,985	2,767±0,197	-5,066	1,480
11	3,833±0,255	-0,034	0,985	3,933±0,355	-3,900	1,480
12	3,967±0,204	0,100	0,985	3,533±0,274	-4,300	1,480
13	4,500±0,276	0,633	0,985	3,200±0,184	-4,633	1,480
14	3,811±0,537	-0,056	0,985	3,567±0,222	-4,266	1,480
15	3,533±0,224	-0,334	0,985	2,800±0,281	-5,033	1,480
16	5,167±0,047	1,300	0,985	3,700±0,362	-4,133	1,480
17	4,400±0,306	0,533	0,985	3,100±0,306	-4,733	1,480
18	5,167±0,400	1,300	0,985	4,767±0,799	-3,066	1,480
19	2,400±0,162	-3,627	0,985	3,400±0,353	-4,433	1,480
20	3,400±0,031	-0,467	0,985	1,300±0,031	-6,533	1,480
21	1,900±0,031	-1,967	0,985	1,667±0,056	-6,173	1,480
22	4,300±0,184	0,433	0,985	4,600±0,612	-3,233	1,480
23	3,333±0,094	-0,534	0,985	3,667±0,468	-4,166	1,480
24	3,600±0,184	-0,267	0,985	2,067±0,291	-5,766	1,480
25	2,733±0,124	-1,134	0,985	1,800±0,281	-6,033	1,480

Примітка. D – різниця між середніми, D^D – допуск Даннета.

Слід зазначити, що внесення в ґрунт сполук кобальту не пригнічувало накопичення біомаси проростками *L. usitatissimum* та *P. tanacetifolia*. Цікавим виявився той факт, що при високих концентраціях іонів кобальту (варіанти 3, 4) спостерігалася тенденція до збільшення сирої та сухої маси в порівнянні з контролем на 9-15% (табл. 2). У той час як на накопичення біомаси проростками *C. sulphureus, T. erectus, D. variabilis* та *S. coeli rosa* забруднення ґрунту сполуками кобальту впливало негативно, про що свідчило зменшення сухої маси проростками на 17-21%. Токсична дія важкого металу підсилювалась при збільшенні його концентрації.

Таблиця 2

Вплив забруднення ґрунту на біометричні показники квітково-декоративних рослин

Варіанти забруднення	Сира маса, г			Суха маса, г		
	M±m	D	D^D	M±m	D	D^D
Agrostemma githago						
1	0,727±0,001	-	-	0,067±0,001	-	-
2	0,869±0,038	0,142	0,226	0,077±0,004	0,010	0,060
3	0,891±0,077	0,164	0,226	0,077±0,006	0,010	0,060
4	0,786±0,042	0,059	0,226	0,068±0,005	0,001	0,060
5	0,581±0,021	-0,146	0,226	0,049±0,001	-0,018	0,060
6	0,910±0,042	0,183	0,226	0,082±0,005	0,015	0,060
7	0,917±0,067	0,190	0,226	0,082±0,006	0,015	0,060
8	0,803±0,078	0,076	0,226	0,057±0,008	-0,010	0,060
9	0,768±0,033	0,041	0,226	0,066±0,003	-0,001	0,060
10	0,630±0,080	-0,097	0,226	0,059±0,008	-0,008	0,060
11	0,501±0,038	-0,226	0,226	0,047±0,004	0,002	0,060

Варіанти забруднення	Сира маса, г			Суха маса, г		
	M±m	D	D^D	M±m	D	D^D
12	0,502±0,095	-0,225	0,226	0,055±0,014	-0,012	0,060
13	0,463±0,014	-0,264	0,226	0,043±0,001	-0,024	0,060
14	0,560±0,074	-0,167	0,226	0,055±0,010	-0,012	0,060
15	0,318±0,091	-0,409	0,226	0,030±0,008	-0,037	0,060
16	0,233±0,002	-0,494	0,226	0,021±0,001	-0,046	0,060
17	0,409±0,111	-0,318	0,226	0,035±0,020	-0,032	0,060
18	0,272±0,051	-0,455	0,226	0,025±0,004	-0,042	0,060
19	0,279±0,017	-0,448	0,226	0,027±0,001	-0,040	0,060
20	0,183±0,135	-0,544	0,226	0,020±0,013	-0,047	0,060
21	0,463±0,064	-0,264	0,226	0,048±0,006	-0,019	0,060
22	0,375±0,062	-0,352	0,226	0,035±0,008	-0,032	0,060
23	0,157±0,091	-0,570	0,226	0,018±0,008	-0,049	0,060
24	0,328±0,015	-0,399	0,226	0,034±0,002	-0,033	0,060
25	0,117±0,027	-0,610	0,226	0,015±0,004	-0,052	0,060
Atriplex hortense L.						
1	0,276±0,130	-	-	0,104±0,095	-	-
2	0,174±0,055	-0,102	0,260	0,008±0,005	-0,096	0,064
3	0,171±0,030	-0,105	0,260	0,010±0,001	-0,094	0,064
4	0,207±0,047	-0,069	0,260	0,012±0,003	-0,092	0,064
5	0,172±0,020	-0,104	0,260	0,010±0,002	-0,094	0,064
6	0,172±0,028	-0,104	0,260	0,015±0,004	-0,089	0,064
7	0,218±0,012	-0,058	0,260	0,022±0,001	-0,082	0,064
8	0,214±0,066	-0,062	0,260	0,021±0,007	-0,086	0,064
9	0,198±0,068	-0,078	0,260	0,020±0,007	-0,084	0,064
10	0,244±0,070	-0,032	0,260	0,024±0,007	-0,082	0,064
11	0,225±0,042	0,051	0,260	0,014±0,003	-0,090	0,064
12	0,302±0,067	0,026	0,260	0,019±0,005	-0,085	0,064
13	0,255±0,017	-0,021	0,260	0,024±0,001	-0,080	0,064
14	0,348±0,085	0,072	0,260	0,023±0,006	-0,081	0,064
15	0,294±0,061	0,018	0,260	0,018±0,002	-0,081	0,064
16	0,227±0,048	-0,049	0,260	0,015±0,003	-0,089	0,064
17	0,299±0,057	0,023	0,260	0,020±0,004	-0,084	0,064
18	0,297±0,090	0,021	0,260	0,023±0,008	-0,081	0,064
19	0,257±0,080	-0,019	0,260	0,022±0,001	-0,082	0,064
20	0,322±0,069	0,046	0,260	0,022±0,007	-0,082	0,064
21	0,370±0,177	0,094	0,260	0,086±0,008	-0,018	0,064
22	0,323±0,127	0,047	0,260	0,023±0,010	-0,081	0,064
23	0,297±0,136	0,021	0,260	0,024±0,012	-0,080	0,064
24	0,237±0,107	-0,039	0,260	0,016±0,009	-0,088	0,064
25	0,216±0,065	-0,060	0,260	0,015±0,006	-0,090	0,064
Linum usitatissimum						
1	0,231±0,013	-	-	0,024±0,001	-	-
2	0,227±0,015	-0,004	0,104	0,024±0,002	0	0,087
3	0,216±0,012	-0,015	0,104	0,019±0,002	-0,005	0,087
4	0,199±0,016	-0,032	0,104	0,017±0,001	-0,007	0,087
5	0,191±0,011	-0,040	0,104	0,016±0,001	-0,008	0,087
6	0,203±0,024	-0,028	0,104	0,016±0,002	-0,008	0,087
7	0,277±0,061	0,046	0,104	0,081±0,072	0,057	0,087

Варіанти забруднення	Сира маса, г			Суха маса, г		
	M±m	D	D^D	M±m	D	D^D
8	0,196±0,008	-0,035	0,104	0,021±0,001	-0,003	0,087
9	0,224±0,002	-0,007	0,104	0,024±0,003	0	0,087
10	0,261±0,005	0,030	0,104	0,027±0,0001	0,003	0,087
11	0,147±0,069	-0,084	0,104	0,017±0,004	-0,007	0,087
12	0,226±0,019	-0,005	0,104	0,024±0,002	0	0,087
13	0,243±0,003	0,012	0,104	0,026±0,002	0,002	0,087
14	0,212±0,021	-0,013	0,104	0,019±0,008	-0,005	0,087
15	0,216±0,008	-0,015	0,104	0,024±0,002	0	0,087
16	0,195±0,005	-0,036	0,104	0,021±0,001	-0,003	0,087
17	0,212±0,004	-0,019	0,104	0,024±0,001	0,00	0,087
18	0,213±0,003	-0,018	0,104	0,024±0,001	0	0,087
19	0,298±0,126	0,067	0,104	0,125±0,001	0,101	0,087
20	0,193±0,021	-0,038	0,104	0,021±0,002	-0,003	0,087
21	0,201±0,013	-0,030	0,104	0,025±0,001	-0,001	0,087
22	0,194±0,014	-0,037	0,104	0,024±0,003	0	0,087
23	0,185±0,011	-0,046	0,104	0,022±0,002	-0,002	0,087
24	0,111±0,047	-0,120	0,104	0,010±0,005	-0,014	0,087
25	0,182±0,001	-0,049	0,104	0,018±0,001	-0,006	0,087
Calendula officinalis						
1	0,803±0,079	-	-	0,047±0,002	-	-
2	0,722±0,077	-0,081	0,234	0,048±0,009	0,001	0,216
3	0,935±0,160	0,132	0,218	0,037±0,003	-0,01	0,216
4	0,829±0,064	0,026	0,245	0,055±0,004	0,008	0,199
5	0,963±0,124	0,160	0,245	0,060±0,006	0,013	0,215
6	0,881±0,072	0,078	0,238	0,058±0,007	0,011	0,183
7	0,875±0,064	0,072	0,231	0,056±0,004	0,009	0,216
8	0,773±0,139	-0,030	0,243	0,072±0,035	0,025	0,216
9	0,772±0,039	-0,031	0,245	0,069±0,023	0,022	0,212
10	0,772±0,030	-0,031	0,245	0,040±0,003	-0,007	0,216
11	0,849±0,043	0,046	0,238	0,065±0,007	0,018	0,216
12	0,702±0,203	-0,101	0,218	0,052±0,015	0,005	0,216
13	0,727±0,096	-0,076	0,234	0,049±0,007	0,002	0,207
14	0,600±0,097	-0,203	0,245	0,041±0,006	-0,006	0,210
15	0,691±0,097	-0,112	0,238	0,288±0,029	0,241	0,216
16	0,570±0,082	-0,233	0,207	0,048±0,007	0,001	0,216
17	0,618±0,036	-0,185	0,231	0,050±0,001	0,003	0,216
18	0,440±0,085	-0,363	0,245	0,037±0,008	-0,001	0,204
19	0,581±0,056	-0,222	0,245	0,104±0,072	0,057	0,216
20	0,598±0,049	-0,205	0,245	0,048±0,008	0,001	0,216
21	0,522±0,046	-0,281	0,240	0,034±0,004	-0,013	0,216
22	0,400±0,068	-0,403	0,225	0,028±0,005	-0,019	0,207
23	0,361±0,019	-0,442	0,245	0,032±0,002	-0,015	0,216
24	0,383±0,036	-0,420	0,245	0,031±0,003	-0,016	0,193
25	0,477±0,208	-0,325	0,245	0,050±0,006	0,003	0,210
Phacelia tanacetifolia						
1	0,993±0,331	-	-	0,077±0,025	-	-
2	0,838±0,506	-0,155	0,750	0,059±0,031	-0,018	0,055
3	0,783±0,368	-0,210	0,750	0,052±0,023	-0,025	0,055

Варіанти забруднення	Сира маса, г			Суха маса, г		
	M±m	D	D^D	M±m	D	D^D
4	1,089±0,133	0,096	0,750	0,084±0,017	0,007	0,055
5	1,116±0,159	0,123	0,750	0,074±0,011	-0,003	0,055
6	0,879±0,155	-0,114	0,750	0,069±0,015	-0,008	0,055
7	1,107±0,430	0,114	0,750	0,095±0,043	0,018	0,055
8	0,656±0,177	-0,337	0,750	0,055±0,014	-0,022	0,055
9	0,716±0,162	-0,277	0,750	0,057±0,010	-0,020	0,055
10	0,997±0,138	0,004	0,750	0,066±0,007	-0,011	0,055
11	0,717±0,264	-0,276	0,750	0,052±0,021	-0,025	0,055
12	0,179±0,098	-0,814	0,750	0,015±0,007	-0,062	0,055
13	0,749±0,079	-0,244	0,750	0,068±0,011	-0,009	0,055
14	0,858±0,631	-0,135	0,750	0,062±0,043	-0,015	0,055
15	0,843±0,314	-0,150	0,750	0,065±0,022	-0,012	0,055
16	0,328±0,033	-0,665	0,750	0,021±0,004	-0,056	0,055
17	0,447±0,174	-0,546	0,750	0,037±0,011	-0,004	0,055
18	0,563±0,025	-0,430	0,750	0,039±0,002	-0,038	0,055
19	0,828±0,088	-0,165	0,750	0,061±0,007	-0,016	0,055
20	0,354±0,074	-0,639	0,750	0,028±0,004	-0,049	0,055
21	1,147±0,342	0,154	0,750	0,085±0,019	0,008	0,055
22	0,338±0,253	-0,655	0,750	0,027±0,018	-0,050	0,055
23	0,506±0,183	-0,487	0,750	0,040±0,013	-0,037	0,055
24	0,415±0,076	-0,578	0,750	0,031±0,005	-0,046	0,055
25	0,414±0,184	-0,579	0,750	0,029±0,012	-0,048	0,055
Cosmos sulphureus Cav.						
1	0,415±0,007	-	-	0,037±0,001	-	-
2	0,477±0,217	0,062	0,169	0,205±0,193	0,168	0,100
3	0,388±0,026	-0,027	0,160	0,033±0,001	-0,004	0,093
4	0,341±0,171	-0,074	0,179	0,029±0,015	-0,008	0,096
5	0,375±0,049	-0,040	0,189	0,031±0,005	-0,006	0,104
6	0,404±0,118	-0,011	0,189	0,126±0,121	0,089	0,101
7	0,429±0,039	0,014	0,169	0,034±0,003	-0,003	0,098
8	0,372±0,010	-0,043	0,184	0,032±0,003	-0,005	0,088
9	0,358±0,038	-0,057	0,189	0,036±0,004	-0,001	0,104
10	0,473±0,066	0,058	0,189	0,038±0,007	0,001	0,104
11	0,423±0,037	0,008	0,184	0,036±0,005	-0,001	0,102
12	0,468±0,052	0,053	0,188	0,037±0,005	0	0,103
13	0,202±0,065	-0,213	0,189	0,015±0,005	-0,022	0,104
14	0,390±0,033	-0,025	0,174	0,036±0,005	-0,001	0,104
15	0,275±0,014	-0,140	0,189	0,019±0,005	-0,018	0,098
16	0,433±0,066	0,018	0,189	0,035±0,005	-0,002	0,104
17	0,210±0,048	-0,205	0,189	0,017±0,004	-0,020	0,104
18	0,394±0,105	-0,021	0,181	0,029±0,007	-0,008	0,088
19	0,339±0,040	-0,076	0,189	0,027±0,004	-0,010	0,104
20	0,448±0,006	0,033	0,186	0,034±0,001	-0,003	0,104
21	0,268±0,075	-0,147	0,186	0,020±0,010	-0,017	0,104
22	0,224±0,032	-0,191	0,188	0,018±0,003	-0,019	0,093
23	0,359±0,026	-0,056	0,189	0,045±0,022	0,008	0,104
24	0,473±0,001	0,058	0,181	0,006±0,001	-0,031	0,100
25	0,392±0,001	-0,023	0,179	0,011±0,001	-0,026	0,104

Варіанти забруднення	Сира маса, г			Суха маса, г		
	M±m	D	D^D	M±m	D	D^D
Dahlia variabilis Desf.						
1	2,910±0,088	-	-	0,338±0,030	-	-
2	1,826±0,001	-1,111	0,529	0,780±0,408	0,442	0,236
3	1,602±0,032	-1,308	0,526	0,157±0,036	-0,181	0,235
4	1,463±0,041	-1,447	0,529	0,145±0,001	-0,193	0,236
5	1,802±0,319	-1,108	0,529	0,128±0,050	-0,21	0,236
6	0,974±0,001	-1,936	0,449	0,067±0,001	-0,271	0,201
7	0,869±0,003	-2,041	0,529	0,067±0,001	-0,271	0,236
8	0,747±0,032	-2,163	0,529	0,058±0,007	-0,280	0,236
9	0,747±0,032	-2,163	0,487	0,039±0,013	-0,299	0,236
10	1,367±0,502	-1,543	0,529	0,110±0,061	-0,228	0,236
11	1,266±0,100	-1,644	0,499	0,075±0,008	-0,263	0,211
12	0,989±0,229	-1,921	0,529	0,065±0,018	-0,273	0,236
13	1,037±0,232	-1,873	0,529	0,086±0,017	-0,252	0,233
14	0,747±0,221	-2,163	0,521	0,095±0,023	-0,243	0,236
15	0,307±0,001	-2,603	0,529	0,032±0,001	-0,306	0,236
16	0,921±0,001	-1,989	0,508	0,070±0,001	-0,268	0,218
17	1,658±0,001	-1,252	0,529	0,053±0,001	-0,285	0,236
18	1,323±0,002	-1,587	0,529	0,043±0,001	-0,295	0,230
19	1,009±0,018	-1,901	0,529	0,226±0,104	-0,112	0,201
20	0,858±0,427	-2,052	0,529	0,072±0,032	-0,266	0,236
21	0,943±0,469	-1,967	0,473	0,050±0,011	-0,288	0,223
22	0,627±0,001	-2,283	0,514	0,057±0,001	-0,281	0,227
23	0,649±0,106	-2,261	0,529	0,065±0,010	-0,273	0,236
24	0,521±0,001	-2,689	0,529	0,054±0,003	-0,284	0,236
25	0,432±0,001	-2,478	0,529	0,044±0,002	-0,294	0,236
Silene coeli rosa						
1	0,168±0,008	-	-	0,009±0,002	-	-
2	0,199±0,001	0,031	0,174	0,006±0,001	-0,003	0,012
3	0,235±0,001	0,067	0,174	0,013±0,001	0,004	0,012
4	0,189±0,001	0,021	0,174	0,012±0,001	0,003	0,012
5	0,167±0,001	-0,001	0,174	0,011±0,004	0,002	0,012
6	0,417±0,001	0,249	0,174	0,017±0,001	0,008	0,012
7	0,206±0,034	0,038	0,174	0,010±0,002	0,001	0,012
8	0,197±0,021	0,029	0,174	0,013±0,002	0,004	0,012
9	0,226±0,010	0,058	0,174	0,015±0,001	0,006	0,012
10	0,149±0,012	-0,019	0,174	0,011±0,001	0,002	0,012
11	0,204±0,068	0,036	0,174	0,011±0,002	0,002	0,012
12	0,138±0,027	-0,030	0,174	0,009±0,002	0	0,012
13	0,480±0,165	0,312	0,174	0,033±0,010	0,024	0,012
14	0,317±0,119	0,149	0,174	0,024±0,007	0,015	0,012
15	0,413±0,036	0,245	0,174	0,030±0,004	0,021	0,012
16	0,562±0,080	0,394	0,174	0,033±0,002	0,024	0,012
17	0,328±0,001	0,160	0,174	0,024±0,001	0,015	0,012
18	0,493±0,087	0,325	0,174	0,033±0,006	0,024	0,012
19	0,346±0,051	0,178	0,174	0,029±0,007	0,020	0,012
20	0,381±0,029	0,213	0,174	0,030±0,003	0,021	0,012
21	0,141±0,018	-0,027	0,174	0,011±0,001	0,002	0,012

Варіанти забруднення	Сира маса, г			Суха маса, г		
	M±m	D	D^D	M±m	D	D^D
22	0,387±0,012	0,219	0,174	0,030±0,001	0,021	0,012
23	0,177±0,078	0,009	0,174	0,016±0,006	0,007	0,012
24	0,265±0,001	0,097	0,174	0,022±0,001	0,013	0,012
25	0,079±0,001	-0,089	0,174	0,005±0,001	-0,004	0,012
Tagetes erectus L.						
1	1,714±0,730	-	-	0,505±0,053	-	-
2	1,374±0,061	-0,340	0,423	0,085±0,009	-0,420	0,246
3	1,339±0,232	-0,375	0,707	0,084±0,021	-0,421	0,240
4	1,804±0,308	0,090	0,707	0,138±0,020	-0,367	0,251
5	2,133±0,602	0,419	0,707	0,092±0,030	-0,413	0,251
6	1,291±0,163	-0,423	0,677	0,110±0,018	-0,395	0,251
7	1,500±0,202	-0,214	0,630	0,163±0,082	-0,342	0,212
8	1,569±0,079	-0,145	0,707	0,133±0,016	-0,372	0,251
9	1,393±0,120	-0,321	0,707	0,063±0,006	-0,442	0,251
10	1,345±0,001	-0,369	0,707	0,128±0,022	-0,377	0,251
11	1,057±0,109	-0,657	0,703	0,127±0,080	-0,378	0,251
12	1,026±0,156	-0,688	0,598	0,071±0,013	-0,343	0,230
13	1,306±0,202	-0,408	0,707	0,092±0,023	-0,413	0,251
14	1,015±0,194	-0,699	0,707	0,063±0,012	-0,442	0,251
15	0,836±0,093	-0,878	0,707	0,054±0,005	-0,451	0,251
16	0,761±0,066	-0,953	0,598	0,058±0,005	-0,447	0,224
17	0,630±0,113	-1,084	0,666	0,042±0,008	-0,463	0,251
18	0,645±0,121	-1,069	0,707	0,088±0,047	-0,417	0,251
19	1,301±0,782	-0,413	0,707	0,035±0,016	-0,470	0,251
20	0,921±0,022	-0,793	0,707	0,067±0,004	-0,438	0,251
21	0,716±0,144	-0,998	0,630	0,051±0,011	-0,454	0,251
22	0,449±0,173	-1,265	0,694	0,041±0,004	-0,464	0,236
23	0,704±0,079	-1,010	0,707	0,050±0,004	-0,455	0,251
24	1,091±0,469	-0,623	0,707	0,076±0,031	-0,429	0,251
25	0,525±0,147	-1,189	0,707	0,038±0,010	-0,467	0,251
Ageratum houstonianum cv. Bule Lagoon						
1	0,221±0,000	-	-	0,012±0,000	-	-
2	0,095±0,000	-0,126	0,001	0,015±0,000	0,003	0,002
3	0,128±0,000	-0,093	0,001	0,006±0,000	-0,006	0,002
4	0,384±0,000	0,163	0,001	0,024±0,000	0,012	0,002
5	0,168±0,000	-0,053	0,001	0,010±0,000	-0,002	0,002
6	0,365±0,000	0,144	0,001	0,022±0,000	0,010	0,002
7	0,312±0,000	0,091	0,001	0,066±0,000	0,054	0,002
8	0,229±0,000	0,008	0,001	0,022±0,000	0,010	0,002
9	0,157±0,000	-0,064	0,001	0,013±0,000	0,001	0,002
10	0,143±0,000	-0,078	0,001	0,029±0,004	0,017	0,002
11	0,165±0,000	-0,056	0,001	0,012±0,000	0,00	0,002
12	0,132±0,000	-0,089	0,001	0,006±0,000	-0,006	0,002
13	0,133±0,000	-0,088	0,001	0,012±0,000	0,00	0,002
14	0,154±0,000	-0,067	0,001	0,003±0,000	-0,009	0,002
15	0,104±0,001	-0,117	0,001	0,003±0,000	-0,009	0,002
16	0,123±0,000	-0,098	0,001	0,003±0,000	-0,009	0,002
17	0,358±0,000	0,137	0,001	0,010±0,000	-0,002	0,002

Варіанти забруднення	Сира маса, г			Суха маса, г		
	M±m	D	D^D	M±m	D	D^D
18	0,414±0,000	0,193	0,001	0,022±0,000	0,010	0,002
19	0,041±0,000	-0,180	0,001	0,001±0,000	-0,011	0,002
20	0,067±0,000	-0,154	0,001	0,014±0,000	0,002	0,002
21	0,036±0,000	-0,185	0,001	0,020±0,000	0,008	0,002
22	0,190±0,000	-0,031	0,001	0,009±0,000	-0,003	0,002
23	0,156±0,000	-0,065	0,001	0,009±0,000	-0,003	0,002
24	0,089±0,000	-0,132	0,001	0,006±0,000	-0,006	0,002
25	0,086±0,000	-0,135	0,001	0,006±0,000	-0,006	0,002

Примітка. D – різниця між середніми, D^D — допуск Даннета.

Аналогічно впливало внесення в ґрунт сполук марганцю на накопичення біомаси проростками вивчених видів рослин. Так, при внесенні незначних концентрацій марганцю у проростків *C. sulphureus, D. variabilis* та *S. coeli rosa* зростала сира і суха маса на 12-23% в залежності від концентрації забруднювача, а при подальшому збільшенні концентрації полютанту досліджувані ростові показники пригнічувалися. В протилежність цьому різні концентрації сполук марганцю істотно не впливали на нагромадження біомаси проростками *L. usitatissimum* та *A. hortense,* а в деяких варіантах можна було простежити активування ростових процесів на 9-15% у порівнянні з рослинами, вирощуваними на незабрудненому ґрунті. Комплексне внесення в ґрунт сполук кобальту та марганцю негативно впливало майже на всі вивчені види квітково-декоративних рослин. Так, у проростків *T. erectus* та *D. variabilis* спостерігалось найбільше зниження накопичення сирої та сухої маси на 69-92%, особливо за високих концентрацій марганцю. Навіть ті рослини, які не виявляли пригнічення накопичення біомаси при окремій дії важких металів (*L. usitatissimum, A. hortense*), показували значне зменшення сирої та сухої маси на 25-86% у варіантах сумісної дії полютантів. Тобто можна зазначити, що токсичний ефект забруднення ґрунту важкими металами підсилювався при взаємодії полютантів.

Висновки

Забруднення ґрунту сполуками марганцю сильніше впливає на ростові показники вивчених рослин, ніж забруднення кобальтом. Рослини неоднаково реагують на різні концентрації полютантів. Це залежить від металу, його концентрації та видової специфіки рослин. Невеликі концентрації важких металів стимулюють ростові процеси деяких видів рослин, але при збільшенні концентрації підсилюється гнітючий ефект. Внесення в ґрунт комплексу забруднювачів негативно впливає на всі вивчені види рослин. Хоча одні рослини сильніше відповідають на токсичний стрес, а інші – більш стійкі до забруднення. Однак за морфометричними ознаками не можна повною мірою судити про стійкість рослин до забруднення ґрунту кобальтом та марганцем. Необхідна комплексна оцінка впливу іонів кобальту та марганцю на фізіологічні та біохімічні показники проростків.

Список літератури

1. *Безсонова В. П.* Вплив важких металів на пігментну систему листка / В. П. Безсонова // Укр. ботан. журн. – 1992. – 49, № 5. – С. 63–66.

2. *Родіна В. В.* Підходи до оцінки стійкості екосистем / В. В. Родіна // Укр. ботан. журн. – 1996. – Т. 53, № 3. – С. 293–295.

3. *Бессонова В. П.* Влияние полистимулина К на фотосинтетический аппарат растений чины душистой, выращенных при избытке в среде железа, марганца и хрома / В. П. Бессонова // Физиол. и биохим. культ. раст. – 1991. – 23, № 2. – С. 158–164.

4. *Большакова М. О.* Фітогормони та структура листків деревних видів, адаптованих до різних екологічних умов: автореф. дис. ... канд. біол. наук: спец. 03.00.12 / М. О. Большакова. – К., 1999. – 17 с.

5. *Виноградова Е. Н.* Влияние промышленных токсикантов на пероксидазу листьев тополя канадского / Е. Н. Виноградова, И. П. Михеенко, К. Монтера, А. А. Котова // Промышленная ботаника: Состояние и перспективы развития: тез. докл. респ. науч. конф., посвящ. 25-летию Донец. ботан. сада АН УССР (Донецк, сентябрь 1990 г.). – К., 1990. – С. 112–113.

6. *Тарабрин В. П.* Физиология устойчивости древесных растений в условиях загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами / В. П. Тарабрин // Микроэлементы в окружающей среде. – К: Наук. думка, 1990. – С. 17–19.

7. *Таланова В. В.* Влияние возрастающих концентраций тяжелых металлов на рост проростков ячменя и пшеницы / В. В. Таланова, А. Ф. Титова, Н. П. Боева // Физиол. раст. – 2001. – Т. 48, № 1. – С. 119–123.

8. *Таланова В. В.* Влияние ионов кадмия и свинца на рост и содержание пролина и АБК в проростках огурца / В. В. Таланова, А. Ф. Титова, Н. П. Боева // Физиол. раст. – 1999. – Т. 40, № 1. – С. 164–167.

9. *Зурнаджи Т. Г.* Адаптивні можливості деяких квітково-декоративних рослин в умовах техногенного середовища / Т. Г. Зурнаджи, Р. І. Пельтіхіна // Укр. ботан. журн. – 1997. – Т. 54, № 1. – С. 68–70.

10. *Приседський Ю. Г.* Пакет програм для проведення статистичної обробки результатів біологічних експериментів: навч. пос. / Ю. Г. Приседський. – Донецьк: ДонНУ, 2005. – 75 с.

11. *Приседський Ю. Г.* Статистична обробка результатів біологічних експериментів / Ю. Г. Приседський. – Донецьк: Кассіопея, 1999. – 210 с.

12. *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. ІІ Всеукр.ї наук.-практ. конф. до 80-річчя проф. Л. Г. Дольової. – Дніпропетровськ: ДНУ, 2007. – 164 с.

13. *Иванов В. Б.* Сравнение влияния тяжелых металлов на рост корня в связи с проблемой специфичности и избирательности их действия / В. Б. Иванов, Е. И. Быстрова, И.В. Серегин // Физиол. раст. – 2003. – Т. 50, № 3. – С. 445–454.

14. *Кравчишин В. В.* Вплив важких металів та гібереліну на морфометричні показники рослин з різним типом метаболізму / В. В. Кравчишин, О. І. Терек, В. І. Баранов // Проблеми ботаніки і мікології на порозі третього тисячоліття: матер. Х з'їзду Укр. ботан. тов.-ва. – К., 1997. – 296 с.

15. *Левчик О. І.* Флуоресценція рослин в умовах надлишку важких металів / О. І. Левчик, О. В. Гонтаренко, Л. П. Пушкарьова та ін. // Укр. ботан. журн. – 1990. – 47, № 3. – С. 54–59.

16. *Негруцкая Г. М.* Влияние марганца на ростовые показатели и индекс толерантности некоторых овощных культур / Г. М. Негруцкая, Н. Ф. Бородина // Праці наук. конф. Донецького нац. ун-ту за підсумками наук.-досл. роботи за період 1999-2000 рр. (секц. біол. наук) / Отв. ред. С. В. Беспалова. – Донецьк: ДонНУ, 2001. – С. 126–128.

17. *Серегин И. В.* Физиологические аспекты токсического действия кадмия и свинца на высшие растения / И. В. Серегин, В. Б. Иванов // Физиол. раст. – 2001. – Т. 48, № 4. – С. 606–630.

18. *Чернавина И. А.* Физиология и биохимия микроэлементов / И. А. Чернавина. – М.: Высш. шк., 1970 – С. 77.

19. *Яковлева С. О.* Действие широкого диапазона концентраций разных форм хрома на начальные этапы онтогенеза декоративных цветковых растений / С. О. Яковлева // Проблеми сучасної екології: тези міжнар. конф. – Запоріжжя, 2000. – С. 129.

20. *Benavides M. P.* Toxic metals in plants / M. P. Benavides, S. M. Gallego, M. L. Tomaro // Braz. J. Plant Physiol. – 2005. – Vol. 17, N 1. – P. 1169–1177.

21. *Hromyh O.* The influence of the pollution of soils with cobalt and manganese on some morphometric indices of flowering decorative plants / O. Hromyh // Biodiversity. Ecology.

Adaptation. Evolution: proc. of the III Int. young scientists conf., dedicated to 100 ann. from birth of famous Ukrainian lichenologist Maria Makarevych (Odesa, 15–18 May, 2007). – Odesa: Pechatniy dom, 2007. – P. 326.

Хромых О. В. **Влияние загрязнения почвы кобальтом и марганцем на ростовые показатели некоторый видов цветковых декоративных растений.** – Исследовали влияние загрязнения почвы кобальтом и марганцем на морфометрические показатели десяти видов цветковых декоративных растений. Оба металла вызывали снижение биомассы проростков, угнетали ростовые процессы надземной части и корней. Растения по-разному реагируют на разные концентрации загрязнителей. Это зависит от металла, его концентрации и видовой специфики растений.

Ключевые слова: кобальт, марганец, стресс, морфометрические показатели.

Hromyh O. V. **The study of the influence of the pollution of soils with heavy metals on morphometric indexes of ornamental flowering plants.** – Has been studied the influence of the pollution of soils with cobalt and manganese on some morphometric indexes of ten flowering decorative plants. Both of metals caused the reduction of raw and dry mass of seedlings, oppressed the growth processes of stems and roots.

Key words: cobalt, manganese, morphometric indices.

ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ТА ПРИКЛАДНІ ПРОБЛЕМИ БІОФІЗИКИ І ФІЗІОЛОГІЇ
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОФИЗИКИ И ФИЗИОЛОГИИ
FUNDAMENTAL AND APPLIED PROBLEMS OF BIOPHYSICS AND PHYSIOLOGY

УДК 541.515 : 577.3

© В. М. Билобров[1], Н. М. Богдан[1], Е. В. Хомутова[1], С. В. Беспалова[2], В. Л. Гладий[2], Ю. А. Федченко[2]

БИОФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГОМЕОСТАЗА

[1]Институт физико-органической химии и углехимии им. Л. М. Литвиненко НАН Украины
83114, г. Донецк, ул. Р. Люксембург, 70; e-mail: postmast@infou.donetsk.ua
[2]Донецкий национальный университет; 83050, г. Донецк, ул. Щорса, 46

Билобров В. М., Богдан Н. М, Хомутова Е. В., Беспалова С. В., Гладий В. Л., Федченко Ю. А. **Биофизические аспекты гомеостаза. –** В работе рассмотрены общие положения биофизики гомеостаза. На основании существующих теорий старения сделан вывод, что этот процесс прежде всего характеризуется как возрастное снижение гомеостатических способностей организма, скорость которого определяется двумя факторами – темпом потребления кислорода (и производством оксидантов) и эффективностью антиоксидантной защиты.

Ключевые слова: гомеостаз, эволюция, организм, среда, термодинамика, старение.

1. Общие положения.

Организм в некоторых публикациях определяется как физико-химическая система, существующая в окружающей среде в стационарном состоянии. При этом сохранить стационарное состояние в условиях непрерывно изменяющейся среды и, таким образом обеспечить оптимальные условия жизни и размножения как раз и призвана система сложноорганизованных механизмов саморегуляции, которая называется гомеостазом.

Термин *гомеостаз* в 1932 г. ввел американский физиолог Уолтер Кэннон, а представление о саморегуляции как основе физиологической стабильности – Клод Бернар, который сформировал ставшим классическим утверждение: «постоянство внутренней среды является обязательным условием свободной жизни».

В более широком и вместе с тем в более конкретном смысле гомеостаз определяется как относительное динамическое постоянство внутренней среды (крови, лимфы, тканевой жидкости и др.) и устойчивость основных физиологических функций (кровообращения, дыхания, терморегуляции, обмена веществ и т.д.) организма человека и животных. При этом сохранение структурно-функциональной стабильности организма – суть гомеостаза.

Как известно, живая клетка представляет собой подвижную, саморегулирующуюся систему. Способность возвращаться к исходному, стационарному состоянию, обусловленному возмущающим фактором, и является основным свойством клетки. Поэтому-то жизнь начинается именно с клетки (*ab ovo*).

Многоклеточный же организм представляют собой целостную организацию клеточных элементов, которые специализированы для различных специфических функций. При этом множество отдельных механизмов, регулирующих внутри- и межклеточные взаимоотношения, оказывают в ряде случаев взаимно противоположные воздействия, уравновешивая друг друга. Это способствует установлению в организме подвижного (физиологического) баланса, что и позволяет живой системе поддерживать динамическое постоянство структур и функций, несмотря на изменения в окружающей среде и сдвиги в организме, возникающие в процессе жизнедеятельности. Существующие в живых организмах способы регуляции имеют много общих черт с регулирующими устройствами в неживых системах. И в том, и в другом случае стабильность достигается благодаря вполне определенным формам управления.

Такие (упрощенные) представления о гомеостазе не соответствуют концепции устойчивого (т.е. неколеблющегося) равновесия, поскольку принцип равновесия не

приложим к сложным, динамичным физиологическим и биохимическим процессам. Неправильны также представления о гомеостазе как о системе строгих, ритмических колебаний во внутренней среде. Поэтому в более широком понимании понятие гомеостаза охватывает вопросы и циклических, и фазовых реакций, а также механизмов компенсаций, регулирования и саморегулирования различных физиологических функций. Кроме того, это понятие включает в себя и динамику взаимозависимости нервных, гуморальных и других тонких компонентов регуляторного процесса. При этом границы гомеостаза могут быть как весьма жесткими, так и довольно пластичными и значительно изменяться в зависимости от индивидуальных возрастных, половых, социальных, профессиональных и иных условий.

2. Гомеостаз и эволюция.

Эволюция – это способ живого противостоять энтропии, нарастающему хаосу и беспорядку. Именно эволюция творит разные новшества, но естественный отбор сохраняет только те из них, которые придают организмам устойчивость к дальнейшим изменениям, то есть которые позволяют живому воспроизводить свои копии в длинном ряду поколений, практически не меняясь. Как это ни странно, но получается, что эволюция работает против себя самой. Мы привыкли, что эволюция есть создание чего-то нового более сложного и совершенного. Но на самом деле эволюция – это создание не просто нового, а такого нового, которое сопротивляется дальнейшим изменениям. Иными словами, эволюция направлена на прекращение эволюции.

Жизнь видится как сопротивление энтропии, а эволюция на самом деле движима энтропией. Так, никуда не деться организмам от мутаций. Мутации же, в конце концов, приводят к гибели организмов и вымиранию видов. Но здесь удивительно то, что в ходе этого разрушительного по сути своей процесса (частного проявления энтропии) случайно создаются новшества, которые опять же случайно могут оказаться устойчивыми к дальнейшей деградации. Вот они-то и сохраняются отбором.

Так возник когда-то генетический код (недаром он универсальный для всех организмов!), так возник и механизм создания организмами своих копий из материала окружающей среды, так появился и диплоидный набор хромосом и половое размножение (смысл которого в стабилизации вида, в создании препятствий на пути его дальнейшей эволюции). Так, наконец, возникла забота о потомстве и разные другие сложные формы поведения животных.

Палеонтологи сетуют, что обычно не удается найти формы переходные, промежуточные между разными группами организмов. Но с развиваемой выше точки зрения это не удивительно. Переходные формы не сохранились, поскольку не были достаточно устойчивыми, поскольку вынуждены были претерпевать быструю эволюцию, и только ценой существенного изменения своего строения (и/или физиологии) им удавалось сохранять соответствие внешней среде (которая сама менялась), им удавалось выживать и оставлять жизнеспособное потомство.

Но, на каком-то этапе в этом ряду форм появлялись организмы более совершенные, лучше приспособленные к внешней среде, чтобы жить в этой среде, не меняясь. Именно такие более совершенные формы могли сохранить свою собственную идентичность в длинном ряду поколений. Именно они достаточно долго пребывали на Земле, и поэтому останки их обнаруживаются достаточно часто. Эта точка зрения была очень четко сформулирована еще в 1943 г. Niles Eldredge и Stephen Gould в 1941-2002 в виде «гипотезы прерывистого равновесия» [1, 2].

3. Организм и среда.

Клетка – подлинное термодинамическое чудо. Это отмечалось неоднократно. Но одновременно клетка – это крайне маловероятная система. А что такое среда? Например, для древнейших цианобактерий минимальная среда включает воду, углекислый газ, несколько минеральных солей и свет. В такой исключительно бедной среде клетки цианобактерий живут, размножается, строит себя, синтезируя при этом тысячи разных белковых молекул и других органических веществ, включая нуклеиновые кислоты и массу

низкомолекулярной органики. То есть мы присутствуем при сотворении мира из почти нечего!

Среда при этом хаотична, организм упорядочен и высокоорганизован. Организм созидает, среда деструктивна. Организм осуществляет генетический «замысел», среда же не имеет никакого замысла. Организм «знает» среду и избирательно берет из нее все то, что ему нужно и защищается оттого, что ему вредно, среда же ничего не знает об организме. Организм живет, а среда мертва. Таким образом, в структурном, термодинамическом и информационном отношении организм неизмеримо выше среды. Организм есть сущее, а среда же – условия, в которых организм реализуется и существует. К компонентам среды относится, разумеется, и энергия, которую организм адаптирует к своим нуждам. Организмы, кроме этого, обладают также способностью к приспособительному изменению своего фенотипа в разных условиях среды без изменения генотипа. При этом ясно, что, быстро адаптируясь к меняющимся условиям, и организмы, и виды при этом утрачивали бы свою самоидентичность, становились бы функцией среды. Поэтому-то реальные виды и являются устойчивыми во времени и, следовательно, оказывают достаточное сопротивление средовым воздействиям, в то время как высокая их адаптационная эволюция вела бы к деградации и хаосу, к броуновскому движению и низведению организмов до термодинамического уровня среды.

4. Гомеостаз и термодинамика.

Попытки увязать приспособленность особи (вида) с термодинамическим принципом минимального производства энтропии выглядят обнадеживающими. Так по аналогии с принципом минимального производства энтропии постулируется и принцип минимального возрастания сложности в процессе эволюции. В этой связи напомним, что определения «сложность», «упорядоченность», «организованность» часто используются в специальной литературе по эволюции в соответствии с интуитивным пониманием этих слов авторами. В теории же информации, рассматривающей физическую систему как последовательность цифр, необходимую для описания системы, сложность организмов определяется их информационной насыщенностью, выражающейся сообщением достаточно информационно емким для их (организмов) однозначного восприятия (описания).

Движение к большей сложности – очевидная общая тенденция эволюции биосферы. Однако сама сложность далеко не всегда означает более высокую приспособленность организма (вида) или их какого-либо иного совершенства. Напротив, сложное часто оказывается более чувствительным к деградации, чем простое. Это очевидно. Почему же естественный отбор отбирает сложное или, может быть, это и не так? Тем более, что сложные особи и виды отнюдь не всегда вытесняют простые.

В этой связи напомним известный принцип селекции стабильных структур, который принято считать общим и для биологической эволюции. Известно также, что все объекты Вселенной имеют очень разные времена жизни, от ничтожных долей секунды до миллиардов лет. При этом в ходе эволюции идет практически всегда замена эфемерных форм на более стабильные, а в ходе биологической эволюции сохраняется лишь то, что не изменяется (см. выше).

Все сказанное выше может быть выражено одной из формулировок второго закона термодинамики, которая в данном случае звучит так: все системы самопроизвольно изменяются таким образом, чтобы уменьшить их способность к изменению, то есть они стремятся к состоянию равновесия.

Однако живые организмы, как известно, – термодинамически неравновесные системы. Пока они живы, они стремятся не к равновесному, а, напротив, к неравновесному, но устойчивому состоянию, – стационарному. Так вот механизмы, обеспечивающие стационарное состояние, и называются гомеостазом. Энергия же как фактор хаотический не может удержать систему в состоянии далеком от равновесия. Для этого система должна быть еще и диссипативной структурой. В силу сказанного развитие живого идет под управлением соответствующих программ, обеспечивающих целенаправленное использование энергии и

вещества окружающей среды для построения своего тела, поддержания его в стационарном состоянии и для производства потомства.

Биологический детерминизм достаточно условен в том смысле, что результат в определенной мере зависит от внешних условий, то есть хотя многое и предопределено, но в значительной мере непредсказуемо. Так как механизмы гомеостаза не являются совершенными, поэтому ни один индивидуальный организм не может избежать термодинамического равновесия, то есть смерти. То есть организмы слишком сложны, слишком маловероятны, чтобы долго выдерживать давление энтропии. Так, простые атомы и молекулы существуют почти столько же, сколько существует Вселенная, а жизнь индивидуальных организмов удивительно коротка.

Концепция естественного отбора настолько овладела нашим сознанием, что мы не придаем важности тому, что при самых благоприятных условиях жизни, при отсутствии всякой конкуренции, при изобилии источников энергии и вещества организмы все равно неизбежно погибают. Они погибают от энтропии. Живые системы обходят термодинамический этот запрет жить вечно с помощью размножения, т.е. снятия реплик. Иногда, правда, одноклеточные организмы, в отличие от многоклеточных, рассматриваются как бессмертные. Однако и они от смерти спасаются размножением.

Виды уже, по-видимому, потенциально бессмертны, так как могут существовать неизменными десятки и сотни миллионов лет. Однако и эта форма бессмертия в конечном итоге конечна.

5. Концепция гомеостаза и старение.

В настоящее время существует множество теорий старения. Это прежде всего теория оксидантных повреждений и теломерная теория. Однако эти теории не устанавливают прямых пределов продолжительности жизни (ПЖ) и не определяют, насколько быстро протекают процессы старения. Развитию старения во времени посвящена другая часть теорий, – прежде всего теория темпа жизни (ТТЖ) [3, 4].

Действительно, продолжительность жизни организмов с одинаковым темпом метаболизма довольно хорошо коррелирует с уровнем их антиоксидантной защиты.

Гомеостатический подход к старению предполагает, что смерть всегда является результатом развития болезней. Предполагается также, что если бы не было болезней, то не было бы и смерти. Однако естественная смерть от старости в результате истощения гомеостатических ресурсов в реальности становится заметной причиной смерти только в том случае, когда индивидуумы полностью защищены от воздействий среды. Например, это может быть в какой-то мере применимо для экспериментальных популяций животных.

На основе современного варианта ТТЖ разработана гомеостатическая модель старения, в которой физиологическое старение связывается с накоплением в организме оксидантных повреждений в рамках общебиологических представлений о гомеостазе организма [5-7].

Таким образом, старение представляется как возрастное снижение гомеостатических способностей организма, а скорость старения определяется двумя факторами – темпом потребления кислорода (и производством оксидантов) и эффективностью антиоксидантной защиты.

6. Болезни, сопровождающие закон отклонения от гомеостаза.

У одноклеточных организмов уже в силу их строения специальные механизмы поддержания гомеостаза не могут быть достаточно эффективными. Поэтому-то смерть от внешних причин встала перед ними непреодолимым препятствием на пути к вечной жизни.

Чтобы обеспечить постоянство внутренней среды и сделать организм в определенной степени независимым от внешней среды, должны были возникнуть многочисленные приспособления и механизмы, то есть должна была возникнуть специализация органов тела.

Напомним, что живую систему от неживой отличают способность к размножению, к приспособлению (адаптации), к регулированию потоков энергии, способность к регулированию обмена веществ и др. Чтобы эти свойства проявлялись в многоклеточном организме, необходима их определенная структурная организация. Поэтому в каждом

сложном организме, действительно, существует энергетический, адаптационный и репродуктивный гомеостаз, то есть специализированные системы, регулирующие эти основные свойства многоклеточных организмов. Главным регулятором этих трех функций у высших организмов является гипоталамус.

Гипоталамус – своеобразный гибрид нервной и эндокринной систем. Так, с одной стороны, гипоталамус – типичная нервная ткань, состоящая из нейронов, которые посредством многочисленных волокон связаны со всеми отделами нервной системы. Поэтому все данные о внешнем и о внутреннем мире организма передаются в гипоталамус. При этом в гипоталамусе и в прилегающих к нему отделах мозга находятся центр сна, центр, контролирующий эмоции, центр аппетита, теплопродукции и теплорегуляции. Считается, что в гипоталамусе есть и структуры, связанные с регуляцией удовольствия и наслаждения.

С другой стороны, гипоталамус – типичная эндокринная железа, выделяющая гормоны, которые определяют деятельность гипофиза, непосредственного регулятора многих отделов эндокринной системы. В частности, гипоталамус через гипофиз регулирует рост тела, деятельность щитовидной железы, надпочечников, функцию молочных желез и др. Таким образом, гипоталамус осуществляет связь между внешним и внутренним миром организма, т.е. именно он является местом стыковки этих двух миров.

В целом гипоталамус работает и как термостат. Как в термостате, в нем имеется аналог регулятора – реле, которое может включаться и выключаться сигналами извне. Второй компонент термостата – нагревательный элемент. В целом это саморегулирующаяся система, работа которой поддерживается благодаря механизму отрицательной обратной связи путем изменения концентрации рабочего гормона, продуцируемого гипоталамусом.

Стабильность работы такой системы определяет реализацию закона постоянства внутренней среды организма. Однако, как ни странно может показаться, закон постоянства гомеостаза совершенно непригоден для выполнения программы развития организма. Достаточно напомнить, что как развитие, так и рост молодого организма нуждаются в дополнительном материальном обеспечении, которое может быть представлено лишь материнским организмом. Это сопровождается существенными изменениями и в организме матери. Таким образом, налицо нарушение закона постоянства внутренней среды в организме матери аналогичное тем, которые сопровождают развитие определенных болезней.

Резонный вопрос: разве может столь жизненно необходимое явление, как беременность, сопровождаться болезнями? Тем более, что в процессе эволюции вредные проявления беременности должны были бы непременно устранены естественным отбором. Приняв во внимание все эти обстоятельства, мы вынуждены прийти к выводу, что отклонение от закона постоянства внутренней среды беременных – это обязательная запрограммированная болезнь, без которой невозможно развитие плода. Именно «запрограммированная болезнь беременного организма» и обеспечивает плод всем необходимым.

Каким образом нарушается закон постоянства внутренней среды организма беременных изучено достаточно подробно. Но тогда, каким же образом может быть обеспечено усиление мощности гомеостатической системы организма беременных, охраняемого законом постоянства внутренней среды? Для этого, как оказалось, у высших организмов есть единственный способ: гипоталамический регулятор – реле, который необходимо сделать в этот период менее чувствительным к тормозящим сигналам. Это приведет к тому, что работа всех систем, контролируемых гипоталамусом, увеличится параллельно снижению его чувствительности к тормозящим сигналам.

Изменение «точки отсчета» чувствительности гипоталамуса, действительно, имеет место. Особенно отчетливо прослеживается в механизме возрастного включения репродуктивной (детородной) функции. Действительно, механизм полового созревания связан с изменениями состояния регулятора – гипоталамуса. При этом, как оказалось, этот

порог чувствительности гипоталамуса в дальнейшем изменяется в течение всей оставшейся жизни.

Таким образом, наряду с механизмом установления бесчисленных равновесий и постоянства (гомеостаза), в каждый момент времени существуют также механизмы, нарушающие гомеостаз во времени, обеспечивая тем самым выполнение программы развития организма. Отсюда следует далеко не банальный вывод: если стабильность внутренней среды организма – закон существования организма, то запрограммированное нарушение гомеостаза – закон его развития. Поэтому-то с законом постоянства внутренней среды сосуществует закон отклонения гомеостаза. Действительно, если бы существовал только закон постоянства внутренней среды, то нам необходимо было бы признать множество исключений, запрещающих действие этого закона. Иными словами, закон постоянства внутренней среды без своего антипода – закона отклонения гомеостаза – должен был бы запрещать развитие, поэтому-то фундаментальный закон постоянства внутренней среды существует только в диалектическом единстве со своей противоположностью – законом отклонения гомеостаза. Более того, оба эти закона сосуществуют и выполняются одновременно, обеспечивая в каждый момент времени и стабильность, и развитие организма во времени. Оказалось, что это условие может быть выполнено лишь на уровне гипоталамуса, куда и сходится вся информация со всех трех главных гомеостатических систем[1].

Именно гипоталамо-гипофизарный комплекс контролирует все три основные функции живых систем (энергетическую, репродуктивную и адаптивную), служа тем самым и закону постоянства внутренней среды, и закону отклонения гомеостаза. Сопряжение обоих законов на уровне гипоталамуса имеют решающее значение в биологической жизни каждого индивидуума (регулируя механизм старения, болезни старения и естественную смерть).

7. Мультифункциональность гомеостаза.

Функционально обособленным системам характерно известное свойство мультифункциональности. Оно реализуется через повторяющиеся структуры, составленные из клеток нескольких типов и названые «функционами», или «гистионами».

Свойство мультифункциональности в организме в целом и в его обособленных функциональных подсистемах проявляется как на физиологическом, так и биохимическом уровнях. Например, простагландины вырабатываются не только в специализированных тканях репродуктивных органов, но и в иных органах, в частности надпочечниках. В силу этого мультифункциональность позволяет организму осуществлять функции, необходимые для гомеостаза, не обязательно одним способом, а, как правило, множеством их. Следовательно, организм обычно имеет «выбор», каким из способов ему воспользоваться, чтобы поддерживать гомеостаз. В то же время организм, его органы и функционально обособленные системы не могут с одинаковой эффективностью одновременно выполнять сразу несколько функций, поскольку эти процессы имеют иногда разную направленность и различные (иногда взаимоисключающие) механизмы, поэтому и будем называть это «принципом альтернативности».

Существует несколько способов избежать конфликтных ситуаций, обусловленных мультифункциональностью. К важнейшим из них относятся разграничения функций во времени и в пространстве.

Несомненно, мультифункциональность повышает выживаемость организма в экстремальных условиях, и в этом плане она является важным свойством. Это помогает некоторое (ограниченное) время сохранять гомеостаз. Однако следом за стадией резистентности (сопротивления) наступает стадия истощения, во время которой эффективная

[1] Нейро-эндокринная система включает в себя гипоталамус, гипофиз, периферические эндокринные железы (и их гормоны) и клетки гормонально чувствительных тканей. Вся эта система работает по иерархическому принципу.

борьба с факторами стресса уже практически невозможна. В тех же случаях, когда это не приводит к гибели организма, возникают патологические сдвиги функций, поддерживающих жизнедеятельность организма, причем некоторые из функций начинают, по-видимому, обеспечиваться способами нестандартными для нормы.

Разумеется, факторы стресса, в которых мультифункциональность играет ключевую роль, являются экстраординарным событием для организма. Однако нетрудно прийти к выводу, что и в обычных «спокойных» условиях мультифункциональность не менее важна для жизнедеятельности, поскольку способствует приспособлению организма к постоянно меняющимся обстоятельствам. Так, перемещение (дрейф) гомеостатической зоны, например, из-за привыкания к медленно меняющимся условиям было бы невозможным, если бы организм не использовал для этого мультифункциональные способности своих органов.

Стоит отметить также, что в выборе того или иного способа функционирования далеко не всегда просматривается жесткая предопределенность. Более того, есть основания считать, что практически ни одно из состояний взрослого организма, даже если оно внешне соответствует норме, не может рассматриваться как оптимальное одновременно для всех органов и функционально обособленных систем. То есть какие-то из них, оказывается, систематически выполняют нестандартные функции, возможно, и в ущерб основным. Поэтому далеко не любые из, казалось бы, вполне вероятных путей обеспечения гомеостаза реализуются на практике.

8. Гемостаз.

Мы уже отмечали, что особое значение для жизнедеятельности организма имеет постоянство состава крови – жидкой основы организма. Хорошо известна и устойчивость ее активной реакции (pH), осмотического давления, соотношения электролитов (ионов натрия, кальция, хлора, магния, солей фосфора), содержания глюкозы, числа форменных элементов и т. д. Известно, что даже небольшие расстройства кислотно-щелочного обмена с патологическим накоплением кислот в тканевой жидкости, например, при диабетическом ацидозе, относительно мало влияют на активную реакцию крови. Несмотря и на то, что осмотическое давление крови и тканевой жидкости подвергается непрерывным колебаниям вследствие постоянного поступления осмотически активных продуктов обмена, оно, тем не менее, сохраняется на определенном уровне и изменяется лишь при существенно выраженных патологических состояниях.

Хотя кровь представляет общую внутреннюю среду организма, клетки органов и тканей непосредственно не соприкасаются с ней. В силу этого в многоклеточных каждый орган имеет свою собственную внутреннюю среду (микросреду), отвечающую его структурным и функциональным особенностям. Поэтому нормальное состояние таких органов зависит от химического состава, физико-химических, биологических и других свойств этих микросред. Их гомеостаз, в свою очередь, обусловлен функциональным состоянием ряда барьеров и их проницаемостью в направлениях кровь – тканевая жидкость: тканевая жидкость – кровь. Медицинские аспекты такого гомеостаза выражаются через данные биохимических анализов в клинико-диагностических лабораториях. Одним из важнейших его параметров является свертываемость крови – неотъемлемая часть системы гемостаза.

Гемостаз – это сложнейший процесс, который предотвращает или останавливает истечение крови из просвета сосудов, обеспечивая формирование свертка фибрина, необходимого для восстановления целостности ткани, и удаляет фибрин, когда нужда в нем отпадает.

Бегло перечислим четыре основных физиологических механизма гемостаза.

Сокращение сосуда – это первоначальная реакция на повреждение, реализующаяся даже на микроциркуляторном уровне. Оно реализуется раньше адгезии тромбоцитов на сосудистой стенке как рефлекторный ответ на воздействие различных стимулов. И связано с формированием тромбоцитарных агрегатов и фибрина. Вазоконструкторы этого процесса – тромбоксан и серотонин – выделяются в процессе агрегации тромбоцитов.

Функция тромбоцитов. Нормальное содержание тромбоцитов в 1 мм^3 крови – 170000-400000, средняя продолжительность их жизни 7-10 дней. Тромбоциты прилипают к субэндотелиальным коллагеновым волокнам в зоне разрыва стенки сосуда. Кроме того, они увеличиваются в объеме, и начинается реакция выделения тромбоцитарных факторов, которые привлекают в эту зону и другие тромбоциты. Возникающий в результате этого агрегат пломбирует разорванный сосуд. АДФ, тромбоксан, серотонин – медиаторы этого процесса. Их антагонистами являются простациклины простагландины, которые являются вазодилататорами и препятствуют агрегации тромбоцитов. Другой процесс, в котором участвуют тромбоциты, – это необратимая, зависимая от фибриногена, их дегрануляция.

Коагуляция – активация каскада зимогенов, приводящая к расщеплению фибриногена и превращению его в нерастворимый фибрин, скрепляющий пломбу из тромбоцитов. Внутренний механизм процесса начинается с момента контакта факторов свертывания с коллагеном в месте повреждения сосуда. Внешний механизм запускается тканевыми факторами (гликопротеинами).

Фибринолиз. Проводимость сосудов обеспечивается за счет лизиса свертков фибрина. Фибринолиз зависит от плазмина, который получается из плазминогена. Плазмин лизирует фибрин, частицы которого препятствуют агрегации тромбоцитов.

Так как основные функции гемостаза заключаются в поддержании жидкого состояния крови и в быстром купировании повреждения сосудистой системы, то в этом процессе принимают участие и клетки крови, и эндотелий сосудов, и циркулирующие в крови белки (факторы свертывания крови). Ниже перечислим основные элементы «полисистемы» гемостаза. В этом случае система гемостаза не только принимает участие в поддержании жидкого состояния крови в сосудах, но оказывает влияние и на гемореологию, гемодинамику, а также на проницаемость сосудов, участвуя при этом в заживлении ран, воспалении, иммунологических реакциях, а также формирует свое отношение к общей неспецифической резистентности организма.

На ранних этапах эволюционного развития гемостаз осуществлялся путем сокращения сосудов, на более высокой ступени эволюции появились специальные кровяные клетки-амебоциты, тромбоциты, способные прилипать к поврежденному участку и закупоривать рану в сосудистой стенке. Последующее развитие животного мира привело к появлению в крови высших животных и человека специфических клеток (кровяных пластинок). Таким образом, система гемостаза сформировалась как совокупность и взаимодействие компонентов крови, стенки сосудов и органов, принимающих участие в синтезе и разрушении факторов, обеспечивающих резистентность и целостность стенки сосудов, остановку кровотечения при повреждении сосудов и жидкое состояние крови в сосудистом русле.

Это единая, структурно и функционально определенная «полисистема», особенностями которой являются:

1) каскадный принцип последовательного включения и активирования факторов;
2) возможность активации указанных систем в любой точке сосудистого русла;
3) общий механизм включения систем;
4) обратная связь в механизме взаимодействия систем;
5) наличие общих ингибиторов.

Основные компоненты «полисистемы» гемостаза подразделяют на внутрисосудистые (кровь); сосудистые; тканевые; гемостатические факторы тромбоцитов; тромбоцитарный фибриноген; антифибринолитический фактор; сосудосуживающий фактор, стимулятор агрегации (серотонин); фибрин стабилизирующий фактор (5-гидрокситрептамин) и ряд других.

Природа некоторых из перечисленных факторов, содержащихся в тромбоцитах, окончательно не установлена. К плазменным кофакторам адгезии и агрегации тромбоцитов относятся и ионы двухвалентных металлов (кальция, магния и др.), термолабильный белковый кофактор и фибриноген. В эритроцитах и лейкоцитах также содержатся факторы,

принимающие участие в клеточном гемостазе, свертывании крови и фибринолизе.

Эритроциты также участвуют в регуляции свертывания крови и фибринолиза посредством адсорбции на их мембране ферментов этих систем. Кроме того, эритроциты задерживаются в фибриновой сети сгустков и тромбов, увеличивая их массу.

Участие сосудов в гемостазе определяется не только их спазмом при повреждении, но и наличием в их стенке (в основном в субэндотелии) важнейших стимуляторов адгезии и агрегации тромбоцитов, свертывания крови, фибринолиза, формирования полноценного сгустка – коллагеновых волокон, микрофибрилл, компонентов базальной мембраны и др. Среди факторов гемостаза важнейшим является тканевой тромбопластин, содержащийся в большенстве тканей организма.

Тканевой тромбопластин, запуская процесс свертывания крови по внешнему механизму, способствует образованию первых доз тромбина, которые необходимы для образования и консолидации тромбов и для катализа основного (внутреннего) свертывания. Дискуссия о том, какой из двух механизмов свертывания (внутренний или внешний) важнее, мало правомочна, так как клиника показывает, что при нарушении обоих механизмов возникает выраженная кровоточивость.

Ниже перечислим основные факторы свертывания крови по международной номенклатуре.

I. Фибриноген. Образующийся в печени и клетках ретикулоэндотелия белок, состоящий из трех парных полипептидных цепей, преципитирует при 56-60°, стабилен при хранении плазмы, свертывается тромбином, отсутствует в сыворотке, ВПЖ[1] – 4-6 дней.

II. Протромбин. Образуется в печени, К-витаминозависим, термостабилен, сохраняется в плазме при хранении, отсутствует в сыворотке; гликопротеин, ВПЖ[1] – 3-4 дня.

III. Тканевые тромбопластины. Высокомолекулярные липопротеины, обладающие свойствами микроменбран.

IV. Ионы кальция. Участвуют в активации ряда факторов свертывания, включаясь в состав их комплексов.

V. Ас-глобулин. Образуется в печени, К-витаминонезависим, термолабилен, малостоек при хранении плазмы, ускоряет в 1000 раз превращение протромбина в тромбин. ВПЖ – 15-24 часа.

VII. Прокровертин. Стабильный фактор, сывороточный ускоритель превращения протромбина. Образуется в печени, К-витаминозависим, термолабилен, сохраняется в сыворотке крови, стабилен при хранении плазмы; ВПЖ– 4-6 часов.

VIII. Антигемофильный глобулин. Белок, состоящий из нескольких субъединиц. При хранении плазмы быстро инактивируется. Усиливает влияние фактора IX на фактор X. Место синтеза не установлено. ВПЖ – 12-18 часов.

IX. Плазменный тромбопластиновый компонент. Образуется в печени, К-витаминозависим, присутствует в плазме и сыворотке, в которых длительно сохраняется, термостабилен. ВПЖ– 18-30 часов.

X. Фактор Стюарт–Прауэра. Образуется в печени, К-витаминозависим, относительно стабилен при хранении плазмы. Гликопротеин с выраженной протеиназной активностью. ВПЖ– 48-60 часов.

XI. Плазменный. Предшественник тромбопластина. Бета/гамма-глобулин, инактивируется при 56°, сохраняется в плазме и сыворотке, инактивируется и сорбируется каолином и цеолитом. ВПЖ – 60 часов.

XII. Фактор Хагемана. Сиалогликопротеин, стабилен при 56°, сохраняется в плазме и сыворотке, адсорбируется цеолитом и каолином. ВПЖ – 60 часов.

[1] ВПЖ – время полужизни в кровяном русле.

XIII. Фибрин – стабилизирующий фактор. Фибриназа. Глобулин. Термолабилен, стабилен при хранении в плазме. В сыворотке отсутствует. Место синтеза неизвестно. ВПЖ – 3-4 дня.

В заключении отметим, что система гемостаза является саморегулирующейся системой. Координирование процесса в месте повреждения сосуда с одновременным сохранением жидкого состояния крови в сосудистом русле осуществляется, кроме перечисленных выше факторов, нервной и гуморальными факторами, в частности, физиологически активными аминами и другими соединениями, так называемыми «тканевыми гормонами».

При этом устойчивость стенки сосудов к различным механическим воздействиям, в том числе и к травме (т. е. их резистентность), является одним из факторов сохранения гомеостаза. Резистентность стенки сосудов находится в прямой зависимости от ее структурных особенностей, в частности, от целостности базальной мембраны, периваскулярной соединительной ткани, включая ее волокнистые элементы и аморфное межуточное вещество, и функционального состояния общей системы гемостаза.

Тромбоциты и плазменный компонент системы гемостаза также имеют непосредственное отношение к поддержанию резистентности стенки сосудов. Так известно, что у людей при уменьшении количества тромбоцитов до 20000 в 1 мкл крови имеет место снижение резистентности стенок сосудов, сопровождающееся спонтанной кровоточивостью. В зависимости от размеров поврежденного сосуда и ведущей роли отдельных факторов гемостаза в ограничении кровопотери различают два основных механизма: тромбоцитарнососудистый и коагуляционный. В первом ведущее значение в остановке кровотечения отводится сосудистой стенке и тромбоцитам, во втором – системе свертывания крови. В процессе остановки кровотечения оба механизма гемостаза находятся во взаимодействии, что и обеспечивает надежный гемостаз. При этом тромбоциты являются связующим звеном тромбоцитарно-сосудистого и коагуляционного механизмов гемостаза, формируя, таким образом, гемостатический тромб.

9. Общие закономерности функционирования организма и гомеостаз.

Под болезнью обычно понимают такие изменения в организме, которые возникают при воздействии патогенных факторов и которые препятствуют нормальному обеспечению гомеостаза всего организма и (или) нормальному функционированию каких-либо его частей. Длительные нарушения баланса между анаболизмом и катаболизмом в организме в целом или в его частях могут свидетельствовать о наличии болезни.

При этом в контексте гомеостаза обычно выделяют следующие наиболее важные свойства организма:

1) формировать и поддерживать оптимальный обмен вещества живого с окружающей средой;

2) аналогично – обмен энергией с окружающей средой, при котором часть поступающей «низкоэнтропийной» энергии используется для осуществления физиологических функций, поддерживающих гомеостаз и самосохранение, и которая, в конечном итоге, преобразуется в тепловую;

3) аналогично – с компенсаторно-приспособительными реакциями, цель которых обеспечивать гомеостаз и самосохранение;

4) аналогично – с целью формирования способность изменять взаимодействие с внешней средой.

Общие механизмы управления процессами приспособления к среде обитания живые системы формировали и оттачивали на протяжении многих миллионов лет. В результате оказалось, что практически все константы внутренних сред организмов колеблются относительно некоторых средних значений и тем самым дополнительно стабилизируют оптимальные условия устойчивого протекания обменных процессов (биоритмология). При этом в ряде случаев даже незначительные отклонения этих констант в норме приводит к весьма ощутимым нарушениям обменных процессов. Другие же константы именно в норме

обязаны варьировать в весьма широком диапазоне значений. И то, и другое является возможным благодаря сложным процессам самоорганизации.

Саморегуляция – способность биологических систем устанавливать и поддерживать на определенном относительно постоянном уровне физиологические показатели (например, кровяное давление, температуру тела, физико-химические свойства крови и тому подобное). Саморегуляция осуществляется при условии обратной связи между процессом и системой, которая его регулирует.

Выделяют следующие уровни регуляции и саморегуляции живой материи: 1) субмолекулярный; 2) молекулярный; 3) субклеточный; 4) клеточный; 5) жидкостной (внутренняя среда, гуморально – гормонально-ионные взаимоотношения); 6) тканевой; 7) нервный (центральные и периферические нервные механизмы, нейрогуморально – гормонально-барьерный комплекс); 8) организменный; 9) популяционный (популяция клеток, многоклеточных организмов).

Очевидно, что гомеостатическим уровнем биологических систем следует считать организменный. В его границах выделяют и ряд других: цитогенетический, соматический, онтогенетический и функциональный (физиологический) гомеостаз.

Цитогенетический гомеостаз выражает непрерывную перестройку организмов соответственно условиям их существования. Соматический – направление суммарных сдвигов функциональной активности организма на установление наиболее оптимальных отношений его со средой. Онтогенетический – это индивидуальное развитие организма от образования зародышевой клетки до смерти или прекращения существования в прежнем качестве.

Под функциональным гомеостазом понимают оптимальную физиологическую активность различных органов, систем и всего организма в конкретных условиях среды. В свою очередь он включает: обменный, дыхательный, пищеварительный, выделительный и регуляторный (обеспечивающий оптимальный уровень нейрогуморальной регуляции).

Соматический гомеостаз представляет собой контроль над генетическим постоянством соматических клеток, составляющих индивидуальный организм.

Иногда выделяют гомеостаз циркуляторный, двигательный, сенсорный, психомоторный, психологический и даже информационный (обеспечивающий оптимальную реакцию организма на поступающую информацию). Отдельно выделяют патологический уровень – болезни гомеостаза, т. е. нарушение работы гомеостатических механизмов и регулирующих систем.

В организме человека ведущую роль в поддержании динамического постоянства внутренней среды играет кровь, циркулирующая в сосудах. Она и выполняет перечисленные ниже функции.

Транспортная – перенос различных субстратов: кислорода, углекислого газа, питательных веществ, гормонов, медиаторов, электролитов, ферментов и др.

Дыхательная (разновидность транспортной функции) – перенос кислорода от легких к тканям организма, углекислого газа – от клеток к легким.

Трофическая (разновидность транспортной функции) – перенос основных питательных веществ от органов пищеварения к тканям организма.

Экскреторная (разновидность транспортной функции) – транспорт конечных продуктов обмена веществ (мочевины, мочевой кислоты и др.), избытка воды, органических и минеральных веществ к органам их выделения (почки, потовые железы, легкие, кишечник и др.).

Терморегуляторная – перенос тепла от более нагретых органов к менее нагретым.

Защитная – осуществление неспецифического и специфического иммунитета; свертывания крови, предохраняет от кровопотери при травмах.

Регуляторная (гуморальная) – доставка гормонов, пептидов, ионов и других физиологически активных веществ от мест их синтеза к клеткам организма, что позволяет осуществлять регуляцию многих физиологических функций.

Гомеостатическая – поддержание постоянства внутренней среды организма (кислотно-основного равновесия, pH, водно-электролитного баланса, т. е. концентрации и соотношения концентраций электролитов – натрия, калия, хлора, магния, фосфора и др.), а также числа форменных телец.

Постоянство осмотического давления также имеет первостепенное значение для водного обмена и поддержания водного баланса в организме. Для этого случая, по-видимому, наиболее характерно постоянство концентрации ионов натрия во внутренней среде. А наличие большого числа осморецепторов, в том числе в гипоталамусе и в гиппокампе, позволяет организму быстро устранять сдвиги в осмотическом давлении крови, происходящие, например, при введении в организм воды.

Кроме упоминавшегося выше хлористого натрия, большую роль в поддержании осмотического давления во внутренней среде играет концентрация сахара и мочевины. Поэтому при любых нарушениях гомеостаза следует, прежде всего, определять концентрацию именно этих соединений.

Сложной гомеостатической системой, включающей различные нейрогуморальные, биохимические, гемодинамические и другие механизмы регуляции, является также и система обеспечения оптимального уровня артериального давления. Исключительно совершенной является и система терморегуляции. Так, у гомойотермных организмов колебания температуры во внутренних отделах тела при резких изменениях температуры внешней среды, обычно не превышает долей градуса.

С точки зрения химической биофизики, гомеостаз – это такое состояние, при котором все процессы, принимающие участие в энергетических превращениях в организме, находятся, как мы уже неоднократно отмечали, в динамическом равновесии (стационарное состояние). Именно это состояние обладает наибольшей чувствительностью и отвечает при этом физиологическому оптимуму.

Основная роль в установлении динамического гомеостаза принадлежит клеточным мембранам, ответственным, в первую очередь, за биоэнергетические процессы, которые регулируют скорость как поступления, так и выделения различных веществ клетками. При этом одним из основных факторов, стабилизирующих гомеостатическое состояние и функции мембран, являются биоантиоксидантные системы, которые и сдерживают развитие радикальных реакций.

10. Возрастные особенности гомеостаза.

В заключении кратко рассмотрим возрастные особенности гомеостаза.

Известно, что у младенцев особенно важной в этой связи является концентрация $[H^+]$ как в крови, так и во внеклеточной жидкости. Это обусловлено тем, что регуляция кислотно-основного равновесия в них особенно тесно связана со степенью насыщения крови кислородом, при относительном преобладании анаэробного гликолиза в биоэнергетических процессах. Поэтому даже умеренная гипоксия, например, у плода сопровождается быстрым накоплением в его тканях молочной кислоты и, следовательно, развитием т. н. «физиологического» ацидоза. Поэтому для характеристики гомеостаза у детей необходимо знать гематокрит, общее осмотическое давление, содержание натрия, калия, сахара, мочевины и бикарбонатов в крови, а также её pH, pO_2 и pCO_2.

В пожилом и старческом возрасте превалируют другие особенности гомеостаза. Так, если в молодом возрасте постоянство уровня артериального давления поддерживается в основном за счет более высокого минутного сердечного выброса крови и низкого общего периферического сопротивления сосудов, то в пожилом и старческом возрасте все обстоит как раз наоборот – за счет более высокого общего периферического сопротивления сосудов и уменьшения величины минутного сердечного выброса.

Такие различия обусловлены тем, что при старении организма важнейшие физиологические функции поддерживаются в условиях уменьшения как надежности, так и сокращения диапазона возможных изменений гомеостаза. Поэтому сохранение относительного гомеостаза в этом возрасте достигается тем, что наряду с нарушением и

деградацией определенных структур и функций идет развитие специфических приспособительных механизмов. Именно за счет этого и поддерживается в этой возрастной группе постоянный уровень сахара и pH крови, осмотического давления, мембранного потенциала и др. характеристик организма.

В целом же при старении организма изменяются не только работа сердца, легочная вентиляция, газообмен, почечные функции, секреция пищеварительных желез, функции желез секреции, обмен веществ и др., но снижаются и общие потенциальные возможности приспособительных механизмов. Поэтому в старости при повышенных нагрузках, стрессах и других аналогичных ситуациях вероятность срыва адаптационных механизмов, а в итоге, нарушения гомеостаза, увеличивается. А такое уменьшение надежности механизмов гомеостаза является важнейшей предпосылкой развития различных патологических нарушений.

Список литературы

1. *Eldredge N.* Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism / N. Eldredge, S. J. Gould // Models in Paleobiology. – 1972. – P. 91–94.

2. *Gould S. J.* Punctuated equilibrium comes of age / S. J. Gould, N. Eldredge // Nature. – 1993. – Vol. 366 (6452). – P. 223–227.

3. *Sohal R. S.* The rate of living theory: a contemporary interpretation / R. S. Sohal. – In: Collatz K. G., Sohal R. S. (eds). Insect Aging, Springer-Verlag. – Berlin, 1986. – P. 23–44.

4. *Economos A. C.* Developmental temperature and lifespan in *Drosophila melanogaster*. I. Constant developmental temperature: evidence for physiological adaptation in a wide temperature range / A. C. Economos, F. A. Lints // Gerontology. – 1986. – № 32. – P. 18–27.

5. *Новосельцев В. Н.* Старение насекомых. I. Результаты экспериментальных исследований и основные модели / В. Н. Новосельцев, Ж. А. Новосельцева, А. И. Яшин // Успехи геронтол. – 2000. – Т. 4. – С. 122–131.

6. *Новосельцев В. Н.* Математическое моделирование в геронтологии – стратегические перспективы / В. Н. Новосельцев, Ж. А. Новосельцева, А. И. Яшин // Успехи геронтол. – 2003. – Т. 12. – С. 149–165.

7. *Novoseltsev V. N.* Anticipation of oxidative damage decelerates aging in virgin female medfliies: a hypothesis tested by statistical modeling / V. N. Novoseltsev, J. Carey, P. Liedo et al. // Exp. Gerontol. – 2000. – Vol. 35. – P. 971–987.

Білобров В. М., Богдан Н. М., Хомутова К. В., Беспалова С. В., Гладий В. Л., Федченко Ю. А. **Біофізичні аспекти гомеостазу.** – У роботі розглянуті загальні стани біологічних аспектів гомеостазу. На підставі існуючих теорій старіння зроблено висновок, що старіння може бути визначено як вікове зниження гомеостатичних здібностей організму, а швидкість старіння визначається двома чинниками – темпом споживання кисню (і виробництвом оксидантів) та ефективністю антиоксидантного захисту.

Ключові слова: гомеостаз, еволюція, організм, середовище, термодинаміка, старіння.

Bilobrov V. M., Bogdan N. M., Khomutova K. V., Bespalova S. V., Gladiy V. L., Fedchenko Yu. A. **Biological aspects of a homeostasis.** – In work biology of a homeostasis general provisions are considered. On the basis of existing theories of ageing the conclusion was made, that this process, first of all, is characterized as age reduction in abilities of an organism to support a homeostasis, which speed is determined by two factors – rate of oxygen intake (and oxidant production) and efficiency antioxidant protection.

Key words: homeostasis, evolution, organism, medium, thermodynamic, ageing.

УДК 616.831 : 504.75

© Н. В. Говта, И. В. Котлярова

ЭЭГ-ПАТТЕРНЫ УРОВНЯ ТРЕВОЖНОСТИ ЖИТЕЛЕЙ ДОНБАССА

Донецкий национальный университет; 83050, г. Донецк, ул. Щорса, 46
e-mail: nvgovta@mail.ru

Говта Н. В., Котлярова И. В. **ЭЭГ-паттерны уровня тревожности жителей Донбасса.** – Изучено влияние профессионально-экологических вредностей на состояние биоэлектрической активности мозга. Разработана эколого-профессиографическая карта уровня тревожных расстройств для своевременного выявления группы риска акцентуированных личностей.

Ключевые слова: ЭЭГ, профессионально-экологические вредности, тревожность.

Введение

В настоящее время изучение влияния профессионально-экологических вредностей (ПЭВ) как нового комплексного фактора риска, существенно влияющего на физическое и психическое здоровье индивида, привлекает внимание все большего числа исследователей в разных научных областях. В то же время необходимо отметить, что данная проблема весьма актуальна как для экологии, так и для экологической нейрофизиологии [7, 14, 15].

Влияние ПЭВ связано со структурами мозга, отвечающими за интеллектуально-эмоциональные процессы, что выражается в нейродинамических перестройках электроэнцефалограммы (ЭЭГ). Воздействие на человека экологических и профессиональных факторов до того, как они проявят себя в ухудшении его физического здоровья, сказывается в расстройстве различных психических функций и деятельности человека [5]. Существует гораздо больше патологических расстройств, происхождение которых не верифицировано, но прямо или косвенно определяется экологическими и профессиональными вредностями [1, 2].

Наиболее типичные проявления функционального состояния головного мозга, связанные с экологическими факторами, выражаются в нарушениях когнитивных процессов, снижении интеллектуального потенциала, изменениях в эмоционально-волевой сфере, ухудшении самочувствия и настроения человека, появлении нервно-психического напряжения, стресса и тревожно-депрессивных расстройств. Недостаточность лимбико-ретикулярных структур мозга, обеспечивающих интегративную деятельность, адаптацию к меняющимся условиям среды и адекватные формы поведения, в отличие от грубых и диффузных органических поражений мозга, является важным патогенетическим звеном тревожных расстройств [3].

Таким образом, исследования спектральной плотности и когерентности ЭЭГ-паттернов головного мозга жителей техногенно трансформированных территорий позволит выявить группу риска акцентуированных личностей для дальнейшего формирования у них профессионально нужных качеств.

Материалы и методы исследования

Основную группу составили 412 добровольцев (350 женщин и 62 мужчины, средний возраст 20±1,5 года). Никто из обследованных ранее не употреблял препараты психотерапевтического спектра. Регистрацию и анализ ЭЭГ осуществляли по общепринятой методике с помощью 19-канального электроэнцефалографического комплекса «Нейроком, Xai-medica – Украина». ЭЭГ потенциалы отводили монополярно от фронтальных (F3, F4, F7, F8), центральных (C3, C4, Cz), теменных (P3, P4, Pz), височных (T3, T4, T5) и затылочных (O1, O2) локусов по стандартной международной системе отведения «10-20%» [13]. Референтными электродами служили объединенные контакты на правой и левой мочке ушей с полосой пропускания частотного фильтра 35 Гц и оцифровки сигнала в 0,1 с.

Исследование включало регистрацию фоновой активности ЭЭГ в состоянии покоя при закрытых и открытых глазах с раздельным расчетом спектральной композиции. Длительность пробы фоновой адаптации составляла от 60 до 360 с. Длительность

непрерывной записи составляла 120 с минуты. Запись и обработку ЭЭГ на персональном компьютере осуществляли с помощью программы «NeuroCom».

Проводили визуальный, спектральный и корреляционный анализ ЭЭГ. Спектр вычисляли с помощью быстрого преобразования Фурье [10, 14] для освобожденных от артефактов участков записи общей длительностью 1 мин. Анализировали дельта – Δ (0,5-4 Hz), тэта – θ (4-8 Hz), альфа – α (8-13 Hz), бета – β (13-30 Hz) диапазоны ЭЭГ. Для количественной оценки спектра в каждом частотном диапазоне рассчитывали спектральную плотность мощности (СПМ, mkV2/Hz). Корреляционный анализ проводили для тех же отрезков записи, что и спектральный анализ, как по всему частотному диапазону (0,5-30 Гц), так и по отдельным частотным полосам ЭЭГ.

Зонирование экологической вредности техногенно трансформированных территорий Донбасса определяли по [9].

Для оценки уровней ситуативной и личностной тревожности испытуемых применяли методику Спилберга, адаптированную Ханиным [11, 16]. По результатам теста госпитальной тревожности и депрессии – HADS выявлены уровни клинических и субклинических тревожно-депрессивных расстройств.

Результаты и обсуждение

По результатам исследования личностных характеристик установлена положительная корреляционная связь ($r = 0,43 \pm 0,13$) СПМ θ-ритма зарегистрированного при закрытых глазах в отведениях (F_7, F_8, O_1, O_2, C_3, C_5), характеризующих центрально-затылочные и префронтальные области коры головного мозга, с уровнем тревожности жителей техногенно трансформированных территорий (рис. 1).

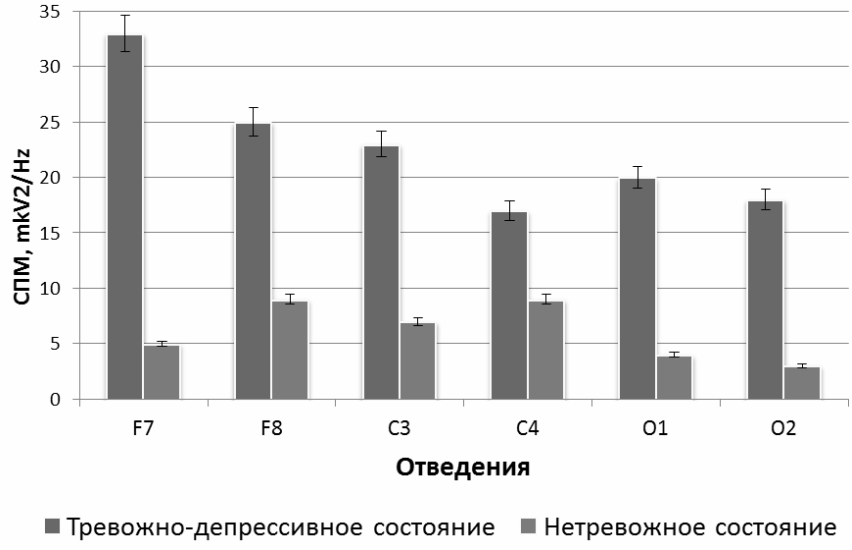
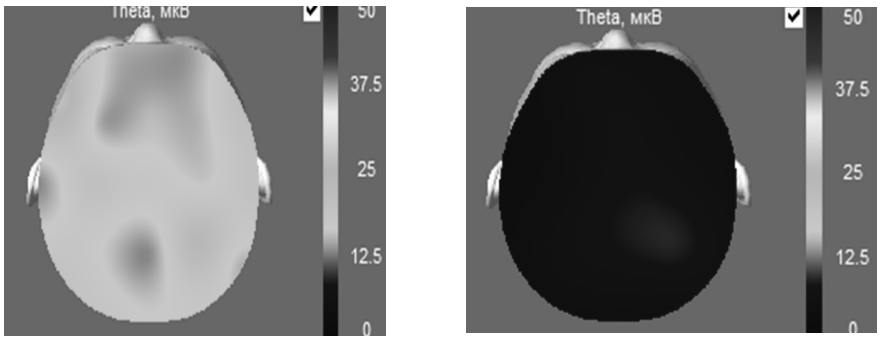


Рис. 1. Спектральная плотность мощности θ-ритма жителей техногенно трансформированных территорий.

Как видно из рис. 1, СПМ θ-активности достоверно ($p<0,001$) выше на 48% у людей, страдающих тревожными расстройствами. Это можно объяснить тем, что неокортикальный θ-ритм является результатом электротонического распространения в гиппокампальных структурах, автономным генератором которых является септум (рис. 2).

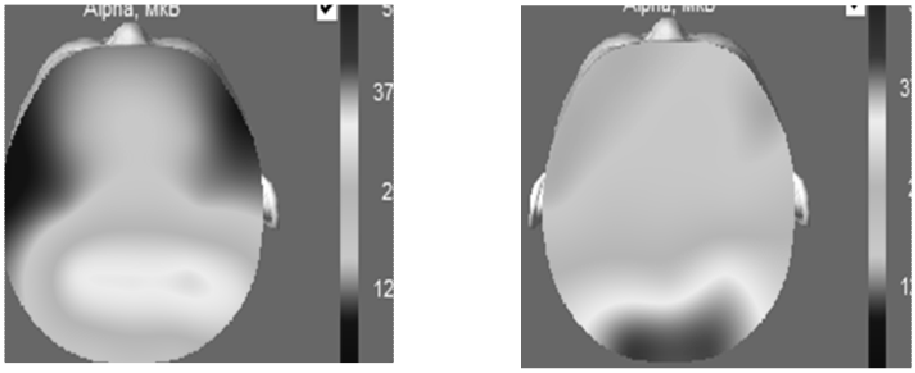


Тревожное состояние (60%) Не тревожное состояние (40%)

Рис. 2. Мощностные карты уровня тревожности жителей Донбасса.

Мощность θ-ритма у человека увеличивается в условиях напряженной психической активности (стресс, беспокойство). На основании этого θ-ритм является ритмом нервно-эмоционального напряжения [7, 8].

По результатам топографического картирования с помощью ICA компонент выявлено, что в момент повышения θ-ритма происходит достоверное снижение α-активности на (51 %±1,11 %), ($p<0,05$) в локусах (F_3, F_4, F_7, F_8, Fp_1, Fp_2, T_3, T_4), соответствующих фронтальным и лобно-височным областям коры головного мозга (рис. 3).



Тревожное состояние (60%) Не тревожное состояние (40%)

Рис. 3. Топографическое картирование когерентности α-активности жителей техногенно трансформированных территорий.

Депрессия спектра когерентности α-ритма (см. рис. 3) характеризуется появлением эмоциональной реакции, связанной с восприятием внешних событий. Это может быть обусловлено тем, что при переживании тревоги и печали мощность α-ритма снижается, свидетельствуя о повышении уровня активации ЦНС, в то время как при агрессии и радости она, напротив, возрастает [7]. С учетом концепции Князева и Слободской депрессия α-ритма характерна для высоко тревожных личностей с доминированием эмоциональной сферы над когнитивной [10, 12].

При оценке влияния неблагоприятных экологических факторов на функциональное состояние биоэлектрической активности мозга жителей техногенно трансформированных территорий установлено, что у 60% диагностируется развитие тревожных состояний ($r = 0,76$, $p<0,05$) (рис. 4).



Рис. 4. Корреляционная плеяда тревожно-депрессивных состояний и уровня экологической вредности.

Следовательно, вклад неблагоприятных факторов среды в развитие тревожно-депрессивных расстройств составляет более 57% причин, которые предположительно ее вызывают (генетические, социальные и др.). Указанные корреляты согласуются с литературными данными и свидетельствуют о проявлении тревожных расстройств [1, 3].

По результатам проведенных исследований разработана карта уровня оценки тревожных состояний жителей техногенно трансформированных территорий (рис. 5).

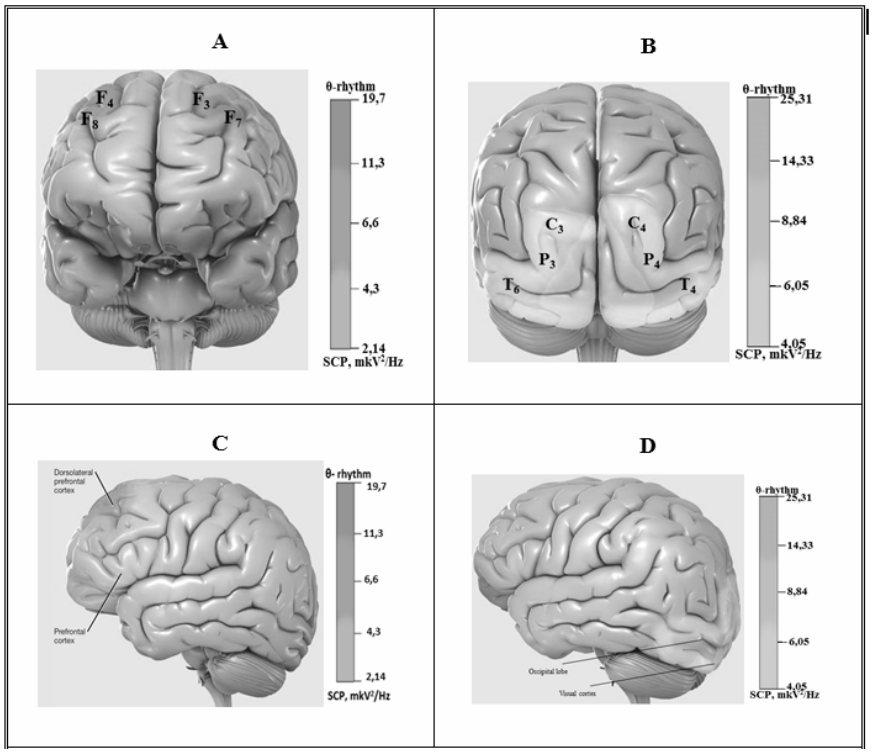


Рис. 5. Эколого-профессиографическое картирование уровня тревожности жителей Донбасса.

СПМ уровня тревожного состояния θ-ритма варьирует от 2,14 до 19,7 mkV^2/Hz в дорсально-префронтальной (A, C) и от 4,05 до 25,31 mkV^2/Hz в затылочной областях (B, D) (см. рис. 5).

Выводы

1. Тревожное состояние жителей Донбасса проявляется на электроэнцефалограмме достоверной ($p<0,001$) активацией θ-ритма в центрально-затылочных и префронтальных зонах коры и снижением α-ритма (на 48%) в лобно-височной и затылочной областях коры головного мозга.

2. Уровень тревожных расстройств отмечается на 20% чаще у жителей техногенно трансформированных территорий, чем у жителей регионов с более благоприятной экологией. Ухудшение экологических условий проживания положительно коррелирует ($r = 0,76$, при $p<0,05$) с возрастанием числа людей с тревожными состояниями, а вклад в их детерминацию составляет более половины ($D = 57\%$) от потенциальных причин (генетических, социальных и др.).

3. Разработана эколого-профессиографическая карта уровня тревожных расстройств для своевременного выявления группы риска акцентуированных личностей.

Список литературы

1. *Александровский Ю. А.* Пограничные психические расстройства: учебное пособие / Ю. А. Александровский. – М.: Медицина, 2000. – 300 с.

2. *Афтанас Л. И.* Особенности межполушарного распределения спектров мощности ЭЭГ у высокотревожных индивидуумов в эмоционально-нейтральных условиях и при отрицательной эмоциональной активации / Л. И. Афтанас, С. В. Павлов // Журнал высшей нервной деятельности. – 2005. – Т. 55, № 3. – С. 322–328.

3. Вегетативные расстройства: Клиника, диагностика, лечение / Под ред. А. М. Вейна. – М.: ООО «Медицинское информационное агентство», 2003. – 752 с.

4. Гетерогенность альфа-ритма и его формирование в онтогенезе / Д. А. Фарбер, В. Ю. Вильдавский, А. С. Горев и др. // Нейрофизиологические основы формирования психических функций в норме и при аномалиях развития. – М., 1995. – С. 59.

5. *Данилова Н. Н.* Функциональные состояния: механизмы и диагностика / Н. Н. Данилова. – М.: МГУ, 1985. – 125 с.

6. Изменение биохимических показателей крови мышей в процессе развития экспериментальной депрессии / Д. Ф. Августинович, И. Л. Коваленко, И. В. Сорокина, Т. Г. Толстикова // Бюлл. эксп. биол. мед. – 2003. –Т. 135, № 4. – С. 406–409.

7. *Кирой В. Н.* Физиологические методы в психологии: учебное пособие / В. Н. Кирой. – Ростов-на-Дону: ООО «ЦВВР», 2003. – 224 с.

8. *Коваленко А. А.* Влияние тревожности на восприятие эмоционально значимых стимулов у человека / А. А. Коваленко // Уч. зап. Таврического нац. ун-та им. В. И. Вернадского, сер. «Биол., химия». – 2009. – Т. 22 (61), № 4. – С. 72–80.

9. Патент 27501 України, МКІ A61B 5/16. Спосіб оцінки впливу екологічних умов на людину за психофізіологічним станом організму / С. В. Беспалова, М. В. Говта, О. С. Горецький, В. О. Максимович (Україна); заявник і патентовласник Донецький національний університет. – № u200702054; заявл. 26.02.2007; опубл. 12.11.2007, Бюл. № 8.

10. *Сахаров В. Л.* Методы математической обработки электроэнцефалограмм / В. Л. Сахаров, А. С. Андреенко. – Таганрог: «Антон», 2000. – С. 45.

11. *Черный С. В.* Тревожность, ЭЭГ-корреляты и возможные механизмы / С. В. Черный, В. Б. Павленко // Уч. зап. Таврического нац. ун-та им. В. И. Вернадского, сер. «Биол., химия». – 2004. – Т. 17 (56), № 1. – С. 89–98.

12. ЭЭГ-исследования личностных особенностей и эмоциональных реакций / О. М. Павленко, С. В. Черный, А. А. Коваленко, С. А. Махин // III Всеукр. наук. конф. «Психофізіологічні та вісцеральні функції в нормі та патології»: тези доп. – К.: «Знання України», 2006. – С. 99.

13. *Avgustinovich D. F.* A model of anxious depression: persistence of behavioral pathology / D. F. Avgustinovich, I. L. Kovalenko, N. N. Kudryavsteva // Neurosci Behav Physiol. – 2005. – № 35. – P. 917–924.

14. *Borsini F.* Is the forced swimming test a suitable model for revealing antidepressant activity? / F. Borsini, A. Meli // Psychopharmacology. – 1988. – № 94. – P. 147–160.

15. *Jacobson L. H.* Feeling strained? Influence of genetic background on depressionrelated behavior in mice: a review / L. H. Jacobson, J. F. Cryan // Behav. Genet. – 2007. – № 37. – P. 171–213.

16. *Lipina T. V.* Social defeats, depression and anxiety an experimental model / T. V. Lipina, S. N. Shigantsov, I. A. Madorskaya, T. P. Denisova. – Monograph Novosibirsk Institute of Cytology and Genetics, 1995. – 48 p.

Говта М. В., Котлярова І. В. **ЕЕГ-патерни рівня тривожності жителів Донбасу.** – Вивчено вплив професійно-екологічних шкідливостей на стан біоелектричної активності мозку. Розроблено еколого-професіографічну карту рівня тривожних розладів для своєчасного виявлення групи ризику акцентуйованих осіб.

Ключові слова: ЕЕГ, професійно-екологічні шкідливості, тривожність.

Govta N. V., Kotljarova I. V. **EEG-pattern level of anxiety of habitants of Donbass.** – Influence of professionally-ecological risk is studied on the state of bioelectric activity brain. The professionally-ecological map of level of anxiety disorders is worked out for the timely exposure of group of risk of personalities.

Key words: EEG, professionally-ecological to harmfulness, anxiety.

УДК 577.353

© А. М. Мищенко, С. В. Беспалова

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЫШЦЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕПРЕРЫВНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННО РАСПРЕДЕЛЕННОЙ МОДЕЛИ

Донецкий национальный университет; 83050, г. Донецк, ул. Щорса, 46
e-mail: artembio@mail.ru

Мищенко А. М., Беспалова С. В. **Моделирование частотных характеристик мышцы с использованием непрерывной пространственно распределенной модели.** – Важной характеристикой мышечного волокна являются его амплитудно-фазово частотные характеристики (АФЧХ). АФЧХ мышцы отражает эффективные переходные процессы силового отклика мышцы на изменение её длины, в основе которых в свою очередь лежат элементарные молекулярные механохимические события актомиозинового цикла. В работе предложена непрерывная пространственно распределенная модель саркомера, позволяющая симулировать его АФЧХ. Модель адекватно воспроизводит наблюдаемые экспериментально АФЧХ мышечных волокон скелетных мышц позвоночных. Рассматривается молекулярный механизм, лежащий в основе переходных экспоненциальных процессов.

Ключевые слова: мышца, модель, гармонический анализ, переходные характеристики.

Введение

Мышца – это сложная динамическая система. Важной характеристикой мышечного волокна как динамической системы является его АФЧХ. Эта характеристика специфична для мышц различных видов организмов, а также мышц различных типов. Для получения частотных характеристик длину мышцы изменяют по гармоническому закону с определенной амплитудой и частотой, при этом измеряют силу мышцы. Частотные характеристики – это зависимость от частоты разности фаз колебательного изменения длины мышцы и её силы, а также отношения амплитуд этих сигналов. Частотные характеристики мышцы показывают наличие нескольких переходных экспоненциальных процессов в силовом отклике мышцы на изменение её длины. В свою очередь эти процессы являются эффективными и отражают элементарные механохимические процессы, лежащие в основе работы мышцы на молекулярном уровне. Изучение зависимости АФЧХ от концентрации различных лигандов (АТФ, АДФ, Фн), участвующих в механохимическом цикле поперечных мостиков (ПМ), позволяет исследовать последовательность стадий этого цикла, их длительность, а также последовательность сопряжения механических и химических переходов [7, 9-11]. В экспериментальных работах [7, 9-11] АФЧХ мышцы математически описывается передаточной функцией, включающей три экспоненциальных процесса. Кинетический цикл, построенный на основе полученной АФЧХ и её зависимости от концентрации лигандов, включает, как минимум, шесть стадий [8, 11].

Молекулярная природа переходных процессов, выявляемых частотными характеристиками, является предметом дискуссий. Имеется ряд моделей, воспроизводящих частотные характеристики различных мышц. В работах [7, 9-11] используется точечная кинетическая модель. Однако при описании взаимодействия ПМ с актином в саркомере необходимо учитывать, что их взаимное расположение фиксировано определенным образом в пространстве, поэтому кинетическая модель для такого описания может служить лишь начальным приближением. Имеется ряд пространственно распределенных моделей, описывающих частотные характеристики мышцы [1, 4, 14, 15, 20-22], однако кинетические циклы, используемые в этих моделях, непосредственно не связанны с таковым, полученным в работах [8, 11] на основе экспериментальных АФЧХ. В данной работе построена пространственно распределенная модель, воспроизводящая АФЧХ для мышечного волокна скелетной мышцы кролика [8, 11]. Кинетический цикл, предполагаемый для ПМ в данной модели, отражает эффективный трехстадийный цикл, полученный на основании экспериментальных данных [8].

Модель строилась в рамках формализма, предложенного Хаксли [3], однако, в отличие от исходной модели Хаксли, механохимический цикл включает четыре стадии; также модель

позволяет учесть возможность связывания миозина не только с ближайшим правым связывающим центром на актине, но и с левым.

Модель

Модель, представленная в данной работе, основана на классической модели Хаксли [3]. В основе модели Хаксли лежит ряд предположений [3], которые остаются верными и для нашей модели, за исключением следующих: предполагается, что механохимический цикл ПМ включает четыре химических состояния: сводное, слабосвязанное и два сильносвязанных; рассматривается более общий случай, когда ПМ может связываться не только с ближайшим правым связывающим центром на актине, но и с ближайшим левым.

Кинетический цикл включает следующие стадии:

$$\underset{1}{M \cdot D \cdot P_i} \rightleftharpoons \underset{2}{AM \cdot D \cdot P_i} \rightleftharpoons \underset{3}{AM \cdot D} \rightleftharpoons \underset{4}{AM \cdot T} \rightarrow \underset{1'}{M \cdot D \cdot P_i} \qquad (1)$$

где A – актин, M – миозин, T – аденозинтрифосфат, D – аденозиндифосфат, P_i – неорганический фосфат. Состояние 1 – это свободное состояние миозина, состояния 2-4 – связанные. Состояние 2 – это слабосвязанное состояние миозина, 3,4 – сильносвязанные. ПМ генерирует активную силу только в сильносвязанных состояниях. Состояния актомиозинового комплекса, показанные на схеме (1), являются эффективными, каждое из них включает ряд дополнительных промежуточных состояний. Переход между состояниями i и j характеризуются константой скорости k_{ij}, в общем случае она является функцией взаимного расположения миозина и актина в пространстве.

Модель 1. Рассмотрим случай, когда ПМ способен связываться только с правым ближайшим связывающим центром. На рис. 1 схематично показан один ПМ и один связывающий центр на актине. Основание ПМ закреплено на толстом филаменте в точке с координатой x. ПМ имеет эластичный элемент с жесткостью k_{cb} (предположительно, он локализован в субфрагменте-2; на рис. 1 эластичный элемент показан в виде пружинки). Связывающий центр на тонком филаменте имеет координату y. ПМ на толстом филаменте и связывающие центры на тонком расположены с периодом l_{cb} и l_{bs} соответственно. Расстояние между ПМ и связывающим центром определим как $\Delta = x - y$ для свободного ПМ; значения Δ лежат в интервале $[0; l_{bs}]$.

Если Δ не равно нулю, ПМ должен «дотянуться» до ближайшего связывающего центра, прежде чем он с ним свяжется. Для этого необходимо растянуть или сжать его эластичный элемент на соответствующую величину (такая деформация может быть результатом броуновского движения). Для связанных ПМ деформация эластичного элемента связана не только с изменениями Δ, она может возникать также благодаря наличию «внутренних» конформационных изменений, сопряженных с химическими изменениями. Химический переход из состояния i в состояние j может быть сопряжен с поворотом плеча рычага, его дистальный конец линейно смещается на некоторое расстояние d_j (шаг ПМ). Соответственно, после перехода $i \rightarrow j$ деформация эластичного элемента увеличится на d_j (рис. 1). Деформация ξ_i эластичного элемента ПМ, который взаимодействует с ближайшим к нему справа связывающим центром на актине, в различных химических состояниях определяется следующим образом:

$$\xi_i(\Delta) = \begin{cases} \Delta & i = 1 \\ \Delta + \sum_{k=1}^{i-1} d_k & i = 2,3,4 \end{cases}, \qquad (2)$$

где i – номер химического состояния ($i = 1$ соответствует свободному состоянию, $i = 2,3,4$ – связанным состояниям).

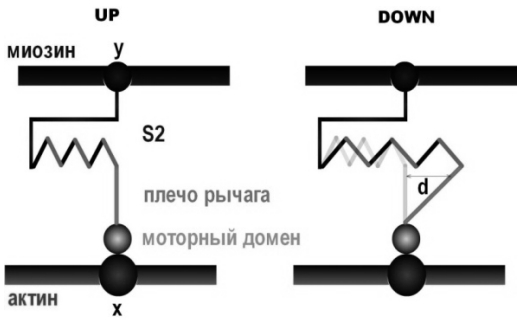


Рис. 1. Связанный ПМ до (конформация «UP») и после (конформация «DOWN») рабочего хода. Рабочий ход – результат поворота плеча рычага, дистальный конец которого смещается при этом на линейное расстояние d. Рабочий ход меняет деформацию эластичного элемента ПМ (субфрагмент-2, S2). Дальнейшие пояснения см. в тексте.

В предположении, что химические переходы могут происходить только между соседними химическими состояниями, изменение во времени и пространстве заселенностей каждого из связанных химических состояний, показанных на схеме (1), может быть описано следующей системой дифференциальных уравнений в частных производных:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial C_2}{\partial t} &= v\frac{\partial C_2}{\partial x} + k_{12}\left(\xi_1\right)C_1 + k_{32}\left(\xi_3\right)C_3 - \left[k_{21}\left(\xi_2\right) + k_{23}\left(\xi_2\right)\right]C_2 \\
\frac{\partial C_3}{\partial t} &= v\frac{\partial C_3}{\partial x} + k_{23}\left(\xi_2\right)C_2 + k_{43}\left(\xi_4\right)C_4 - \left[k_{32}\left(\xi_3\right) + k_{34}\left(\xi_3\right)\right]C_3 \\
\frac{\partial C_4}{\partial t} &= v\frac{\partial C_4}{\partial x} + k_{34}\left(\xi\ \right)C_3 + k_{14}\left(\xi_1\right)C_1 - \left[k_{43}\left(\xi_4\right) + k_{41}\left(\xi_4\right)\right]C_4
\end{aligned}, \qquad (3)$$

где $C_i\left(t,\Delta\right)$ – распределения заселенностей связных ПМ в i-м химическом состоянии; v – скорость перемещения актина (при сокращении саркомера $v<0$, при растяжении $v>0$); t – время. Система (3) интегрируется в области $\Delta\in[-h;h]$, её границы выбираются таким образом, чтобы на них заселенность практически была бы равна нулю.

Заселенность свободного состояния определяется как:

$$C_1\left(t,\Omega_m\right) = 1 - \sum_{i=2}^{4}\sum_{k=-k_{\max}}^{k_{\max}} C_i\left(t,\Omega_k\right), \quad m = -k_{\max}, -k_{\max}+1, \ldots, k_{\max} \qquad (4)$$

где $\Omega_k \in \left[kl_{bs},\ \left(k+1\right)l_{bs}\right]$; предполагая, что h кратно l_{bs}, $k_{\max} = h/l_{bs}$.

Граничные условия для системы (3) имеют вид:

$$C_i\Big|_{x=-h} = 0, \quad C_i\Big|_{x=h} = 0, \quad i\in 2,3,4 \qquad (5)$$

Общая заселенность і-го связанного химического состояния C_i, а также сила на ПМ P_i определяется следующим образом:

$$C_i(t) = \frac{1}{l_{bs}}\int_{-h}^{h} C_i\left(x,t\right)dx \qquad (6)$$

$$P_i(t) = \frac{k_{cb}}{l_{bs}}\int_{-h}^{h} xC_i^l\left(x,t\right)dx \qquad (7)$$

Модель 2. В более общем случае можно допустить также возможность связывания ПМ с ближайшим левым связывающим центром [2, 18, 19]. В этом случае поведение ПМ, связавшихся с правым и левым связывающими центрами, необходимо рассматривать отдельно, разделив ПМ на две соответствующие группы. Для свободных ПМ, кроме расстояния до правого связывающего центра Δ (которое переобозначим для рассматриваемого случая как Δ^r), введем также расстояние от ПМ до ближайшего левого

связывающего центра $\Delta^l = \Delta^r - h$ ($\Delta^l \in [-h, 0]$). Соответственно, деформации двух групп ПМ определим как:

$$\xi_i^S\left(\Delta^S\right) = \begin{cases} \Delta^S & i = 1 \\ \Delta^S + \sum_{k=1}^{i-1} d_k & i = 2,3,4 \end{cases}, \tag{8}$$

где $S = l, r$.

В системе (3) число уравнений удвоится:

$$\begin{aligned} \frac{\partial C_2^S}{\partial t} &= v\frac{\partial C_2^S}{\partial x} + k_{12}^S\left(\xi_1^S\right)C_1 + k_{32}^S\left(\xi_3^S\right)C_3^S - \left[k_{21}^S\left(\xi_2^S\right) + k_{23}^S\left(\xi_2^S\right)\right]C_2^S \quad S = r, l \\ \frac{\partial C_3^S}{\partial t} &= v\frac{\partial C_3^S}{\partial x} + k_{23}^S\left(\xi_2^S\right)C_2^S + k_{43}^S\left(\xi_4^S\right)C_4^S - \left[k_{32}^S\left(\xi_3^S\right) + k_{34}^S\left(\xi_3^S\right)\right]C_3^S \\ \frac{\partial C_4^S}{\partial t} &= v\frac{\partial C_4^S}{\partial x} + k_{34}^S\left(\xi^S\right)C_3^S + k_{14}^S\left(\xi_1^S\right)C_1 - \left[k_{43}^S\left(\xi_4^S\right) + k_{41}^S\left(\xi_4^S\right)\right]C_4^S \end{aligned}, \tag{9}$$

где $C_i^l\left(t, \Delta^l\right)$ и $C_i^r\left(t, \Delta^r\right)$ – распределения заселенностей связных ПМ в i-м химическом состоянии, связавшихся с ближайшим левым и правым связывающими центрами соответственно.

$$C_1\left(t, \Omega_m\right) = 1 - \sum_{i=2}^{4}\left[\sum_{k=-k_{\max}}^{-1} C_i^l\left(t, \Omega_k\right) + \sum_{k=0}^{k_{\max}} C_i^r\left(t, \Omega_k\right)\right], \quad m = -k_{\max}, -k_{\max}+1, \ldots, k_{\max} \tag{10}$$

где $\Omega_k \in \left[kl_{bs},\ (k+1)l_{bs}\right]$; предполагая, что h кратно l_{bs}, $k_{\max} = h / l_{bs}$.

Граничные условия для системы (9) имеют вид:

$$C_i^r\Big|_{x=0} = C_i^l\Big|_{x=0}, \quad C_i^l\Big|_{x=-h} = 0, \quad C_i^r\Big|_{x=h} = 0, \quad i \in 2,3,4 \tag{11}$$

Общая заселенность і-го связанного химического состояния C_i, а также сила на ПМ P_i определяется следующим образом:

$$C_i(t) = \frac{1}{l_{bs}}\left[\int_{-h}^{0} C_i^l\left(x, t\right)dx + \int_{0}^{h} C_i^r\left(x, t\right)dx\right] \tag{12}$$

$$P_i(t) = \frac{k_{cb}}{l_{bs}}\left[\int_{-h}^{0} xC_i^l\left(x, t\right)dx + \int_{0}^{h} xC_i^r\left(x, t\right)dx\right] \tag{13}$$

Состояние i на схеме (1) характеризуется свободной энергией:

$$G_i\left(\xi_i\right) = \frac{k_{cb}}{2}\xi_i^2 + G_i^0 \tag{14}$$

Константы скоростей прямых переходов выбирались следующим образом:

$$k_{12}\left(\xi_1\right) = \begin{cases} a_{12}^1 \exp\left(-\frac{a_{12}^2 k_{cb}}{RT}\xi_1^2\right), & \left|\xi_1\right| \le l_{bs} \\ 0, & \left|\xi_1\right| > l_{bs} \end{cases} \tag{15}$$

$$k_{ij}\left(\xi_i\right) = a_{ij}^1 \exp\left(-\frac{a_{ij}^2 k_{cb}}{RT}\xi_i\right), \ i = 2,3 \tag{16}$$

$$k_{41}\left(\xi_1\right) = \begin{cases} a_{41}^1 \exp\left(-\frac{a_{41}^2 k_{cb}}{RT}\xi_4\right), & \xi_4 \ge \sum_{k=1}^{3} d_k \\ a_{41}^1 \exp\left(-\frac{a_{41}^3 k_{cb}}{RT}\xi_4\right), & \xi_4 < \sum_{k=1}^{3} d_k \end{cases}, \tag{17}$$

где a_{ij}^k – константы, R – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура.

Зная константу скорости прямого перехода k_{ij}, константу скорости обратного перехода определяем как:

$$k_{ji}(\xi_i) = k_{ij}(\xi_j)\exp\left[G_j(\xi_j) - G_i(\xi_i)\right] \tag{18}$$

Предполагается, что для модели 1, в (15) $\xi_1 \geq 0$. Однако, связанные ПМ могут попадать в область с $\Delta < 0$, благодаря изменениям длины саркомера внешней нагрузкой. Константа отрыва слабосвязанных ПМ, из области $\xi_2 < 0$, вычислялась согласно (18), где в качестве "прямой" константы скорости была взята $k_{12}(\xi_1 < 0)$.

Используя системы (3) и (9), можно проводить симуляции различных режимов работы саркомера. В случае изокинетического сокращения скорость $v = const$. В случае гармонического изменения длины саркомера с частотой f и амплитудой A_{hs} скорость равна:

$$v = -A_{hs}\,2\pi f\cos(t\,2\pi f) \tag{19}$$

Получаемые экспериментально частотные характеристики мышцы апроксимируются при помощи так называемого комплексного модуля [7]:

$$Y(if) = H + \frac{Aif}{a+if} - \frac{Bif}{b+if} + \frac{Cif}{c+if}, \tag{20}$$

где Y – комплексный модуль; A, B, C – амплитуды экспоненциальных процессов (эти процессы соответственно называются A, B и C); a, b, c – характерные частоты экспоненциальных процессов; H – значение эластичного модуля при нулевой частоте; $i = \sqrt{-1}$. Модуль $Y(f)$ дает отношение амплитуды колебаний напряжения мышцы (P_m) к амплитуде колебаний её длины A_m (комплексная жесткость P_m / A_m), умноженное на отношение начальной длины мышцы L_0 к площади её поперечного сечения S_m.

В эксперименте измеряют силу мышцы, в то время как модель дает силу на ПМ. Для сопоставления результатов модели и эксперимента необходимо найти соотношение между этими величинами. Сила мышцы на единицу площади её поперечного сечения равна $|Y(if)|\,A_m / L_0$. Значения силы мышцы или комплексной жесткости можно пересчитать на один ПМ. Если считать, что обе головки ПМ участвуют в генерации силы [5], то эти величины необходимо помножить на:

$$\frac{1}{N_{mn}\,N_{cb}\,C_{cb}}, \tag{21}$$

где N_{mn} – плотность миозиновых филаментов в поперечном сечении мышечного волокна; N_{cb} – число миозиновых головок на полуфиламент; C_{cb} – фракция связанных ПМ в изометрическом режиме. Если же силу генерирует только одна из головок [5, 12, 16, 23], в числителе (21) появится двойка.

В экспериментах амплитуда A_m составляет около 0,25% от начальной длины мышцы. Плотность миозиновых филаментов N_{mn} составляет $0{,}51\cdot10^{15}$ м$^{-2}$ [13], фракция C_{cb} составляет 0,43 [13] и число миозиновых головок на полуфиламент N_{cb} = 294.

Параметры в формуле (20) зависят от концентрации лигандов. Значения этих параметров, полученные для мышечного волокна поперечнополосатой мышцы кролика при 20°C, при концентрациях $[MgATP]$ = 5,1 ммоль, $[P_i]$ = 8 ммоль, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры эмпирической передаточной функции мышечных волокон скелетной мышцы кролика [6]

Параметр	Значение	Ед. измерения	Параметр	Значение	Ед. измерения
$2\pi a$	6,0±0,1	$с^{-1}$	A	6,4±0,4	$МН/м^2$
$2\pi b$	99±2	$с^{-1}$	B	5,9±0,5	$МН/м^2$
$2\pi c$	580±10	$с^{-1}$	C	10,3±0,7	$МН/м^2$
H	1,16±0,08	$МН/м^2$	P_0	0,140±0,009	$МН/м^2$

Материалы и методы исследования

Для решения уравнений (3) и (9) использовался метод Лакса-Вендроффа с фильтрацией, реализованный в виде функции MATLAB [17]. Граница области интегрирования $h = 2l_{bs}$. Диапазон частот f составлял от 0,1 до 150 Гц.

Результаты и обсуждение

Численно моделировали гармоническое изменение длины саркомера, предполагая, что ПМ способен связываться только с ближайшим правым связывающим центром (модель 1) или с двумя связывающими центрами – правым и левым (модель 2). Параметры моделей представлены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры моделей

Параметр	Единицы измерения	Модель 1	Модель 2	Параметр	Единицы измерения	Модель 1	Модель 2
T	C°	20	20	a_{12}^1	$с^{-1}$	150	340
l_{cb}	нм	14,3	14,3	a_{12}^2		2	5
l_{bs}	нм	5,5	5,5	a_{23}^1	$с^{-1}$	100	600
k_{cb}	н/м	0,3e-3	0,52e-3	a_{34}^1	$с^{-1}$	40	17
d_2	нм	10	7	a_{23}^2, a_{34}^2		0	0
d_1, d_3	нм	0	0	a_{41}^1	$с^{-1}$	200	500
G_1	в ед. RT	0	0	a_{41}^2	нм	-5	0
G_2	в ед. RT	-0,25	-3,5	a_{41}^3		0	0
G_3	в ед. RT	-3,5	-8,5	L_0	мкм	2,5	
G_4	в ед. RT	-10,5	-16,5	A_{hs}	нм	1	

Полученные частотные характеристики показаны на рис. 2. Модель воспроизводит три экспоненциальных процесса. Их скорости и амплитуды близки к экспериментальным значениям. Различия ФЧХ модели и эксперимента в области низких частот (процесс А) – результат того, что в модели эластичный модуль при нулевой частоте (H) равен нулю. Происхождение явления остаточного увеличения силы остается предметом дискуссий, его природа не обязательно связана с механохимическим актомиозиновым циклом. В области средних частот изменения силы по фазе опережают изменения длины полусаркомера (процесс В). Наконец, в области высоких частот сила снова отстает по фазе (процесс С).

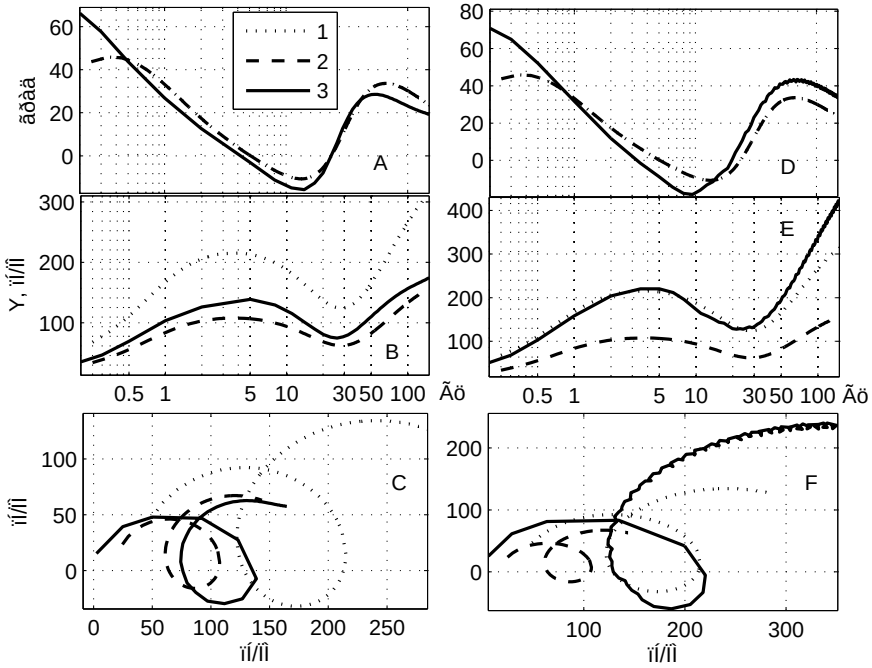


Рис. 2. Частотные характеристики мышцы: сравнение экспериментальных результатов (кривые 1, 2) с результатами модели (кривая 3; A-C модель 1; D-F модель 2). Экспериментальные характеристики построены по формуле (20) с параметрами из таблицы 1 и пересчитаны на ПМ в предположении, что сила ПМ генерируется одной (кривая 1) и двумя головками (кривая 2). (A) Комплексная жесткость $Y(f)$, представленная в виде годографа Найквиста (ось абсцисс – эластичный модуль, ось ординат – вязкостный модуль. (B, E) амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) – модуль комплексной жесткости; (C, F) фазово-частотная характеристика (ФЧХ) – разность фаз гармонического изменения длины и силы полусаркомера.

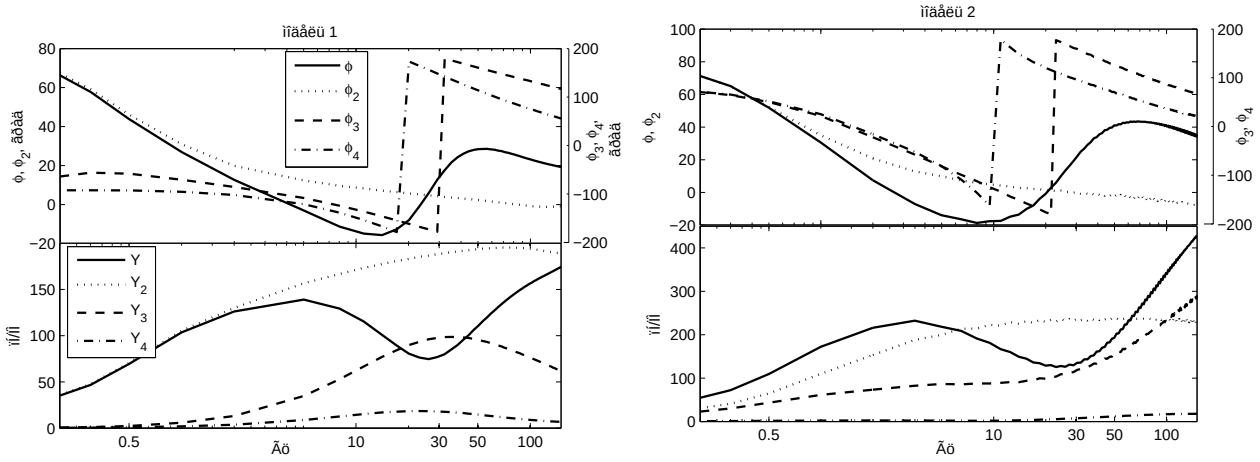


Рис. 3. Частотные характеристики мышцы: результаты модели (левые графики – модель 1, правые – модель 2). ϕ – смещение фазы силового отклика полусаркомера P, ϕ_k – смещение фазы компоненты силового отклика, создаваемой ПМ в k-м связанном химическом состоянии P_k. Y и Y_k – модуль комплексной жесткости, рассчитанный для силы P и P_k соответственно.

На малых частотах наибольший вклад в силу полусаркомера дают слабосвязанные ПМ (рис. 3, 6). Соответственно, на этих частотах ФЧХ также определяется главным образом этими ПМ. На средних частотах увеличиваются заселенность и сила фракции сильносвязанных ПМ, в то время как разность фаз колебаний длины полусаркомера и силы

слабосвязанных ПМ уменьшается, стремясь на больших частотах к нулю. Соответственно, на средних и больших частотах разность фаз колебаний длины полусаркомера и его силы будет определяться ПМ в сильносвязанных состояниях.

Более детальное понимание частотных характеристик дает рассмотрение плотности распределения ПМ в различных состояниях при гармоническом изменении длины полусаркомера (рис. 7, 8). Если бы распределение ПМ менялось только за счет взаимного смещения толстых и тонких нитей (без наличия потоков между состояниями), колебания силы происходили бы симфазно с колебаниями длины полусаркомера. Однако в реальном саркомере ПМ непрерывно связываются и отрываются, причем вероятность этих процессов зависит от деформаций ПМ. Это обуславливает наличие разности фаз. То есть в отсутствие химических переходов распределение (его среднее) будет меняться с частотой механических колебаний, накладываемых на полусаркомер. При наличии химических переходов на этот процесс также будут накладываться процессы его химического изменения, происходящие со своей частотой.

Рассмотрим процесс изменения распределения фракции слабосвязанных ПМ в модели 1 (см. рис. 7). При малых частотах (0,5 Гц) распределение, благодаря изменениям длины полусаркомера, смещается медленно, быстрые химические переходы успевают перейти в стационарное состояние. При сокращении левый край распределения не смещается, так как ПМ, попавшие в область отрицательных деформаций, быстро отрываются, в то время как новые ПМ не связываются. Правый край смещается влево, что уменьшает силу за счет уменьшения C_2 и уменьшения среднего распределения. Таким образом, при сокращении сила убывает быстрее, чем если бы отсутствовали химические переходы в области отрицательных деформаций. При растяжении левый край распределения также не меняется. Это происходит из-за того, что плотность, смещающаяся вправо из этой области за счет быстрого связывания новых ПМ, быстро восстанавливается. Таким образом, при сокращении сила растет быстрее, чем если бы отсутствовали химические переходы в области положительных деформаций вблизи нуля. Все это ведет к отставанию по фазе силы слабосвязанных ПМ.

При средних (14 Гц, см. рис. 7) и больших (56 Гц, см. рис. 7) частотах скорость механических смещений распределения увеличивается, и по мере увеличения частоты она приближается к скорости, с которой происходят переходы в области отрицательных деформаций. На рис. 7 видно, что при 56 Гц распределение, смещаясь при сокращении влево, меняет форму в меньшей степени, чем при 14 Гц. Правая часть распределения на данных частотах смещается без значительных изменений формы (отставание по фазе наблюдается главным образом для нисходящей части синусоиды, 14 Гц, см. рис. 5). Таким образом, с ростом частоты сила слабосвязанных ПМ колеблется все более симфазно с изменениями длины.

При малых частотах распределения C_3 и C_4 практически не меняют формы, так как химические переходы значительно быстрее компенсируют эти смещения формы. За счет этого при сокращении сила будет уменьшаться значительно медленнее (при отсутствии переходов ПМ из сильносвязанного состояния распределение сместилось бы как целое влево, среднее уменьшилось бы), а при растяжении сила будет возрастать медленнее.

На средних и высоких частотах опережение по фазе для P_3 и P_4 растет (см. рис. 3). Это происходит из-за того, что при сокращении правый край распределения не изменяется, левый, смещаясь, увеличивается, увеличивая общую площадь под кривой (среднее хоть и смещается влево, однако заселенность состояния растет, уменьшение силы происходит медленнее). При растяжении рост силы замедлен благодаря наличию переходов, сохраняющих форму правого края неизменной.

Изменения распределений для модели 2 схожи с таковыми для модели 1 (рис. 8).

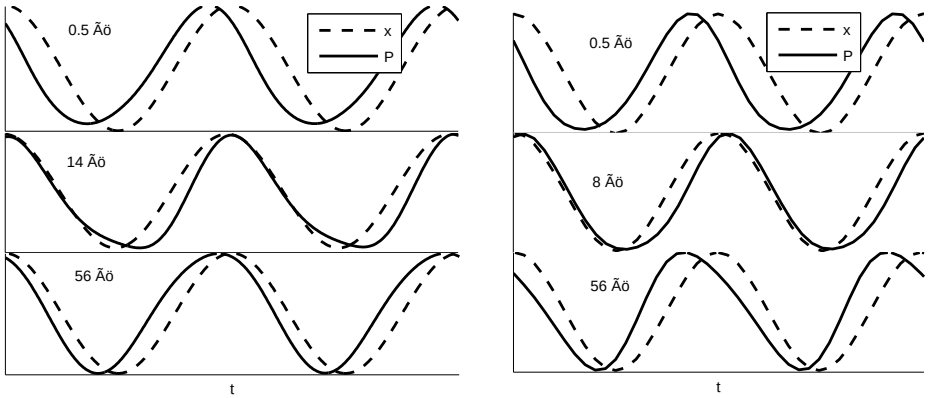


Рис. 4. Соотношение фаз колебаний длины (x) и силы полусаркомера (P) во времени. На каждом из графиков показана частота колебаний. Левые графики – Модель 1, правые – Модель 2.

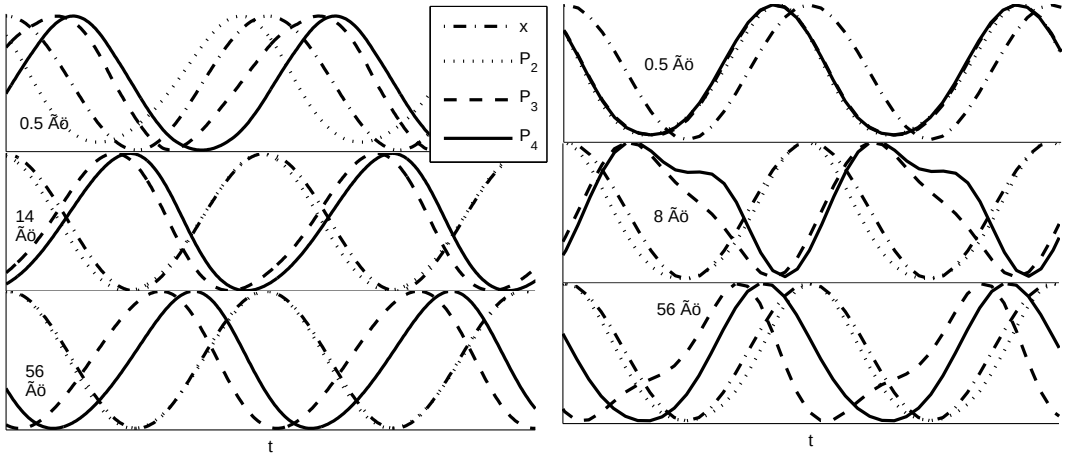


Рис. 5. Соотношение фаз колебаний длины полусаркомера (x) и силы, создаваемой фракцией связанных ПМ в k–м химическом состоянии (P_k). На каждом из графиков показана частота колебаний. Левые графики – Модель 1, правые – Модель 2.

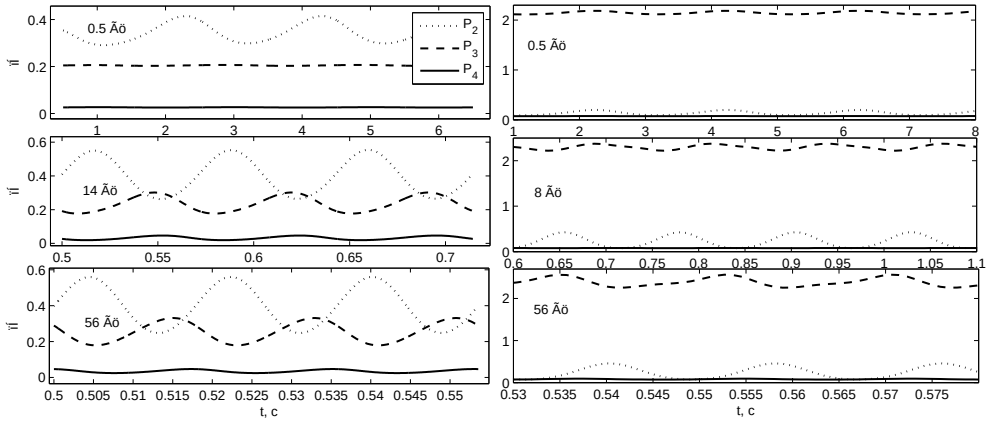


Рис. 6. Соотношение сил, создаваемое фракциями связанных ПМ в различных химических состояниях (P_k) при различных частотах колебаний длины полусаркомера. На каждом из графиков показана частота колебаний; левые графики – Модель 1, правые – Модель 2.

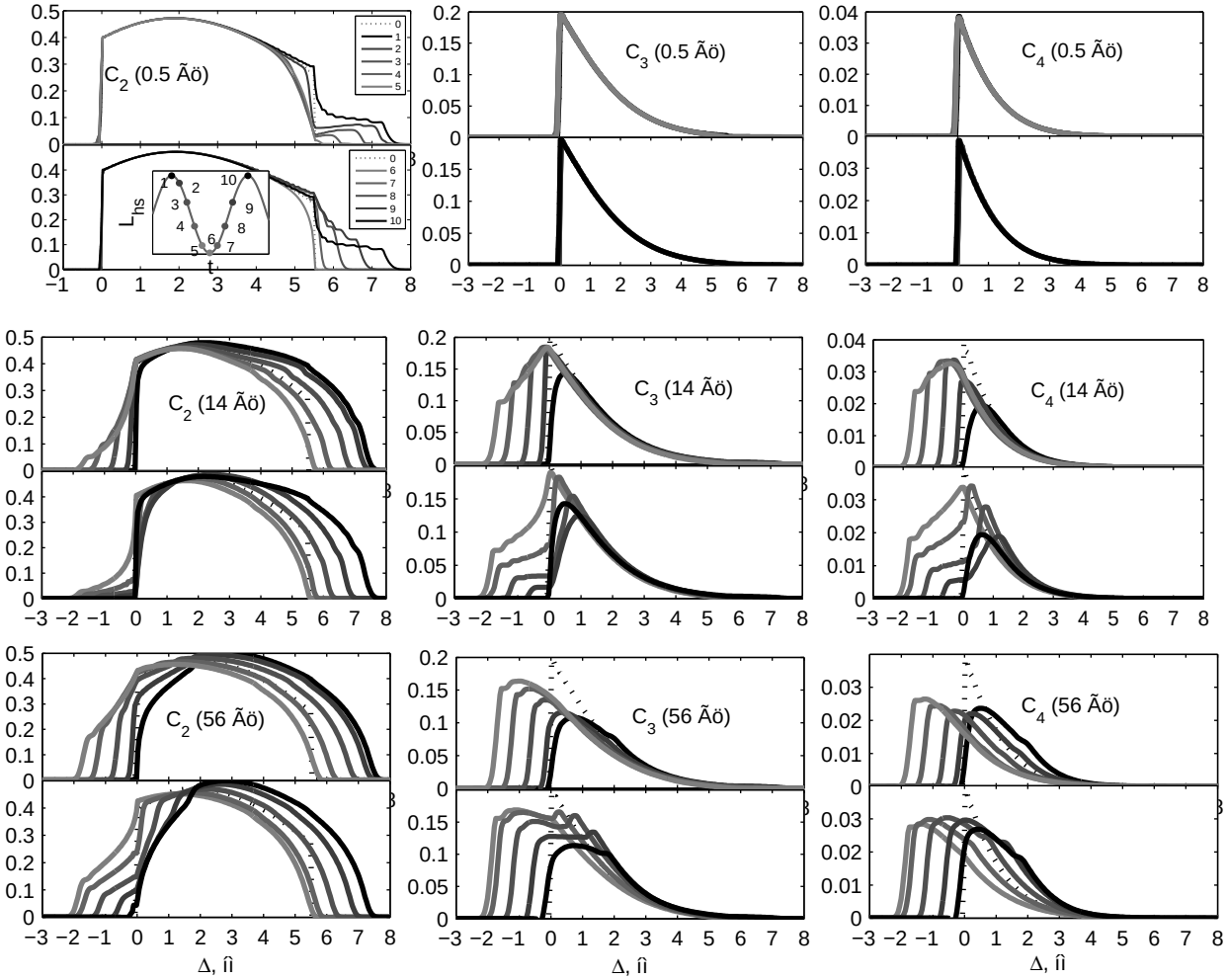


Рис. 7. Изменение распределения заселенности связанных состояний ПМ в модели 1 при гармоническом изменении длины полусаркомера в установившемся режиме. Распределения соответствуют 10 различным моментам времени (пронумерованы от 1 до 10). Моменты времени выбирались в пределах одного периода гармонического изменения длины полусаркомера (см. вставку на графике распределения C_2, 0,5 Гц), моменты 1-5 соответствуют сокращению, а 6-10 – растяжению полусаркомера. Для каждого из состояний верхний рисунок отображает распределения для моментов 1-5, нижний – 6-10. Пунктирная кривая (0) – изометрическое распределение.

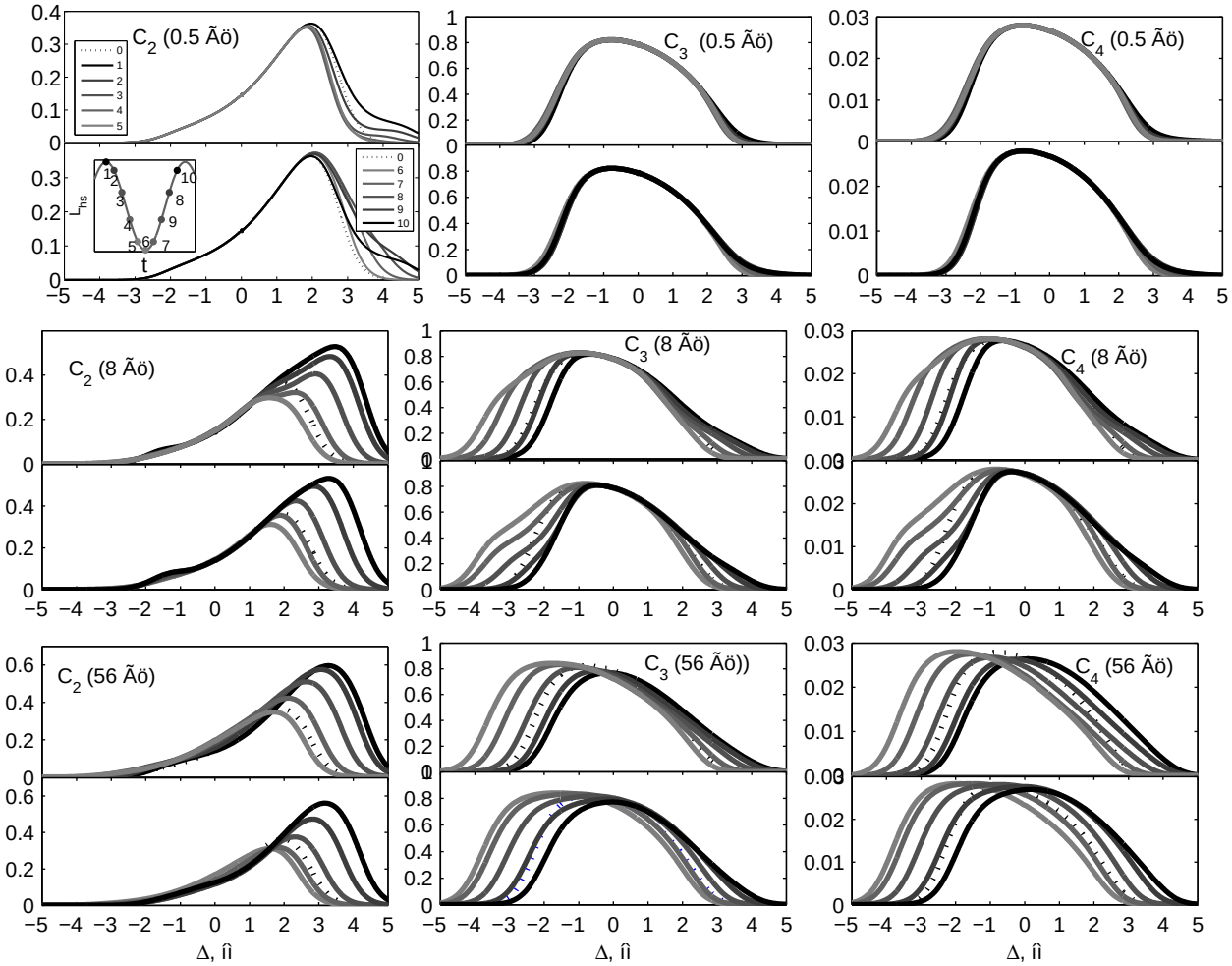


Рис. 8. Изменение распределения заселенности связанных состояний ПМ в модели 2 при гармоническом изменении длины полусаркомера в установившемся режиме. Обозначения см. рис. 7.

Выводы

Результаты модели адекватно воспроизводят экспериментально полученные частотные характеристики мышцы. Изменение разности фаз гармонических изменений силы и длины с частотой связано с изменением заселенности фракций связанных ПМ. Опережение по фазе силового отклика на средних частотах (процесс B) связано с ростом заселенности ПМ в первом сильносвязанном состоянии (состояние $AM \cdot D$ на схеме (1)). Переход в это состояние сопровождается выполнением ПМ его рабочего хода. Изменения заселенности связаны с тем, что на разных частотах механическим изменениям плотности распределения ПМ сопоставимы по скорости различные химические процессы схемы (1).

Модель имеет до некоторой степени феноменологический характер. Для учета влияния на частотные характеристики ATP, ADP и Pi требуется более детальное рассмотрение кинетического цикла.

Использование дифференциальных уравнений в частных производных затрудняет использование методов оптимизации при подгонке модели к экспериментальным результатам для такого рода моделей, так как требует значительных затрат машинного времени. Необходимо заменить данную модель на модель, требующую меньших вычислительных затрат, но решение которой являлось бы аппроксимацией представленной модели. Следует заметить, что форма распределений заселенности ПМ (рис. 7, 8) значительно отличается от гауссовой. Поэтому в случае моделирования переходных режимов использование аппроксимации, предложенной в работе [24] (a priori предполагающей гауссовы распределения), является некорректным.

Список литературы

1. *Abbott R. H.* Temperature and amplitude dependence of tension transients in glycerinated skeletal and insect fibrillar muscle / R. H. Abbott, G. J. Steiger // J. Physiol. – 1977. – N 266, 1. – P. 13–42.

2. *Haselgrove J. C.* Modeling rigor cross-bridge patterns in muscle I. Initial studies of the rigor lattice of insect flight muscle / J. C. Haselgrove, M. K. Reedy // Biophys. J. – 1978. – N 24, 3. – P. 713–728.

3. *Huxley A. F.* Muscle structure and theories of contraction / A. F. Huxley // Prog. Biophys. Biophys. Chem. – 1957. – N 7. – P. 255–318.

4. *Iwamoto H.* Simple modelling of linear and nonlinear mechanical responses to sinusoidal oscillations during muscle contraction / H. Iwamoto // J. Muscle Res. Cell Motil. – 1995. – N 16, 3. – P. 249–56.

5. *Kad N. M.* A mutant heterodimeric myosin with one inactive head generates maximal displacement / N. M. Kad, A. S. Rovner, P. M. Fagnant et al. // J. Cell Biol. – 2003. – N 162, 3. – P. 481–488.

6. *Kawai M.* The role of orthophosphate in crossbridge kinetics in chemically skinned rabbit psoas fibres as detected with sinusoidal and step length alterations / M. Kawai // J. Muscle Res. Cell Motil. – 1986. – N 7, 5. – P. 421–434.

7. *Kawai M.* Sinusoidal analysis: a high resolution method for correlating biochemical reactions with physiological processes in activated skeletal muscles of rabbit, frog and crayfish / M. Kawai, P. W. Brandt // J. Muscle Res. Cell Motil. – 1980. – N 1, 3. – P. 279–303.

8. *Kawai M.* Force transients and minimum cross-bridge models in muscular contraction / M. Kawai, H. R. Halvorson // J. Muscle Res. Cell Motil. – 2007. – N 28, 7–8. – P. 371–395.

9. *Kawai M.* Role of MgATP and MgADP in the cross-bridge kinetics in chemically skinned rabbit psoas fibers. Study of a fast exponential process (C) / M. Kawai, H. R. Halvorson // Biophys. J. – 1989. – N 55, 4. – P. 595–603.

10. *Kawai M.* Two step mechanism of phosphate release and the mechanism of force generation in chemically skinned fibers of rabbit psoas muscle / M. Kawai, H. R. Halvorson // Biophys. J. – 1991. – N 59, 2. – P. 329–342.

11. *Kawai M.* Cross-bridge scheme and force per cross-bridge state in skinned rabbit psoas muscle fibers / M. Kawai, Y. Zhao // Biophys. J. – 1993. – N 65, 2. – P. 638–651.

12. *Li X. D.* Two functional heads are required for full activation of smooth muscle myosin / X. D. Li, M. Ikebe // J. Biol. Chem. – 2003. – N 278, 32. – P. 29435–29441.

13. *Linari M.* The stiffness of skeletal muscle in isometric contraction and rigor: the fraction of myosin heads bound to actin / M. Linari, I. Dobbie, M. Reconditi et al. // Biophys. J. – 1998. – N 74, 5. – P. 2459–2473.

14. *Murase M.* A three-state model for oscillation in muscle: sinusoidal analysis / M. Murase, H. Tanaka, K. Nishiyama et al. // J. Muscle Res. Cell Motil. – 1986. – N 7, 1. – P. 2–10.

15. *Palmer B. M.* Two-state model of acto-myosin attachment-detachment predicts C-process of sinusoidal analysis / B.M. Palmer, T. Suzuki, Y. Wang et al. // Biophys J. – 2007. – N 93, 3. – P. 760–769.

16. *Rovner A. S.* The two heads of smooth muscle myosin are enzymatically independent but mechanically interactive / A. S. Rovner, P. M. Fagnant, K. M. Trybus // J. Biol. Chem. – 2003. – N 278, 29. – P. 26938–26945.

17. *Shampine L. F.* Solving Hyperbolic PDEs in MATLAB / L. F. Shampine // Applied Numerical Analysis & Computational Mathematics. – 2005. – N 2, 3. – P. 346–358.

18. *Steffen W.* Mapping the actin filament with myosin / W. Steffen, D. Smith, R. Simmons et al. // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. – 2001. – N 98, 26. – P. 14949–14954.

19. *Taylor K. A.* Tomographic 3D reconstruction of quick-frozen, Ca2+-activated contracting insect flight muscle / K. A. Taylor, H. Schmitz, M. C. Reedy et al. // Cell. – 1999. – N 99, 4. – P. 421–431.

20. *Thomas N.* Stretch activation and nonlinear elasticity of muscle cross-bridges / N. Thomas, R. A. Thornhill // Biophys. J. – 1996. – N 70, 6. – P. 2807–2818.

21. *Thomas N.* A theory of tension fluctuations due to muscle cross-bridges / N. Thomas, R. A. Thornhill // Proc. Biol. Sci. – 1995. – N 259, 1356. – P. 235–242.

22. *Thorson J.* Distributed representations for actin-myosin interaction in the oscillatory contraction of muscle / J. Thorson, D. C. White // Biophys J. – 1969. – N 9, 3. – P. 360–390.

23. *Tyska M. J.* Two heads of myosin are better than one for generating force and motion / M. J. Tyska, D. E. Dupuis, W. H. Guilford et al. // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. – 1999. – N 96, 8. – P. 4402–4407.

24. *Zahalak G. I.* A distribution-moment approximation for kinetic theories of muscular contraction / G. I. Zahalak // Mathematical Biosciences. – 1981. – N 55, 1–2. – P. 89–114.

Міщенко А. М., Беспалова С. В. **Моделювання частотних характеристик м'яза з використанням безперервної просторово розподіленої моделі. –** Важливою характеристикою м'язового волокна є його амплітудно-фазово частотні характеристики (АФЧХ). АФЧХ м'яза відображає ефективні перехідні процеси силового відгуку м'яза на зміну його довжини, в основі яких у свою чергу лежать елементарні молекулярні механохімічні події актоміозинового циклу. У роботі запропоновано безперервну просторово розподілену модель саркомера, що дозволяє симулювати його АФЧХ. Модель адекватно відтворює спостережувані експериментально АФЧХ м'язових волокон скелетних м'язів хребетних. Розглядається молекулярний механізм, що лежить в основі перехідних експоненціальних процесів.

Ключові слова: м'яз, модель, гармонічний аналіз, перехідні характеристики.

Mishchenko A. M., Bespalova S. V. **Simulation of the muscles frequency characteristics in continuous spatially distributed model.** – An important characteristic of the muscle fiber is its amplitude-phase-frequency characteristic (APFC). APFC of muscle reflects effective force transient response of muscle to change its length which in turn is based on the elementary molecular events actomyosin mechanochemical cycle. The paper presents a continuous spatially distributed model of the sarcomere, which allow simulate it APFC. The model adequately reproduces the experimentally observed APFC muscle fibers of skeletal muscles of vertebrates. We consider the molecular mechanism underlying the of exponential transient process.

Key words: muscle, model, sinusoidal analysis, transient response.

УДК 577.322 : 57.043

© Г. В. Тарадина, О. И. Доценко

ОЛИГОМЕРНЫЕ ИНТЕРМЕДИАТЫ КАТАЛАЗЫ В РАСТВОРЕ ПРИ ДЕЙСТВИИ НИЗКОЧАСТОТНОЙ ВИБРАЦИИ

Донецкий национальный университет; 83050, г. Донецк, ул. Щорса, 46
e-mail:galyabio@mail.ru

Тарадина Г. В., Доценко О. И. **Олигомерные интермедиаты каталазы в растворе при действии низкочастотной вибрации.** – СФ-исследование растворов каталазы, подвергаемых действию вибрации в диапазоне частот 8-32 Гц, выявило, что появлению олигомерных интермедиатов способствуют денатурационные изменения в области активного центра фермента. Методом гель-электрофореза в неденатурирующих условиях показано, что при действии вибрации в растворах каталазы возможно образование как диссоциированных форм, так и макромолекулярных комплексов. Соотношение между интермедиатами, динамически сосуществующими в растворе, зависит от условий эксперимента. Показано стабилизирующее действие солей, присутствующих в растворе, на олигомерные интермедиаты каталазы. Установлено, что окисление аминокислотных остатков при действии вибрации интервала частот 24-32 Гц может существенно влиять на процессы диссоциации каталазы на субъединицы. Окислительная модификация каталазы идет в направлении: гем → ароматические аминокислотные остатки → вторичная структура и определяется гибкостью активного центра фермента.

Ключевые слова: каталаза печени быка, низкочастотная вибрация, UV-спектры поглощения, нативный гель-электрофорез, ассоциированное состояние, диссоциация.

Введение

В настоящее время влияние низкочастотной вибрации как постоянно действующего фактора окружающей среды является актуальной проблемой. Особый интерес представляют исследования по воздействию низкочастотной вибрации на организм человека.

Известно, что в условиях хронического действия на человека механических колебаний возникает окислительный стресс, который сопровождается накоплением в тканях свободных радикалов. Одним из ферментов, выполняющих антиоксидантную функцию путем разложения перекиси водорода – побочного продукта метаболизма и источника свободных радикалов, является каталаза (H_2O_2:H_2O_2 оксиредуктаза КФ 1.11.1.6). Молекула каталазы, как и других белков, может легко изменять свои свойства под действием различных физико-химических факторов. С другой стороны, каталаза может быть удобным объектом исследования, поскольку известны уровни ее структурной организации и те важные функции, которые она выполняет в организме.

Каталазы, хотя и синтезируются от единственных генов и состоят из подъединиц только одного типа, существуют в биологических системах в гетерогенной форме относительно их конформационных и ассоциированных состояний. Эта разнородность не имеет генетического происхождения, а скорее отражает неустойчивость олигомерного гемопротеина. Ранее нами было выявлено достоверное снижение активности каталазы в растворе под действием низкочастотных механических колебаний [1, 2]. Степень инактивации каталазы зависела от условий эксперимента и достигала 17-78% по отношению к контролю. Целью данной работы было показать, что снижение активности фермента обусловлено конформационными перестройками в структуре молекулы.

Материалы и методы исследования

При проведении исследований использовали растворы каталазы печени быка (КФ 1.11.1.6, Sigma, США) в Na-фосфатном буфере с pH 7,4, содержащем 0,15 М NaCl (Скат = $1{,}0\cdot10^{-6}$ моль/л). Концентрацию каталазы определяли спектрофотометрически, используя при расчетах коэффициент молярной экстинкции ε_{405} = 324000 $М^{-1}см^{-1}$.

Растворы фермента подвергали действию трехчасовой вибрации в диапазоне частот 8-32 Гц с шагом 4 Гц при помощи разработанного на кафедре биофизики ДонНУ вибростенда, состоящего из генератора низкочастотных сигналов синусоидальной формы, усилителя и электромеханического преобразователя сигналов, совершающего колебания в вертикальной плоскости с заданной частотой и амплитудой. Амплитуда входного сигнала составляла

0,9±0,08 мм. Результирующую амплитуду сигнала контролировали с помощью осциллографа, подключенного к электромеханическому преобразователю сигналов. В качестве контроля использовали раствор фермента до воздействия фактора.

Спектральные свойства каталазы изучали в диапазоне длин волн 220-700 нм. Спектры поглощения регистрировали на спектрофотометре S108UV в стандартных кварцевых кюветах (длина оптического пути 1 см).

Для выявления форм каталазы, присутствующих в растворе до и после воздействия вибрации, применяли электрофорез в 8%-ном полиакриламидном геле в неденатурирующих условиях [3, 4], проводимый в камере для вертикального электрофореза (Helicon, Россия). Для определения молекулярного веса белков использовали маркеры SM0671 (Fermentas, Литва). Результаты электрофореза анализировали с использованием программы «Quantity One» в системе гель-документации Gel Doc XR (Bio-Rad, USA).

Степень окислительной модификации белков оценивали по содержанию в них карбонильных групп. Метод основан на реакции взаимодействия окисленных аминокислотных остатков белка с 2,4-динитрофенилгидразином (2,4-ДНФГ) с образованием альдегид- и кетондинитрофенилгидразонов, оптическую плотность которых регистрировали спектрофотометрически при 370 нм. Содержание карбонильных групп определяли с использованием коэффициента экстинции 22000 $М^{-1}·см^{-1}$ [5].

Результаты и обсуждение

Для выявления возможных конформационных изменений в молекуле каталазы под действием низкочастотных механических колебаний в ходе эксперимента регистрировали спектры поглощения белка в видимой и ультрафиолетовой области спектра. Анализ спектров поглощения показал, что эффект воздействия неоднозначен и зависит от частоты и времени действия вибрации. Так, вибрация растворов каталазы в диапазоне частот 8-12 Гц приводила к снижению интенсивности спектров поглощения фермента во всем исследуемом диапазоне длин волн (рис. 1, а-в), при этом степень снижения интенсивности поглощения коррелировала с длительностью вибрационного воздействия.

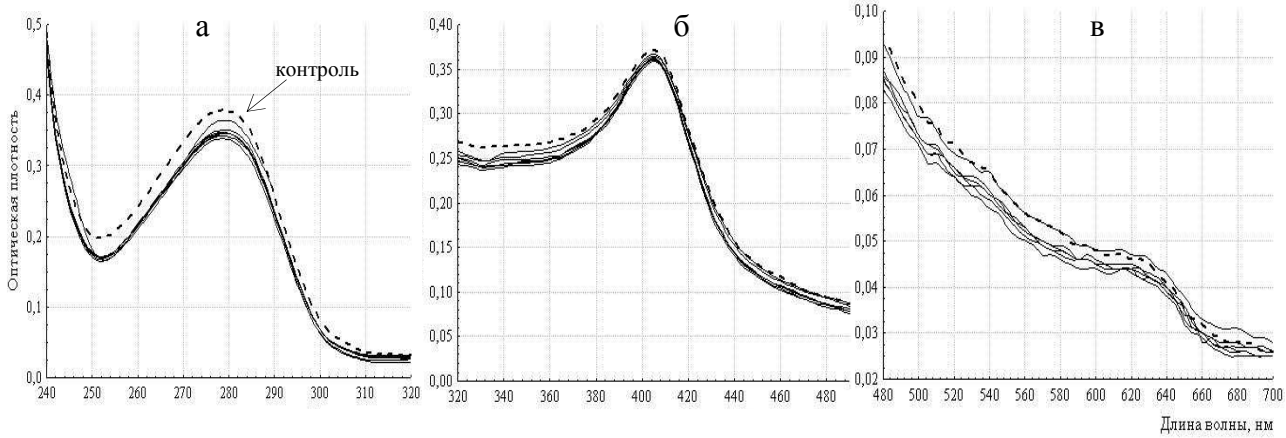


Рис. 1. Спектры поглощения растворов каталазы до и после воздействия вибрации с частотой 12 Гц в ультрафиолетовой (а) и видимой (б – 320-480 нм; в – 480-700 нм) области.

Полоса в УФ области обусловлена способностью тирозина, триптофана и в меньшей степени фенилаланина поглощать свет в этой области спектра. Наблюдаемые изменения свидетельствуют о перестройке в структуре глобулы и могут быть связаны с изменением содержания ароматических аминокислотных остатков в составе белка или их микроокружения. В области 480-750 нм для фермента характерны три максимума при 504, 538 и 640 нм. Полосы 504 и 640 нм соответствуют высокоспиновым $p\pi–d\pi$ переходам между порфириновым кольцом и атомом железа, пик 538 нм – $\pi–\pi^*$ переходам в гемовой группе [6]. Уменьшение интенсивности спектров в диапазоне длин волн 480-700 нм (рис. 1, в)

свидетельствует также об ослаблении связи гема с Tyr^{357} и аминопептидной цепью, расположенной с дистальной стороны [7], что может происходить при потере нативности фермента в результате разворачивания α-спиралей и ослабления внутренних водородных связей между пептидными карбоксилами и фенильными группами тирозиновых остатков. В этом случае ионы Na^+, находящиеся в растворе, способны проникать в гидрофобные области белка и связываться с карбоксильными группами, что приведет к эффективному уменьшению поверхностного заряда белка. Характер взаимодействия макромолекул белков при этом будет определяться уже не кулоновскими, а диполь-дипольными силами. Энергия диполь-дипольного взаимодействия может превышать тепловую энергию κT почти в 100 раз, поэтому при сближении на предельно малые расстояния белковые молекулы могут образовывать макромолекулярный комплекс – дипольный кластер [8]. Гипохромный эффект в полосе Соре (рис. 1, б) [9] может свидетельствовать об усилении межмолекулярных взаимодействий (в том числе и взаимодействий между хромофорами), что проявляется при образовании молекулярных ассоциатов.

Через 120 минут действия вибрации с частотой 16 Гц в растворах каталазы наблюдали появление осадка, в связи с чем анализ спектров поглощения для этой серии экспериментов представляет определенные трудности. Денатурированный тетрамер каталазы, стабилизированный солями, имеет большое количество экспонированных гидрофобных кластеров [10], что и становится причиной его агрегации при данных условиях эксперимента.

Для растворов, подвергаемых воздействию вибрации с частой 20 Гц, наблюдали увеличение интенсивности спектров поглощения во всем диапазоне длин волн (рис. 2, а-в) после первого часа эксперимента. Если в течение первого часа эксперимента наблюдалось некоторое снижение поглощения в области полосы Соре, то последующее воздействие привело к росту интенсивности и расширению спектров поглощения каталазы в диапазоне 380-420 нм (рис. 2, б) без какого-либо смещения максимума поглощения.

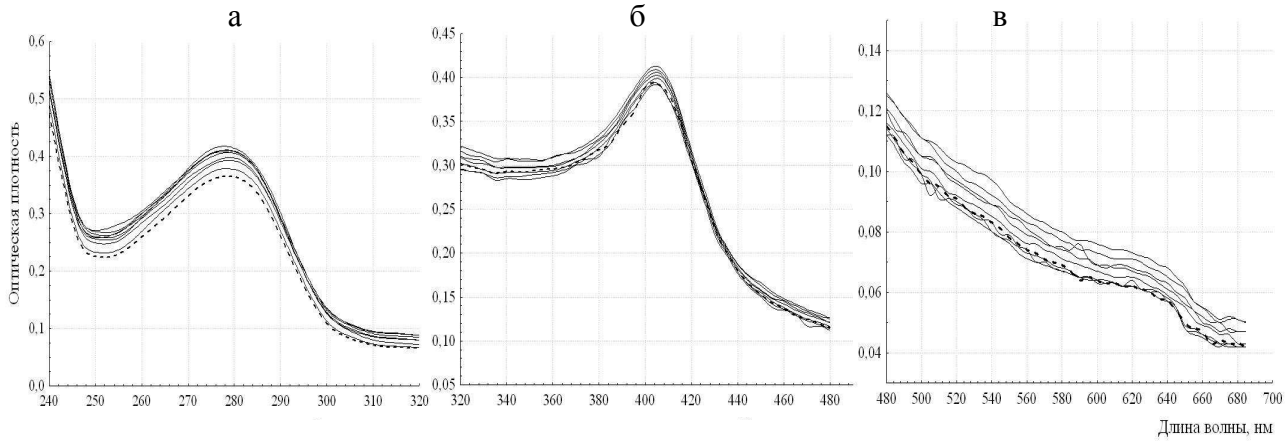


Рис. 2. Спектры поглощения растворов каталазы до и после воздействия вибрации с частотой 20 Гц в ультрафиолетовой (а) и видимой (б – 320-480 нм; в – 480-700 нм) области.

Подобное изменение спектров поглощения для каталазы описано в [10], где были показаны диссоциация тетрамерной формы фермента до димерной и наличие равновесия между интермедиатами, в значительной степени определяемого составом среды и концентрацией каталазы. Солевая среда способствует восстановлению и поддержанию нативности димерной формы фермента.

Изменение интенсивности спектров поглощения растворов каталазы, подвергавшихся действию вибрации с частотами 24, 28 и 32 Гц, не имело монотонного характера. Так, интенсивность поглощения в УФ-части спектра увеличивалась (вибрация с частотой 28 Гц), либо ее изменение было немонотонным (24 и 32 Гц), что, возможно, объясняется сосуществованием в растворе нескольких форм каталазы (ассоциированных, тетрамерных, диссоциированных) и соль-индуцированным рефолдингом фермента (рис. 3, а). Такой же

характер изменения поглощения в области полосы Соре и в области 480-700 нм указывает на крайне гетерогенный состав раствора каталазы, изменяющийся в процессе действия вибрации.

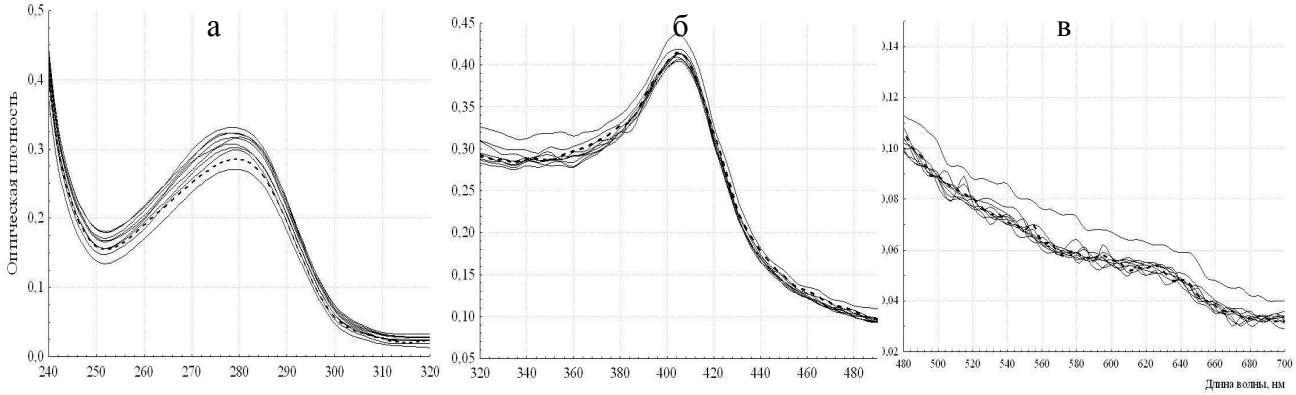


Рис. 3. Спектры поглощения растворов каталазы до и после воздействия вибрации с частотой 28 Гц в ультрафиолетовой (а) и видимой (б – 320-480 нм; в – 480-700 нм) области.

Данные спектрофотометрических исследований согласуются с результатами, полученными методом электрофоретического разделения растворов фермента. При вибрации каталазы в диапазоне частот 8-16 Гц было выявлено присутствие в растворе тетрамерных форм каталазы (их количество снижалось) и ассоциированных форм с молекулярной массой порядка 360 и 480 кДа, концентрация которых увеличивалась по мере воздействия фактора (рис. 4, а).

При анализе электрофореграмм растворов каталазы, подвергавшихся вибрации с частотой 20 Гц, было выявлено наличие ассоциированных, тетрамерных форм фермента, а через час воздействия фактора появлялось незначительное количество диссоциированных (димерных) форм фермента (рис. 4, б). Для растворов, подвергаемых вибрации с частотами 24, 28 и 32 Гц, было выявлено присутствие тетрамеров (их количество незначительно снижалось в ходе трехчасовой вибрации), а также в меньшей степени – димеров и мономеров, содержание которых увеличивалось к окончанию эксперимента. На электрофореграммах были выявлены зоны, соответствующие молекулярной массе частиц 240, 120 и 60 кДа (рис. 4, в).

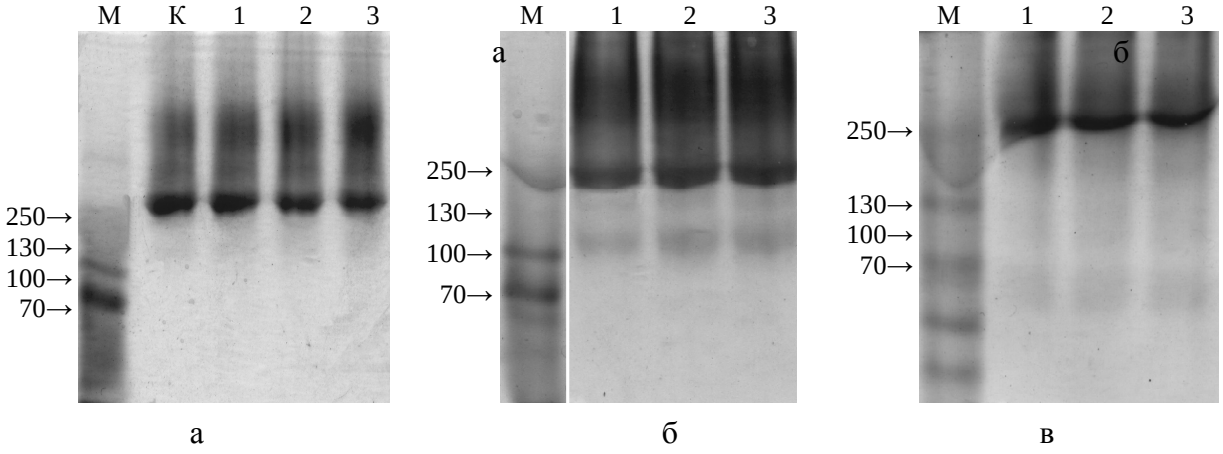


Рис. 4. Электрофореграммы растворов фермента каталазы при воздействии вибрации с частотой 12 (а), 20 (б) и 28 (в) Гц. Время вибрации: 1 – 1 час; 2 – 2 часа; 3 – 3 часа; К – контроль; М – маркер молекулярного веса (кДа).

Суммируя данные СФ- и электрофоретических исследований, можно заключить, что появлению олигомерных интермедиатов способствуют денатурационные изменения в области активного центра фермента. Полученные данные хорошо согласуются с теорией гибкости активного центра ферментов [11], согласно которой активный центр фермента сформирован относительно слабыми молекулярными взаимодействиями и, следовательно, может быть конформационно более гибким, чем остальная часть неповрежденного фермента.

Ранее нами было предположено, что при воздействии на растворы низкоинтенсивных механических колебаний возможно образование активных форм кислорода, способных рекомбинировать с образованием радикалов. В пользу данной гипотезы свидетельствовала передача эффекта через предварительно «отвибрированный» растворитель; отсутствие снижения активности фермента в бескислородных растворах; уменьшение степени вибрационной инактивации в присутствии ловушек HO·-радикалов, снижающих инактивацию фермента [1, 2]. Приведенные факты дают основание предположить причинную связь между потерей ферментативной активности каталазы при действии низкочастотных механических колебаний и появлением АФК и их производных в растворе.

Анализ характера изменения содержания карбонильных групп в составе каталазы до и после действия вибрации показал, что на процессы потери нативности и последующую диссоциацию до димерной и мономерной форм может оказывать влияние окислительная модификация аминокислотных остатков. На рис. 5 показано изменение содержания карбонильных групп в составе каталазы в процессе трехчасовой вибрации.

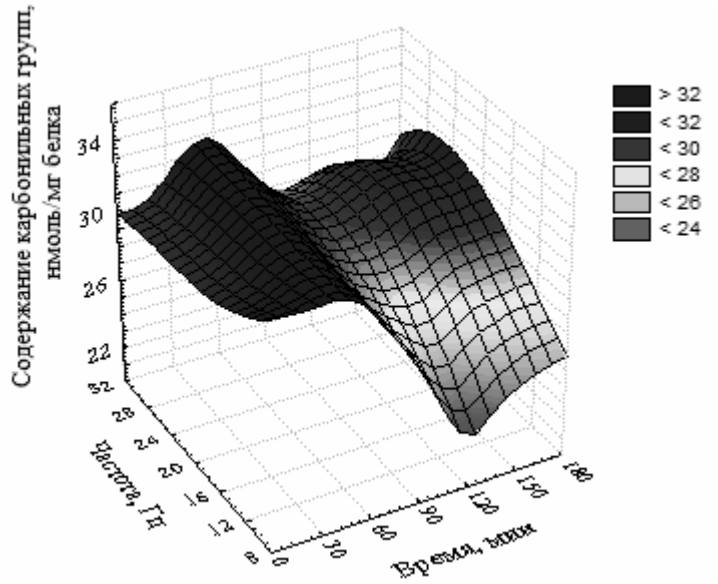


Рис. 5. Изменение содержания карбонильных групп в растворах каталазы в зависимости от частоты и длительности вибрации.

В интервале частот 8-16 Гц содержание карбонильных групп в пробе удерживалось на исходном уровне в течение первого часа воздействия и затем резко снижалось. Причиной снижения регистрируемых карбонильных групп в составе белка является образование агрегированной формы каталазы, в результате чего доступность карбонильных групп для определения затруднена. В интервале частот 24-32 Гц содержание карбонильных групп возрастало в течение первого часа воздействия, а затем снижалось до уровня контроля. Учитывая экспериментальные данные, описанные выше, незначительный прирост карбонильных групп и строение самого фермента, можно предположить участие гемового железа в процессах окислительной модификации. По-видимому, процесс окислительной модификации каталазы идет в направлении: гем → ароматические аминокислотные остатки → вторичная структура. В этом случае окисление аминокислотных остатков может существенно влиять на процессы диссоциации каталазы на субъединицы.

Выводы

Анализ спектров поглощения растворов каталазы, подвергаемых действию вибрации в диапазоне частот 8-32 Гц, показал, что появлению олигомерных интермедиатов способствуют денатурационные изменения в области активного центра фермента.

Точное поведение данного белка при данном pH – сложное взаимодействие между множеством стабилизационных и дестабилизационных сил, некоторые из которых чувствительны к окружающей среде.

Методом гель-электрофореза в неденатурирующих условиях показана возможность образования в растворах каталазы в процессе действия вибрационного фактора как диссоциированных форм каталазы, так и макромолекулярных комплексов. Соотношение между интермедиатами, динамически сосуществующими в растворе, зависит от условий эксперимента.

Соли, присутствующие в растворе, затрагивают, главным образом, электростатические и гидрофобные взаимодействия в молекулах белка, стабилизируя олигомерные интермедиаты каталазы.

Окисление аминокислотных остатков, обнаруживаемое при действии вибрации интервала частот 24-32 Гц, может существенно влиять на процессы диссоциации каталазы на субъединицы. Процесс окислительной модификации каталазы идет в направлении: гем → ароматические аминокислотные остатки → вторичная структура и определяется гибкостью активного центра фермента.

Список литературы

1. *Тарадина Г. В.* Кинетическое исследование инактивации фермента каталазы под действием низкочастотной вибрации / Г. В. Тарадина, О. И. Доценко // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – Донецк: ДонНУ, 2006. – Вып. 6. – С. 251–256.

2. *Тарадина Г. В.* Исследование влияния низкочастотной вибрации на инактивацию растворов фермента каталазы / Г. В. Тарадина, О. И. Доценко // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – Донецк: ДонНУ, 2007. – Вып. 7. – С. 255–262.

3. *Laemmli U. K.* Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4 / U. K. Laemmli // Nature. – 1970. – V. 227. – P. 680–685.

4. *Niepmann M.* Discontinuous native protein gel electrophoresis: pros and cons / M. Niepmann // Expert Rev Proteomics. – 2007. – V. 4, № 3. – P. 355–361.

5. *Лущак В. І.* Показники оксидативного стресу. 1. Тіобарбітуратні продукти і карбонільні групи білків / В. І. Лущак, Т.В. Багнюкова, О.В. Лущак // Укр. біохім. журн. – 2004. – Т. 76, № 3. – С. 136–141.

6. *Bartoszek M.* The study of pH influence on bovine liver catalase by means of UV-VIS spectroscopy and spin labelling method / M. Bartoszek, W. W. Sulkowski // Polish J. of Environ. Stud. – 2006. – V. 15, № 4A. – P. 41–43.

7. *Rai J.* Tyrosine–heme ligation in heme–peptide complex: design based on conserved motif of catalase / J. Rai, S. Raghothama, D. Sahal // J. Pept. Sci. – 2007. – V. 13. – P. 406–4128.

8. *Петрова Г. П.* Образование дипольных кластеров в растворах альбумина, содержащих ионы кадмия и комплексоны хелата европия / Г. П. Петрова, Ю. М. Петрусевич, Б. Д. Рыжиков и др. // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 3. Физика. Астрономия. – 2003. – № 5. – С. 32–36.

9. *Демченко А. П.* Ультрафиолетовая спектрофотометрия и структура белков / А. П. Демченко. – К.: Наук. думка, 1981. – 208 с.

10. *Prakash K.* Unique oligomeric intermediates of bovine liver catalase / K. Prakash, S. Prajapati, A. Ahmad et al. // Protein Science. – 2002. – V. 11. – P. 46–57.

11. *Prajapati S.* Alkaline unfolding and salt-induced folding of bovine liver catalase at high pH / S. Prajapati, V. Bhakuni, K. R. Babu, S. Jain // Eur. J. Biochem. – 1998. – V. 255. – P. 178–184.

Тарадина Г. В., Доценко О. І. **Олігомерні інтермедіати каталази в розчині за дії низькочастотної вібрації.** – СФ-дослідження розчинів каталази, які піддавали дії вібрації в діапазоні частот 8-32 Гц, виявило, що появу олігомерних інтермедіатів зумовлюють денатураційні зміни в області активного центру ферменту. Методом гель-электрофорезу в неденатуруючих умовах показано, що при дії вібрації в розчинах каталази можливе утворення як диссоційованих форм, так і макромолекулярних комплексів. Співвідношення між интермедиатами, що динамічно співіснують в розчині, залежить від умов експерименту. Показана стабілізуюча дія солей, присутніх в розчині, на олігомерні інтермедіати каталази. З'ясовано, що окислення амінокислотних залишків при дії вібрації інтервалу частот 24-32 Гц може істотно впливати на процеси дисоціації каталази на субодиниці. Окислювальна модифікація каталази відбувається в напрямку: гем → ароматичні амінокислотні залишки → вторинна структура і визначається гнучкістю активного центру ферменту.

Ключові слова: каталаза печінки бика, низькочастотна вібрація, UV-спектри поглинання, нативний гель-електрофорез, асоційований стан, дисоціація.

Taradina G. V., Dotsenko O. I. **Oligomeric intermediates of catalases in a solution at influence of low-frequency vibration.** – UV-research of the catalase solutions treated to action of vibration in a range of frequencies of 8-32 Hz has shown that denaturation changes in the active center area of enzyme promote the appearance of oligomeric intermediates. Using a method of gel electrophoresis in non-denaturing conditions it is shown that vibration influence on catalase solutions probably cause formation both the dissociated forms, and macromolecular complexes. The ratio between intermediates dynamically coexisting in a solution, depends on experimental conditions. Stabilizing action of the salts present in the solution on oligomeric intermediates is shown. It is shown that oxidation of aminoacids residues, found under vibration in frequencies interval of 24-32 Hz, can essentially influence processes of catalases dissociation on subunits. Oxidative modification of catalase proceeds in the order: heme → aromatic amino acids → secondary structure and is defined by flexibility of the active center of enzyme.

Key words: bovine liver catalase, low-frequency vibration, UV-absorption spectra, native gel electrophoresis, associated states, dissociation.

УДК 612.44 : 612.741

© И. Л. Кметко, В. И. Соболев

ХАРАКТЕРИСТИКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СКЕЛЕТНОЙ МЫШЦЫ БЕЛЫХ КРЫС В ХОДЕ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ГИПЕРТИРЕОЗА

Донецкий национальный университет; 83050, г. Донецк, ул. Щорса, 46

Кметко И. Л., Соболев В. И. **Характеристика функционального состояния скелетной мышцы белых крыс при экспериментальном гипертиреозе.** – В экспериментах in situ показано, что в ходе развития экспериментального гипертиреоза отмечается выраженная фазность в способности скелетной мышцы белых крыс к выполнению внешней работы: в начальной стадии развития состояния экспериментального гипертиреоза скелетная мышца приобретает высокие функциональные способности, затем вместе с увеличением степени выраженности гипертиреоза теряет приобретенное качество, а при формировании выраженного гипертиреоза существенно снижает свой высокий функциональный статус, что выражается в существенном уменьшении объема выполняемой при сокращении внешней работы и развиваемой мощностью. Латентный период укорочения мышцы белых крыс с различным тиреоидным статусом качественно определяет фундаментальные показатели энергетики мышечного сокращения; существует обратная отрицательная связь между латентным периодом укорочения и способностью мышцы к выполнению внешней работы и развиваемой при этом мощностью.

Ключевые слова: гипертиреоз, скелетная мышца.

Введение

Одной из актуальных проблем физиологии нейрогуморальной регуляции функций является проблема гормонального контроля энергетики сокращения скелетной мышцы [1-3]. В частности, представляет значительный научный интерес такой аспект проблемы, как вопрос о характере влияния гипертиреоза различной степени выраженности на параметры энергетики сократительного акта. Хорошо известно, что повышенный тиреоидный статус организма сопровождается комплексом определенных нейровегетативных и соматических расстройств [1, 2]. В частности, гиперфункция щитовидной железы, как правило, приводит к нарушениям со стороны опорно-двигательного аппарата.

К настоящему времени активно исследуется роль тиреоидных гормонов как естественных физиологических регуляторов энергетики сокращающейся скелетной мышцы [2, 3]. В ряде работ [1-3] установлено, что при экспериментальном гипертиреозе наступают существенные изменения в теплотворной функции скелетной мышцы, что выражается в повышении «выхода» тепла на единицу развиваемой силы либо выполненной работы, в частности приводятся доказательства участия тиреоидных гормонов в регуляции энергетической стоимости сократительного акта, а также эрготропных параметров мышечного сокращения – силы, мощности, работоспособности мышцы и т. п. [2, 3]. Однако остаются все еще мало исследованными вопросы о соотношении физиологических и патофизиологических эффектов тиреоидных гормонов на скелетную мышцу. Решение этой задачи, по-видимому, может быть достигнуто при исследовании энергетики сократительного акта в ходе нарастающего экспериментального гипертиреоза.

Цель работы – изучение характера влияния нарастающего экспериментального гипертиреоза на основные параметры переднеберцовой мышцы белых крыс.

Материал и методы исследования

Эксперименты выполнены на 70-ти взрослых белых крысах-самцах массой 285±2 г. Все животные были разделены на 6 групп (табл. 1). У животных первых 5-ти групп вызывался экспериментальный гипертиреоз разной степени выраженности путем ежедневных подкожных инъекций водного раствора гормона щитовидной железы трийодтиронина в дозе 15 мкг/кг. Шестая группа служила контролем.

Показателями развития степени выраженности экспериментального гипертиреоза служили общеизвестные симптомы – температура тела, скорость потребления кислорода, частота сердечных сокращений и масса тела. Показателем температуры тела служила ректальная температура, измеряемая с помощью электронного термометра с точностью

±0,05ºС. Скорость потребления кислорода измерялась с помощью электронного газоанализатора «Radiometer», а частота сердечных сокращений определялась путем подсчета R-зубцов электрокардиограммы с помощью электронного кардиотахометра.

В результате анализа состояния физиологических показателей (см. табл. 1) установлено, что инъекции трийодтиронина постепенно вызывали формирование типичных симптомов гипертиреоидного состояния. Так, к окончанию периода инъекций гормона (10-я инъекция) ректальная температура увеличилась до 38,9±0,2ºС (+1,2±0,22ºС), а скорость потребления кислорода и частота сердечных сокращений возросли соответственно на 52% и 84±9 уд/мин. Масса тела несколько уменьшилась и составила 261±5 г против 282±2 г у контрольной группы животных.

Таблица 1

Характеристика некоторых физиологических показателей у животных опытных и контрольной групп

Группа	Число инъекций трийод-тиронина	Физиологический показатель			
		Ректальная температура, ºС	Скорость потребления кислорода, мл/кг мин	Частота сердечных сокращений, уд/мин	Масса тела, г
2Т3-группа n=10	2	37,9±0,1 +0,2±0,14, p>0,05	20±0,31 +5%, p>0,05	387±5 +9±6, p>0,05	286±2 +4±3, p>0,05
4Т3-группа n=10	4	38,1±0,1 +0,4±0,14, p<0,05	23±0,43 +21%, p<0,05	396±6 +18±7, p<0,05	273±3 -9±3,6, p<0,05
6Т3-группа n=10	6	38,4±0,1 +0,7±0,14, p<0,05	27±0,38 +42%, p<0,05	415±6 +37±7, p<0,05	271±4 -11±4,4, p<0,05
8Т3-группа n=10	8	38,8±0,1 +1,1±0,14, p<0,05	28±0,45 +47%, P<0,05	439±7 +61±8, p<0,05	268±3 -14±3,6, p<0,05
10Т3-группа n=10	10	38,9±0,2 +1,2±0,22, p<0,05	29±0,52 +52%, p<0,05	462±8 +84±9, p<0,05	261±5 -21±5,3, p<0,05
К-группа (контроль) n=10	-	37,7±0,1	19±0,23	378±4	282±2

Таким образом, можно сделать заключение о том, что эксперименты были выполнены на животных с разной степенью развития экспериментального гипертиреоза: от начальной степени – до выраженной.

После подготовительного периода у животных всех групп в эксперименте in situ измеряли ряд параметров одиночного изотонического сокращения переднеберцовой мышцы. Ход опыта был следующим. Животное наркотизировалось (тиопентал натрия, в/б в дозе 75 мг/кг), после чего размещалось в станке экспериментальной установки. После измерения ректальной температуры, скорости потребления кислорода и частоты сердечных сокращений препаровался малоберцовый нерв, который в последующем раздражался импульсами электростимулятора. Продолжительность нанесения раздражения составляла 6 с. Амплитуда прямоугольных электрических импульсов стимулятора была равна 500 мВ при длительности импульса 100 мкс и частоте 80 Гц.

Указанный нерв иннервирует переднюю большеберцовую мышцу, сокращение которой вызывает сгибание стопы задней лапки животного. К стопе лапки подвешивался груз массой 100 г. Во время сокращения мышцы груз поднимался, вращая потенциометрический датчик, включенный в электронную схему установки. Это позволяло в дальнейшем по компьютерной записи эргограммы (миограммы) рассчитать исследуемые параметры сократительного акта. Образец записи представлен на рис. 1, а блок-схема экспериментальной установки – на рис. 2. В ходе анализа эргограммы рассчитывались следующие параметры: латентный период укорочения мышцы, амплитуда ее сокращения (высота, на которую поднимался груз), скорость развития сокращения, выполняемая внешняя работа и развиваемая при этом мощность.

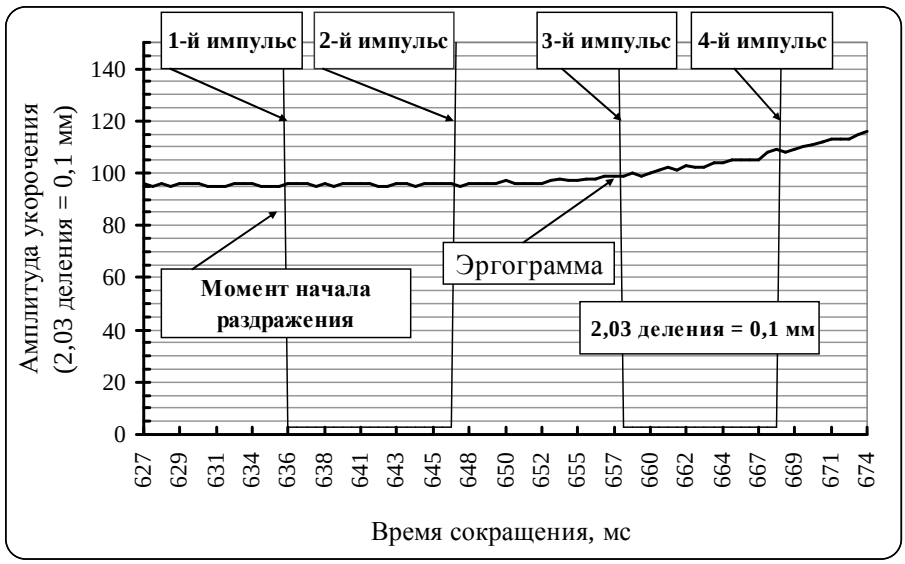


Рис. 1. Определение латентного периода сокращения (укорочения) переднеберцовой мышцы белой крысы.

Примечание: измеренное время латентного периода укорочения мышцы составляет 21 мс.

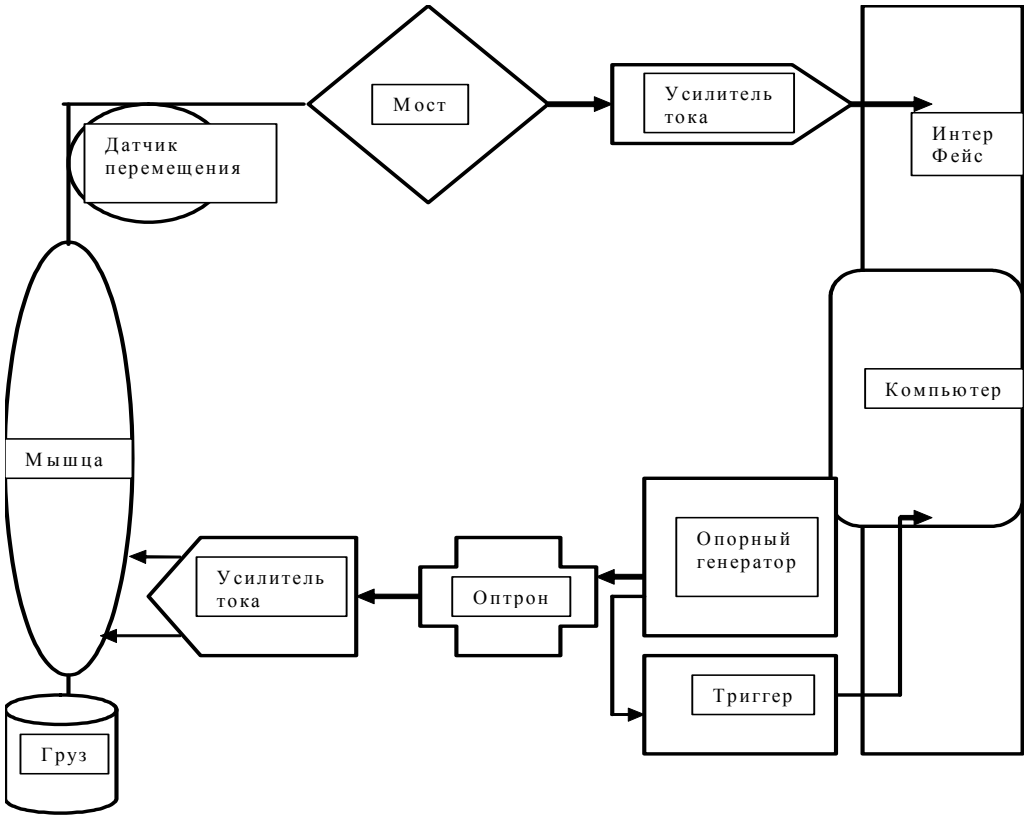


Рис. 2. Блок-схема экспериментальной установки для регистрации изотонического сокращения мышцы: «*оптрон*» – гальваническая развязка сигнала с помощью оптронного преобразователя; «*мост*» – мост Уитстона; «*интерфейс*» – устройство преобразования аналового сигнала в цифрой; «*триггер*» – устройство, используемое в данном случае для формирования на графической записи отметки – «начало раздражения импульсом электростимулятора».

Статистическая обработка полученных данных проводилась с использованием пакетов анализа Statistica 7.0 и MS Excel. Рассчитывались показатели итоговой статистики, оценивался характер распределения совокупностей (непараметрический W-тест Шапиро-Уилка), коэффициент корреляции Пирсона, а также уравнения регрессии и ее параметры. Сравнение показателей у животных опытной и контрольной групп и статистическая оценка различий проводились общепринятыми методами, используемыми в параметрической и непараметрической статистике, на основании проверки нулевой и альтернативной гипотез.

В ходе экспериментов строго придерживались «Правил работы с экспериментальными животными». В частности, опыты проводились на наркотизированных животных, а после окончания эксперимента крысы умерщвлялись путем помещения в эксикатор с высокой концентрацией паров эфира с хлороформом.

Результаты и обсуждение

Анализ полученных данных показал, что в процессе развития экспериментального гипертиреоза наблюдаются закономерные изменения со стороны практически всех параметров, характеризующих энергетику сократительного акта. Как следует из табл. 2, у крыс контрольной группы латентный период укорочения переднеберцовой мышцы при изотоническом сокращении составлял 22,8±0,7 мс. Однако уже после 2-х инъекций трийодтиронина латентный период укоротился до 20,1±0,7 мс, а после 4-й инъекции соответственно – до 18,8±0,6 мс, или на 17,5% ($p<0,05$). В дальнейшем, вместе с развитием экспериментального гипертиреоза, величина данного показателя вначале возвращалась к исходной (6-я инъекция), а затем латентный период существенно возрастал, достигая у крыс «10ТЗ-группы» уровня 27,5±1,1 мс, что было уже на 21% больше контроля.

Таблица 2

Характеристика некоторых параметров изотонического сокращения переднеберцовой мышцы белых крыс в процессе развития экспериментального гипертиреоза

Группа	Показатель			
	Латентный период укорочения мышцы (ЛПУМ), мс	Максимальная амплитуда укорочения мышцы, мм	Время достижения максимальной амплитуды укорочения, мс	Скорость развития максимального укорочения, мм/с
2ТЗ-группа n=10	20,1±0,7 -2,7±0,98 p<0,01	23,6±0,31 +1,6±0,46 +7%, p<0,05	547±9 -98±11,4 -15%, p<0,01	43,1±0,88 +9,0±1,16 +26%, p<0,01
4ТЗ-группа n=10	18,8±0,6 -4,0±0,92 p<0,05	25,1±0,33 +3,1 ±0,47 +14%, p<0,01	512±8 -133±10,6 -18%, p<0,01	49,0±0,81 +14,9±1,11 +44%, p<0,01
6ТЗ-группа n=10	24,9±0,8 +2,1±1,1 p<0,01	22,1±0,44 +0,1±0,55 +0,5%, p>0,05	632±8 -13±10,6 -2%, p>0,05	34,9±0,97 +0,8±1,23 +2%, p>0,05
8ТЗ-группа n=10	26,9±1,0 +4,1±1,22 p<0,01	19,3±0,56 -0,7±0,65 -3%, p>0,05	748±9 +103±11,4 +16%, p<0,01	25,8±1,12 -8,3±1,35 -24%, p<0,01
10ТЗ-группа n=10	27,5±1,1 +4,7±1,30 p<0,01	11,3±0,69 -10,7±0,77 -48%, p<0,01	853±10 +208±12,2 +32%, p<0,01	13,2±1,24 -20,9±1,45 -61%, p<0,01
К-группа (контроль) n=10	22,8±0,7	22,0±0,34	645±7	34,1±0,76

Динамика изменений других параметров сократительного акта была однотипной. Вначале значения того или иного показателя улучшались (с точки зрения функционального состояния скелетной мышцы), а затем, начиняя с 6-й инъекции трийодтиронина, соответственно ухудшались. Данный факт указывает на разнотипность действия разных доз трийодтиронина, а также на формирование разнотипных физиологических и

патофизиологических механизмов энергетики сократительного акта в зависимости от степени нарушения тиреоидного статуса.

После измерения базовых показателей сократительного акта представилась возможность вычисления параметров, характеризующих объем выполненной при сокращении внешней работы и развиваемой при этом переднеберцовой мышцей мощности. Цифровой материал представлен в табл. 3.

Таблица 3

Показатели эрготропной функции переднеберцовой мышцы при изотоническом сокращении с грузом 100 г в процессе развития экспериментального гипертиреоза

Группа	Расчетный показатель	
	Объем внешней работы, выполненной мышцей, мДж	Мощность, развиваемая мышцей, мВт
2Т3-группа n=10	23,1±0,72 (+0,8±1,08) +4%, p>0,05	42,2±3,3 (+15,8±4,08) +60%, p<0,01
4Т3-группа n=10	24,6±0,82 (+2,3±1,06) +10%, p<0,05	48,0±3,7 (+21,6±4,41) +82%, p<0,01
6Т3-группа n=10	21,6±0,94 (-0,7±1,16) -3%, p>0,05	35,2±3,0 (+8,8±3,81) +29%, p<0,05
8Т3-группа n=10	18,9±0,98 (-3,4±1,19) -15%, p<0,05	25,3±2,9 (-1,18±3,76) -5%, p>0,05
10Т3-группа n=10	11,0±1,04 (-11,3±1,24) -51%, p<0,01	12,9±2,8 (-13,5±3,68) -50%, p<0,05
К-группа (контроль) n=10	22,3±0,68	26,4±2,4

При анализе представленных данных обращают на себя внимание следующие основные моменты. Во-первых, в начальной стадии развития экспериментального гипертиреоза показатель объема выполненной мышцей внешней работы становился больше, чем у животных контрольной группы. Действительно, если мышца контрольных животных при сокращении выполняла объем внешней работы, равный 22,3±0,68 мДж, то после 4-й инъекций трийодтиронина он возрастал до 24,6±0,82 мДж, т.е. становился на 10% больше.

Во-вторых, данная закономерность вместе с развитием состояния гипертиреоза быстро изменялась и приобретала противоположный характер. Так, после 6-й инъекции гормона (6Т3-группа) значение данного показателя возвращалось к уровню контрольных величин.

Наконец, в-третьих, при выраженном экспериментальном гипертиреозе (10Т3-группа) переднеберцовая мышца белых крыс при сокращении выполняла меньший объем внешней работы (-51%) в сравнении с мышцей контрольных животных (см. табл. 3).

Таким образом, в ходе развития экспериментального гипертиреоза отмечается выраженная фазность в способности скелетной мышцы белых крыс к выполнению внешней работы: в начальной стадии развития состояния экспериментального гипертиреоза скелетная мышца приобретает высокие функциональные способности, затем вместе с увеличением степени выраженности гипертиреоза теряет приобретенное качество, а при формировании выраженного гипертиреоза существенно снижает свой высокий функциональный статус, что выражается в существенном уменьшении объема выполняемой при сокращении внешней работы.

Аналогичная закономерность отмечается и при анализе результатов расчета показателя развиваемой мощности (см. табл. 3). Так, видно, что в начальной стадии развития экспериментального гипертиреоза (2Т3 и 4Т3-группы) переднеберцовая мышца белых крыс при сокращении способная развивать высокую мощность, которая соответственно на 60 и 82% больше, чем у мышцы контрольных крыс. Затем данное качество теряется, а при гипертиреозе высокой степени выраженности (10Т3-группа) скелетная мышца белых крыс способна к развитию мощности, которая уже на 50% ниже, чем у контрольной группы животных.

Представляет интерес анализ зависимости эрготропных параметров мышечного сокращения от фундаментального показателя функционального состояния скелетной мышцы – латентного периода ее метрического укорочения. Как видно на рис. 3, значение латентного периода укорочения переднеберцовой мышцы в большой степени определяет способность ее к выполнению внешней работы: чем меньше латентный период, тем больший объем выполняемой внешней работы. Данная зависимость достаточно хорошо описывается уравнением прямой линии при высоком значении коэффициента аппроксимации кривой (R^2=0,66) и коэффициента корреляции (r =-0,81) при статистически достоверном значении коэффициента регрессии (p=0,047).

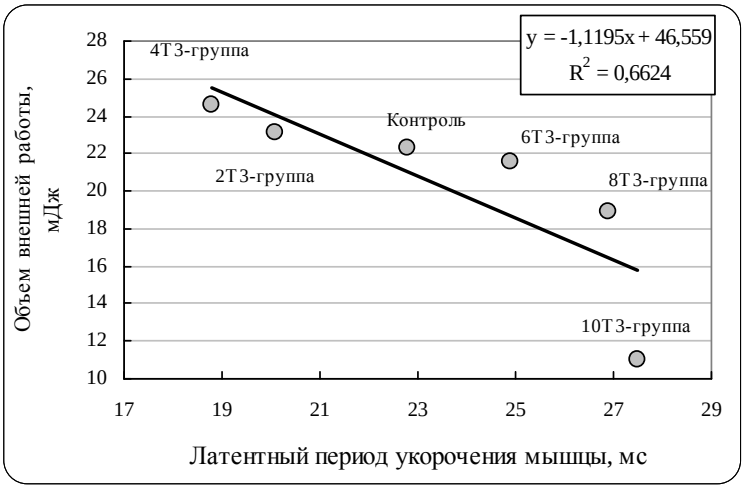


Рис. 3. Зависимость объема внешней работы, выполненной мышцей, от латентного периода ее укорочения в ходе развития экспериментального гипертиреоза.

Аналогичная по характеру зависимость имела место и в отношении мощности, развиваемой переднеберцовой мышцей белых крыс разных групп, при выполнении внешней работы (рис. 4). Так, видно, что данная зависимость описывалась уравнением прямой линии при статистически достоверном значении коэффициента регрессии в уравнении (p=0,019) и отрицательном коэффициенте корреляции (r = -0,88) и высокой степенью достоверности аппроксимации кривой (R^2=0,78).

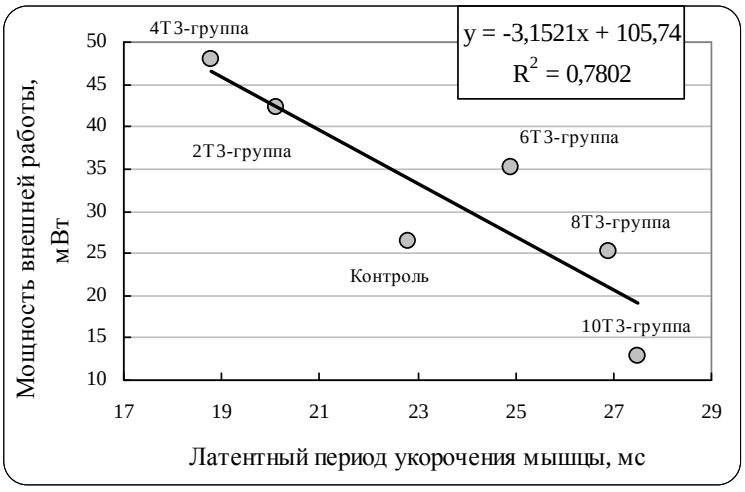


Рис. 4. Зависимость мощности, развиваемой мышцей, от латентного периода её укорочения в ходе развития экспериментального гипертиреоза.

Таким образом, латентный период метрического укорочения переднеберцовой мышцы белых крыс с различным тиреоидным статусом качественно определял фундаментальные показатели энергетики мышечного сокращения – способность к выполнению внешней работы и развиваемую при этом мощность.

Обсуждая полученные данные, необходимо отметить, что в настоящей работе выявлена сложная зависимость между степенью выраженности экспериментального гипертиреоза и функциональным состоянием скелетной мышцы. Результаты экспериментов свидетельствуют, что эффект трийодтиронина на показатели энергетики мышечного сокращения качественно зависит от степени нарушения тиреоидного статуса; при слабой степени выраженности гипертиреоза все функциональные показатели мышечного сокращения улучшаются, затем вместе с нарастанием степени гипертиреоза возвращаются к норме, а затем при тяжелом тиреотоксикозе – существенно ухудшаются. Данный результат указывает на разнотипные механизмы действия трийодтиронина на фундаментальные характеристики сократительного акта, которые последовательно инициируются и ингибируются в ходе развития выраженного экспериментального гипертиреоза. С нашей точки зрения, механизмы подобного действия трийодтиронина, по-видимому, связаны со способностью тиреоидного гормона изменять электрофизиологические характеристики нервно-мышечного аппарата, а также энергетику сократительного акта, в частности коэффициент полезного действия мышечного сокращения [2]. В результате подобного эффекта трийодтиронина возможны перестройки всех звеньев нервно-мышечной системы, в том числе и нервно-мышечного синапса. В литературе существуют сообщения в пользу позитивного влияния гипертиреоидных состояний на плотность Na^+-каналов в плазматической мембране [4, 6, 8] и продолжительность нахождения их в открытом состоянии в момент деполяризации мембраны мышечного волокна, а также на активность и концентрацию молекул Ca^{2+}-АТФазы в мембранах саркоплазматического ретикулума [5, 7], сродство контрактильного аппарата мышечного волокна к ионам Ca^{2+} [7, 9], синтез миофибриллярных белков, активность АТФазы миозина, определяющей тип мышечного волокна и его скоростные характеристики [2, 3]. Таким образом, тиреотоксикоз вызывает многочисленные изменения со стороны различных звеньев нервно-мышечного аппарата, что является проявлением их патофизиологического эффекта.

Перспективы дальнейших исследований связаны с последующим изучением природы выявленного феномена зависимости латентного периода укорочения мышечных волокон от степени выраженности экспериментального гипертиреоза. В частности, предполагается выяснение характера влияния экспериментального тиреотоксикоза и атиреоза на сократительный акт в условиях экспериментального воздействия физиологических концентраций трийодтиронина.

Выводы

1. В ходе развития экспериментального гипертиреоза отмечается выраженная фазность в способности скелетной мышцы белых крыс к выполнению внешней работы: в начальной стадии развития состояния экспериментального гипертиреоза скелетная мышца приобретает высокие функциональные способности, затем вместе с увеличением степени выраженности гипертиреоза теряет приобретенное качество, а при формировании выраженного гипертиреоза существенно снижает свой высокий функциональный статус, что выражается в существенном уменьшении объема выполняемой при сокращении внешней работы и развиваемой мощностью.

2. Латентный период метрического укорочения переднеберцовой мышцы белых крыс с различным тиреоидным статусом качественно определяет фундаментальные показатели энергетики мышечного сокращения; существует обратная отрицательная связь между латентным периодом укорочения и способностью мышцы к выполнению внешней работы и развиваемой при этом мощностью.

Список литературы

1. *Неруш П. О.* Вікові особливості функціонування нервово-м'язової системи щурів за умов гіпертиреозу / П. О. Неруш, Є. А. Макій, О. Г. Родинський // Фізіол. журн. – 2001. – Т. 47, № 5. – С. 12–17.

2. *Соболєв В. І.* Вплив експериментального атиреозу на енергетику ізометричного скорочення м'яза білого щура (дослідження in situ) / В. І. Соболєв, Т. В. Москалець // Фізіол. журн. – 2007. – Т. 53, № 5. – С. 86–90.

3. *Труш В. В.* Изменение силовых характеристик скелетной мышцы белых крыс в процессе углубления экспериментального гипертиреоза / В. В. Труш, В. И. Соболев // Архив клин. и эксперим. медицины. – 2003. – Т. 12, № 2. – С. 144–150.

4. *Brodie C.* Characterization of thyroid hormone effects on Na-K pump and membrane potential of cultured rat skeletal myotubes / C. Brodie, S. R. Sampson // Endocrinology. – 1988. – № 2. – P. 891–897.

5. *Connelly T. J.* L-thyroxine activates the intracellular Ca^{2+} release channel of skeletal muscle sarcoplasmic reticulum / T. J. Connelly, R. Hayek, S. M. Ukhareva et al. // Biochem. Mol. Biol. Int. – 1994. – V. 32, № 3. – P. 441–448.

6. *Clausen T.* Regulation of the Na-K pump in skeletal muscle / T. Clausen, M. E. Everts // Kidney Int. – 1989. – № 1. – P. 1–13.

7. *Davis P. J.* Thyroid hormone regulation of membrane Ca^{2+}-ATPase activity / P. J. Davis, F. B. Davis, W. D. Lawrence // Endocr. Res. – 1989. – V. 15. – P. 651–682.

8. *Harris D. R.* Acute thyroid hormone promotes slow inactivation of sodium current in neonatal cardiac myocytes / D. R. Harris, W. L. Green, W. Craelius // Biochem. Biophys. Acta. – 1991. – Vol. 1095, № 2. – P. 175–181.

9. *Warnick P. R.* Rabbit skeletal muscle sarcoplasmic reticulum Ca^{2}+-ATPase activity: stimulation in vitro by thyroid hormone analogues and bipyridines / P. R. Warnick, P. J. Davis, F. B. Davis et al. // Biochem. Biophys. Acta. – 1993. – V. 1153. – P. 184–190.

Кметко І. Л., Соболєв В. І. **Характеристика функціонального стану скелетного м'яза білих щурів за експериментального гіпертиреозу.** – В експериментах in situ показано, що під час розвитку експериментального гіпертиреозу спостерігається виразна фазність в здібності скелетного м'яза білих щурів до виконання зовнішньої роботи: в початковій стадії розвитку стану експериментального гіпертиреозу скелетний м'яз набуває високих функціональних здібностей, потім разом із збільшенням ступеня виразності гіпертиреозу втрачає придбану рису, а при формуванні виразного гіпертиреозу істотно знижує свій високий функціональний статус, що виражається в істотному зменшенні об'єму виконуваної при скороченні зовнішньої роботи і розвиненої потужності. Латентний період укорочення м'яза білих щурів з різним тиреоїдним статусом якісно визначає фундаментальні показники енергетики м'язового скорочення; існує зворотний негативний зв'язок між латентним періодом укорочення і здатністю м'яза до виконання зовнішньої роботи і потужністю, що при цьому розвивається.

Ключові слова: гіпертиреоз, скелетний м'яз.

Kmetko I. L., Sobolev V. I. **Characteristic of functional state of skeletal muscle of white rats at experimental hyperthyroidism.** – It is shown, that at development of experimental hyperthyroidism phases is marked in the functional state of skeletal muscle. In the initial stage of development the hyperthyroidism skeletal muscle acquires high functional capabilities, after loses the acquired quality. At forming of expressed the hyperthyroidism muscle loses its high functional status. The latent period of shortening of muscle of white rats determines fundamental indexes of energy of muscle contraction; there is a negative feed-back between the latent period of shortening and power of muscle to implementation of external work and by power.

Key words: hyperthyroidism, skeletal muscle.

УДК 599.323.4 : 614.876–06–089.843 : 576.3

© Д. Ю. Кустов, І. В. Кокіна, М. І. Тарапата

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТРАНСПЛАНТАЦІЇ ЕМБРІОНАЛЬНИХ СТОВБУРОВИХ КЛІТИН НА ПОВЕДІНКУ ЩУРІВ ПІСЛЯ ОПРОМІНЕННЯ

Донецький національний медичний університет ім. М. Горького
83003, м. Донецьк, пр. Ілліча, 16; e-mail: physiolog@mail.ru

Кустов Д. Ю., Кокіна І. В., Тарапата М. І. **Дослідження впливу трансплантації ембріональних стовбурових клітин на поведінку щурів після опромінення.** – Статтю присвячено дослідженню грумінга і загальної рухової активності у щурів після гострого або хронічного гамма-опромінення та подальшого введення ембріональних стовбурових клітин. Обидва способи опромінення призводили до істотного зниження грумінгової активності, але підвищували загальну рухову активність тварин. Трансплантаційна корекція стану нейроімуноендокринної системи відновлювала початковий рівень досліджуваних показників поведінки у більшості експериментальних особин.

Ключові слова: трансплантація, ембріональні стовбурові клітини, грумінг, опромінення.

Вступ

Проблема корекції радіаційних уражень організму є украй важливою для забрудненого регіону Донбасу і України в цілому. Кількість захворювань, спричинених як прямим опроміненням, так і віддаленими його наслідками в нашій країні складає дуже великий відсоток від викликаних іншими чинниками. Крім того, велику увагу лікарів привертає комплекс дій, спрямованих на реабілітацію після променевої терапії онкологічних хворих.

Променева хвороба являє собою самостійне захворювання, що розвивається в результаті загибелі переважно клітин організму, здатних до ділення під впливом іонізуючої радіації. Причиною променевої хвороби можуть бути як аварія, так і тотальне опромінення організму з лікувальною метою – при трансплантації кісткового мозку, при лікуванні множинних пухлин.

Одним із найбільш суперечливих питань дії малих доз опромінення є питання про вплив зовнішнього та внутрішнього опромінення на ЦНС, яка, за законами класичної радіобіології, була віднесена до резистентних малочутливих до дії опромінення біологічних тканин [1]. У той же час клінічні спостереження за розвитком нейропсихічної патології у ліквідаторів, а також експериментальні дослідження дали привід узяти під сумнів справедливість такого твердження [2-6]. Багаторічні спостереження за виникненням та розвитком патологічних станів у ліквідаторів дозволили виявити дуже важливі клінічні дані, що свідчать про чутливість ЦНС до дії малих доз опромінення. Так, якщо в 1988 р. дисциркуляторну енцефалопатію виявили в 1% ліквідаторів, то в 1992 р. – уже в 71%, а в 1994 р. – у 98% ліквідаторів, тоді як інші захворювання (патологія травного каналу, легень та ін.) виявили не більше ніж у 50% ліквідаторів [7].

Більше того, значна група дослідників, які раніше всі зміни в ЦНС у ліквідаторів визнавали як прояви вегетосудинної дистонії і як наслідок психоемоційного стресу [8-11], в останні роки також стали говорити про можливий розвиток енцефалопатії при дії опромінення [12]. Таким чином, сьогодні можна вважати, що ЦНС є чутливою до дії не тільки середніх та великих, але й малих доз опромінення.

Підсумовуючи численні дослідження про вплив надлетальних, великих (які призводять до променевої хвороби) та малих доз опромінення на ЦНС, потрібно не відмежовувати вплив великих доз від малих, а, навпаки, виявити зміни ЦНС, зіставляючи дію великих та малих доз опромінення, вплив опромінення загального та локального на головний мозок. Таке дослідження дозволить більш повно уявити патогенез радіаційного ураження нервової системи. Доцільно комплексно розглядати всі види радіаційних уражень ЦНС, враховуючи дію зовнішнього загального, локального та внутрішнього опромінення на структуру та функцію ЦНС у цілому або її певних структур, а також молекулярно-генетичних уражень, що в більш віддалений період можуть призвести до розвитку пухлин головного мозку та оболонок або до різних вад розвитку в дітей, котрі були опромінені в період ембріонального розвитку [1].

Сьогодні можна стверджувати, що можливі два види радіаційного впливу на нервову систему. Перший – це пряма дія опромінення, коли на функцію, структуру та метаболізм нервових клітин прямо впливають зовнішнє або внутрішнє опромінення, що доведено можливістю накопичення в мозковій тканині радіонуклідів [13]. Другим, більш вивченим механізмом дії малих доз опромінення на ЦНС є непрямий вплив, який реалізується через порушення функції мозкових судин, метаболічні та інтоксикаційні зміни в організмі, розвиток нейроаутоімунних процесів та інше.

Як засвідчили морфологічні та електронно-мікроскопічні дослідження, радіаційний вплив проявляється як в клітинах глії, так і в нейронах, зумовлює порушення структури гематоенцефалічного бар'єру та різних субклітинних структур, а також біохімічних процесів, що в свою чергу призводить до набухання та набряку нервових клітин, їх зморщення та загибелі [14-16].

Таким чином, загальні ланки патогенезу радіаційного ураження ЦНС в основному вже визначені завдяки клінічним спостереженням за хворими на пострадіаційну енцефалопатію, а також експериментальним дослідженням. Але значення прямої чи непрямої дії опромінення на ЦНС, їх «частка» в патогенезі залежать від конкретних умов розвитку радіаційного ураження ЦНС та вихідного стану здоров'я. Подальші дослідження дозволять конкретизувати значення різних чинників зовнішнього та внутрішнього опромінення (доза, тривалість опромінення, вид радіонукліда та ін.), а також визначити особливості радіаційної патології, перебіг якої може бути пов'язаний переважно з дисциркуляторними, чи інтоксикаційними, чи нейроімунними процесами.

Водночас у клінічній практиці зараз досить широко використовують термін *дисциркуляторна енцефалопатія*, замість терміну *пострадіаційна* чи *радіаційна енцефалопатія*, що не відповідає сучасному уявленню про патогенез радіаційного враження мозку, оскільки все зводиться в основному лише до порушення кровообігу в ЦНС, патології регуляції судин мозку, провідній ролі одного дисциркуляторного чинника без урахування наведених вище рушійних чинників та цілісності патогенезу. Не виключено, що в певної частини хворих дисциркуляторні явища на відповідних стадіях розвитку енцефалопатії можуть бути домінуючими, але в цілому, враховуючи багатогранний механізм дії, складність патогенезу, особливості клінічного перебігу та питання патогенетично зумовленого лікування, доцільно говорити про радіаційну або пострадіаційну енцефалопатію, на що досить обгрунтовано вказують деякі автори [17-19].

З іншого боку, в медичній практиці і в науковій літературі досить багато уваги приділяється питанню про значення психоемоційного стресу в патології ЦНС як основної, більш важливої, ніж вплив опромінення, причини [7, 9]. У клінічній практиці при спостереженні за хворими з радіаційними порушеннями ЦНС досить важко врахувати переважне значення радіаційного чинника чи психоемоційного стресу в генезі порушень, що виникають. Водночас експериментальні дослідження [4, 20] однозначно свідчать, що основним етіологічним чинником є все ж радіаційний вплив, а «радіофобія» є додатковим модифікуючим чинником. Не виключено, що в певної частини хворих, схильних до нервово-психічних порушень, психоемоційний стрес може спричинити теж складні функціонально-органічні порушення в ЦНС, які клінічно подібні до радіаційного ураження нервової системи.

Якщо у вивченні різних ланок патогенезу, визначенні ролі основних та додаткових чинників радіаційного враження ЦНС досягнуто певних успіхів, то у формуванні нових підходів до лікування і профілактики поки що принципово нових розробок немає.

Об'єктивне прогнозування подальшого впливу опромінення на ЦНС можливе лише на основі глибоких клінічних та фундаментальних досліджень, які мають проводити фахівці різних професій.

Останнім часом науковці приділяють проблемі стовбурових клітин значну увагу. У світовій науковій літературі можна зустріти багато протилежних думок щодо етики або

безпеки їх застосування [21-23]. І все ж таки прихильників stem cells-терапії стає дедалі більше.

Виявлення стовбурових клітин-попередників з вираженою здібністю до проліферації та диференціації відкриває можливості їх застосування для лікування дегенеративних, посттравматичних і наслідуваних захворювань [23, 24].

У даний час кріопрезервовані регіональні стовбурові клітини пупкової вени використовуються головним чином при лікуванні лейкемії, пухлин, спадкових метаболічних дефектів і імунодефіцитів, але у найближчий час сфера їх медичного використовування значно розшириться [25, 26].

У зв'язку з вищенаведеним ми вважали доцільним дослідити можливість застосування стовбурових клітин кордової крові в корекції порушень ЦНС, викликаних гамма-опроміненням.

Матеріал і методи дослідження

Експерименти проводили в лабораторії клінічної і прикладної нейрофізіології Донецького національного медичного університету на статевозрілих самцях безпорідних білих щурів, масою від 180 до 300 грамів, розподілених на 5 рівновеликих груп по 10 особин у кожній:

1. Інтактні.
2. Гостре опромінення (контроль).
3. Хронічне опромінення (контроль).
4. Гостре опромінення з введенням ЕСК (дослідна).
5. Хронічне опромінення з введенням ЕСК (дослідна).

Опромінення проводилось на приладі Рокус М № 126 – гама-терапевтичний апарат в радіологічному відділенні Донецького онкологічного центру (м. Донецьк). Гостре опромінення проводилось одноразово. Доза гострого опромінення становила 6,5 Гр. Хронічне опромінення проводилось протягом місяця. Щурі піддослідної групи отримували через добу опромінення в дозі 0,5 Гр. Сумарна доза хронічного (пролонгованого) опромінення становила 6,5 Гр.

Трансплантацію ембріональних стовбурових клітин (ЕСК) здійснювали внутрішньовенним введенням суспензії, отриманих з кордової крові людини.

Спостереження за реакціями самоочищення проводили у різний час протягом всього світлового дня. Для реєстрації показників грумінгу тварин поміщали до біоритмокамери розробки лабораторії клінічної та прикладної нейрофізіології ДонНМУ сумісно з ТОВ «Медтехприбор». Перші 15 хв. відводились для адаптації до умов камери, після чого протягом подальших 15 хв. проводили візуальне спостереження й підрахунок 4-х різних видів спонтанних рухів очищення шкіри (умивання, лизання, чухання і обтрушування) [27]. Крім того, як додаткові показники ми фіксували загальну кількість рухів самоочищення і загальний час, що витрачає тварина на грумінг за період спостереження, інтенсивність грумінгу та відсоток часу грумінгу [28]. Один рух самоочищення приймався за один елементарний грумінговий акт (е.г.а.). Фіксувалась також загальна рухова активність тварини (тобто переміщення по клітці), яка була виражена у процентному відношенні до загального часу спостереження.

Аналіз результатів спостережень проводили у середовищі пакетів статистичного аналізу MedStat (Альфа, 2004 р.) і Statistica (Statsoft Inc., 1998 р.).

Для обробки даних, отриманих у процесі дослідження, застосовувались методи описової статистики, обчислювалось значення середнього арифметичного ($x_{ср}$) і довірчого інтервалу (ДІ) за α=0,05.

Для порівняння показників різних вибірок застосовувались критерії перевірки статистичних гіпотез. При порівнянні двох вибірок, коли розподіл не відрізнявся від нормального, для порівняння середніх використовувався критерій Стьюдента, якщо ж розподіл ознак відрізнявся від нормального, – критерій Вілкоксона. У разі порівняння 3-х і

більше вибірок між собою аналіз проводився у два етапи. Для виявлення впливу факторної ознаки використовувався критерій Краскела-Уоліса, при проведенні множинних порівнянь – критерій Данна. Вірогідними в усіх випадках вважали відмінності при $p<0,05$.

Результати та їх обговорення

Нами було досліджено зміни грумінгової та рухової активності у білих щурів після гострого або хронічного опромінення та подальшого введення ембріональних стовбурових клітин кордової крові. У процесі статистичної обробки отриманих даних у кожній дослідній групі були сформовані дві підгрупи: перша – з тварин, які вижили в експерименті, а друга – із тварин, що загинули. Завдяки цьому нам вдалось чітко простежити закономірності в різниці імунного статусу та кінцевих результатів експерименту між двома підгрупами. Слід відмітити, що кількість тварин у других дослідних підгрупах (летальність серед яких дорівнювала 100%) складала приблизно 20-27% від загальної кількості тварин, яким здійснювали введення стовбурових клітин.

Як бачимо з табл. 1, опромінення призводило до зниження кількості елементарних грумінгових актів, тобто до пригнічення грумінгової активності, причому при гострому опроміненні це пригнічення було більш вираженим, ніж при хронічному.

Таблиця 1

Кількість елементарних грумінгових актів у щурів різних експериментальних груп

Групи тварин	Види елементарних актів грумінгу			
	умивання, е.г.а.	лизання, е.г.а.	чухання, е.г.а.	обтрушування, е.г.а.
інтактні	11,07±1,87	7,87±1,99	6,63±1,39	4,70±1,44
гостре опромінення (г.о.)	2,97±1,10*	2,55±1,00*	2,55±0,99*	1,24±0,69*
хронічне опромінення (х.о.)	5,59±1,54*	3,93±1,15*	3,86±1,50*	2,14±0,99*
г.о.+ЕСК(1)	9,35±2,41	6,80±1,55	6,80±1,74	5,35±1,68
г.о.+ЕСК(2)	2,65±1,53*	1,80±0,97*	1,70±0,89*	1,15±0,73*
х.о.+ЕСК(1)	10,16±3,07	6,79±1,65	7,16±2,12	4,26±1,71
х.о.+ЕСК(2)	3,44±2,02*	3,00±2,12*	3,78±1,87*	1,78±1,42*

Примітка. * – $p\leq0,05$ при порівнянні з інтактними тваринами.

Після введення ЕСК у більшості тварин грумінгова активність поверталась до початкового рівня, але у випадку хронічного опромінення відновлення кількості елементарних актів грумінгу було повнішим.

Привертає до себе увагу той факт, що в невеликої кількості щурів після введення ЕСК грумінгова активність не тільки не відновлювалась, але й, навпаки, мала тенденцію до подальшого зниження. Візуально у цих тварин спостерігалось випадіння шерсті, а в деяких – й об’єктивне зниження ваги.

На рис. 1 наведено гістограму зміни загальної кількості актів грумінгу. Вона наочно демонструє вплив опромінення на грумінг, різницю цього впливу між гострим і хронічним опроміненням та вплив подальшого введення стовбурових клітин. Виявлено вірогідну різницю між значенням цього показника у тварин після гострого і хронічного опромінення. Також суттєво розрізняється загальна кількість актів грумінгу між підгрупами обох дослідних груп.

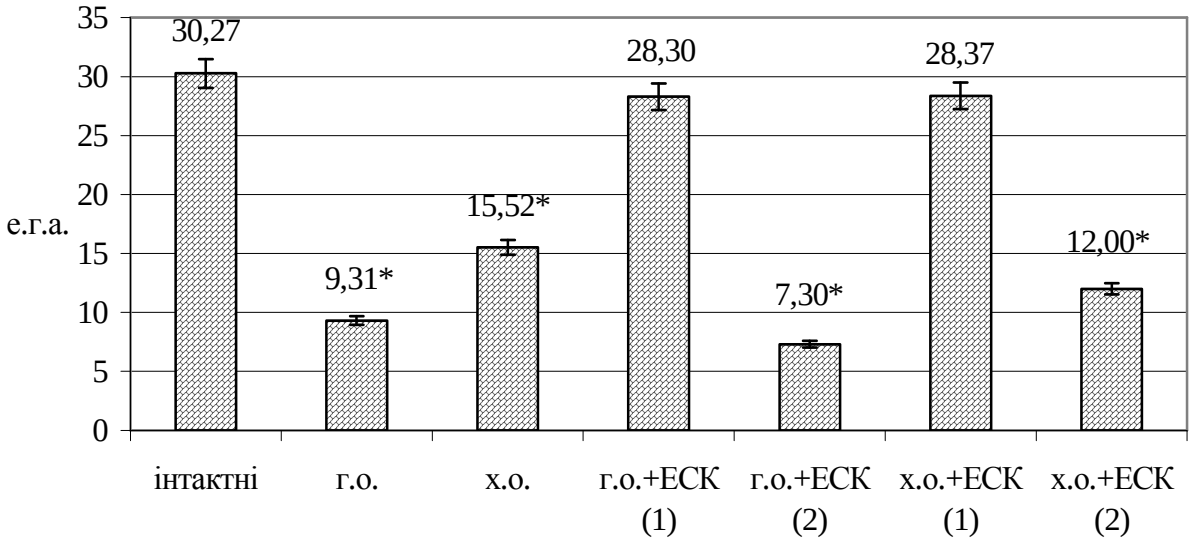


Рис. 1. Зміна загальної кількості грумінгових актів у щурів різних експериментальних груп.

Примітка. * – $p \leq 0,05$ при порівнянні з інтактними тваринами.

На рис. 2 наведено загальний час, який щури витрачали на грумінг. Як бачимо, опромінення суттєво знижує і час грумінгу. Як і у випадку з кількістю грумінгових актів, час грумінгу більш за все знижувався у щурів, які піддавалися гострому опроміненню. Введення ЕСК приводило до відновлення рівня цього показника в більшості опромінених тварин, але були й такі, у котрих він був ще більш зниженим, ніж у контрольних груп.

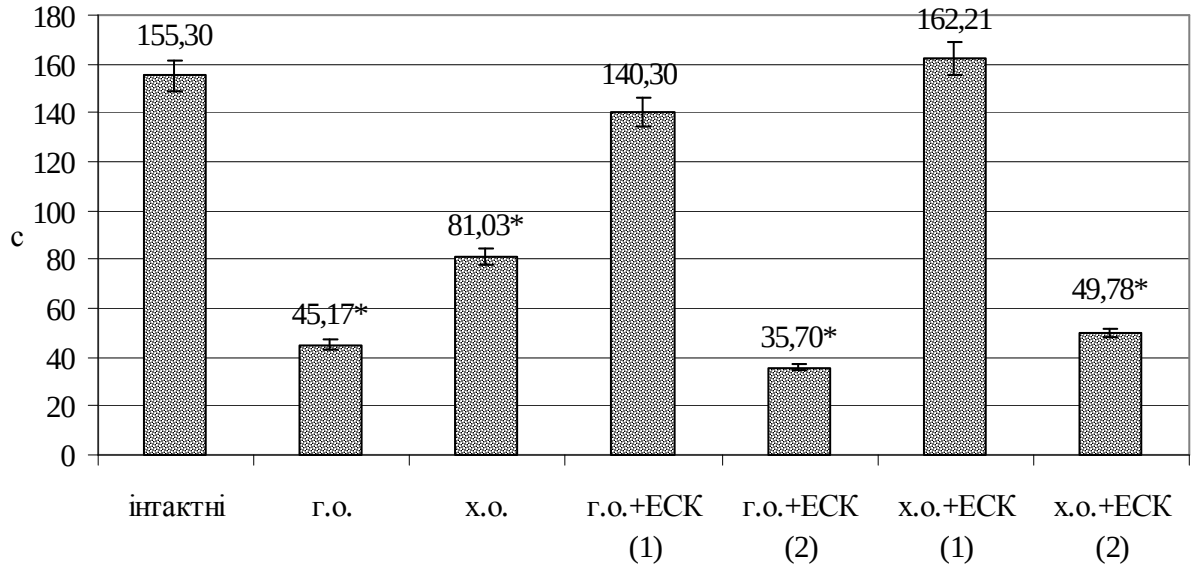


Рис. 2. Зміна часу грумінгу у щурів різних експериментальних груп.

Примітка. * – $p \leq 0,05$ при порівнянні з інтактними тваринами.

Якщо розглянути інтегральний показник інтенсивності грумінгу, ми не виявимо в ньому будь-яких вірогідних змін між інтактними та опроміненими щурами (рис. 3). Але це говорить лише про те, що співвідношення між загальною кількістю актів грумінгу і його часом було однаковим, що цілком зрозуміло в нашому випадку. Привертає до себе увагу той факт, що значення цього показника вірогідно зростають у щурів других дослідних підгруп, що можливо інтерпретувати як порушення стану комфортності, пов'язаного з погіршенням загального самопочуття.

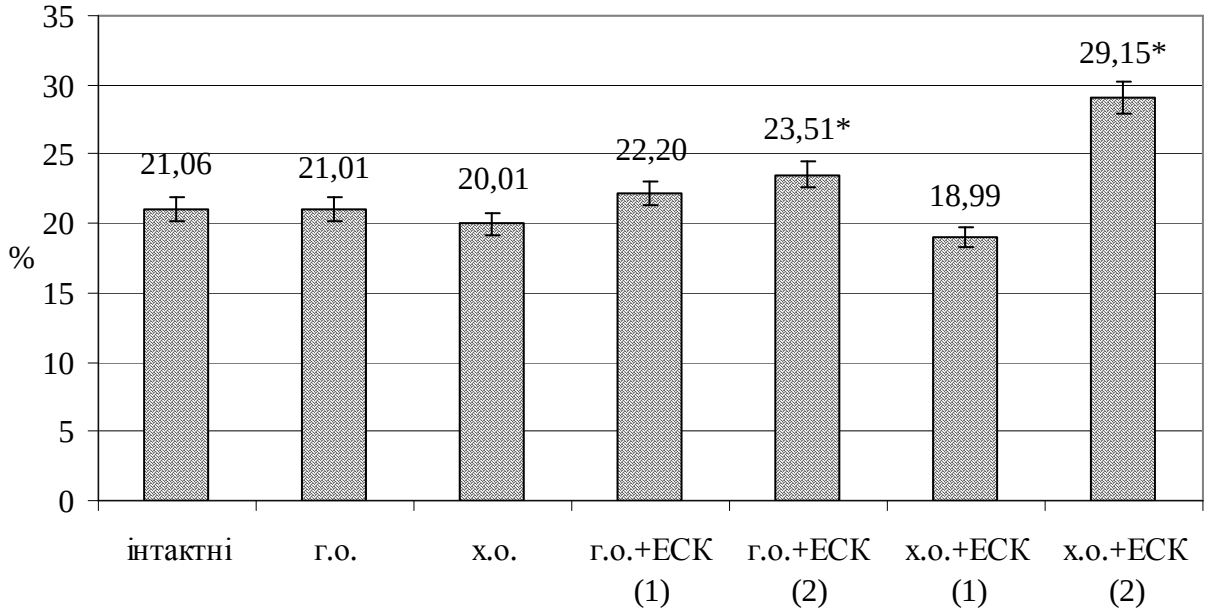


Рис. 3. Зміна інтенсивності грумінгу у щурів різних експериментальних груп.
Примітка. * – $p \leq 0,05$ при порівнянні з інтактними тваринами.

На відміну від попереднього показника, відсоток часу грумінгу повністю відображає виявлену нами тенденцію (рис. 4).

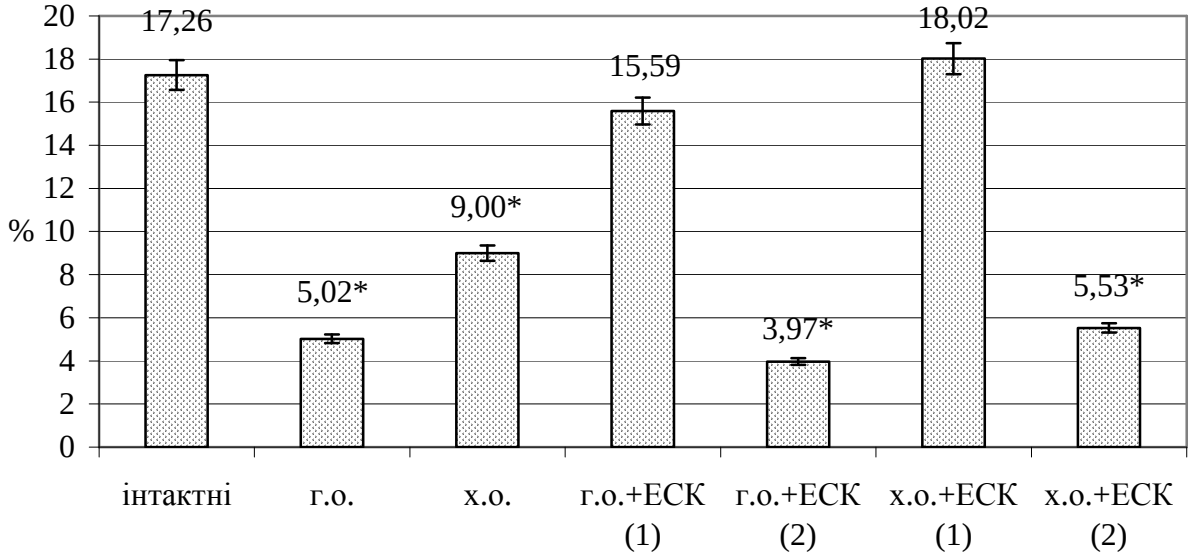


Рис. 4. Зміна відсотка часу грумінгу у щурів різних експериментальних груп.
Примітка. * – $p \leq 0,05$ при порівнянні з інтактними тваринами.

Кількість часу, який витрачали тварини на грумінг за період спостереження, знижувалась після опромінення й зростала до рівня інтактних тварин після введення ЕСК у перших підгрупах дослідних груп.

Особливу увагу привертає наступний показник. Загальна рухова активність щурів після гострого опромінення була більш ніж у три рази підвищеною у порівнянні з інтактними особинами. Хронічне опромінення також призводило до її зростання майже удвічі (рис. 5).

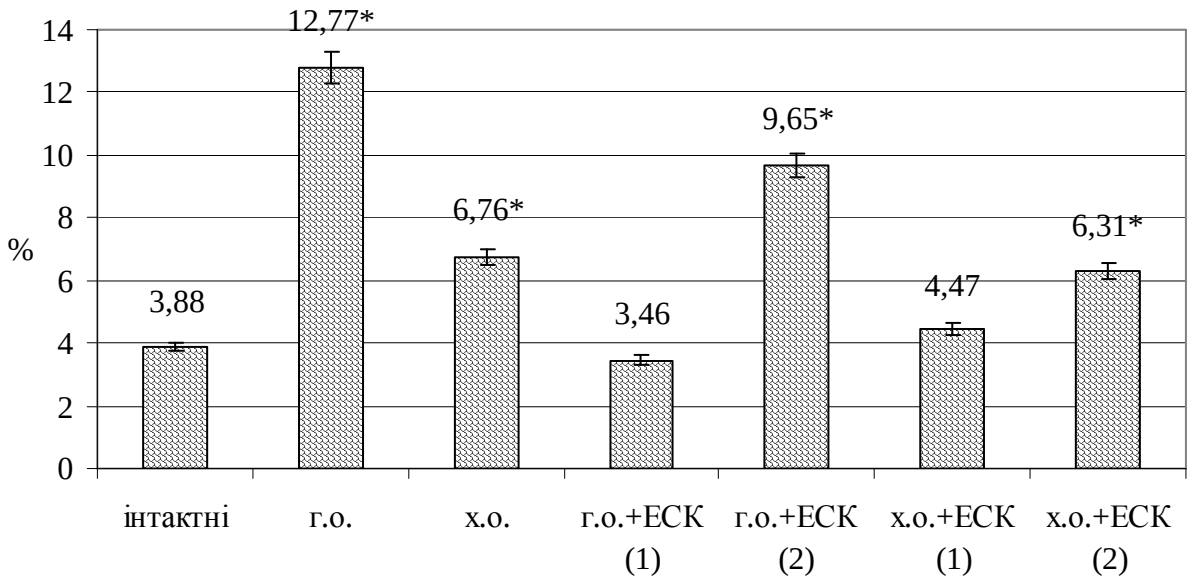


Рис. 5. Зміна загальної рухової активності у щурів різних експериментальних груп.
Примітка: * – $p \leq 0,05$ при порівнянні з інтактними тваринами.

Введення ЕСК у більшості тварин відновлювало початковий рівень рухової активності, але у других підгруп дослідних груп це зниження було менш вираженим і, можливо, викликалося іншими механізмами.

Таким чином, нами було доведено, що як гостре, так і хронічне тотальне опромінення призводять до підвищення загальної рухової активності, що може пояснюватись розвитком тривожності у поведінці щурів. Цілком зрозуміло, що в такому стані інші поведінкові реакції можуть бути пригніченими, насамперед ті, які належать до класу комфортних.

J. Kisková і B. Smajda [29] показали, що одноразове опромінення голови щурів гамма-променями у дозі 10 Гр призводило до значного і тривалого підвищення тривожності, втрати адаптаційних здібностей на тлі короткочасного пригнічення рухової та пошукової активності.

Японськими вченими в експериментах на самцях щурів було встановлено, що хронічне іонізуюче опромінення може викликати навіть стан, який розглядається як модель шизофренії з поведінковими відхиленнями (розлади слуху, соціальні дефіцити, порушення пам'яті) на тлі пригнічення спонтанної локомоторної активності при значному підвищенні гіперактивуючої дії агоніста дофаміну – метамфетаміну [30].

Грумінг як один з маркерів комфортності і зоосоціальної лабільності у гризунів перш за все повинен зізнавати чітких змін, що нам і вдалося встановити. Як відомо, за руховий компонент грумінгової активності відповідає насамперед гіпокамп. Американськими дослідниками було з'ясовано, що одноразове опромінення головного мозку призводить до зниження проліферації та життєздатності гранулярних клітин гіпокампу, яке, у свою чергу, порушує пов'язані з ними функції рухової пам'яті [31].

Так само останнім часом вже не викликає сумніву, що при традиційних методах радіотерапії (наприклад, з приводу злоякісних пухлин головного мозку) існує ризик серйозних морфологічних та функціональних уражень, і навіть при впливі низьких доз іонізуючого опромінення ймовірні когнитивні розлади, механізми яких ще достеменно не з'ясовано [32]. Нові дослідження німецьких вчених демонструють цікаву закономірність: гостре та хронічне низькодозове іонізуюче опромінення культури людських дендроцитів не впливає ані на цитокіновий профіль, ані на експресію поверхневих маркерів та дозрівання цих клітин, тоді як при сумісному вирощуванні дендроцитів та Т-лімфоцитів при зростанні дози опромінення спостерігається значне зниження проліферації Т-клітин [33]. Тобто, незважаючи на відсутність значних цитогенетичних та морфологічних змін, автори

зазначають, що функціональні наслідки опромінення є очевидними, але їх механізм потребує поглибленого вивчення.

Важливо відмітити, що при хронічному опроміненні стан досліджуваних показників був дещо ближчим до початкового, що, можливо, говорить на користь активації компенсаторних механізмів, націлених на ліквідацію шкоди, заподіяної організмові радіаційним ураженням. При гострому опроміненні на таку активацію може не вистачати часу.

Введення ембріональних стовбурових клітин опроміненим тваринам відновлювало фізіологічну норму грумінгової та рухової активності майже стовідсотково. Виключення складали ті особини, загальний стан яких погіршувався. Розмірковуючи щодо механізмів впливу ЕСК на досліджувані показники, ми можемо припустити існування двох шляхів їх дії. Перший – це прямий шлях, коли ЕСК завдяки хоумінгу потрапляють у мозок і проліферують у клітини тих видів, які були пошкоджені при опроміненні, компенсуючи, таким чином, втрачену функцію. Доведення цього припущення потребує глибоких нейрофізіологічних та морфологічних досліджень. Другий – це опосередкований шлях, коли стовбурові клітини, проліферуючи в різноманітні імунні, ендокринні або інші клітини, поліпшують загальний стан здоров'я організму і відновлюють гомеостаз. Нормальне функціонування організму як єдиної біологічної системи повертає відчуття комфорту, що й відбивається на грумінговій та руховій активності. Можливо припустити, що обидва розглянуті механізми діють одночасно, доповнюючи один одного. На загальновідновлювальну дію ЕСК вказує той факт, що в деяких тварин поведінка та інші показники змінювались у бік погіршення. Можливо, індивідуальні особливості цих щурів сприяли підвищеній чутливості до пошкоджуючого фактора, у нашому випадку – опромінення, що призводило до незворотних змін гомеостазу, які стовбурові клітини виправити були не в змозі. Це припущення підтримується результатами нещодавніх порівняльних досліджень формування нейрорадіаційного синдрому у щурів за умов загальної дії різних видів іонізуючого опромінення (електронів високої енергії та гамма-променів) у дозі 100 Гр, які доводять, що вирішальний вплив на характер поведінкових порушень чинять саме типологічні особливості ВНД та функціональний стан ЦНС, а не вид радіації [34].

Висновки

1. Грумінгова активність щурів після гострого та хронічного опромінення значно знижувалась на тлі підвищення загальної рухової активності, що може бути пов'язане з послабленням імунітету і, як наслідок, погіршенням «комфортності» і зоосоціальної лабільності тварини.

2. Трансплантація ембріональних стовбурових клітин кордової крові приводила до відновлення фізіологічної норми досліджуваних показників грумінга і загальної рухової активності у щурів, що може бути зумовлено або прямою дією цих клітин на центральну нервову систему, або опосередкованою дією внаслідок впливу на імунну систему.

3. Таким чином, можна говорити про вплив, який чинять гостре та хронічне опромінення й подальше введення стовбурових клітин на єдину психонейроімуноендокринну систему тварин.

Список літератури

1. *Гуськова А. К.* Радиация и мозг человека / А. К. Гуськова // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2001. – Т. 46, № 5. – С. 47–55.

2. *Крыжановская Л. А.* Церебральный синдром, возникающий после аварии на Чернобыльской АЭС / Л. А. Крыжановская // Лікар. справа. – 1992. – № 1. – С. 45–46.

3. Особливості імунного стану / Лісяний М. І., Маркова О. В., Руденко В. А. та ін. // Післярадіаційна енцефалопатія: експериментальні дослідження та клінічні спостереження / За ред. А. П. Ромоданова. – К., 1993. – С. 189 –202.

4. Післярадіаційна енцефалопатія. Експериментальні дослідження та клінічні спостереження / За ред. А. П. Ромоданова. – К., 1993. – 223 с.

5. *Ревенок А. А.* Структурно-динамическая характеристика реактивных психозов у лиц, подвергшихся воздействию ионизирующего излучения в результате аварии на Чернобыльской АЭС / А. А. Ревенок // Врачеб. дело. – 1991. – № 8. – С. 83–86.

6. *Ромоданов А. П.* Ураження головного мозку при променевій хворобі легкого ступеня / А. П. Ромоданов, О. Р. Вінницький // Лікар. справа. – 1993. – № 1. – С. 10–16.

7. *Аміразян С. А.* Семіотика «чорнобильського синдрому» та роль соціально-психологічних чинників у його формуванні та розвитку / С. А. Аміразян, С. М. Филиппова, М. Ю. Тихомирова // Укр. радіол. журн. – 1997. – № 5. – С. 13–15.

8. *Коваленко А. М.* Влияние малых доз ионизирующего излучения на здоровье человека / А. М. Коваленко // Врачеб. дело. – 1990. – № 7. – С. 79–82.

9. *Нягу А. И.* Психоневрологические и психологические аспекты последствия аварии на Чернобыльской АЭС / А. И. Нягу // Вест. АМН СССР. – 1991. – №11. – С. 31 - 32.

10. *Нягу А. И.* Отдаленные последствия психогенного и радиационного факторов аварии на Чернобыльской АЭС на функциональное состояние головного мозга человека / А. И. Нягу, А. Г. Нощенко, К. Н. Логановский // Журн. невропатологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. – 1992. – № 4. – С. 72–77.

11. *Нягу А. И.* Вегетативная дистония / А. И. Нягу // Чернобыльская катастрофа / Под ред. В. Г. Бехтерева. – К.: Наук. думка, 1995. – С. 477–480.

12. *Нягу А. И.* Нейропсихические эффекты ионизирующих излучений / А. И. Нягу, К. Н. Логановский. – К.: Чорнобильінтерінформ, 1998. – 375 с.

13. *Зозуля Ю. П.* Сучасне уявлення про хронічний вплив малих доз радіонуклідів на центральну нервову систему / Ю. П. Зозуля // Хронічний вплив малих доз опромінення на нервову систему: експериментальні дослідження та клінічні спостереження. – К., 1998. – С. 398–415.

14. *Носов А. Т.* Морфологічні зміни головного мозку / А. Т. Носов, М. І. Шамаєв, І. Г. Рашеєва // Післярадіаційна енцефалопатія: експериментальні дослідження та клінічні спостереження / За ред. А. П. Ромоданова. – К., 1993. – С. 22–46.

15. *Носов А. Т.* Ультраструктурні та морфофункціональні зміни головного мозку при хронічному впливі малих доз радіації / А. Т. Носов, М. І. Шамаєв, Д. А. Сутковой // Хронічний вплив малих доз опромінення на нервову систему: експериментальні дослідження та клінічні спостереження / За ред. Ю. П. Зозулі. – К., 1998. – С. 225–278.

16. Морфоструктурні та аутоімунні порушення мозку при хронічному ендогенному впливі іонізуючої радіації / Ю. П. Зозуля, М. І. Лісяний, Л. Д. Любич, М. І. Шамаєв // Журн. АМН України. – 1997. – Т. 3, № 3. – С. 437–447.

17. *Степаненко І. В.* Особливості перебігу хронічної радіаційної енцефалопатії у ліквідаторів через 9-10 років після аварії на ЧАЕС / І. В. Степаненко // Хронічний вплив малих доз опромінення на нервову систему: експериментальні дослідження та клінічні спостереження / За ред. Ю. П. Зозулі. – К., 1998. – С. 323–341.

18. *Винницький О.Р.* Діагностика гострої і хронічної радіаційної енцефалопатії у ліквідаторів аварії на ЧАЕС / О. Р. Винницький // Хронічний вплив малих доз опромінення на нервову систему: експериментальні дослідження та клінічні спостереження / За ред. Ю. П. Зозулі. – К., 1998. – С. 341–366.

19. *Степаненко И. В.* Клиническая оценка дисциркуляторных, метаболических и аутоиммунных нарушений у больных с пострадиационной энцефалопатией / И. В. Степаненко // Бюл. Укр. Асоціації нейрохірургів. – 1998. – № 6. – С. 123.

20. Структурні зміни головного мозку експериментальних тварин, що зазнали тривалого внутрішнього радіаційного впливу / Ю. П. Зозуля, М. І. Шамаєв, А. Т. Носов та ін. // Бюл. Укр. асоціації нейрохірургів. – 1998. – № 6. – С. 130.

21. *Курило Л. Ф.* Биомедицинская этика / Л. Ф. Курило. – М.: Медицина, 1997. – С. 151–171.

22. *Baird D. T.* Report – Council of Europe's Third Symposium on Bioethics / D. T Baird. – Strasbourg, 1996.

23. *Савченкова И. П.* Эмбриональные стволовые клетки в биологии: настоящее и будущее / И. П. Савченкова. – Дубровицы, 1999. – С. 97.

24. *Morrison A.E. et al.* Evaluation and eligibility of HLA-identical sibling donors for stem cell/bone marrow donation // Transfus. Med. – 1998; 8(3). – P. 215 - 220.

25. *Andrews P. W.* From teratocarcinomas to embryonic stem cells / P. W. Andrews // Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci. – 2002. – V. 357. – P. 405–417.

26. *Reya T.* Stem cells, cancer, and cancer stem cells / T. Reya, S. J. Morrison, M. F. Clarke, I. L. Weissman // Nature. – 2001. – V. 414. – P. 105–111.

27. *Свидерская Г. Е.* Развитие груминга в онтогенезе крыс и мышей / Г. Е. Свидерская, Л. Е. Дмитриева // Журн. эвол. биохимии и физиологии. – 1993. – Т. 29, № 4. – С. 36–39.

28. Патент №16150, UA. МКВ: A61B5/00. Спосіб оцінки стану організму тварини. Кустов Д. Ю., Ракша-Слюсарева О. А., Слюсарев О. А., Друпп Ю. Г. Заява №u200602422 від 06.03.2006. Друк. 17.07.2006. Бюл. № 7.

29. *Kisková J.* Open field behavior and habituation in rats irradiated on the head with gamma-rays / J. Kisková, B. Smajda // Acta Physiol. Hung. – 2008. – 95 (3). – P. 307–312.

30. Irradiation in adulthood as a new model of schizophrenia / [Y. Iwata, K. Suzuki, T. Wakuda et al.] // PLoS One. – 2008. – 3 (5). – P. 2283.

31. *Achanta P.* Ionizing radiation impairs the formation of trace fear memories and reduces hippocampal neurogenesis / P. Achanta, M. Fuss, J. L. Jr. Martinez // Behav. Neurosci. – 2009. – 123 (5). – P. 1036–1045.

32. *Fike J. R.* Physiopathology of radiation-induced neurotoxicity / J. R. Fike // Rev. Neurol. (Paris). – 2011. – 1. [Epub ahead of print].

33. Influence of low dose irradiation on differentiation, maturation and T-cell activation of human dendritic cells / [J. Jahns, U. Anderegg, A. Saalbach et al.] // Mutat. Res. – 2011. – 709-710. – P. 32–39.

34. *Shtenberg A. S.* Peculiarities of modifying influence of the factors forming the functional status of the central nervous system on dynamics of the rat higher nervous activity disturbances totally exposed to electron and gamma-radiation at a dose of 100 Gy. / A. S. Shtenberg // Radiats. Biol. Radioecol. – 2011. – 51 (2). – P. 233–242.

Кустов Д. Ю., Кокина И. В., Тарапата Н. И. **Исследование влияния трансплантации эмбриональных стволовых клеток на поведение крыс после облучения.** – Статья посвящена исследованию груминга и общей двигательной активности у крыс после острого или хронического гамма-облучения с последующим введением эмбриональных стволовых клеток. Оба способа облучения приводили к существенному снижению груминговой активности, однако при этом повышалась общая двигательная активность животных. Трансплантационная коррекция состояния нейроиммуноэндокринной системы восстанавливала исходный уровень исследуемых показателей поведения у большинства экспериментальных особей.

Ключевые слова: трансплантация, эмбриональные стволовые клетки, груминг, облучение.

Kustov D. Yu., Kokina I. V., Tarapata M. I. **Study of embryonic stem cell transplantation influence on rat behaviour after irradiation exposure. –** The article is dedicated to the study of grooming and general motor activity in rats at acute or chronic gamma-irradiation exposure followed by embryonic stem cell injection. Both modes of ionizing irradiation exposure lead to the significant grooming decrease while the general motor activity was increased. Transplantation correction of the neuro-immune-endocrine system status restored the baseline level of the studied behavioural parameters in the majority of experimental animals.

Key words: transplantation, embryonic stem cells, grooming, irradiation.

УДК 591.473.3 : 577.12

© В. В. Труш

ВЛИЯНИЕ ХРОНИЧЕСКОГО ВВЕДЕНИЯ ИНОЗИНА НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ СКЕЛЕТНОЙ МЫШЦЫ БЕЛЫХ КРЫС

Донецкий национальный университет; 83050, г. Донецк, ул. Щорса, 46
e-mail: ver.trush@yandex.ua

Труш В. В. **Влияние хронического введения инозина на функциональное состояние скелетной мышцы белых крыс**. – В экспериментах на молодых белых крысах-самках показано, что хроническое введение нестероидного анаболика инозина на начальных этапах его применения (спустя 10-20 инъекций) обусловило улучшение силовых характеристик мышцы без изменения ее массы, а также укорочение латентного периода сокращения мышцы. Дальнейшее введение инозина (спустя 30-60 инъекций) сопровождалось появлением признаков увеличения удельной доли медленных или промежуточного типа волокон в мышце; кроме того, по окончании 60-дневного периода введения инозина отмечалось увеличение массы передней большеберцовой мышцы, свидетельствующее в пользу развития некоторой ее гипертрофии.

Ключевые слова: нестероидные анаболики, инозин, скелетная мышца, одиночное сокращение мышцы, латентный период возбуждения мышцы.

Введение

Известно, что некоторые вещества нестероидной природы, обладающие анаболическим действием на периферические ткани организма, способны оказать и определенное влияние на нервно-мышечную систему. В настоящее время в клинической и спортивной медицине широко применяются нестероидные анаболики различного типа действия: антигипоксанты, ноотропы, коферментные и витаминные препараты, мононуклеотиды и ряд других, оказывающих стимулирующее влияние на процессы регенерации и репарации в периферических тканях [6, 10, 11]. В связи с тем, что общий регенераторный механизм в тканях включает усиление биосинтеза пуриновых и пиримидиновых оснований, РНК, функциональных и ферментативных клеточных элементов, в том числе фосфолипидов мембран, а также стимуляцию редупликации ДНК и деления клеток [4], в качестве потенциально эффективных нестероидных препаратов, оказывающих анаболический эффект, рассматриваются нестероидные вещества субстратного типа действия, принимающие участие в синтезе пиримидиновых (калия оротат) или пуриновых (инозин) нуклеотидов. Одним из хорошо изученных нестероидных анаболиков в плане влияния на миокард сердца является нуклеозид рибозы – инозин (рибоксин), который синтезируется в клетках животного организма в результате естественных метаболических реакций, принимает участие в образовании пуринового нуклеотида аденозина, благодаря малым размерам, по сравнению с АТФ, способен проникать внутрь клеток и выступает в качестве универсального анаболического стимулятора, усиливающего процессы регенерации и репарации в любых периферических тканях [2, 7].

В многочисленных экспериментах на животных и клинических исследованиях на людях установлено его иммуностимулирующее, радиопротекторное, антиоксидантное и анаболическое действие [1, 2, 7]. Учитывая же универсальность анаболического действия инозина на периферические ткани [2, 7], а также тот факт, что после введения в организм инозин преимущественно накапливается в миокарде, почках, печени и скелетных мышечных волокнах [6], можно предположить, что он должен определенным образом влиять не только на миокард, но и на функциональное состояние скелетных мышц при хроническом его введении, тем более в связи с тем, что экспериментально подтверждено [6, 7, 9] его анаболическое и инотропное действие на миокард сердца, являющийся, подобно скелетным мышцам, разновидностью исчерченной мышечной ткани. В литературе имеются сообщения [5], согласно которым инозин обладает способностью стимулировать потребление глюкозы и синтез гликогена в мышцах, увеличивать концентрацию АТФ в мышечных волокнах, тем самым улучшая условия снабжения им миофибрилл. Вместе с тем литературные данные относительно характера влияния инозина на скелетную мышечную ткань при длительном его введении в организм весьма ограничены.

В связи с отмеченным целью настоящей работы явилось изучение некоторых параметров, отражающих функциональное состояние передней большеберцовой мышцы в динамике хронического введения инозина в терапевтической дозе.

Материалы и методы исследования

Эксперименты проводились на 70 половозрелых молодых (2-4 месячных) крысах-самках с исходной массой 240,3±3,46 г, первоначально разделенных на 2 группы: контрольную (n=10) и опытную (n=60), животные которой подвергались хроническому ежедневному введению инозина в терапевтической дозе (6 мг/кг, внутрибрюшинно) на протяжении от 10 до 60 дней.

По окончании срока введения инозина на животных проводили острый опыт, в котором с помощью электромиографии и эргографии исследовали некоторые параметры функционального состояния передней большеберцовой мышцы крыс при вызванном ее сокращении. Сокращение мышцы индуцировали путем раздражения сверхпороговым электрическим током (напряжение 200 мВ) малоберцового нерва. Частота электрической стимуляции нерва варьировала в диапазоне от 8 до 100 Гц, а внешняя нагрузка составляла 20 г. При каждой частоте электрического раздражения нерва мышца работала в течение 7 секунд, после чего следовали 1-минутный отдых и дальнейшая работа мышцы при следующей частоте раздражения нерва. Степень укорочения мышцы измерялась с помощью потенциометрического датчика ПТП-1, включенного в мост постоянного тока МОД-61. Напряжение разбаланса моста через аналогово-цифровой преобразователь подавалось на вход компьютера и регистрировалось с помощью специально разработанной программы.

Перед работой мышцы и по окончании ее работы проводилась регистрация электромиограммы, на основании которой оценивали продолжительность латентного периода вызванного возбуждения мышцы. Электрический ответ мышцы вызывали путем электрического раздражения малоберцового нерва пороговыми импульсами длительностью в 0,15 мс с частотой 4 Гц. Для усиления биопотенциалов мышцы применялся дифференциальный электрометрический усилитель с режекторным гираторным фильтром (50 Гц), соединенный с цифровым интерфейсом и компьютером.

Экспериментальные данные обрабатывались с использованием непараметрического критерия Манна-Уитни. На всех этапах эксперимента придерживались требований «Общих этических принципов экспериментов на животных».

Результаты и обсуждение

Анализ характера влияния нестероидного анаболика субстратного типа действия инозина на переднюю большеберцовую мышцу (мышцу смешанного типа с преобладанием быстрых волокон) показал следующее.

Инозин не повлиял на скорость и надежность нервно-мышечной передачи: латентный период вызванного возбуждения мышцы до ее работы (исходный) и после длительной работы в диапазоне различных частот (от 8 до 100 Гц) не претерпевал значимых изменений относительно соответствующих контрольных значений (табл. 1).

Вместе с тем хроническое введение инозина неоднозначно сказывалось на силовых характеристиках мышцы в динамике его введения в организм. Так, спустя 10-20 инъекций нестероидного анаболика максимально достижимая амплитуда сокращения мышцы увеличивалась относительно контроля ($p<0,05$), тогда как масса мышцы не претерпевала значимых изменений (табл. 2). Повышение амплитуды сокращения мышцы на фоне неизменной ее массы спустя 10-20 инъекций инозина обусловило увеличение и удельной амплитуды мышечного сокращения ($p<0,05$ относительно контроля) и свидетельствовало в пользу первоначального улучшения силовых характеристик мышцы.

Таблица 1

Средние значения ($\overline{X} \pm m$) латентного периода вызванного возбуждения передней большеберцовой мышцы интактных крыс и животных, получивших от 10 до 60 инъекций инозина

Группа животных	Латентный период возбуждения мышцы, мс	
	исходный	после работы мышцы
Контроль	2,3±0,10	2,3±0,11
10 инъекций рибоксина	2,3±0,08	2,4±0,11
20 инъекций инозина	2,0±0,10	2,1±0,10
30 инъекций инозина	2,1±0,11	2,2±0,12
40 инъекций инозина	2,0±0,11	2,3±0,12
50 инъекций инозина	2,2±0,14	2,4±0,17
60 инъекций инозина	2,1±0,09	2,2±0,10

Таблица 2

Средние значения ($\overline{X} \pm m$) максимально достижимой амплитуды сокращения и массы передней большеберцовой мышцы интактных крыс и животных, получивших от 10 до 60 инъекций инозина

Группа животных	Масса мышцы, мг	Максимально достижимая амплитуда сокращения, мм	Максимально достижимая удельная амплитуда сокращения, мм/ 1 г массы мышцы
Контроль	430,5±13,25	3,2±0,28	7,4±0,43
10 инъекций инозина	426,6±10,43	$4,5\pm0,38^{*}$	$10,5\pm0,83^{*}$
20 инъекций инозина	429,8±10,01	$5,6\pm0,49^{*}$	$13,1\pm1,07^{*}$
30 инъекций инозина	425,3±13,52	$2,9\pm0,20^{\circ\bullet}$	$6,9\pm0,43^{\circ\bullet}$
40 инъекций инозина	433,5±14,00	$2,1\pm0,18^{*\circ\bullet x}$	$4,8\pm0,47^{*\circ\bullet x}$
50 инъекций инозина	468,5±11,46	$1,5\pm0,09^{*\circ\bullet x+}$	$3,3\pm0,20^{*\circ\bullet x+}$
60 инъекций инозина	$494,8\pm14,43^{*\circ\bullet x+}$	$3,7\pm0,24^{\bullet x+\rho}$	$7,6\pm0,42^{\circ\bullet+\rho}$

Примечания:

* – различия статистически значимы ($p<0,05$) относительно соответствующих значений контрольной группы;

$^{\circ}$ – различия статистически значимы ($p<0,05$) относительно соответствующих значений животных, получивших 10 инъекций инозина;

$^{\bullet}$ – различия статистически значимы ($p<0,05$) относительно соответствующих значений животных, получивших 20 инъекций инозина;

^{x} – различия статистически значимы ($p<0,05$) относительно соответствующих значений животных, получивших 30 инъекций инозина;

$^{+}$ – различия статистически значимы ($p<0,05$) относительно соответствующих значений животных, получивших 40 инъекций инозина;

$^{\rho}$ – различия статистически значимы ($p<0,05$) относительно соответствующих значений животных, получивших 50 инъекций инозина.

Спустя 30 инъекций инозина масса мышцы, подобно животным, получившим 10-20 инъекций нестероидного анаболика, не претерпевала значимых изменений, а максимально достижимая амплитуда сокращения возвращалась к контрольному уровню (см. табл. 2), что указывало в пользу нормализации первоначально повышенных силовых характеристик мышцы.

Вместе с тем спустя 40-50 инъекций инозина наблюдалось даже снижение максимально

достижимой амплитуды сокращения мышцы ($p<0,05$ относительно контроля) на фоне неизменной ее массы, что обусловило снижение и удельной амплитуды мышечного сокращения ($p<0,05$ относительно контроля, см. табл. 2).

Спустя 60 инъекций инозина масса мышцы увеличивалась относительно контроля ($p<0,05$, см. табл. 2), что свидетельствует в пользу некоторой ее гипертрофии, развивающейся под действием нестероидного анаболика к этому экспериментальному сроку. Между тем максимально достижимая амплитуда сокращения мышцы после 60 инъекций инозина не изменялась относительно контроля, несмотря на увеличение ее массы (см. табл. 2).

Таким образом, хроническое введение инозина сопровождалось неоднозначным изменением силовых характеристик передней большеберцовой мышцы: на начальных этапах введения нестероидного анаболика (после 10-20 инъекций) максимально достижимая амплитуда сокращения мышцы увеличивалась на фоне отсутствия изменения ее массы, затем (спустя 30 инъекций) она нормализовывалась, тогда как по мере дальнейшего введения препарата (спустя 40-50 его инъекций) снижалась, а к окончанию 2-х месячного периода введения инозина возвращалась к уровню контроля, несмотря на увеличение массы мышцы. Неоднозначный характер изменения силовых характеристик исследуемой мышцы в динамике введения нестероидного анаболика, а также отсутствие улучшения силовых характеристик мышцы на фоне увеличения ее массы, имевшего место по окончании 60-дневого периода введения инозина, могут быть вызваны определенными сдвигами метаболического профиля мышцы, для косвенной оценки которого необходимо проанализировать характер изменения некоторых скоростных параметров исследуемой мышцы.

Анализ временных параметров одиночного сокращения передней большеберцовой мышцы крыс, получивших от 10 до 60 инъекций инозина, показал следующее. Продолжительность одиночного сокращения мышцы и его фаз претерпевала определенные изменения относительно контроля только после 30 инъекций нестероидного анаболика, тогда как у животных, получивших 10-20 инъекций инозина, общая продолжительность одиночного сокращения, длительность фаз укорочения, плато и расслабления значимо не отличались от соответствующих контрольных значений (табл. 3).

Таблица 3

Средние значения ($\overline{X} \pm m$) продолжительности периодов одиночного сокращения передней большеберцовой мышцы интактных крыс и животных, получивших от 10 до 60 инъекций инозина

Группа животных	Продолжительность периодов, мс				
	латентный период сокращения	фаза укорочения	фаза плато	фаза расслабления	продолжительность одиночного сокращения
Контроль	12,8±0,51	32,2±1,82	13,3±0,92	32,1±1,28	89,5±4,05
10 инъекций инозина	10,5±0,45*	28,9±1,33	12,3±0,72	33,4±1,22	85,4±3,86
20 инъекций инозина	9,1±0,29$^{*\circ}$	32,1±0,83	11,0±0,74	34,9±1,41	87,0±3,60
30 инъекций инозина	11,8±0,31$^{\circ\bullet}$	37,5±0,94$^{*\circ\bullet}$	15,8±0,95$^{\circ\bullet}$	38,4±1,38*	102,4±3,42$^{*\circ\bullet}$
40 инъекций инозина	14,3±0,56$^{\circ\bullet x}$	38,9±1,37$^{*\circ\bullet}$	15,6±0,98$^{\circ\bullet}$	38,3±1,37$^{*\circ}$	107,2±2,37$^{*\circ\bullet}$
50 инъекций инозина	14,4±0,49$^{\circ\bullet x}$	38,2±1,46$^{*\circ\bullet}$	16,1±1,02$^{\circ\bullet}$	39,8±1,96$^{*\circ}$	108,5±2,50$^{*\circ\bullet}$
60 инъекций инозина	13,9±0,32$^{\circ\bullet x}$	37,8±1,54$^{*\circ\bullet}$	15,1±1,03$^{\circ\bullet}$	40,7±1,77$^{*\circ\bullet}$	107,6±2,15$^{*\circ\bullet}$

Примечания те же, что и к табл. 2.

Аналогично продолжительности сокращения мышцы частота ее тетанизации также претерпевала значимые изменения относительно контроля только после 30 инъекций нестероидного анаболика, тогда как мышца животных, получивших 10-20 инъекций инозина, переходила к гладкому тетанусу в том же диапазоне частот электростимуляции

малоберцового нерва (26-29 Гц), что и мышца контрольных животных (26-28 Гц). Вместе с тем латентный период сокращения мышцы уже после 10 инъекций нестероидного анаболика укорачивался относительно контроля ($p<0,05$) и оставался укороченным и после 20-ти его инъекций (см. табл. 3), что свидетельствует в пользу улучшения степени синхронизации электромеханического сопряжения в мышечных волокнах, очевидно, обусловленного улучшением энергетического метаболизма в них под действием инозина.

Отсутствие изменений длительности одиночного сокращения и частоты тетанизации мышцы крыс, получивших 10-20 инъекций нестероидного анаболика, косвенно свидетельствует в пользу отсутствия каких-либо сдвигов гистохимического профиля мышцы. Между тем, как было отмечено ранее, у животных, получивших 10-20 инъекций инозина, силовые характеристики исследуемой мышцы улучшались, тогда как ее масса не изменялась (см. табл. 2). Повышение амплитуды сокращения передней большеберцовой мышцы на фоне отсутствия изменений ее скоростных параметров и массы свидетельствует в пользу того, что улучшение силовых характеристик мышцы не могло быть вызвано увеличением удельной доли быстрых мышечных волокон в ней или ее гипертрофией и, вероятнее всего, связано с улучшением условий энергетического обмена или какими-то функциональными сдвигами в мышечных волокнах под действием инозина. И, действительно, в литературе существуют сообщения [2, 7], согласно которым инозин, являясь нестероидным анаболиком субстратного типа действия, стимулирует анаэробный гликолиз в мышечных волокнах, что, в первую очередь, должно улучшить силовые характеристики и работоспособность мышечных волокон гликолитического типа (быстрых), развивающих при сокращении большую силу по сравнению с медленными. Учитывая тот факт, что в передней большеберцовой мышце крыс преобладают быстрые волокна (составляют 88% и более от общего количества волокон) [8], можно предположить, что улучшение энергообмена в них должно существенно сказаться на силовых характеристиках мышцы. Кроме того, инозин является предшественником пуриновых нуклеотидов, в том числе АТФ, и, выступая в качестве донора рибозы, активирует синтез $НАДН^+$ в митохондриях [2, 7, 12], в связи с чем его введение должно способствовать улучшению условий синтеза и ресинтеза АТФ в мышечной ткани, а следовательно, и некоторых параметров работоспособности мышечных волокон. В литературе существуют сообщения [3], согласно которым инозин способен повышать активность АТФазы миозина, что также должно положительно сказываться на силовых характеристиках мышечной ткани. Наконец, некоторые авторы [2] указывают в пользу повышения под влиянием инозина содержания цАМФ в мышечных волокнах в связи со способностью его метаболита – инозинмонофосфата – ингибировать фосфодиэстеразу, расщепляющую цАМФ. Повышение же содержания цАМФ в цитоплазме мышечного волокна приводит, с одной стороны, к цАМФзависимой активации ряда ферментов энергетического обмена, а также миозиновой АТФазы, вызванной их фосфорилированием, а с другой – обуславливает увеличение выхода кальция из внутриклеточных депо, что должно приводить как к улучшению электромеханического сопряжения в мышечных волокнах, так и к повышению их силовых характеристик.

Вместе с тем, как было отмечено ранее, после 30 инъекций инозина, несмотря на его стимулирующее влияние на энергетический обмен в мышечной ткани, силовые характеристики передней большеберцовой мышцы после первоначального улучшения возвращаются к уровню контроля, а после 40-50 инъекций даже несколько ухудшаются (см. табл. 2). К окончанию 2-х месячного периода введения инозина максимально достижимая амплитуда сокращения мышцы нормализуется, тогда как масса мышцы увеличивается. Нормализация силовых характеристик мышцы после первоначального их улучшения по окончании 30-дневного периода введения инозина и даже некоторое их снижение, имевшее место после 40-50 инъекций нестероидного анаболика, а также отсутствие прироста амплитуды сокращения мышцы на фоне увеличения ее массы у животных, получивших 60 инъекций инозина, могут быть вызваны определенными сдвигами метаболического профиля мышцы. В пользу этих сдвигов свидетельствуют наблюдаемые нами изменения некоторых

скоростных параметров исследуемой мышцы. Так, уже после 30 инъекций инозина отмечались некоторые косвенные признаки увеличения удельной доли медленных или промежуточного типа волокон в ней, возникающего за счет перепрограммирования синтеза миозина в быстрых волокнах. В частности общая продолжительность одиночного сокращения мышцы, а также длительность фаз укорочения и расслабления оказались увеличенными относительно контроля ($p<0,05$), а латентный период сокращения мышцы не отличался от такового в контроле, тогда как после 10-20 инъекций инозина он укорачивался (см. табл. 3). Отмеченные сдвиги продолжительности одиночного сокращения и его фаз сохранялись и у животных, получивших 40-60 инъекций инозина. Кроме того, после 40 инъекций нестероидного анаболика к отмеченным косвенным признакам сдвига гистохимического профиля исследуемой мышцы в сторону увеличения удельной доли волокон медленного или промежуточного типа прибавляется и изменение частоты тетанизации мышцы. Так, уже после 30 инъекций инозина у части животных (2-х из 10) мышца переходила к гладкому тетанусу при частоте электрической стимуляции малоберцового нерва в 23 Гц, тогда как у остальных 8-ми животных – в том же диапазоне частот (26-28 Гц), что и мышца контрольных крыс. У животных, получивших 40-60 инъекций инозина, наблюдался сдвиг частоты тетанизации мышцы в сторону меньших значений по сравнению с контролем. Так, у крыс, получивших 40 инъекций инозина, передняя большеберцовая мышца переходила к полной суммации сокращений при частоте электрической стимуляции 15-24 Гц, у животных, получивших 50 инъекций инозина, – при частоте 15-20 Гц, а у большинства животных, получивших 60 инъекций нестероидного анаболика (8 из 10 особей), – при частоте 18-24 Гц и только у 2-х из 10 крыс – при частоте электрической стимуляции – 26 Гц.

Наблюдаемое нами после 30-60 инъекций инозина удлинение продолжительности одиночного сокращения передней большеберцовой мышцы и его фаз, а также уменьшение частоты тетанизации мышцы (имевшее место спустя 40-60 инъекций нестероидного анаболика), снижение ее силовых характеристик (спустя 30-50 инъекций инозина) после первоначального (после 10-20 инъекций инозина) их повышения косвенно свидетельствуют в пользу увеличения удельной доли мышечных волокон медленного или промежуточного типа в мышце, возникающего по причине перепрограммирования синтеза миозина в быстрых.

Между тем улучшение условий энергетического обмена в мышечных волокнах под влиянием инозина и последующий сдвиг гистохимического профиля мышцы по мере дальнейшего введения инозина в организм (спустя 30-60 инъекций) в сторону увеличения удельной доли медленных или промежуточного типа волокон должны отражаться не только на силовых и скоростных ее характеристиках, но и на параметрах работоспособности. Как показали результаты наших исследований, введение 10-20 инъекций инозина привело к увеличению амплитуды мышечного сокращения, но при этом период максимальной устойчивой работоспособности мышцы не претерпевал значимых изменений относительно контроля (табл. 4). Увеличение амплитуды мышечного сокращения на фоне сохраненной способности мышцы удерживать амплитуду сокращения на максимальном уровне на протяжении того же периода, что и мышца контрольных крыс, развивающих при сокращении меньшую силу, свидетельствует в пользу повышенной работоспособности мышцы крыс, получивших 10-20 инъекций инозина.

Спустя 30-60 инъекций нестероидного анаболика продолжительность максимальной устойчивой работоспособности мышцы удлинялась относительно контрольного уровня ($p<0,05$), что указывает в пользу повышения устойчивости мышцы к развитию утомления и может быть обусловлено как улучшением условий энергетического обеспечения мышечных волокон, так и возможным повышением удельной доли медленных или промежуточного типа волокон в ней, которые при сокращении развивают меньшую силу по сравнению с гликолитическими, но при этом проявляют гораздо более высокую устойчивость к развитию утомления.

Таблица 4

Средние значения ($\overline{X} \pm m$) продолжительности достижения передней большеберцовой мышцей максимальной амплитуды сокращения и ее удержания на максимальном уровне у интактных крыс и животных, получивших от 10 до 60 инъекций инозина

Группа животных	Продолжительность периодов, с	
	достижения максимальной амплитуды сокращения	удержания максимальной амплитуды сокращения
Контроль	1,2±0,18	5,1±0,38
10 инъекций инозина	0,9±0,12	4,8±0,28
20 инъекций инозина	1,1±0,17	4,6±0,27
30 инъекций инозина	0,4±0,08*°•	6,7±0,15*°•
40 инъекций инозина	0,3±0,07*°•	6,9±0,21*°•
50 инъекций инозина	0,1±0,06*°•	6,9±0,26*°•
60 инъекций инозина	0,1±0,08*°•	6,9±0,23*°•

Примечания те же, что и к табл. 2.

Наконец еще одним свидетельством в пользу возможного увеличения удельной доли медленных или промежуточного типа волокон в мышце под влиянием длительно вводимого инозина служит значимое укорочение продолжительности врабатывания мышцы, имевшее место спустя 30 инъекций нестероидного анаболика ($p<0,05$ относительно контрольного уровня) и сохранявшееся вплоть до окончания 2-х месячного периода его введения в животный организм (см. табл. 4).

Таким образом, хроническое введение нестероидного анаболика инозина обуславливало на начальных этапах его применения (спустя 10-20 инъекций) улучшение силовых характеристик мышцы без изменения ее массы, а также укорочение латентного периода сокращения мышцы, отражающее улучшение условий электромеханического сопряжения в ее волокнах, что может быть обусловлено улучшением условий энергетического обмена или функциональных параметров сократительного аппарата в мышечной ткани. Дальнейшее введение рибокина (спустя 30-60 инъекций) сопровождалось появлением признаков увеличения удельной доли медленных или промежуточного типа волокон в мышце, обусловивших некоторое снижение максимально достижимой амплитуды ее сокращения, но при этом удлинение периода максимальной устойчивой работоспособности мышцы. Кроме того, по окончании 60-дневного периода введения инозина отмечалось увеличение массы передней большеберцовой мышцы, свидетельствующее в пользу развития некоторой ее гипертрофии, обусловленной способностью инозина стимулировать анаболизм в мышечной ткани как косвенно (путем улучшения энергообмена), так и непосредственно, усиливая биоситнез тРНК.

Выводы

1. Силовые характеристики передней большеберцовой мышцы претерпевали неоднозначные изменения в динамике хронического введения инозина: на начальных этапах введения нестероидного анаболика (после 10-20-ти инъекций) максимально достижимая амплитуда сокращения мышцы увеличивалась на фоне отсутствия изменения ее массы, затем (спустя 30 инъекций) она нормализовывалась, тогда как по мере дальнейшего введения препарата (спустя 40-50 его инъекций) снижалась, а к окончанию 2-х месячного периода введения инозина возвращалась к уровню контроля на фоне увеличения массы мышцы.

2. Латентный период сокращения мышцы после 10-20-ти инъекций нестероидного анаболика укорачивался относительно контроля, что на фоне отсутствия изменений других скоростных параметров свидетельствует в пользу улучшения степени синхронизации электромеханического сопряжения в мышечных волокнах.

3. Спустя 30-40 инъекций инозина наблюдались некоторые признаки, косвенно свидетельствующие в пользу увеличения удельной доли медленных или промежуточного типа волокон в мышце и сохранявшиеся на протяжении всего дальнейшего периода введения нестероидного анаболика – удлинение продолжительности одиночного сокращения мышцы и его фаз, а также укорочение продолжительности врабатывания мышцы (спустя 30 инъекций), уменьшение частоты ее тетанизации (спустя 40 инъекций), снижение силовых характеристик (спустя 30-50 инъекций инозина) после первоначального (после 10-20 инъекций инозина) их повышения.

4. Спустя 10-20 инъекций инозина наблюдалось увеличение амплитуды мышечного сокращения на фоне неизменной относительно контроля продолжительности максимальной устойчивой работоспособности мышцы, свидетельствующее в пользу повышенной ее работоспособности. Спустя 30-60 инъекций нестероидного анаболика продолжительность максимальной устойчивой работоспособности мышцы удлинялась относительно контрольного уровня, что указывает в пользу повышения устойчивости мышцы к развитию утомления и может быть обусловлено как улучшением условий энергетического обеспечения мышечных волокон, так и возможным повышением удельной доли медленных или промежуточного типа волокон в ней.

Список литературы

1. *Вартанян Л. П. и др.* Радиобиологические основы и перспективы применения рибоксина при лучевой терапии новообразований / Л. П. Вартанян, Л. И. Корытова, С. Ф. Вершинина // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2003. – Т. 48, № 5. – С. 62–66.

2. *Григорьева М. Б.* Влияние инозина на обмен веществ / М. Б. Григорьева // Химико-фармацевтический журнал. – 1982. – Т. 16, № 4. – С. 14–22.

3. *Григорьева М. Б.* Влияние рибоксина на АТФазную активность и содержание адениловых нуклеотидов в сердечной мышце при экспериментальном инфаркте миокарде / М. Б. Григорьева // Фармакология и токсикология. – 1983. – № 4. – С. 41–43.

4. *Губський Ю. І.* Біологічна хімія / Ю. І. Губський. – К. – Тернопіль: Укрмедкнига, 2000. – 508 с.

5. *Соколов И. К.* Адаптогенный эффект рибоксина / И. К. Соколов, Е. Я. Каплан, Г. М. Айрапетян и др. // Химико-фармацевтический журнал. – 1980. – № 1. – С. 40–45.

6. *Французова С. Б.* Фармакодинамика рибоксина (инозина) / С. Б. Французова, В. Я. Кривелевич, В. П. Пархонюк // Фармакология и токсикология, 1989. – № 1. – С. 115–118.

7. *Хижняк А. А.* Застосування рибоксину в умовах критичних станів (літературний огляд з результатами власних спостережень) / А. А. Хижняк, В. В. Ніконов, С. В. Курсов та ін. // Медицина неотложных состояний. – 2010. – Т. 29, № 4. – С. 28–34.

8. *Яковлев Н. Н.* Обзор: функциональная и метаболическая дифференциация волокон скелетных мышц / Н. Н. Яковлев, Т. Н. Макарова // Физиол. журн. СССР им. И. М. Сеченова. – 1980. – № 8. – С. 1129–1144.

9. *Jones C.* Positive inotropic respose to inosine in the situ canine heart / C. Jones, J. Thomas, M. Devoux et al. // Am. J. Physiol. – 1997. – Vol. 233. – P. 1438–1443.

10. *Mabley J. G.* Inosine reduces inflammation and improves survival in a murine model of colitis / J. G. Mabley, P. Packer, L. Liaudet et al. // Am. J. Physiol.: Gastrointestinal & Liver Physiol. – 2003. – Vol. 284, № 1. – P. 138–144.

11. *Schneider L.* Inosine reduces microcirculatory disturbance and inflammatory organ damage in experimental acute pancreatitis / L. Schneider, M. Pietschmann, N. Hartwig et al. // Am. J. of Surgery. – 2006. – Vol. 191, Iss. 4. – P. 510–514.

12. *Szabo C.* Effects of inosine on reperfusuon injury after heart transplantation / C. Szabo, N. Stumpf, T. Radovits et al. // European J. of Cardio-Thoracic Surgery. – 2006. – Vol. 30. – P. 96–102.

Труш В. В. **Вплив хронічного введення інозину на функціональний стан скелетного м'яза білих щурів. –** В експериментах на молодих білих щурах-самках встановлено, що хронічне введення нестероїдного анаболіка інозину на початкових етапах його застосування (після 10-20 ін'єкцій) зумовило поліпшення силових характеристик м'яза без зміни його маси, а також укорочення латентного періоду скорочення м'яза. Подальше введення інозину (після 30-60 ін'єкцій) супроводжувалося появою ознак збільшення питомої частки повільних або проміжного типу волокон у м'язі; крім того, по закінченню 60-ти денного періоду введення інозину відзначалося збільшення маси переднього великогомілкового м'яза, яке свідчить на користь розвитку деякої його гіпертрофії.

Ключові слова: нестероїдні анаболіки, інозин, скелетний м'яз, одиночне скорочення м'яза, латентний період збудження м'яза.

Trush V. V. **Iinfluence of chronic introduction of inosine on a functional condition of a skeletal muscle of white rats**. – In experiments on young white rats-females it has been shown, that chronic introduction of nonsteroid anabolic inosine has been caused at the initial stages of its application (later 10-20 injections) the improvement of power characteristics of a muscle without changing of its weight, as well as shortening of the latent period of muscle’s contraction. The further introduction of inosine (later 30-60 injections) has been accompanied by occurrence of signs of an increase of a specific fraction of slow or intermediate type of fibres in a muscle; besides upon termination of the 60-day's period of introduction of inosine was been observed the increase of weight of forward tibial muscle, testifying about its some hypertrophy.

Key words: nonsteroid anabolics, inosine, skeletal muscle, solitary muscle's contraction, the latent period of muscle's excitement.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРІВ

1. Для публікації в науково-практичному журналі «Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону» приймаються не опубліковані раніше наукові роботи з усіх розділів біології (ботаніка, зоологія, фізіологія рослин, фізіологія людини й тварин, біофізика та ін.).

До друку приймаються наукові статті українською, російською та англійською мовами, які мають необхідні елементи: постановка проблеми в загальному виді та її зв'язок із важливими науковими й практичними завданнями; аналіз останніх досягнень і публікацій, у яких розглянута дана проблема та на які посилається автор, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, на рішення яких спрямована дана стаття; формулювання мети й постановка завдань; виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки із цього дослідження та перспективи подальших досліджень у даному напряму.

2. Стаття набирається в редакторі MS Word 97, 2000, 2003 як документ Word (*.doc) або текст у форматі RTF (*.rtf). Шрифт – Times New Roman Cyr, розмір – 12 пунктів, міжрядковий інтервал – одинарний; поля з усіх боків – 2 см; абзацний відступ – 1 см; вирівнювання – за шириною, без переносів; колонтитули – 1,2 см, стиль «Звичайний». Сторінки рукопису не нумеруються.

Обсяг статті (включаючи ілюстративний матеріал, таблиці, список літератури, резюме) – 5-8 сторінок (для оглядових статей – до 16 сторінок).

3. Текст статті повинен відповідати структурній схемі:

УДК (у верхньому лівому куті сторінки)

Ініціали й прізвище автора (-ів)

Назва статті – **ВЕЛИКИМИ ЛІТЕРАМИ**

Повна офіційна назва установи та її поштова адреса з індексом
(для кожного з авторів, якщо вони представляють різні установи)
та адреса електронної пошти

4. Резюме (не більше 50 слів) і ключові слова подаються українською, російською та англійською мовами за таким зразком (розмір шрифту – 10 пунктів):

Прізвище й ініціали автора (-ів). **Назва статті**. – Текст, що повинен містити короткий виклад предмета досліджень, результатів і висновків.

Ключові слова: не більше 5-8 слів.

5. У тексті статті виділяють розділи: **Вступ, Матеріал і методи дослідження, Результати та обговорення, Висновки, Список літератури.**

Подяки подаються наприкінці статті перед списком літератури.

6. **Список літератури** наводиться згідно з новими правилами оформлення бібліографічного списку за вимогами ВАК України (ДСТУ ГОСТ 7.1:2006).

Прізвища й ініціали авторів виділити *курсивом*.

Посилання на літературні джерела подаються цифрами у квадратних дужках!

Прізвища авторів у списку літератури розміщаються за абеткою або в порядку цитування. Назви робіт наводяться мовою оригіналу.

Ретельно перевірте відповідність літературних джерел у тексті й у списку, правильність назв періодичних джерел. При цитуванні матеріалів і тез конференцій, з'їздів, симпозіумів і ін. обов'язково вказувати місце й дату їхнього проведення. При цитуванні видання колективу авторів вказувати ініціали й прізвище відповідального редактора.

7. Латинські назви *родів* і *видів* необхідно виділити *курсивом*. Перше згадування будь-якої назви організму повинне супроводжуватися повною науковою (латинською) назвою із вказівкою автора (прізвище повністю) і року опублікування (наприклад, *Passer domesticus* (Linnaeus, 1758)), при наступному згадуванні прізвище автора й рік не наводяться, а назву роду можна подавати скорочено (*P. domesticus*).

8. У тексті, таблицях і списку літератури (там, де потрібно) слід вживати коротке тире (–), а не дефіс (-). Будь-який розділовий знак набирається разом із попереднім словом і відділяється від наступного одним пробілом. Текст статті повинен бути ретельно перевірений, без орфографічних і стилістичних помилок.

9. Таблиці слід набирати в редакторі MS Word 97, 2000, 2003, розміщати в «книжковому», а не в «альбомному» форматі, з максимальною насиченістю інформацією в рядках. У назвах граф скорочення слів є небажаним. Варто уникати занадто громіздких таблиць. Заголовок таблиці оформляється за таким зразком:

Таблиця 1

Назва таблиці

10. Рисунки, схеми, графіки, діаграми, фотографії в електронній формі повинні бути вставлені в текст, відразу після посилання на них (або на наступній сторінці). Підписи під рисунками – у текстовому редакторі MS Word (Рис. 1. Назва). Шрифт усіх елементів тексту на графіках і діаграмах – Times New Roman Cyr. Фотографії повинні бути якісними й контрастними. Обсяг ілюстративного матеріалу й таблиць не повинен перевищувати 30 % обсягу статті.

11. Математичні формули й рівняння наводити з використанням редактора MS Equation 3.0.

12. Скорочення слів, окрім загальноприйнятих, не допускаються або обов'язково дається їхня розшифровка.

13. До статті на окремих аркушах додаються: заявка із вказівкою для кожного автора прізвища, імені та по батькові (повністю), ученого звання й наукового ступеня, повної назви й адреси організації, де виконано роботу, адреси електронної пошти (обов'язково!) і контактного телефону.

14. Якщо стаття подається англійською мовою, то додається її український або російський варіант.

15. Відповідальність за зміст статей і якість рисунків несуть автори.

Статті рецензуються й приймаються до друку редакційною колегією.

Редакційна колегія залишає за собою право редагувати текст за узгодженням з авторами.

Усі матеріали направляйте електронною поштою за адресою: **eco99@i.ua** або **shtirts@i.ua**

Адреса редакції:
Біологічний факультет ДонНУ,
вул. Щорса, 46, к. 310, м. Донецьк, 83050
Відп. секретар: к.б.н. Штірц Артур Давидович

Тел.: (062) 304-61-86; (050) 240-78-02

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

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

В печать принимаются научные статьи на украинском, 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 97, 2000, 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) – 5-8 страниц (для обзорных статей – до 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 украинском, 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 по требованиям ВАК Украины (ДСТУ ГОСТ 7.1:2006).

Фамилии и инициалы авторов выделить *курсивом*.

Ссылки на литературные источники подаются цифрами в квадратных скобках.

Фамилии авторов в списке литературы размещаются в алфавитном порядке либо в порядке цитирования. 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 97, 2000, 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. Объём иллюстративного материала и таблиц не должен превышать 30 % объёма 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 на отдельных листах прилагаются: 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 украинский или русский вариант.

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

Статьи рецензируются и принимаются к печати редакционной коллегией.

Редакционная коллегия оставляет за собой право редактировать текст по согласованию с авторами.

Все материалы направляйте электронной почтой по адресу: **eco99@i.ua** или **shtirts@i.ua**

Адрес редакции:
Биологический факультет ДонНУ,
ул. Щорса, 46, к. 310, г. Донецк, 83050
Отв. секретарь: к.б.н. Штирц Артур Давыдович

Тел.: (062) 304-61-86; (050) 240-78-02

GUIDELINES 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

We accept scientific articles in Ukrainian, 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 97, 2000, 2003 as Word (*.doc) document or the text in RTF (*.rtf) format. Font Times New Roman Cyr of size 12, single space, 2 cm in all margins; with indentation of 1 cm; justified alignment with no word division; running titles of 1,2 cm, style «Ordinary». Pages of manuscripts must not be numbered.

The length of an article (including illustrations, tables, bibliography, summary) is 5-8 pages (for review articles – up to 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)

Name 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. The abstract (not longer than 50 words) and keywords are given in Ukrainian, Russian and English according to the following example (font size 10):

Surname and initials of the author(s). **Name of the article.** – Text, briefly specifying the objective of the research, the results and main conclusions.

Key words: no more than 5-8 words.

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. **Bibliographic references** are presented according to the new bibliography rules in accordance with guidelines of VAK of Ukraine (Higher Attestation Commission of Ukraine).

Surnames and initials must be typed *in italics*.

References are cited in the text with consecutive numbers in square brackets.

Surnames of the authors are listed in the bibliography in alphabetic order or in the order they are cited in the text. The names of the works are presented in the language of the original.

Correspondence of all references in the text and in the list should be carefully verified, correctness of periodicals' names should be checked. When citing materials and abstracts of conferences, congresses, symposia etc, make sure to state the place and date. When citing a publication of a group of authors you should indicate initials and surname of the managing editor.

7. 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*).

8. In the text, tables and bibliographic references dash (–) should be used, but not hyphen (-). Any punctuation sign should be typed together with the previous word and separated from the following one with a single space. The text of the article should be carefully checked, without orthographic and stylistic errors.

9. Tables should be made in MS Word 97, 2000, 2003. 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

10. 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 Cyr font. The pictures must be of high quality and contrast. The volume of illustrations should not exceed 30 % of the article.

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

12. Abbreviations of words, except for generally accepted ones, are not permissible or otherwise they must be deciphered.

13. 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.

14. If the article is submitted in English, its Ukrainian or Russian translation should be attached.

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

The articles are reviewed and accepted for printing by Editorial Board.
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: **eco99@i.ua** or **shtirts@i.ua**

Editorial office address:
Biological faculty of Donetsk National University
Shchorsa Str., 46/310
Donetsk, 83050
UKRAINE
Executive secretary: PhD in biology, Arthur Shtirts

Tel.: (062) 304-61-86; (050) 240-78-02

Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону. – 2011. – № 1 (11).

Науково-практичний журнал

ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЇ ТА ОХОРОНИ ПРИРОДИ ТЕХНОГЕННОГО РЕГІОНУ

№ 1 (11)

(українською, російською та англійською мовами)

Засновник: Донецький національний університет

Свідоцтво про державну реєстрацію: КВ № 15948-4419Р від 27.10.2009 р.

Технічний редактор: Н. О. Ярошенко

Оригінал-макет: А. Д. Штірц

Обкладинка: М. В. Максимович

Адреса редакції:

Біологічний факультет

Донецького національного університету,

вул. Щорса, 46, к. 310, м. Донецьк, 83050

E-mail: eco99@i.ua або shtirts@i.ua

Електронна версія журналу розміщена на сайті:

www.nbuv.gov.ua/portal/Chem_Biol/peop