

OLES HONCHAR DNIPROPETROVSK NATIONAL UNIVERSITY
(UKRAINE)

«TELEPRESINFORM» AGENCY (UKRAINE)
CORDOBA UNIVERSITY (SPAIN)
SCIENTIFIC COUNCIL FOR SOIL SCIENCE ISSUES
OF NAS OF UKRAINE (UKRAINE)

WITH THE ASSISTANCE OF:
RESEARCH AND TRAINING CENTER OF O. GONCHAR DNU –
A. L. BELGARD PRYSAMARYA BIOSPHERIC STATION

ECOLOGY AND NOOSPHEROLOGY

Vol. 26 2015
 no. 1–2

Scientific Journal
Founded in 1995

www.uenj.cv.ua

Kyiv – Dnipropetrovsk
2015

EDITORIAL BOARD:

A. P. Travleyev (Editor-in-Chief); *J. M. Recio Espejo* (Associate Editor); *J. G. Ray* (Associate Editor); *K. M. Sytnik* (Associate Editor); *V. G. Radchenko* (Associate Editor); *V. A. Nikorych* (Associate Editor); *V. V. Morgun* (Associate Editor); *A. V. Bogovin* (Associate Editor); *V. M. Petrenko* (Associate Editor); *V. A. Gorban* (Managing Editor); *N. A. Bilova*; *M. K. Chartko*; *V. S. Chernyshenko*; *Yu. M. Chornobai*; *S. G. Chornyi*; *Ya. P. Diduh*; *O. Z. Glukhov*; *M. A. Golubets*; *D. M. Grodzinsky*; *F. Gurbuz*; *A. V. Elska*; *I. G. Emelyanov*; *A. V. Ivashov*; *V. V. Khutorynyj*; *I. Yu. Kostikov*; *N. R. Korpeyev*; *S. S. Kostyshin*; *A. A. Kotchubey*; *I. A. Mal'tseva*; *M. D. Mel'nichuk*; *V. I. Monchenko*; *S. L. Mosyakin*; *Ya. I. Movchan*; *L. P. Mytsyk*; *E. Nevo*; *V. V. Nykyforov*; *V. I. Parpan*; *N. V. Polyakov*; *V. D. Romanenko*; *S. S. Rudenko*; *V. V. Shvartau*; *Yu. R. Shevyag-Sosonko*; *Gu Siyu*; *S. Skiba*; *O. O. Sozynov*; *P. C. Srivastava*; *V. S. Stogniy*; *E. Strbova*; *I. V. Tsarik*; *N. N. Tsvetkova*; *S. P. Wasser*; *Yu. P. Zaytsev*; *V. M. Zverkovsky*.

FOREIGN MEMBERS OF EDITORIAL BOARD:

J. G. Ray (Associate Editor); *J. M. Recio Espejo* (Associate Editor); *M. K. Chartko*; *F. Gurbuz*; *N. R. Korpeyev*; *E. Nevo*; *Gu Siyu*; *S. Skiba*; *P. C. Srivastava*; *E. Strbova*.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Чл.-кор. НАНУ, д-р біол. наук **А. П. Травлєєв** (голов. редактор); акад. УЕАН, д-р біол. наук **Ж. М. Ресіо Есπεжо** (заст. голов. редактора, Іспанія); акад. УЕАН, д-р біол. наук **Д. Г. Рей** (заст. голов. редактора, Індія); акад. НАНУ, д-р біол. наук **К. М. Ситник** (заст. голов. редактора); акад. НАНУ, д-р біол. наук **В. Г. Радченко** (заст. голов. редактора); канд. біол. наук **В. А. Нікорич** (заст. голов. редактора); акад. НАНУ, д-р біол. наук **В. В. Моргун** (наук. редактор); д-р біол. наук **А. В. Боговін** (наук. редактор); канд. іст. наук **В. М. Петренко** (наук. редактор); канд. біол. наук **В. А. Горбань** (відп. секретар); д-р біол. наук **Н. А. Білова**; чл.-кор. НАНУ, д-р біол. наук **С. П. Вассер**; чл.-кор. НАНУ, д-р біол. наук **О. З. Глухов**; акад. НАНУ, д-р біол. наук **М. А. Голубець**; акад. НАНУ, д-р біол. наук **Д. М. Гродзинський**; д-р біол. наук **Gu Siyu** (Китай); д-р біол. наук **F. Gurbuz** (Туреччина); чл.-кор. НАНУ, д-р біол. наук **Я. П. Дідух**; чл.-кор. НАНУ, д-р біол. наук **І. Г. Ємельянов**; акад. НАНУ, д-р біол. наук **Г. В. Єльська**; акад. НАНУ, д-р біол. наук **Ю. П. Зайцев**; д-р біол. наук **В. М. Зверковський**; д-р біол. наук **А. В. Івашиов**; акад. АН Туркменістану, д-р біол. наук **Н. Р. Корпєєв** (Туркменістан); д-р біол. наук **І. Ю. Костіков**; д-р біол. наук **С. С. Костишин**; д-р фіз.-мат. наук **О. О. Кочубей**; д-р біол. наук **І. А. Мальцева**; акад. НААНУ, д-р біол. наук **М. Д. Мельничук**; д-р біол. наук **Л. П. Мицик**; д-р біол. наук **Я. І. Мовчан**; акад. НАНУ, д-р біол. наук **В. І. Монченко**; чл.-кор. НАНУ, д-р біол. наук **С. Л. Мосякін**; акад. НАНУ, д-р біол. наук **E. Nevo** (Ізраїль); д-р біол. наук **В. В. Никифоров**; д-р біол. наук **В. І. Парпан**; чл.-кор. НАНУ, д-р фіз.-мат. наук **М. В. Поляков**; акад. НАНУ, д-р біол. наук **В. Д. Романенко**; д-р біол. наук **С. С. Руденко**; д-р біол. наук **С. Скіба** (Польща); акад. НАНУ, акад. НААНУ, д-р с.-г. наук **О. О. Созінов**; д-р біол. наук **Р. С. Srivastava** (Індія); канд. техн. наук **В. С. Стогній**; канд. техн. наук **В. В. Хуторний**; д-р біол. наук **Й. В. Царик**; д-р біол. наук **Н. М. Цветкова**; д-р геогр. наук **М. К. Чертко** (Білорусь); д-р с.-г. наук **С. Г. Чорний**; д-р біол. наук **Ю. М. Чорнобай**; чл.-кор. НАНУ, д-р біол. наук **В. В. Швартау**; акад. НАНУ, д-р біол. наук **Ю. Р. Шеляг-Сосонко**; канд. біол. наук **Е. Штрбова** (Словаччина).

ІНОЗЕМНІ ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:

Акад. УЕАН, д-р біол. наук **Ж. М. Ресіо Есπεжо** (Іспанія); акад. УЕАН, д-р біол. наук **Д. Г. Рей** (Індія); д-р біол. наук **Gu Siyu** (Китай); д-р біол. наук **F. Gurbuz** (Туреччина); акад. АН Туркменістану, д-р біол. наук **Н. Р. Корпєєв** (Туркменістан); акад. НАНУ, д-р біол. наук **E. Nevo** (Ізраїль); д-р біол. наук **С. Скіба** (Польща); д-р біол. наук **Р. С. Srivastava** (Індія); д-р геогр. наук **М. К. Чертко** (Білорусь); канд. біол. наук **Е. Штрбова** (Словаччина).

*Рекомендовано до друку Вченою радою
Дніпропетровського національного університету ім. О. Гончара*

Адреса редколлегии: Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара, просп. Гагаріна, 72, 49010, м. Дніпропетровськ, Україна; ТОВ «Агентство «Телепресінформ», вул. Івана Кудрі, 26, м. Київ, Україна; *Телефони:* (056) 792–78–82, (0562) 76–83–81. *Web-сторінка:* www.uenj.cv.ua. *E-mail:* ecologgrunt@yahoo.com

© Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара, 2015
© ТОВ «Агентство «Телепресінформ», 2015

TABLE OF CONTENTS

BIOGEOCENOLOGY, GEOBOTANY AND PHYTOCENOLOGY

<i>Bogovin A. V.</i> Contribution of National scientific center "Institute of agriculture NAAS" in the development of ecologic-biological and agrotechnical bases of meadow science in Ukraine	5
<i>Shanda V. I., Voroshylova N. V.</i> Methodology and theory of biogeocenology	15
<i>Zaitseva I. O., Povorotnaya M. M.</i> Quantitative assessment of the functional connection between water content and hydrothermal factors of representatives of <i>Acer</i> L. generic complexes introduced into steppe zone	25
<i>Samchuk A. I., Grodzinskaya G. A., Vovk K. V.</i> Research on accumulation of macro- and microelements in leaves of trees in Kyiv megalopolis	34
<i>Moskalets T. Z., Moskalets V. V.</i> Population ecology and autoecology manifestations of modificational variability of genotypes tribe Triticeae in forest-steppe and polissya ecotypes	44
<i>Krokhmal I. I.</i> Functional anatomy and morphology of leaf <i>Campanula sibirica</i> L.	54
<i>Blinkova O. I.</i> Analysis of synergies between the vegetation cover and the intensity of outwash in mountain conditions	66

ECOLOGICAL PROBLEMS OF PHYTOINDICATION

<i>Buzhdygan O. Y., Rudenko S. S., Kostyshyn S. S.</i> Habitat conditions that drive plant traits in grasslands: phytoindicative analytical approach	74
--	----

ZOOCENOSES AS A COMPONENT OF BIOGEOCENOSIS

<i>Mustafayeva G. A.</i> The trophic links of Aphelinids (Hymenoptera, Aphelinidae) and phytophages (Homoptera: Coccoidea, Aleurodidea, Aphidoidea) in Azerbaijan	81
---	----

ECOLOGICAL BIOCHEMISTRY

<i>Ushakova G. A., Shiyntum H. N.</i> Evolutionary progress in the functions of metallothioneins in the ever changing ecosystems	89
--	----

ECOLOGICAL STUDY OF MICROORGANISMS

<i>Shekhovtseva O. G., Maltceva I. A.</i> Influence of chloride and sulfate ions on the composition and the biomass of soil algae in the soils of Mariupol city urban ecosystems	99
<i>Moroz O. M., Zvir G. I., Hnatush S. O.</i> Pigments synthesis by photolithotrophic sulfur bacteria <i>Lamprocystis</i> sp. Ya-2003 under the influence of heavy metals salts	107

PROTECTION OF HUMAN HEALTH

<i>Lykholat T. Yu., Lykholat O. A., Shevchenko T. M., Sayfieva N. P.</i> Antioxidant system in system in the organs of different ade rats exposed to exogenous estrogens	116
--	-----

SHORT REPORTS

<i>Tarakhkalo I. A.</i> Revisiting the natural-reserved fund of Lugansk region	125
--	-----

TO AUTHORS' ATTENTION	130
------------------------------------	-----

З М І С Т

БІОГЕОЦЕНОЛОГІЯ, ГЕОБОТАНІКА ТА ФІТОЦЕНОЛОГІЯ

<i>Боговін А. В.</i> Внесок Національного наукового центру «Інститут землеробства НААН» у розвиток еколого-біологічних та агротехнічних основ лугівництва в Україні	5
<i>Шанда В. І., Ворошилова Н. В.</i> Про методологію та теорію біогеоценології	15
<i>Зайцева І. О., Поворотня М. М.</i> Кількісна оцінка впливу гідротермічних факторів на водний обмін деревних рослин роду <i>Acer</i> L. в умовах степової зони	25
<i>Самчук А. І., Гродзинська Г. А., Вовк К. В.</i> Акумуляція макро- і мікроелементів у листках різних деревних порід в умовах Київського мегаполісу	34
<i>Москалець Т. З., Москалець В. В.</i> Аутоекологічні та демекологічні прояви модифікаційної здатності генотипів триби <i>Triticeae</i> лісостепового та поліського екотипів	44
<i>Крохмаль И. И.</i> Функциональная анатомия и морфология листа <i>Campanula sibirica</i> L.	54
<i>Blinkova O. I.</i> Analysis of synergies between the vegetation cover and the intensity of outwash in mountain conditions	66

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ФІТОІНДИКАЦІЇ

<i>Buzhdygan O. Y., Rudenko S. S., Kostyshyn S. S.</i> Habitat conditions that drive plant traits in grasslands: phytoindicative analytical approach	74
--	----

ЗООЦЕНОЗ ЯК КОМПОНЕНТ БІОГЕОЦЕНОЗУ

<i>Мустафаева Г. А.</i> Трофические связи афелинид (Hymenoptera, Aphelinidae) с фитофагами (Homoptera: Coccoidea, Aleurodidea, Aphidoidea) в Азербайджане	81
---	----

ЕКОЛОГІЧНА БІОХІМІЯ

<i>Ushakova G. A., Shiyntum H. N.</i> Evolutionary progress in the functions of metallothioneins in the ever changing ecosystems	89
--	----

ЕКОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРООРГАНІЗМІВ

<i>Шеховцева О. Г., Мальцева І. А.</i> Вплив вмісту іонів хлоридів і сульфатів у ґрунті урбоєкосистем м. Маріуполя на склад і біомасу ґрунтових водоростей	99
<i>Мороз О. М., Звір Г. І., Гнатуш С. О.</i> Утворення пігментів фотолітотрофними сіркобактеріями <i>Lamprocystis</i> sp. Ya-2003 за впливу солей важких металів ...	107

ОХОРОНА ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ

<i>Лихолат Т. Ю., Лихолат О. А., Шевченко Т. Н., Сайфиева Н. П.</i> Состояние антиоксидантной системы в органах крыс разного возраста, подвергшихся воздействию экзоэстрогенов	116
--	-----

КОРОТКІ ПОВІДОМЛЕННЯ

<i>Тараскало И. А.</i> К вопросу о состоянии природно-заповедного фонда Луганской области	125
---	-----

ДО УВАГИ АВТОРІВ	131
-------------------------------	-----

BIOGEOCENOLOGY, GEOBOTANY AND PHYTOCENOLOGY



A. V. Bogovin 

Dr. Sci. (Agric.), Professor

UDK 631

*National Research Centre "Institute of Agriculture
of the NAAS", Mashinostroitelei str., 2-b, Chabany,
Kyiv region, Ukraine, 08162*

CONTRIBUTION OF NATIONAL SCIENTIFIC CENTER "INSTITUTE OF AGRICULTURE NAAS" IN THE DEVELOPMENT OF ECOLOGIC-BIOLOGICAL AND AGROTECHNICAL BASES OF MEADOW SCIENCE IN UKRAINE

Abstract. In this article the history of the formation of the National Scientific Center "Institute of Agriculture NAAS" of Ukrainian Academy of Agrarian Sciences of Ukraine is briefly presented. It is noted that it started its existence in 1900 as agrochemical laboratory of Kiev Society Agriculture and Agricultural Industry and in 1935 it already became multidisciplinary and influential research institution in problems of agriculture, that was widely recognized in Ukraine, Soviet Union and far abroad. After establishing of the Department fodder production in it in 1944, then the Department of Meadow Science and now the Department of forage production and Meadow Science, the Institute has also done much in this field of knowledge.

Under the methodological guidance and direct participation of Institute in 1957–1961 years, simultaneously with the examination of soil cover in Ukraine, continuous large-scale geobotanical survey and culture-technical examination of hay-pasture lands had been done and regarding to each farm type plans and cartograms of their improvements were made and have been widely used during planning and implementation of works on improving the efficiency of the use of country's land resources and valuation of soil.

The Institute investigated the natural essence of different types of meadows and developed theoretical and practical problems of their flora, ecology, geography, classification, structure and a wide range of measures to improve their ecological and biological, economic and environmental values. It comprehensively elucidated the potential properties of perennial grasses and annual forage crops as representatives of primary and the most determinative material-energetic link of natural and anthropogenically transformed ecosystems, their degree of biological compatibility in coenoses and on the basis of consideration of coenobiotical complementarity made selection and zoning of their mixtures for different geographical areas of countries, environmental growing conditions and economic purpose.

A great work has been carried out to develop agrotechnics for cultivation of fodder crops, systems of their fertilization, irrigation, use of biological nitrogen in meadow science, principles of optimizing of spatial and functional organization of agricultural landscapes and ways of reproduction in their composition of permanent herbaceous ecosystems, as stabilizing elements of natural and man-made systems.

The scientific basis for the creation and an effective use of irrigated and unirrigated pasture was developed and for the first time in Ukraine, former Soviet Union and in the world the technology of

 Tel.: + 38044-526-71-26. E-mail: zemledel@mail.ru

DOI: 10.15421/031501

ISSN 1726-1112. Ecology and noospherology. 2015. Vol. 26, no. 1–2

combined use of irrigated pasture with combination of large groups (20–25 ha in one array) with a daily potting grazing of high yielding cows (4,5–5 thousand kg of milk.) by large herds (up to 500–600 heads in the herd) was perfected and implemented in production and during the XII International Congress on Meadow Science held in Moscow in 1974, received the highest rating from world leading meadow.

The methodical base of systematic study of biotic systems and their biodiversity through extensive involvement in the research process of different physiognomic, floristry, individualistic and functionally-group ratings of biomorphological, trophic, destructive, ecological and many other important system properties was significantly expanded.

Also the participation in international scientific congresses and symposia on meadow science, that were held in foreign countries, and representation of employees in their governing bodies had been shown in the article.

Keywords: meadow science, natural and man-made lukopasovyschni ecosystems, biodiversity, productivity, function-group methods research environment.

УДК 631

А. В. Боговин

д-р с.-х. наук, проф.

Национальный научный центр «Институт земледелия НААН»,
ул. Машиностроителей, 2-б, Чабаны, Киевская обл., Украина, 08162,
тел.: + 38044-526-71-26, e-mail: zemledel@mail.ru

**ВКЛАД НАЦИОНАЛЬНОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА
«ИНСТИТУТ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ НААН» В РАЗВИТИЕ
ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИХ И АГРОТЕХНИЧЕСКИХ ОСНОВ
ЛУГОВОДСТВА В УКРАИНЕ**

Аннотация. В статье кратко изложена история становления Национального научного центра «Институт земледелия НААН» Национальной академии аграрных наук Украины. Начавший свое существование в 1900 г. с агрохимической лаборатории, он уже к 1935 г. превратился в многопрофильное влиятельное в области земледелия научно-исследовательское учреждение в Украине. С образованием в 1944 г. в нем отдела кормопроизводства, потом луговодства и ныне кормопроизводства и луговодства он много сделал и в этой отрасли знаний.

Под методическим руководством и непосредственным участием института в 1957–1961 гг. одновременно со сплошным обследованием почвенного покрова Украины, было осуществлено крупномасштабное геоботаническое и культуртехническое обследование природных кормовых угодий и для всех хозяйств республики составлены типы лугов и картограммы их улучшения, которые сыграли большую роль в планировании и реализации работ по повышению их природно-ресурсного потенциала.

В институте исследованы природная сущность различных типов лугов, теоретические и практические проблемы их флоры, экологии, географии, классификации и разработан широкий комплекс технологических приемов повышения их эколого-биологической, хозяйственной и природоохранной ценности.

Для разных типов лугов и зон Украины подобраны лучшие виды трав и их травосмеси, разработаны системы удобрения, орошения, использования в луговодстве биологического азота, принципы улучшения сбалансированности территориально-функциональной организации аграрных ландшафтов путем увеличения в их составе стабилизирующих элементов на базе создания зональных эколого-биологических систем с высокой самовосстановительной способностью.

Значительное внимание уделено изучению биоразнообразия природных и антропогенных экосистем и расширена методическая база их изучения с широким использованием физиогномических, флористико-индивидуалистических и функционально-групповых методов оценок биоморфологических, ритмических, экологических и других свойств биотических комплексов, разработке эффективных путей сбалансированного их использования и охраны. Показано участие разработчиков в Международных конгрессах и симпозиумах по луговодству, состоявшихся в странах дальнего зарубежья.

Ключевые слова: луговодство, природные и антропогенные лугопастбищные экосистемы, биоразнообразие, продуктивность, функционально-групповые методы изучения, окружающая среда.

Національний науковий центр «Інститут Землеробства НААН»,
вул. Машинобудівників, 2-б, Чабани, Київська обл., Україна, 08162,
тел.: + 38044-526-71-26, e-mail: zemlede@mail.ru

**ВНЕСОК НАЦІОНАЛЬНОГО НАУКОВОГО ЦЕНТРУ
«ІНСТИТУТ ЗЕМЛЕРОБСТВА НААН» У РОЗВИТОК
ЕКОЛОГО-БІОЛОГІЧНИХ ТА АГРОТЕХНІЧНИХ ОСНОВ
ЛУКІВНИЦТВА В УКРАЇНІ**

Анотація. У статті коротко подана історія становлення Національного наукового центру «Інститут землеробства НААН». Вказано, що започаткувавши своє існування у 1900 р. з агрохімічної лабораторії Київського Товариства сільського господарства й сільськогосподарської промисловості, він вже до 1935 р. перетворився в багатопрофільну впливову з проблем землеробства науково-дослідну установу, широко визнану в Україні, Союзі та за їх межами. З утворенням в ньому в 1944 р. відділу кормовиробництва, потім луківництва і нині кормовиробництва і луківництва інститут багато зробив і у цій галузі знань.

Під методичним керівництвом і за безпосередньої участі інституту в 1957–1961 рр. одночасно з обстеженням ґрунтового покриву в Україні здійснено суцільне великомасштабне геоботанічне та культуртехнічне обстеження сінокісно-пасовищних угідь, стосовно до кожного господарства складено плани типів та картограми їх поліпшення, які широко були використані при плануванні та реалізації робіт з підвищення ефективності використання земельних ресурсів країни, бонітування ґрунтів.

В інституті досліджена природна сутність різних типів лук та розроблено теоретичні й практичні проблеми їх флори, екології, географії, класифікації, структури та широкий комплекс технологічних заходів підвищення їхньої еколого-біологічної, господарської та природоохоронної цінності.

Велика робота проведена з розробки агротехніки вирощування кормових культур, систем їх удобрення, зрошення, використання в луківництві біологічного азоту, принципів оптимізації просторово-функціональної організації агроландшафтів і способів відтворення в їх складі постійних трав'янистих екосистем як стабілізуючих елементів природно-антропогенних комплексів.

Ключові слова: луківництво, природні й антропогенні лукопасовищні екосистеми, біорізноманіття, продуктивність, функціонально-групові методи досліджень, довкілля.

Національний науковий центр «Інститут землеробства НААН» Національної академії аграрних наук України, почавши своє існування у 1900 р. з агрохімічної лабораторії Київського Товариства сільського господарства та сільськогосподарської промисловості (Sayko, 2000), вже до 1935 р., сконцентрувавши у своєму складі сузір'я талановитих учених (Г. Г. Махов, О. І. Душечкін, Г. М. Самбур, Н. Б. Вернандер, М. М. Годлін, О. М. Вишинський, П. О. Дмитренко, пізніше – В. М. Лебедев, О. С. Скорозумов, В. О. Пастушенко та ін.), перетворився в багатопрофільну й впливову науково-дослідну установу республіканського масштабу, широко визнану в Україні, колишньому Союзі та за його межами.

Інститут (з 1935 р. – Український НДІ соцземлеробства Наркозему України, з 1956 р. – Український НДІ землеробства МСГ УРСР, з 1992 р. – Інститут землеробства Української академії аграрних наук, а з 2006 р. – Національний науковий центр «Інститут землеробства НААН» Національної академії аграрних наук України), в той час маючи в усіх зонах України широку мережу дослідних станцій з вивчення корінних питань землеробства й агрономії він заслужено зайняв лідируюче положення в країні з зазначених проблем, беззмінно здійснював координацію досліджень, брав активну участь і вагомо впливав на формування землеробської політики в агропромисловому секторі республіки.

Одночасно інститут у ролі керівника й безпосереднього виконавця здійснив велику й унікальну за значенням спочатку вибірково на регіональному рівні (40–50-ті рр. XX ст.), а пізніше (1956–1961 рр.) здійснив суцільне великомасштабне обстеження

грунтового покриву країни як важливого її ресурсного потенціалу та геоботанічне й культуртехнічне обстеження природних сінокосів і пасовищ – невід’ємної складової кормової бази тваринництва.

Результати виконання першої черги зазначених робіт були покладені в основу проектування Південноукраїнського та Краснознам’янського магістральних каналів зони зрошення Каховської ГЕС й розробки іригаційної мережі та системи землеробства на зрошуваних землях Півдня України, а 1956–1961 рр. – удосконалення районування сільськогосподарського виробництва та розробки систем землеробства й кормовиробництва в межах кожного господарства країни.

Значний внесок на різних етапах організаційного становлення інституту й розвитку в ньому наукових досліджень зробили директори: спочатку П. Р. Сльозкін, а потім Г. І. Жуков (1928–1932 рр.), О. І. Подвиг (1932–1935 рр.), к. с.-г. наук П. І. Глухов (1935–1937 рр.), к. с.-г. наук М. Т. Коновалов (1937–1941 і 1945–1956 рр.), проф. Г. Г. Махов (1942–1944 рр.), д-р с.-г. наук, проф. Ф. П. Юхимчук (1956–1968 рр.), д-р с.-г. наук В. М. Євмінов (1968–1983 рр.), д-р с.-г. наук, проф., акад. НААН В. Ф. Сайко (1983–2011 рр.) і з 2011 р. успішно очолює д-р с.-г. наук, проф., чл.-кор. НААН В. Ф. Камінський.

З утворенням у 1944 р. в установі відділу кормовиробництва (потім лувіництва, а нині кормовиробництва і лувіництва) та приходом з Харківського інституту рослинництва на посаду завідувача вже досвідченого спеціаліста кандидата, пізніше доктора сільськогосподарських наук, професора М. В. Куксіна – колишнього аспіранта Л. Г. Раменського (в Харкові він обіймав посаду завідувача відділу кормових ресурсів), в Інституті були започатковані і отримали значний розвиток дослідження з лувіництва як важливої галузі сільського господарства. Невдовзі відділ було перетворено в координаційний осередок в Україні з питань лучного й польового кормовиробництва. В інституті була створена перша наукова школа лувічників в країні, представники якої в подальшому поклали початок дослідженням з цієї галузі знань у багатьох інших науково-дослідних і навчальних установах республіки.

З 1974 р. до 2003 р. зазначений науковий підрозділ очолював автор цієї статті – аспірант М. В. Куксіна й одночасно по Дніпропетровському національному університету під час навчання в ньому й подальшому співробітництву учень О. Л. Бельгарда – видатного біогеоценолога та яскравого представника широко визнаної могутньої наукової школи «Д. І. Менделєєва – В. В. Докучаєва – Г. М. Висоцкого – О. Л. Бельгарда». З 2003 р. завідування відділом здійснює доктор сільськогосподарських наук, професор В. Г. Кургак (колишній аспірант і докторант А. В. Боговіна).

З самого початку існування підрозділу, відповідаючи на запити виробництва щодо створення міцної кормової бази в господарствах, відділ розробив наукові основи з ряду актуальних питань докорінного і поверхневого поліпшення природних кормових угідь і болотних земель, випробував на цих угіддях широкий набір однорічних культур та багаторічних видів трав, розробив систему первинного передпосівного обробітку ґрунту і агротехніку їх вирощування. Багато уваги приділив розробці теоретичних принципів побудови лучних сівозмін та удобренню в них культур.

Ці дослідження, розпочаті у 1950 р. на Коростенському дослідному полі Інституту землеробства, згодом поширилися на різні типи природних кормових угідь і велися ще на Київській дослідній станції, в дослідному господарстві «Копилів» Інституту землеробства та колективному сільськогосподарському підприємстві «Степанське» Сарненського району Рівненської області (М. В. Куксін, М. Д. Новицький, А. С. Шкабара, З. В. Морозова, Л. Л. Крапива, А. Г. Балан, Є. О. Скуднова, К. І. Сайчук, О. М. Дзвоник, Г. М. Дубинська). Проведені дослідження показали, що запровадження сіяних лук чи сімба добре підібраних однорічних культур може в 3–5 і більше разів підвищити врожайність малопродуктивних лук. Доведено, що при господарській потребі однорічні культури на луках доцільно висівати лише на

ерозійно безпечних родючих ґрунтах, переважно в лучних сівозмінах з польовим періодом від 2 до 5 і лучним – від 2–3 до 6 років. Прискорене залуження, тобто сімба трав одразу ж по свіжозібраній і добре розробленій дернині, забезпечує також високу урожайність, проте собівартість рослинної продукції порівняно з лучними сівозмінами у 4–5 разів менша та істотно зменшуються ризики прояву ерозії ґрунтів.

Серією дослідів з добору багаторічних травосумішей для сінокісного використання (М. В. Куксін, М. Д. Новицький) вже у 1940–1952 рр., на відміну від досить широко рекомендованих на той час складних сумішей з 8–19 видів, була доведена доцільність застосування для короткочасного використання простих травосумішей з 1–2 видів бобових, 1–2 видів нещільнокущових і 1 виду кореневищних злаків. На родючих ґрунтах допускається сімба парних бобово-злакових сумішей, а на недостатньо осушених болотах – навіть одного злаку. Була доведена необов'язковість включення до складу сінокісних травосумішей низових злаків. Зроблена оцінка на луках різних видів добрив та показана їх позитивна роль в отриманні високих врожаїв однорічних культур та багаторічних трав у системі лучних сівозмін і поза ними.

Одним із особливо важливих напрямів роботи відділу було вивчення типологічного складу природних кормових угідь. М. В. Куксіним ці роботи були розпочаті ще у 1932 р. в Українському науково-дослідному інституті прикладної ботаніки, пізніше реорганізованого в Інститут рослинництва (м. Харків). Уже в ті роки (1932–1934 рр.) при проведенні за завданням Наркомзему колишнього Радянського Союзу першого туру робіт з інвентаризації природних кормових угідь держави Всесоюзним інститутом кормів ім. В. Р. Вільямса із залученням регіональних науково-дослідних та учбових закладів, відповідно до умов України під керівництвом М. В. Куксіна вперше була розроблена фітотопологічна класифікація лук, дана їх природна та виробнича характеристика, зроблено районування, визначені площі в адміністративних районах і накреслені заходи щодо поліпшення та раціонального використання лук. Зведені матеріали по Україні увійшли складовою частиною в узагальнені матеріали по Союзу.

У 1957–1958 рр. ця типологія природних кормових угідь була уточнена і за нею під методичним керівництвом відділу луківництва (М. В. Куксін) у 1957–1961 рр., як уже згадувалося вище, одночасно з обстеженням ґрунтового покриву України було здійснено суцільне великомасштабне геоботанічне та культуртехнічне обстеження сінокісно-пасовищних угідь, стосовно кожного господарства складені плани типів природних кормових угідь та картограми щодо їх поліпшення, які були широко використані директивними і господарськими органами при плануванні та реалізації робіт з підвищення ефективності використання земельних ресурсів країни. У виконанні цієї роботи брали участь працівники, які потім стали науковими співробітниками чи аспірантами відділу луківництва (І. О. Паламарчук, А. В. Боговін, Л. М. Сипайлова, А. Й. Якименко, І. Ю. Валюшкевич).

У наступні роки в лабораторії були поглиблені дослідження з вивчення природних особливостей лучних угідь та з удосконалення методичних підходів і принципів їх класифікації. На підставі використання методологічних принципів вивчення об'єктів як складних систем, було теоретично обґрунтовано і запропоновано екосистемне тлумачення лук і розроблені нові підходи до їх типізації, сутність яких полягає в політетичній (комплексній) індикації еколого-флористичних ознак рослинності і особливостей ґрунтів лук як цілісних систем. Розроблена класифікація лучних екосистем, а для Полісся і північної частини Лісостепу України ідентифіковані площі їх основних груп, які дозволяють повніше визначити потенційні можливості сінокісно-пасовищних угідь і диференціювати рекомендації відповідно до їх типологічного складу (А. В. Боговін), разом з Інститутом землеустрою УААН була удосконалена методика та здійснено для всіх зон України бонітування ґрунтів природних кормових угідь.

Відділ багато уваги приділяв і приділяє розробці технології створення і використання культурних пасовищ як важливої основи рентабельного ведення галузі тваринництва.

Розробка цієї проблеми в Інституті, зокрема на Козаровицькій дослідній станції лукиництва, розпочалася ще у 1929 р. М. С. Данилевською і з деякими перервами на цій станції велася до 1940 р. Основними питаннями в той час було вивчення ефективності загінної системи випасання пасовищ та заходів догляду за ними. Дослідженнями було доведено, що застосування загінного випасання порівняно з безсистемним збільшує продуктивність пасовищ на 20–30, а повноту використання травостою – на 30 % і більше, добре зберігає вихідну еколого-біологічну структуру травостою.

Після утворення відділу лукиництва під науковим керівництвом М. В. Куксіна роботи з питань створення й використання пасовищ відновились на цій станції в 1958 р. (Л. Л. Крапива, І. О. Паламарчук), а в 1959 р. із здійсненням широкої програми досліджень були закладені виробничі культурні пасовища в колишньому дослідному господарстві «Копилів» (спочатку на площі 90, а потім – 180 га), які швидко перетворились у полігон їх широкої популяризації в Україні. У цей період детально були вивчені способи створення культурних пасовищ на різних типах природних кормових угідь, підсів високоврожайних трав у природні та старосіяні травостої, строки початку випасання пасовищ після їх залуження (І. О. Паламарчук), пасовищні травосуміші (А. В. Боговін), дози, співвідношення і строки внесення мінеральних добрив та мікроелементів (А. В. Боговін, А. Й. Якименко, В. М. Тітова, Л. Ф. Харитоненко, Т. О. Жданова). Встановлено значення підгодівлі корів та ремонтного молодняка великої рогатої худоби при утриманні їх на пасовищах (Ф. І. Очеретко). Одночасно під керівництвом відділу розробка технологічних основ створення та використання культурних пасовищ проводилася і в інших господарствах – щодо добору травосумішей і системи удобрення їх на Київській дослідній станції Інституту землеробства (Л. Л. Крапива), державному сільськогосподарському підприємстві «Поліське» Макаріївського району Київської області (О. М. Клецький), щодо способів створення сіяних пасовищ на піщаних ґрунтах – у колективному сільськогосподарському господарстві «Грозинське» колишньої Житомирської державної обласної сільськогосподарської дослідної станції (Г. П. Левчук, М. Ф. Давидюк). Все це дозволило створити міцну базу, яка мала визначальний вплив на розвиток наукових досліджень та стан пасовищної справи в Україні. Культурні пасовища за підтримки держави були створені в багатьох господарствах і загальна їх площа вже у 1978 р. становила 550 тис. га.

Вперше в Україні відділ розробив наукові основи та технологію створення і використання зрошуваних культурних пасовищ очищеними промислово-побутовими стічними водами (О. І. Паламарчук, М. В. Куксін, А. В. Боговін, В. Ф. Максименко, Й. К. Копистеринський). Розпочавши дослідження одночасно зі створенням в радгоспі «Бортничі» Бориспільського району Київської області господарського пасовища на площі 500 га для утримання 1000 корів і 300 голів молодняка, вперше в колишньому Союзі і в світі було відпрацьовано і впроваджено у виробництво систему комбінованого поєднання великих загонів (по 20–25 га в одному масиві) із щоденним порційним випасанням високоудійних корів (4,5–5 тис. кг і більше молока на корову) великими гуртами – 500–600 голів у гурті, систему догляду за пасовищем, їх зрошення й використання як джерела пасовищних і зимових кормів. Під час XII Міжнародного конгресу з лукиництва, який відбувся 11–20 червня 1974 р. в Москві, найвідоміші вчені-лукитники з провідних пасовищних країн – Голландії, Великої Британії, Нової Зеландії, Німеччини, США та ін. наукову роботу і розроблену виробничу модель зрошуваного пасовища віднесли до найкращих зразків світового рівня.

Пізніше (1982–1986 рр.) на базі дослідного господарства «Копилів» вагомий внесок зроблено в удосконалення системи зрошення лукопасовищних угідь чистими водами, режимів зрошення та методів визначення строків поливу угідь за метеоданими (А. В. Боговін, В. Г. Кургак, В. Г. Олефір).

Відділ провів вагомі дослідження з розробки технології створення високопродуктивних сіяних багатуокісних травостоїв, ефективного використання в луківництві потенціалу бобових трав як джерела біологічного азоту та чинників підвищення білковості й енергонасиченості кормів. Відділу належить пріоритет в Україні у розробці лучних конвеєрів на основі різностиглих злакових та бобово-злакових травосумішей з періодом безперервного надходження високоякісної рослинної маси на сінокосах впродовж 135, пасовищах – 150–160, а у поєднанні з однорічними холодостійкими культурами ранньовесняного та пізньоосіннього строків використання – 200–220 днів (А. В. Боговін, В. Г. Кургак, В. М. Тітова, Т. В. Кончакова, А. М. Левковський, О. М. Давидюк). Вперше в Союзі розроблено пасовищний конвеєр на базі лише багаторічних трав із залученням резервних загонів з ними, який не тільки забезпечує безперервне надходження свіжої рослинної маси для худоби впродовж 200–220 днів у вегетаційний період, а й істотно підвищує повноцінність пасовищного корму та на 17–25 % порівняно з існуючими моделями конвеєрів зменшує витрати матеріально-енергетичних витрат на його створення й використання (А. В. Боговін, С. В. Дудник, Р. М. Кулик). Для бобово-злакових травосумішей встановлено найкращий видовий і сортовий склад бобових трав та їх вплив на накопичення біологічного азоту та рівні компенсації ним азоту мінеральних добрив, виявлені кращі способи розміщення та норми висіву насіння компонентів у сіяних ценозах, режими використання травостоїв. Для основних видів трав уточнено екологічні та фітоценотичні оптимуми, ступінь їх біологічної сумісності в ценозах залежно від типів лук, різних рівнів удобрення та інтенсивності використання. На цій основі удосконалено принципи добору та видовий склад травосумішей і дано їх районування для умов Полісся і Лісостепу України. З'ясована ценозо-формативна та господарська роль збагачення простих травосумішей представленням кожного виду в них не одним, а трьома сортами в підвищенні продуктивності травостоїв та їх стійкості за роками (А. В. Боговін, В. О. Сацик, М. В. Сукайло).

Досліджена і запропонована виробництву система удобрення багатуокісних сінокосів (А. В. Боговін, В. Г. Кургак, А. М. Левковський, В. І. Лещенко, Ю. В. Лещенко) і вперше в Україні для різних зон та типів лук розроблені нормативні критерії внесення мінеральних добрив. Установлені прирости урожайності, визначені виноси і коефіцієнти використання поживних речовин із ґрунту та мінеральних добрив, які дозволяють підвищити ефективність застосування на луках мінеральних добрив шляхом більш раціонального їх використання за природно-кліматичними регіонами, встановлювати дози, здійснювати ресурсне прогнозування продуктивності лукопасовищних угідь (А. В. Боговін, В. Г. Кургак). Розроблено функціональні моделі їх ефективного застосування для різних типів природних кормових угідь (В. Г. Кургак, А. М. Левковський).

Великий обсяг досліджень проведено з питань розробки технології поліпшення низинних, заплавних лук з природним травостоєм, в тому числі й довгозаливних, як потенційно найбільш цінних для організації на них високоефективного лучного кормовиробництва.

Розробка цього напрямку досліджень в Інституті розпочата ще у 1924–1930 рр. З. М. Кашиним, а в 1938–1940 рр. – З. М. Кашиним та Я. Я. Чумаковим на заплавних луках Дніпра Козаровицької дослідної станції луківництва. В той час тут вивчали дію мінеральних добрив, вплив ранньовесняного та пізньоосіннього строків випасання і боронування на продуктивність лук.

У 1960 р. А. В. Боговіним у ДСП «Заповіт Леніна» (колишній колгосп) Баршівського району Київської області, а в 1983–1985 рр. А. В. Боговіним і В. П. Хоменком в КСП «Нива» (колишній колгосп «30-річчя Перемоги»)

Борзнянського району Чернігівської області проведені дослідження з поверхневого поліпшення низинних засоленних луків з содово-солончакуватими ґрунтами, процесам содоутворення і вторинному засоленню яких свого часу багато уваги приділив видатний знавець ґрунтів України і талановитий наставник наукової молоді Г. М. Самбур (безпосередній учень корифея вітчизняного ґрунтознавства Г. Г. Махова). Практично вперше була з'ясована роль різних доз азотних, фосфорних і калійних добрив та їх поєднань у трансформації видової структури та підвищенні продуктивності природних ценозів лучно-галофільного комплексу. Тут же були встановлені й найкращі травосуміші для цього типу лучних угідь.

Перші ґрунтовні дослідження з проблем поліпшення природних довгозаливних заплавних лук були проведені в 1967–1970 рр. в заплаві Десни в ДСП ім. Кірова Броварського району Київської області (М. В. Куксін, І. О. Паламарчук, А. В. Боговін, О. О. Ловчиков, Т. В. Кончакова). У наступні роки вони були продовжені спочатку в радгоспі «Бортничі» (1972–1977 рр.), а з 1987 р. до 2003 р. – в ДСП «Дніпровське» Бориспільського району цієї області, яке в 1977 р. за участю відділу було включено разом з іншими придніпровськими господарствами до складу міжгосподарського агропромислового підприємства з виробництва різних видів кормів на заплавах луках Дніпра (М. В. Куксін, А. В. Боговін, О. М. Дзвоник, Й. К. Копистеринський, С. В. Дудник, Р. М. Кулик).

Тут всебічно вивчені дози, строки внесення мінеральних добрив за сінокісного і пасовищного використання, вплив їх, а також зрошення, вапнування, підсіву трав, режимів скошування в системі сінокошозмін чи поза ними, біостимуляторів росту рослин та асоціативних азотфіксуючих мікроорганізмів на видовий склад ценозів та динаміку біогенних елементів у ґрунті і рослинах, екологічний стан лучних екосистем. Проведені дослідження щодо добору травосумішей. В умовах тривалого затоплення відпрацьована система створення і використання культурних пасовищ.

В останні десятиліття в зв'язку з реформуванням земельного фонду країни й усуненням надмірної його розораності, яка сильно порушила структуру просторово-функціональної організації аграрних територій у напрямі невинуватеного збільшення в них деструктивних складових і спричинила небувало погіршення екологічного стану ландшафтів і життєвого середовища, в відділі Інституту значна увага приділена фундаментальному вивченню та розробці ефективних способів відтворення на вилучених з тривалого інтенсивного обробітку у сівозмінах малопродуктивних орних землях постійних саморегулюючих трав'янистих екосистем і їх зонально обумовленого природного біорізноманіття як найважливішої ресурсної бази біосфери й форми існування на планеті живої матерії. В результаті встановлено фітогенетичні процеси формування еколого-біологічної структури спонтанно відновлюваних ценозів, їх продуктивність, якісні показники рослинної продукції, а також вплив різних агротехнічних заходів – стартового підсівання селекційних і дикорослих видів багаторічних трав, удобрення, режимів використання на прискорення темпів проходження сингенетичних змін й підвищення їхньої природоохоронної і господарської цінності (А. В. Боговін, М. М. Пташнік).

В результаті встановлено, що спонтанне відтворення на таких землях зональних екосистем є складним та досить тривалим динамічним у просторі і часі єдиним процесом сингенезу, що складається із серії тимчасових, послідовно змінюваних за детермінантно-хаотичним типом розвитку динаміки стадій заростання, кожна з яких характеризується своєрідною видовою, еколого-біоморфологічною, флористико-індивідуалістичною та фітоценотичною структурою рослинних угруповань і особливим станом біорізноманіття. Будь-яка попередня стадія є підготовчим етапом і головною ресурсною базою становлення наступної, а таксономічне багатство й рівень функціональної гармонізованості біологічного різноманіття – визначальним показником її стану та енергетичного потенціалу динамізму і механізмів його реалізації. За цього способу відновлення навіть у гумідній зоні він триває близько

17–20 pp. Посів на початковому етапі відновлення простих бобово-злакових чи навіть злакових сумішей уже з 1–2 років життя істотно підвищує продуктивність систем, майже повністю усуває в сингенетичному ряду чужорідну бур'янисту фазу переважно з одно- та дворічних рослин і докорінно підвищує кормову цінність травостою, а додавання до сумішей ще й аборигенних представників дикорослої флори значно (на 5–7 років) прискорює формування багатовидових фітоценозів з високою самовідновлювальною здатністю, максимально наближених за видовою та еколого-біологічною структурою до первозданих природних екосистем.

Певний внесок зроблено в з'ясування нормативних параметрів структурно-функціонального стану біорізноманіття як невід'ємної й найвизначальнішої складової частини будь-яких еколого-біологічних систем у здійсненні матеріально-енергетичних потоків і реалізації механізмів в них життєзабезпечуючих відновлюваних процесів. На базі врахування сучасної синантропізації довкілля розроблена класифікація стану (типи категорій порушеності) біорізноманіття та визначені основні напрями її оптимізації (Bogovin, 2011).

Істотно розширена методична база проведення теоретико-прикладних і фундаментальних системних досліджень природних і антропогенних утворень. Розроблені і запроваджені в дослідження природних явищ методи фізіогномічного та флористико-індивідуалістичного аналізу екологічних систем з широким залученням функціонально-групових оцінок біоморфологічних, ритмічних, екологічних, трофічних і інших властивостей біотичних комплексів чи їх складових частин (Bogovin et al., 2003), показники гемеробності біоти, тобто генетико-фізіологічних реакцій її на окультуренність чи антропогенне порушення умов існування (Bogovin, 2013; Bogovin and Ptashnik, 2013). Останнє має винятково важливе значення особливо для агротрансформованих і техногенно перетворених екологічних систем та оцінки їхнього біорізноманіття, оскільки цей напрям аналізу дозволяє встановити не тільки ступінь їх порушеності (деструкції), а й допустимі пороги антропогенного на них навантаження, що в умовах стрімкого зростання на довкілля такого тиску набуває надзвичайно великого народногосподарського й загально екологічного значення. Поряд з цим, постійно проводиться робота з визначення екоценобіотичного статусу рослин – первинних оціночних одиниць в складі реалізації функціонально-групових та інших методів дослідження біотичних комплексів. Враховуючи, що лучні, як і будь-які інші системи є відкритими і розвиваються за детермінантно-хаотичним типом динаміки з проявом у них високого ступеня випадкових чинників формування. Останнім часом у відділі кормовиробництва і луківництва звернено певну увагу на залучення в дослідний процес методу нелінійного аналізу систем, який за визначенням С. В. Чернишенка (Chernychenko, 2000), А. П. Травлєєва, Н. А. Білової (Travleyev and Belova, 2008), нині є новим і надзвичайно перспективним напрямом досліджень при вивченні складних еколого-біологічних об'єктів. Він добре гармонізується з внутрішньою процесуальною сутністю відкритих природних і антропогенних біотичних систем і найповніше розкриває детермінантну спрямованість їх розвитку.

Нині у відділі вирішуються проблеми органічного виробництва продукції, вирощування енергетичних культур (В. Г. Кургак, Г. В. Єфремова), розробляються принципи системно-збалансованого використання природних і антропогенно трансформованих екосистем як одиниць біосфери (А. В. Боговін, М. М. Пташнік).

Науковці відділу неодноразово галузь представляли на міжнародних конгресах з луківництва – у 1974 р. на XII-му в Москві (М. В. Куксін, І. О. Паламарчук, А. В. Боговін) та у 1977 р. на XIII-му в Leipzig German Democratic Republic (А. В. Боговін, І. О. Паламарчук, М. В. Куксін), на конгресах Європейської Федерації луківників – у 1971 р. на 4-х Генеральних зборах у Швейцарії (А. В. Боговін), у 1975 р. на 6-тих Генеральних зборах в Іспанії (А. В. Боговін), у 1985 р. на 8-их Генеральних зборах у Великобританії (А. В. Боговін), у 1990 р. на 13-их Генеральних зборах у Чехословаччині (А. В. Боговін, В. Г. Кургак), у 1992 р. на 14-их Генеральних зборах у

Фінляндії (А. В. Боговін, В. Г. Кургак), у 2008 р. на 22-их Генеральних зборах у Швеції (В. Г. Кургак), у 2012 р. на 24-их Генеральних зборах у Польщі (В. Г. Кургак, А. В. Боговін), на симпозиумах – у 2007 р. на 7-х зборах з екології лук у Словаччині (А. В. Боговін, С. В. Дудник, М. М. Пташнік) і у 2011 р. з питань луківництва в Австрії (В. Г. Кургак).

З 1982 р. науковці відділу кормовиробництва і луківництва впродовж тривалого часу були членами робочої групи з проекту МАБ № 3 «Трав'янисті ландшафти, сінокоси й пасовища» програми ЮНЕСКО «Людина і біосфера» та програми ООН із сталого розвитку України (А. В. Боговін, 2001) та з 1999 р. проекту ФАО «Пасовищні ресурси Світу» з розроблення за такою назвою розділу, але в межах України (А. В. Боговін, С. В. Дудник). З 2008 по 2012 рр. відділ на правах членства був представлений у виконавчому комітеті Європейської Федерації луківників, а зараз є постійним представником в ній від України (В. Г. Кургак).

Відділ виконує велику роботу з підготовки наукових кадрів вищої кваліфікації: докторів і кандидатів наук з зазначеної галузі знань.

Національний науковий центр «Інститут землеробства НААН» Національної академії аграрних наук України і зокрема його відділ кормовиробництва і луківництва з часу свого утворення вніс і продовжує вносити значний вклад у становлення й подальший розвиток вітчизняного луківництва, в розробку фундаментальних і прикладних основ як однієї з важливих галузей знань та дієвого чинника впливу на підвищення ефективності подальшого розвитку одного з важливих напрямів науки й народного господарства держави.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Bogovin, A. V., Travleyev, A. P., Belova, N. A., Dudnyk, S. V., 2003.** Ecologichnyj analiz roslinnosti pryrodnykh biogeocеноzів (fiziognomiczni ta florystyko-indyvidualistychni aspekty analizu v ekologii) [The ecological analysis of vegetation natural biogeocenosis (Physiognomy and floristic-individualistic aspects of the analysis in ecology)], Ecology and Noospherology, 13, 1-2, pp. 4–11 (in Ukrainian).
- Bogovin, A. V., 2011.** Tipy kategoriy bioraznობrazია v usloviyah antropogennoy transformacii ekologicheskikh system [Types of categories of biodiversity in the conditions of antropogenic transformation of the ecological systems], Ecology and Noospherology, 22, 3-4, pp. 73–83 (in Russian).
- Bogovin, A. V., 2013.** Otsinka stupenya porushennya phitoriznomanittyа antropogenno-transformovanyh ecosystem [Degree of phytodiversity disturbance of antropogenic transformed ecosystems assessment], Ecology and noospherology, 24, 3-4, pp. 5–15 (in Ukrainian).
- Bogovin, A. V., Ptashnik, M. M., 2013.** Vyznachennya stupenya porushenosti travyanystyh ecosystem zalezchno vid antropogennoho vplyvu [Assesment of anthropogenous violation of grassy ecosystems], Collection of scientific works of the National Scientific Center "Institute of Agriculture of NAAS", Edelweis, Kyiv, 1-2, pp. 145–151 (in Ukrainian).
- Chernyshenko, S. V., 2005.** Nelineynye metody analiza dynamiki lesnykh biogeocеноzів [Nonlinear analisis of forest ecosystems dynamics], Dnipropetrovsk University Press, Dnipropetrovsk (in Russian).
- Sayko, V. P., 2000.** Institutu zemlerobstva – 100 [To the Institute of Agriculture – 100 years], News of agrarian science, Special issue, May, pp. 5–11 (in Ukrainian).
- Travleyev, A. P., Belova, N. A., 2008.** Les kak faktor pochvoobrazovaniya [Forest as soil-forming factor], Gruntoznavstvo, 22, 3-4, pp. 6–26 (in Russian).

Стаття надійшла в редакцію: 20.01.2015

Рекомендує до друку: чл.-кор. НАНУ, д-р біол. наук, проф. А. П. Травлєєв

BIOGEOCENOLOGY, GEOBOTANY AND PHYTOCENOLOGY



V. I. Shanda¹

Cand. Sci. (Biol.), Professor

N. V. Voroshylova²✉

Cand. Sci. (Biol.), Assoc. Prof.

UDK 574.4

¹*Krivoy Rog State Pedagogical University,
Gagarin ave., 54, Krivoy Rog, Dnipropetrovsk region,
Ukraine, 50086*

²*Dnipropetrovsk State Agrarian Economics University,
st. Voroshilova, 25, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49600*

METHODOLOGY AND THEORY OF BIOGEOCENOLOGY

Abstract. In biogeocenosis theory the extrapolation of views of V. I. Vernadsky on the biosphere, the construction of multi-level methodological problems, concepts, identifying areas of the current state of retro- and foreseeable prospects, the development of ideas of V. N. Sukachov, I. I. Shmalhauzen are essential. Biogeocenology is a science conjugated with environmental science in the foreseeable future of which is a combination of synthetic theory of evolution based on the development of evolutionary and cybernetic ideas of I. I. Shmalhauzen.

Lying on the surface of the theory of biogeocoenology the principles of systematic approach, dynamism, adaptatsion genesis should be naturally in equilibrium with others, such as extrapolation theoretical physics principles of uncertainty and comlimentarity of Niels Bohr as necessary tools for a profound knowledge of the nature of ecosystems. In revealing the organization and functioning of ecosystems, the fruitful principles are: the principle of their typology by A. L. Belgard (1970) for forest steppe, the principle of detailing of biogeocenosis structure by A. P. Travleyev (1973) and the principle of drawing up the periodic typological systems of ecological niches of biological species, parcels of forest ecosystems cybernetic schemes related to various phenomena and processes and so on.

Biogeocenosis, as a phenomenon of wildlife organization, is an elementary structural and functional unit of the biosphere; and biocenosis, respectively, is a unit of living matter on the planet by V. I. Vernadsky (1926).

Biogeocoenology, as a science, is still in its development stage, without clearly defined directions and concepts, contours of a picture of the world completeness in its methodology. In general picture of biogeocenotical research there are the following areas: 1) taxonomic (in accordance with the definition of species composition of organisms of different kingdoms of living nature); 2) factorial; 3) adaptable (concerning reactions to different impacts, adaptation and formation of ecomorphical composition); 4) spatial-dynamic (associated with the release of forms bodies in ecosystems and organisms, putting them in static and dynamic); 5) dynamically evolutionary, in which study multiscale spatial and temporal changes in the composition, structure, and insidebiogeocenotical and betweenbiogeocenotical relationships of organisms and, in general, betweenbiogeocenotical interactions; 6) biogeographic (according to spread of ecosystems); 7) evolutionary

✉ Tel.: +38098-672-38-39. E-mail: Khlyzina@ukr.net

DOI: 10.15421/031502

ISSN 1726-1112. Ecology and noospherology. 2015. Vol. 26, no. 1–2

15

covering all manifestations of spatial and temporal variability of ecosystems from seasonal fluctuations to age-related changes; 8) interactive that combines all areas of research in a particular biogeocoenotical environment.

Named methodological problems of different levels and different volume make up only a small part of their descriptions and definitions that can be used to build the concepts of biogeocenology as a system of the ideas and principles of scientific vision of its essence. We consider the concepts as formed and incomplete, which are under development, a set of concepts, methods and principles of interpretation of certain phenomena, objects, areas of science and social movement or life. Concepts of biogeocenology as systems of view that combine different visions of its nature, can be differentiated and integrated into a single fragmented scientific pictures of the world. The main concepts we distinguish: systematic, thermodynamic, biotechnological, stereometric, geomorphological, geological, biogeochemical, adaptation genesis, evolutionary (paleontological), biogeographical, cybernetic. Within each concept there are three aspects: 1) general biogeocoenotical regarding individualized ecosystems; 2) betweenbiogeocoenotical regarding biogeocoenotical cover or its parts; 3) planetary, biospheric, determined by biosphere significance of ecosystems.

Key words: *biogeocoenotical, biogeocenology, function, theory, methodology.*

УДК 574.4

В. И. Шанда¹

канд. биол. наук, проф.

Н. В. Ворошилова²

канд. биол. наук, доц.

¹*Криворожский государственный педагогический университет,
пр. Гагарина, 54, г. Кривой Рог, Украина, 50086*

²*Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет,
ул. Ворошилова, 25, г. Днепропетровск, Украина, 49600,
тел.: +38098-672-38-39, e-mail: Khlyzina@ukr.net*

О МЕТОДОЛОГИИ И ТЕОРИИ БИОГЕОЦЕНОЛОГИИ

Аннотация. В теории биогеоценоза существенно важными являются экстраполяция взглядов В. И. Вернадского на биосферу, построение разноразмерных методологических проблем, концепций, определение направлений, современного состояния ретро- и обзорных перспектив, развитие идей В. Н. Сукачева, И. И. Шмальгаузена.

Ключевые слова: *биогеоценоз, биогеоценология, функция, теория, методология.*

УДК 574.4

В. І. Шанда¹

канд. біол. наук, проф.

Н. В. Ворошилова²

канд. біол. наук, доц.

¹*Криворізький державний педагогічний університет,
пр. Гагаріна, 54, м. Кривий Ріг, Україна, 50086*

²*Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет,
вул. Ворошилова, 25, м. Дніпропетровськ, Україна, 49600,
тел.: +38098-672-38-39, e-mail: Khlyzina@ukr.net*

ПРО МЕТОДОЛОГІЮ ТА ТЕОРІЮ БІОГЕОЦЕНОЛОГІЇ

Анотація. В теорії біогеоценозу суттєво важливими є екстраполяція поглядів В. І. Вернадського на біосферу, побудова різномірних методологічних проблем, концепцій, визначення напрямів, сучасного стану ретро- і осяжних перспектив, розвиток ідей В. М. Сукачова, І. І. Шмальгаузена

Ключові слова: *біогеоценоз, біогеоценологія, функція, теорія, методологія.*

Біогеоценологія є наукою про формування, організованість, функціонування, адаптації, поширення, розвиток і еволюцію біогеоценозів. Вона розвивається на широкому тлі загального прогресу біологічної науки, захоплює широке коло

польових досліджень у живій природі, їхнє осмислення та моделювання в експериментальних і лабораторно-польових умовах.

Біогеоценологія є спряженою з екологією наукою, в осяжній перспективі якої є поєднання з синтетичною теорією еволюції на основі розвитку еволюційних і кібернетичних ідей І. І. Шмальгаузена. Теоретизація біогеоценології, започаткована працями В. М. Сукачова, була і є провідною тенденцією сучасного та перспективного її розвитку, що зумовлюється складністю організованості біогеоценозів і їхньої динаміки. Інформаційний фактологічний базис біогеоценології є об'єктивно далеко неповночленими у зв'язку з неможливістю практично охопити всі прояви структури (складу, будови, зв'язків), функції існування та розвитку біогеоценозів. Все це є сприятливим фоном плідного розвитку теоретичного мислення, вільних і цілеспрямованих пошуків у ньому, побудови концептуальних засад. Лежачі відносно на поверхні теорії біогеоценології принципи системності, динамізму, адаптаціогенезу органічно мають урівноважуватися іншими, як наприклад, екстрапольованими з теоретичної фізики принципами невизначеності та доповнюваності Н. Бора, як необхідними інструментаріями для більш глибокого пізнання сутності біогеоценозів. В розкритті організованості та функціонування біогеоценозів плідотворними є принципи: їхньої типології, як, наприклад, О. Л. Бельгарда (Belgard, 1970) для степових лісів, деталізації структури біогеоценозу А. П. Травлєєва (Travleyev, 1973) і складання періодичних типологічних систем, екологічних ніш біологічних видів (Shanda V., 2013), парцел лісових біогеоценозів (Shanda L., 2006) кібернетичних схем для висвітлення різних явищ і процесів тощо.

Біогеоценоз неальтернативно визначається різними авторами відповідно основоположним працям В. М. Сукачова. Біогеоценоз є сукупністю організмів різних царств живої природи, що історично формується і розвивається на основі рослинного угруповання в певному більш або менш однорідному, відчленованому від інших, просторі території чи акваторії та складає нероз'ємну єдність у самій собі та зі структурами, факторами неживої природи, забезпечуючи більш або менш циклічно залежне функціонування на основі притоку сонячної енергії та обмінних явищ і процесів із сусідніми біогеоценозами.

Біогеоценоз, як феномен організованості живої природи, є елементарною структурно-функціональною одиницею біосфери, а біоценоз, відповідно, одиницею живої речовини планети за В. І. Вернадським (Vernadsky, 1926). У біогеоценозах специфічно заломлюються і проявляються функції біосфери на основі активності тіл біотичного, біогенного, біокосного та косного типу, що його складають.

Енергетична функція біогеоценозу виявляється в його енергетиці, тобто сукупності всіх процесів і явищ, пов'язаних з одержанням, накопиченням, перетворенням, рухом і розсіюванням енергії в трофічних ланцюгах і сітках. Це – функція біологічної продуктивності. Метаболічна функція характеризує всю невизначено велику кількість обмінних процесів у організмах і між організмами біогеоценозу, а також міжбіогеоценотичні обміни в самому широкому розумінні (хімічними елементами, сполуками, організмами, їхніми зачатками, рештками). В біогенній міграції хімічних елементів у біосфері біогеоценози можуть слугувати в якості біогеохімічних бар'єрів, на що не звертається достатня увага в її дослідженні та осмисленні. Концентраторна функція біогеоценозу пов'язана зі специфічним накопиченням живої біомаси, необіогенної та біокосної речовини. Деструктивна функція проявляється в руйнуванні та розкладанні органічних і неорганічних сполук, решток організмів, які призводять до утворення необіогенної речовини, її мінералізації, розкладання сполук косної речовини, руйнування поверхні косного тіла біогеоценозу коренями рослин і землеріями. Рухомісна, транспортна функція біогеоценозу забезпечується постійним внутрішньо та міжбіогеоценотичним переміщенням і рухом зачатків, цілих організмів і їхніх решток, хімічних елементів і сполук. Середовищевірні функції біогеоценозу пов'язані з формуванням у ньому

специфічних станів його компонентів, сукупностей факторів і ресурсів різної природи та їхнім поширенням у його межах і поза ними, що характеризує міжбіогеоценотичні зв'язки. Видільні функції організмів різних царств живої природи, в процесах життєдіяльності та посмертного розкладання, формують загалом особливе біохімічне середовище, комплекс летких речовин якого є достатньо рухомим і часто органоліптично відчутним за межами біогеоценозу. Б. Б. Полинов (Perelman, 1969) вважав сферу летких речовин характерною геохімічною особливістю ландшафту і, відповідно, на наш погляд, будь-якого біогеоценозу в ньому. Явища та процеси, що характеризують виділення організмами екзометаболітів і продуктів посмертного розкладання назовні визначають видільну функцію біогеоценозу, що відповідає його активності як алелопатичного (цілого) фактору. Поглинальна функція біогеоценозу забезпечується сприйманням сонячної енергії, різних полів і випромінювань, вологи, тепла з косної речовини (підстилаючої материнської породи), впливів видільних функцій сусідніх біогеоценозів. Геологічна функція біогеоценозу проявляється у механічних рухах хімічних елементів і біогеохімічних явищах і процесах, які пов'язані з використанням організмами хімічних елементів і їхніх сполук для побудови тіла з послідуною втратою за рахунок прижиттєвих виділень і посмертного розкладання решток. Біогеоценозам, у певній мірі, притаманною є здатність розширювати свій об'єм (простір) за рахунок переміщення організмів, їхніх зачатків і решток за межі перехідних зон (екотонотопів). Ці явища та процеси відповідають біогеоценотичній експансії або ценохорії.

Для біогеоценозів, як систем, властивою є певна відчленованість (автономність), дискретність, організованість на основі парцелярної та біофункціональної ієрархічності, відповідно консортивності та рівнів мас-енергетичного використання трофічних ресурсів.

Біогеоценологія як наука поки що знаходиться в стадії своєї розбудови, недостатньо чітко сформульованих напрямів і концепцій, контурів завершеності картини світу в своїй методології. В загальній картині біогеоценологічних досліджень, на наш погляд, можна виділити такі напрями як: 1) таксономічний (відповідно визначенням видового складу організмів різних царств живої природи); 2) факторіальний; 3) адаптаційний (стосовно реакцій на різні впливи, адаптацій і формування екоморфічного складу); 4) просторово-динамічний (пов'язаний з виділенням форм тіл біогеоценозів і складаючих їх організмів у статичності та динамічності); 5) динамічно-еволюційний, у межах якого вивчаються різномасштабні просторово-часові зміни складу, будови, внутрішньобіогеоценотичних та міжбіогеоценотичних зв'язків організмів і, загалом, міжбіогеоценотичних взаємодій; 6) біогеографічний (відповідно поширення біогеоценозів); 7) еволюційний, який охоплює всі прояви просторово-часової мінливості біогеоценозів від сезонних флуктуацій до вікових змін; 8) інтегративний, який поєднує всі напрями досліджень у конкретному біогеоценотичному середовищі тощо. Ми не виключаємо подальшої більш дрібної деталізації та диференційованості біогеоценологічних досліджень.

Біогеоценологічну методологію окреслюють неоднаково значущі та осяжні складові. В її онтології можна виділити такі проблеми як: 1) об'єктивно існуюче невизначено велике різноманіття біогеоценозів; 2) їхні об'єктивні складність організованості, функціонування та розвитку; 3) специфічність і неспецифічність явищ і процесів у різних типах біогеоценозів. Серед ґносеологічних проблем відмітимо: 1) обмеженість і незакінченість сучасних теоретичних узагальнень і побудов; 2) недостатність фактологічного матеріалу про мас-енергетичні та інформаційні потоки, що регулюють і рухають біогеоценози; 3) розширення та поглиблення теоретизації; 4) актуалізацію принципів невизначеності, доповнення, формалізації, аналогій, екстраполяцій у поясненні буття, динаміки та еволюції біогеоценозів. На рівні загально-наукової методології увагу зосередимо на проблемах: 1) системності біогеоценозів у всіх її проявах; 2) їхнього елементно-

компонентного аналізу щодо складу, будови, зв'язків, різномасштабних просторово-часових змін. У конкретно науковій методології біогеоценології сутнісними, на наш погляд, є проблеми: 1) різнорівневої членованості біогеоценозів; 2) їхньої типології на реальній і формалізованій основах. В дисциплінарній методології відзначаємо проблеми: 1) деталізації внутрішньо та міжбіогеоценотичних взаємодій у біогеоценотичному покриві; 2) їхній комбінаторний аналіз. На міждисциплінарному рівні методології біогеоценології виділяємо проблеми: 1) біогеохімічної ролі біогеоценозів у біогеоценотичному покриві; 2) їхньої еволюційної значущості як полів мікроеволюційних явищ і процесів; 3) стереометрії біогеоценозів і тіл, що їх складають; 4) кібернетики біогеоценозів.

Названі різнорівневі та різноємнісні методологічні проблеми складають лише незначну частину їхніх описів і визначень, які можуть слугувати для побудови концепцій біогеоценології, як систем ідей і принципів наукового бачення її суті. Ми розглядаємо концепції як сформовані та незавершені, що знаходяться в стадії розвитку, сукупності уявлень, способів і принципів осмислення певних явищ, об'єктів напрямів науки та суспільних рухів або життя. Концепції біогеоценології, як системи поглядів, які поєднують різні бачення її сутності, можуть бути диференційовані та інтегровані в єдиний фрагментарний науковий картині світу. В якості основних концепцій ми виділяємо: системну, термодинамічну, біотехнологічну, стереометричну, геоморфологічну, геологічну, біогеохімічну, адаптаціогенезну, еволюційну (палеонтологічну), біогеографічну, кібернетичну. В межах кожної концепції вимальовуються три аспекти: 1) загальнобіогеоценотичний, стосовно індивідуалізованості біогеоценозів; 2) міжбіогеоценотичний, відносно всього біогеоценотичного покриву або його частин; 3) планетарний, біосферний, який визначається біосферно значущістю біогеоценозів.

Системна концепція є визначальною, панівною. Вона перекидає, певною мірою, поля всіх інших, виходить із сутності розуміння системи в загальнонауковій методології. Зміст системної концепції складає бачення біогеоценозів як об'єктів системного аналізу з усіма наслідками, які з цього витікають. В межах системної концепції обґрунтовуються матеріальні вирази ознак і властивостей, внутрішньо- та зовнішньобіогеоценотичні зв'язки елементів і компонентів, опис, аналіз і осмислення порушень системності. Системна концепція окреслює системне розуміння організованості, функціонування, розвитку біогеоценозів як відчленованих від інших подібних або неподібних сукупностей взаємодіючих елементів і компонентів з різними рівнями дискретності, динамічності, цілісності та сумативності.

Від основоположних праць В. М. Сукачова (Sukachev, 1972, 1974, 1975) в усіх розробках і зведеннях акцентувалася системна природа біогеоценозу (Holubets, 2000; Nomokonov, 1989; Rabotnov, 1976; Shanda V., 2013). Біогеоценоз, як сутність, відповідає всім ознакам і властивостям систем у їхніх загальних і неальтернативних визначеннях, як і в картинах, які окреслені теоретиками системного бачення природи (Haylov, 1963; Sadovskyy, 1974).

Біогеоценоз, як систему, складають такі його тіла, як біотичне (біоценоз), біокосні (приземна атмосфера та ґрунти), біогенні (необіогенне, як органічні рештки в стадії розкладання, та палеобіогенне як метаморфізовані осадові породи органічного походження, якщо вони підстиляють ґрунт), косне, що є підстиляючою материнською породою на рівні проникнення в неї рослин і землеріїв. Ці тіла мають системну природу в множинності своїх елементів, завдяки мас-енергетичним обмінам всередині їх і між ними. Системність біогеоценозів включає хаос як невизначені та непізнані її закономірності.

Системна концепція описує не тільки біогеоценози, але також їхні сукупності, біоми, як виділи біогеоценотичного покриву та весь цей покрив і біосферу як системи. В системній концепції, паралельно з еволюційною, впливає теорія сукцесійних систем (Odum, 1986) і сукцесійного аналізу. В системну концепцію цілком доречно вписується

ідея організму, започаткована Ф. Клементсом (Mirkin, 1983) для фітоценозу, який, відповідно вважався квазіорганізмом. При цьому з поля зору виключався індивідуалістичний контекст кожного фітоценозу. Рослинне угруповання та всі інші складові біоценозу є сукупностями індивідів на основі їхньої генетичної неповторності. Фенотипічна індивідуальність організмів різних царств живої природи дозволяє розглядати кожен біогеоценоз не тільки в плані організму, але й як систему і потоки взаємодіючих індивідуальностей у процесах їхньої життєдіяльності та розвитку.

Термодинамічна концепція пояснює біогеоценози як відкриті нерівноважні термодинамічні системи з різними рівнями впорядкованості, неупорядкованості та їхніми співвідношеннями. Енергетика біогеоценозів – сукупність явищ і процесів одержання, накопичення, використання, руху, перетворення та розсіювання енергії – підпорядкована основним законам термодинаміки. В межах цієї концепції біогеоценози розглядаються як енергетичні устрої з різними об'ємами акумуляції, використання та розсіювання енергії (сонячної насамперед) на всіх ступенях її руху. Найважливіша термодинамічна характеристика всіх екосистем за Ю. Одумом (Odum, 1986), і біогеоценозів у тому числі, це здатність створювати та підтримувати високий ступінь внутрішньої упорядкованості або стану з низькою ентропією. При цьому неупорядкованість вивільнюється у вигляді розсіювання (дисипації) енергії. За рахунок енергії, фіксованої в тілах, які складають біогеоценоз, весь біогеоценотичний покрив, його окремі біоми можна визначати у якості енергетичної мозаїки, тому що біогеоценози мають неоднакову енергетичну ємність. Вивільнення та розсіювання енергії (особливо у вигляді тепла) можна віднести до однієї з форм внутрішньої та міжбіогеоценотичних взаємодій. У межах термодинамічної концепції біологічні первинна та вторинна продуктивність (загалом і у видових визначеннях) мають оцінюватися не тільки одиницями маси, але також на основі їхньої енергетичної ємності (в енергетичних одиницях), що можливо розкриває нові аспекти цих проблем. Термодинамічна концепція дозволяє бачити біогеоценози, біогеоценотичний покрив і всю біосферу як відкриті термодинамічні системи.

Біотехнологічна концепція розвиває уявлення про біохімічні різноманіття та індивідуальність біогеоценозів на основі природних технологій, тобто певних послідовних явищ і процесів продукування, синтезу та ресинтезу органічних і неорганічних сполук організмами різних царств живої природи в процесі життя та посмертного розкладання. В різних, і в таксономічно та екоморфічно близьких біогеоценозах, аксіоматично сприйнятливими є різні співвідношення чисельності різних груп організмів, станів їхніх життєдіяльності, біохімічної активності щодо утворення біохімічних сполук внутрішньоорганізменного призначення та продукування екзометаболітів. Це беззаперечно відображає біохімічну індивідуальність біогеоценозів, але поки що є якісно та кількісно складно уловним та відчутним.

Біологічні технології біотичного та некротичного типу, тобто утворення організмами різних царств живої природи в процесах життя та посмертного розкладання речовин різної біологічної та екологічної значущості, забезпечує побудову специфічного для кожного біогеоценозу біохімічного середовища. Воно формується організмами різних царств живої природи з індивідуальними, унікальними генотипами та біохімічною активністю і неоднозначно характеризує кожний біогеоценоз. Отже, біохімічна індивідуальність біогеоценозів дозволяє, в цьому плані, сприймати ідеї організму, розглядати біогеоценотичний покрив як біохімічну мозаїку близьких і віддалених біохімічних одиниць його диференційованості, а всю біосферу – як комплекс таких мозаїк. Рухомість летких речовин біохімічного середовища складає одну з особливостей внутрішньої та міжбіогеоценотичних зв'язків. Сума біологічних технологій у біогеоценозі є інтегративною, тому що їхнє складання забезпечує новий якісний ефект і біохімічну специфічність. Природні біологічні технології організмів різних царств живої природи забезпечують формування живильних потоків різних хімічних сполук і

організмів, включаючи небіогенні речовини при посмертному розкладанні органічних решток і зміни у біокосних і косних тілах біогеоценозу.

Біогеохімічна концепція пояснює роль і функції біогеоценозів у біогенній міграції хімічних елементів і біогеохімічних циклах. Живі організми в біогеоценозах виконують геологічні функції в процесах і явищах механічного переміщення речовин, хімічних елементів, а також геохімічні функції щодо використання хімічних елементів для побудови своїх тіл, життєдіяльності та хімічного розкладання органічних решток, формування небіогенної речовини, мінералізації та змін у біокосних і косних тілах біогеоценозу. «Вихрі життя» Ж. Кюве та К. Бера або жива речовина як сукупність організмів (Vernadsky, 1926) захоплюють і зберігають у собі мільйони років (закон бережливості К. Бера) хімічні елементи (та, вибірково, їхні ізотопи за сучасним розумінням). Хімічні елементи в біогеоценозах залучаються в циклічні біогеохімічні процеси від мінерального стану до багаторазового, вибіркового входження в склад тіл живих організмів. Біогеохімічні цикли газового та осадового типів не є замкненими на один біогеоценоз. Вони прямо чи непрямо захоплюють суміжні біогеоценози або частини біогеоценотичного покриву. При цьому біогеоценози можуть виконувати функції біогеохімічних бар'єрів, коли біотичні, біокосні, біогенні та косні їхні складові затримують рух хімічних елементів чи «просіюють» їх за рахунок своєї вибіркової здатності до поглинання та концентрування. В цьому є специфічні прояви міжбіогеоценотичних зв'язків.

Стереометрична концепція розвиває погляди на біогеоценози як особливі природні тіла невизначеної просторової форми та об'єму, що складають біогеоценотичний покрив і мають складні підземну та надземну топографічні поверхні. Елементи та компоненти біогеоценозів мають об'ємний просторовий характер і вкладені в них у невизначено великих чисельностях, об'ємах і формах. Від ультрамікроскопічних, різноманітних форм молекул вірусів до мегарозмірів (у метрах і десятках метрів) усі компоненти та елементи біогеоценозів, як просторові тіла, в своїй множинності якісно та кількісно окреслені. Біогеоценотичний покрив регіонально та зонально хаотично організований біоценозами різних форм, об'ємів і розмірностей. Уся біосфера, як природне тіло, обволікає планету у великому різноманітті тіл, якими є біогеоценози. Форми, об'єми і розміри тіл, які входять у склад біогеоценозів і самих біогеоценозів є адаптивно вивіреними та екологічно доцільними для забезпечення їхнього стабільного існування, функціонування та розвитку. В межах цієї концепції парцели розглядаються як об'ємні, просторові виділи біогеоценозів, а екотонотопи – як парцели, що їх обплямовують (Shanda L., 2006). Суттєво важливим є встановлення просторової конфігурації та орієнтації тіла біогеоценозу за частинами світу.

Геологічну концепцію ми розглядаємо як таку, становлення якої пов'язане з виявленням та осмисленням впливу гірських, материнських, підстилаючих, ґрунтоутворюючих порід, гідрологічних умов (зокрема глибинних) і залягання та хімізму ґрунтових вод на біогеоценози.

Біогеографічна концепція є основою географічної біогеоценології. Вона об'єднує уявлення про поширення біогеоценозів, їхній розподіл у просторі, розмежування на поверхні Землі окремих виділів біогеоценотичного покриву та їхню структуру на фоні різних фізико-географічних умов планети.

Геоморфологічна концепція розвиває та поєднує уявлення про геоморфологічні залежності біогеоценозів, зокрема впливів форм і особливостей рельєфу на склад, будову, функціонування, розвиток, лінійні розміри, протяжність біогеоценозів, їхнє розміщення, планіметричні проекції, орієнтацію за частинами світу, положення щодо сонячного освітлення, включаючи експозицію та крутизну схилів.

Генетична концепція біогеоценології поєднує погляди на біогеоценози як арени первинних еволюційних перетворень (Schmalhausen, 1969), мікроеволюційних явищ і процесів у популяціях організмів усіх царств живої природи з відповідними проявами

мутацій, генетичним дрейфом, змінами частот генотипів і селекційної цінності алелів, явищ трансгенезу (трансформації, трансдукції тощо) на фоні ценотичних умов. Внутрішньо і міжбіогеоценотичні зв'язки, явища біотичної природи можуть діяти як мутагени, чинники фенкопій, морфозів і адаптивних модифікацій. Генетична концепція започаткована в працях багатьох вчених, потребує подальшої теоретизації та практичних досліджень на створення доказової бази для поєднання з сучасною синтетичною теорією еволюції як на основі тихо-, так і номогенезу.

Адаптаціогенезна концепція захоплює не тільки осмислення біогеоценозів як полів пристосувальних змін організмів (адаптаціоморфозів, за І. І. Шмальгаузен (Schmalhausen 1969)), але визначає біогеоценози як об'єкти системних пристосувальних явищ і процесів (адаптобіогеоценогенезу), спрямованих на забезпечення стійкості біогеоценозів завдяки взаємному корегуванню змін складу, будови, зв'язків при їхніх внутрішньо- та міжбіогеоценотичних проявах. Ця концепція спрямована на зв'язки з сучасною синтетичною теорією еволюції.

Еволюційна концепція включає два напрями теоретичного осмислення розвитку біогеоценозів у часі: 1) неогенезисний, стосовно сучасного, колишнього (до сотень і тисяч років) і прогнозованого майбутнього станів біогеоценозів у їхніх змінах; 2) палеогенезисний (філоценогенезисний) в ретроспективі мільйонів років на основі геохронологічних, палеобіологічних, здебільшого недостатньо інформативних даних, які можна поповнювати та поєднувати при екстраполяції осяжних минулих і сучасних описів.

Експериментальна біогеоценологія є пізнавальним напрямом, щодо з'ясування суті тих або інших явищ і процесів при організації, створенні, реалізації контрольованих і керованих умов з різноманітними змінами в біоценозах, біокосних, біогенних і косних тілах. У широких загально-біологічному та біогеоценологічному планах експериментальна біогеоценологія включає осмислення: 1) різномасштабних природних перебудов у біогеоценотичному покриві при аномаліях клімату, природних катастрофах тощо, а також при еволюції ландшафтів, організмів і при нестримному поширенні організмів у наслідок розтікання живої речовини за В. І. Вернадським (Vernadsky, 1926) або нашеств'я, навал організмів за Ч. Елтоном (Elton, 1965), включаючи рослини, тварини, гриби, бактерії, віруси; 2) інтродукції організмів, тобто перенесенні їх людиною з місць природного існування в нові середовища (біогеоценози).

Експериментальна біогеоценологія має також розглядатися як конструктивна, що забезпечує створення та використання культур біогеоценозів і агробіогеоценозів у різних їхніх варіантах, які сутісні для виробництва рослинної продукції, фітосанації, фітомеліорації, задоволення естетичних потреб і духовного розвитку людей. Теорія та практика втручання людини в біогеоценози має історичні корені та неосяжні перспективи.

Ідеї кібернетичної концепції біогеоценології розвивав І. І. Шмальгаузен (Schmalhausen, 1922). О. М. Колмогоров (Kolmogorov, 1959) визначав кібернетику, як науку про системи будь-якої природи, здатних сприймати, зберігати, переробляти інформацію і використовувати її для управління та регуляції. Кібернетична концепція визначається розумінням біогеоценозів як складних кібернетичних систем, яким властиві: 1) певна автономність і взаємодії з іншими; 2) невизначені в своїй суті, чисельності, ієрархічності множини великого різноманіття, з якісними та кількісними відмінностями елементів, компонентів, явищ, процесів і зв'язків між ними; 3) різномасштабна просторово-часова динамічність, різні перешкодостійкість і саморегулювання на багатозумовлених засадах при збурюючих впливах; 4) гомеостатичність. Організованість біогеоценозів суцільно покривається ланцюгами та сітями взаємообумовленого існування. Ланцюги та сіті характеризуються різними рівнями мас-енергетичних, інформаційних ємностей своїх ланок. Кібернетична концепція може бути виражена в блок-схемах кожного типу зв'язків, явищ і процесів.

Концепції біогеоценології, наведені в першому наближенні, можуть бути уточнені, розширені, інтегровані в її методології. В межах і між концепціями

доцільно і довільно можуть бути окреслені широкі кола теоретичних проблем і напрямів пошукових теоретичних, практичних і прикладних досліджень.

З позицій філософської та загальнонаукової методології в біогеоценології, відповідно уявленням В. І. Вернадського (Vernadsky, 1926) про склад біосфери, можна виділити узагальнюючі теоретичні проблеми, стосовно складаючих біогеоценоз тіл (або компонентів): теорію біотичного тіла (біоценозу), як аналога живої речовини, теорію біокосних тіл (атмосфери, ґрунту), теорію біогенних тіл (палео- та необіогенного), теорію косного тіла (підстилаючої материнської породи) в межах її використання та змін живими організмами. Супідрядними у межах кожної теорії є теорії складу, будови, зв'язків, функціонування, розвитку, еволюції. Найбільш передбачуваною і певною мірою опрацьованою є теорія біогеоценозу. Її проблематика окреслена нами у визначеннях функцій біогеоценозу, концепцій біогеоценології та може бути доповнена різноспрямовано. Вона може першочергово розглядатися в її сутнісному (щодо складу), функціональному та динамічному аспектах.

В розвитку теорії та практичних досліджень біогеоценології можуть бути наведені різномасштабні проблеми різної досяжності та можливостей розв'язання, включаючи ті, що ставляться під сумнів на рівні сучасного мислення. Таким є далеко неповний реєстр проблем, сповнений розбіжностей і різнобою внаслідок несумісностей в об'ємах і напрямках. В межах подібних реєстрів вибірково можна виділити такі проблеми: 1) сучасний, ретро- і перспективний (прогнозний) аналіз стану і розвитку біогеоценозів; 2) створення та ускладнення типологічних періодичних систем у теоріях складу, будови, функціонування, розвитку біогеоценозів за зразками типологічних періодичних систем парцел (Shanda L., 2006) та екологічних ніш (Shanda V., 2013), в тому числі для уточнення їхньої інформаційної ємності; 3) виділення в біогеоценотичному покриві при гейтено- та гологенезі сукцесійних розчленованих систем, тобто груп біогеоценозів, які знаходяться на різних фазах і стадіях сукцесій; 4) з'ясування та уточнення організаційної та функціональної значущості компонентів і елементів біогеоценозу щодо їхнього внеску в реалізацію його функцій як системи з різними рівнями цілісності і сумативності; 5) осмислення взаємодій між тілами та в межах тіл, складаючих біогеоценоз; 6) деталізацію трофічних ланцюгів (пасовищного, детритного та комбінованого типів) та їхніми кількісними та мас-енергетичними показниками; 7) побудову різних варіантів гіпотетичних схем біогеоценозів у минулі та сучасну геологічні епохи; 8) організованість біогеоценозів у межах кожного царства живої природи, що його складають; 9) кількісні характеристики функцій біогеоценозу та його складових; 10) визначення параметрів екологічних ніш біологічних видів у статичній та динамічній; 11) з'ясування мас-енергетичної, кількісної та інформаційної ємностей біогеоценозів на різних стадіях їхнього розвитку та в зональних і локальних виділах біогеоценотичного покриву взагалі; 12) математичне, кібернетичне та предметне моделювання явищ і процесів біогеоценозу; 13) парцелярний аналіз біогеоценозів; 14) біогеоценотичну зумовленість мікроеволюційних явищ і процесів; 15) осмислення парцел як ініціалей перетворень в ретро- та перспективах біогеоценозів; 16) дослідження парцел як факторів ценохорії; 17) сукцесійний аналіз біогеоценотичного покриву з визначенням фаз і стадій сукцесій; 18) порівняння екоморфічної ємності найбільш поширених родин квіткових рослин для ретроспективного аналізу біогеоценозів і перспективного прогнозування; 19) розробку, апробацію та реалізацію експериментальних сукцесій для оптимізації біогеоценозів і всього біогеоценотичного покриву; 20) створення біогеоценологічної інформатики з використанням ЕОМ.

Поставлені проблеми є з передбачуваними та непередбачуваними наслідками їхнього різноступеневого розв'язання.

Загалом, проблематика біогеоценології далеко неповно покриває усі поля її теоретичних пошуків і практичних досліджень у осяжних і неосяжних сучасних

станах, ретро- і перспективах. Концепції та проблеми біогеоценології, визначені в першому наближенні, дозволяють її диференціювати на: 1) теоретичну та математичну, що опрацьовує теорію, методологію, математичне та кібернетичне моделювання; 2) загальну (факторіальну, трофоенергетичну, біотехнологічну, біогеографічну, еволюційну тощо); 3) спеціальну (стосовно зональних та інтразональних типів біогеоценозів).

ВИСНОВКИ

1. Біогеоценологія, як наука, знаходиться в стадії розбудови, диференціювання, поглиблення методології та теоретичного бачення.

2. Висвітлені концепції та проблеми ілюструють, у першому наближенні, складність біогеоценології.

3. Біогеоценози, як елементарні структурно-функціональні одиниці біосфери, специфічно копіюють функції живої речовини за В. І. Вернадським.

4. Біогеоценози є складними кібернетичними системами за І. І. Шмальгаузенем з властивими їм мережами зв'язків багатозумовленого взаємодіювання, регулювання та забезпечення адаптацій, мікроеволюційних явищ і процесів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

Belgard, A. L., 1971. Stepnoe lesovedenie [Steppe forest science], Forest industry, Moscow (in Russian).

Elton, Ch., 1960. Ekologiya nashestviy zhivotnykh i rasteniy [Ecology of Invasions by Animals and Plants], Moscow, (in Russian).

Haylov, K. M., 1963. Problema sistemnoy organizovanosti v teoreticheskoy biologii [The problem of the system is organized in theoretical biology], General biology, 5, 324–343 (in Russian).

Holubets, M. A., 2000. Ekosystemolohiya [Ecosystemology], Polly, Lviv (in Ukrainian).

Kolmogorov, A. N., 1950. Predislovie k knize U. R. Eshbi «Vvedenie v kibernetiku» [Foreword to the book W. R. Ashby "Introduction to Cybernetics"], Scientific liter., Moscow, 6–8 (in Russian).

Mirkin, B. M., 1983. Tolkovyy slovar sovremennoy fitotsenologii [Modern explanatory dictionary of phytocoenology], Nauka, Moscow, (in Russian).

Nomokonov, L. I., 1989. Obshchaya biogeotsenologiya [General biogeocoenology], RSU, Rostov (in Russian).

Odum, Y., 1986. Ekologiya [Ecology], Myr, Moscow (in Russian).

Perelman, A. I., 1989. Neohymyya [Geochemistry], Moscow (in Russian).

Rabotnov, T. A., 1976. O biogeotsenozakh [About biogeocoenosis], Byull. MOYP otd. byol., 2, 21–30 (in Russian).

Ross Eshby, U., 1950. Vvedenie v

kibernetiku [Introduction to Computer Science], Nauch. lyt-ra, Moscow (in Russian).

Sadovskyy, V. N., 1974. Osnovaniya obshchey teorii sistem [Foundations of general systems theory], Nauka, Moscow (in Russian).

Schmalhausen, I. I., 1969. Kiberneticheskie voprosy biologii [Cybernetic biology questions], Nauka, Novosibirsk, (in Russian).

Schmalhausen, I. I., 1969. Problemy darvinizma [Problems of Darwinism], Nauka, Leningrad (in Russian).

Shanda, L. V., 2006. Aspekti teorii stepovogo lisoznavstva: biogeotsenotichni partseli ta ikh periodichna ekotopichna sistema [Aspects of the theory of steppe forestry: biogeotsenotichni and parcels of the periodic system of ecotopes], Gruntoznavstvo, 7, 3–4, 84–91 (in Ukrainian).

Shanda, V. I., 2013. Theoretical Problems of Ecology and biogeocoenology [Theoretical Problems of Ecology and biogeocoenology], Kriviy Rig, (in Ukrainian).

Sukachev, V. N., 1972. Izbrannyye trudy: v 3 tomakh [Selected works: in 3 volumes], Nauka, Leningrad, 1 (in Russian).

Travleyev, A. P., 1973. Opyt detalizatsii strukturnykh komponentov lesnogo biogeotsenozu v stepi [Experience in detail the structural components of the forest steppe biogeocoenosis], Voprosy stepnogo lesovedeniya, Dnepropetrovsk, 4, 6–18 (in Russian).

Vernadsky, V. I., 1926. Biosfera [Biosphere], Hoshymydat, Leningrad (in Russian).

Стаття надійшла в редакцію: 20.01.2015

Рекомендує до друку: д-р біол. наук, проф. Н. А. Білова

BIOGEOCENOLOGY, GEOBOTANY AND PHYTOCENOLOGY



I. O. Zaitseva 
M. M. Povorotnaya

Dr. Sci. (Biol.), Professor

UDK 581.57+58.087

*O. Honchar Dnipropetrovsk National University,
Gagarin ave, 72, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010*

QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE FUNCTIONAL CONNECTION BETWEEN WATER CONTENT AND HYDROTHERMAL FACTORS OF REPRESENTATIVES OF ACER L. GENERIC COMPLEXES INTRODUCED INTO STEPPE ZONE

Abstract. The paper deals with the opportunities of using the analytical approach in order to solve the task of quantitative assessment of the leaves' water content dependence on temperature and amount of precipitation by the example of ornamental tree and shrub plants – representatives of *Acer* L. generic complexes introduced into Steppe Pridneprovye.

In the drought conditions of steppe zone, the urgent problem in growing of valuable tree and shrub plants is the determination of the required amount of water for irrigation. This value depends on the degree of hydrophilicity of one or another species and on weather conditions throughout the period of vegetation, in particular, on the temperature conditions and amount of precipitation. As a criterion of functional state of plants in the conditions of hydrothermal stress, index of total water content in leaves is used in our work. At the same time, plants of various ecological groups feature the specific level of water content in leaves in optimal conditions of moistening; the higher level is observed for hydrophilic plants, and lower one for drought-resistant plants.

During the investigations long-term and deep droughts were observed in the vegetation period. Data of average air temperature (t_i) and amount of precipitation per ten-day periods (W_i) were used for our analysis. For the mathematical modeling of the effect of these factors on the value of water content in leaves Θ the equation in the form of quadratic function has been developed which described the existing relationship between the parameters studied $\Theta = LW/t$; it also included the ratios reflecting structural and functional peculiarities of plant species under study. Calculated numerical values of a , b and L ratios quantitatively characterize the specificity of species' response to drought and agree well with the data on field resistance of studied species in the steppe zone.

Further studying of extreme point of the function i.e. value of the least amount of water required for life-sustaining activity of various plants, was carried out through partial derivative of the function $\Theta = f(W; t)$ on the temperature, equating it to zero. From the obtained equation $\Theta = LW/t + at - b\sqrt{W}$ have found the expression for calculation of the amount of water required to maintain the minimal water content in leaves for ten-day period, sufficient for the normal life-sustaining activity of plants, at the definite values of precipitation and temperature during the vegetation period: $W_{extr.} = at^2 / L$.

 Tel.: +38097-437-02-76. E-mail: irinza_ldfr@mail.ru

DOI: 10.15421/031503

ISSN 1726-1112. Ecology and noospherology. 2015. Vol. 26, no. 1–2

25

Therefore, criterion $W_{extr.}$ determines the low limit of homeostasis of plant tissues of the definite plant species in various temperature conditions. High values of $W_{extr.}$ at optimal temperatures were obtained for species with low resistance to drought such as *A. trautvetteri* (49,1 mm), *A. ginnala* (47,2 mm). Low values of $W_{extr.}$ obtained for *A. pseudoplatanus* (11,4 mm), *A. monspessulanum* (17,4 mm) in the conditions of drought and excess temperatures, evidence resistance of these plants in the steppe zone. In extreme temperature conditions, index $W_{extr.}$ reaches 80–100 mm of moisture per ten-day period in the species with the lowest resistance.

The offered criterion $W_{extr.}$, as an index of functional dependence of water content in leaves on the temperature and amount of precipitation, can be used for predicting the resistance of plants and determination of the required irrigation regime in specific weather conditions of the vegetation period.

Key words: moisture regime, drought resistance, hydrothermal factors, nonlinear regression, mathematical modeling, introduced plants.

УДК 581.57+58.087

И. А. Зайцева
М. Н. Поворотная

д-р биол. наук, проф.

*Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара,
пр. Гагарина, 72, г. Днепропетровск, Украина, 49010,
тел.: +38097-437-02-76, e-mail: irinza_ldfr@mail.ru*

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ВОДНЫЙ ОБМЕН ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ РОДА ACER L. В УСЛОВИЯХ СТЕПНОЙ ЗОНЫ

Аннотация. Рассмотрены возможности использования аналитического подхода в решении задачи количественной оценки зависимости оводненности листьев от температуры и количества осадков на примере интродуцированных в Степное Приднпровье древесных растений рода *Acer* L. Получены значения показателя $W_{экстр.}$ – количества осадков (мм), необходимого для нормального функционирования видов древесно-кустарниковых растений в условиях температурного режима вегетационного периода. Установлена связь рассчитанных критериев с засухоустойчивостью растений, что позволяет прогнозировать реакцию интродуцентов на стрессовые условия произрастания.

Ключевые слова: водный режим, засухоустойчивость, гидротермические факторы, нелинейная регрессия, древесные интродуценты, степная зона.

УДК 581.57+58.087

І. О. Зайцева
М. М. Поворотня

д-р біол. наук, проф.

*Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара,
пр. Гагаріна, 72, м. Дніпропетровськ, Україна, 49010,
тел.: +38097-437-02-76, e-mail: irinza_ldfr@mail.ru*

КІЛЬКІСНА ОЦІНКА ВПЛИВУ ГІДРОТЕРМІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ВОДНИЙ ОБМІН ДЕРЕВНИХ РОСЛИН РОДУ ACER L. В УМОВАХ СТЕПОВОЇ ЗОНИ

Анотація. Розглянуто можливості використання аналітичного підходу у вирішенні задач кількісної оцінки залежності оводненості листя від температури і суми опадів на прикладі інтродукованих у Степове Придніпров'я деревних рослин роду *Acer* L. Розраховано значення показника $W_{екстр.}$ – кількості вологи (мм), необхідної для нормального функціонування окремих видів деревно-чагарникових рослин в умовах певного температурного режиму вегетаційного періоду. Встановлено зв'язок розрахованих критеріїв з посухостійкістю рослин, що дозволяє прогнозувати реакцію інтродуцентів на стресові умови зростання.

Ключові слова: водний режим, посухостійкість, гідротермічні фактори, нелінійна регресія, деревні інтродуценти, степова зона.

ВСТУП

Грунтово-кліматичні умови степової зони призводять до формування особливих за своєю структурою та біоекології рослинних угруповань, серед яких переважають ксерофільні трав'янисті рослини. Лісова рослинність знаходиться у певній географічній невідповідності до екологічних умов типових для степової зони плакорних місцезростань, крім окремих інтразональних едафотопів зі своїми мікрокліматичними і едафічними особливостями (Belgard, 1950). Створення штучних деревних насаджень у степовій зоні стикається з певними складностями, серед яких виділяється проблема найбільш оптимального видового і формового складу деревних і чагарникових порід, поглибленого вивчення біологічних та екологічних властивостей рослин, взаємовпливу абіотичних та фітоценотичних факторів на стійкість рослин (Visotski, 1983).

З метою створення довговічних і продуктивних штучних насаджень у степовій зоні, окрім аборигенних видів залучаються деякі інтродуковані породи з інших природних ареалів, які за своїми екологічними вимогами не завжди відповідають ґрунтово-кліматичним умовам району інтродукції (Lo Gullo et al., 2003; Rossi L. et al., 2013). У великих штучних лісових масивах поряд з місцевими породами використовуються й інтродуковані, такі як *Robinia pseudoacacia* L., *Caragana arborescens* Lam., *Fraxinus lanceolata* Borkh., *Gleditsia triacanthos* L., *Juniperus virginiana* L., *Pinus pallasiana* D. Don. Важливу роль в таких насадженнях відіграють види кленів, серед яких найбільш поширені *A. platanoides* L., *A. pseudoplatanus* L., *A. campestre* L., *A. tataricum* L. Рід *Acer* L. характеризується великим видовим і формовим різноманіттям та широкою екологічною амплітудою (Kohn, 1968, 1982), проте більшість кленів у районах природного зростання приурочені до умов помірного та досить вологого клімату, тобто мають мезофітні властивості, і в районі інтродукції характеризуються різним ступенем посухостійкості (Zaitseva, 2004). Тому необхідне визначення перспективності залучення в культуру в умовах степу деревних порід з відповідним екологічним потенціалом.

У зв'язку з чим важливого значення у степовій зоні набуває проблема вивчення посухостійкості рослин, що є видоспецифічною властивістю, а також можливостей прогнозування стану рослин за певних температурних умов і зволоження. Як зазначає О. Л. Бельгард, водний і термічний режим деревних і чагарникових порід у степу є провідним питанням серед фізіологічних проблем степового лісознавства (Belgard, 1971), у зв'язку з чим очевидна актуальність вивчення стійкості та адаптації деревних рослин до несприятливих гідротермічних умов степової зони.

Актуальною проблемою стійкості рослин культурфітоценозів у степовій зоні України є необхідність достатнього для життєдіяльності рослин водопостачання. Ця величина визначається ступенем вологолюбності рослин та погодними умовами під час вегетації. Тому прогностичні оцінки необхідної кількості вологи в залежності від температури і умов зволоження вегетаційного періоду є важливою складовою підтримання життєздатності рослин у посушливих умовах. Як критерій функціонального стану рослин за умов гідротермічного стресу може бути використаний показник оводненості тканин листя. Багатьма дослідниками загальна оводненість тканин використовується як важливий показник водообміну, з яким пов'язані інші фізіологічні процеси та біохімічні реакції рослинних клітин (Díaz-Barradas et al., 2010; Gieger T. et al, 2002). Відомо (Genkel, 1982; Shmatko et al, 1989), що цей показник досить лабільний і варіює у широких межах в залежності від умов вологозабезпеченості, освітлення, температури того середовища, яке формується у місці зростання рослини. В той же час, за оптимального вологозабезпечення для різних за екологічними властивостями рослин притаманний свій певний рівень оводненості, що забезпечує гомеостаз організму.

Метою роботи було визначення найбільш перспективних інтродуцентів роду *Acer* L., оцінка впливу гідротермічних факторів на стан оводненості тканин та розробка

методики кількісного прогнозу потреби у воді видів кленів, які різняться за стійкістю до водного стресу. Особливої актуальності набувають такі дослідження у районах степової зони України з посушливими, часто стресовими умовами під час вегетації.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єктами досліджень були дев'ять видів роду *Acer* L., інтродукованих у ботанічному саду Дніпропетровського національного університету ім. Олеся Гончара. Досліджувані види належать до секцій *Platanoides* Pax (*A. platanoides* L., *A. campestre* L.), *Gemmata* Pojark. (*A. pseudoplatanus* L.), *Trilobata* Pojark. (*A. ginnala* Maxim., *A. semenovii* Rgl. et Herd., *A. tataricum* L.), *Goniocarpa* Pojark. (*A. monspessulanum* L.), *Rubra* Pax. (*A. saccharinum* L.), *Negundo* (Boehm.) Pax (*A. negundo* L.), походять із різних ботаніко-географічних областей і характеризуються різним ступенем стійкості до посушливих умов Степового Придніпров'я.

Вміст води у тканинах листя визначали за загальноприйнятим методом в динаміці протягом вегетаційного періоду. Проби відбирали подекадно, з травня по вересень. Дослідні рослини на секторах ботанічного саду знаходилися в умовах природного водопостачання і не поливалися. Польову оцінку ступеня посухостійкості проводили методом візуальних спостережень за 5-бальною шкалою, використовуючи оригінальні розробки автора для даних об'єктів (Zaitseva, 2007). Обстеження проводили тричі, з липня по вересень, по мірі розвитку глибокої тривалої посухи. Враховували такі показники, як ступінь тургесцентності листя, наявність опіків та некротів, пожовтіння і висихання листя, зменшення листкової поверхні (літній листопад).

Погодні умови вегетаційного періоду характеризувалися підвищеною напруженістю гідротермічних факторів – середньомісячні температури перевищували багаторічні дані у травні і серпні на 2,2 °C, вересні – на 2,5 °C, а сума опадів протягом всієї вегетації, за винятком червня, була значно нижчою за норму і становила у квітні, травні, липні та серпні 53, 33, 97 і 87 відсотків до норми. У вересні опади були практично відсутні (0,7 мм за місяць). Впродовж вегетаційного періоду, у травні та серпні, спостерігалися два періоди глибокої тривалої посухи, які представлені на кліматограмі (рис. 1).

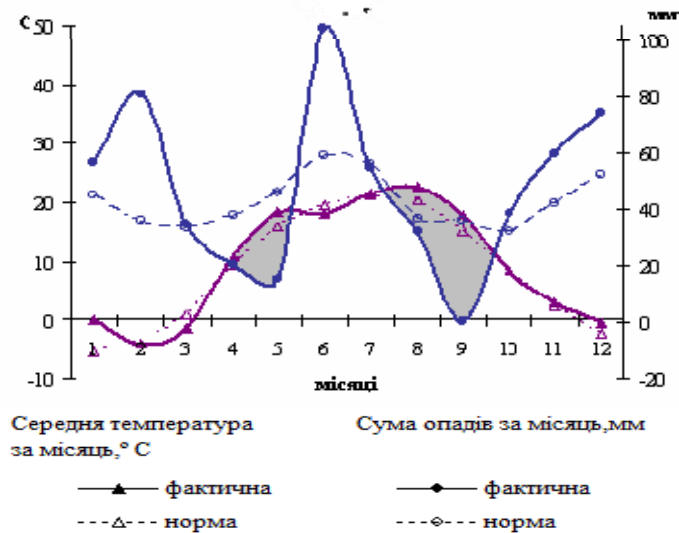


Рис. 1. Кліматограма погодних умов у період досліджень

Для математичного аналізу використовували дані по декадам, які передували кожному відбору проб – середню температуру повітря (t_i) та кількість опадів за декаду (W_i) (табл. 1).

Таблиця 1

Кліматичні показники за період досліджень

Місяць	Температура, °C				Сума опадів, мм			
	декада			за місяць	декада			за місяць
	1	2	3		1	2	3	
квітень	8,1	13,0	11,6	10,9	0,0	19,2	1,2	20,4
	7,7	9,0	11,6	9,4	10	15	13	38
травень	13,5	17,0	24,1	18,2	14,8	0,5	0,1	15,4
	14,2	16,6	17,3	16,0	13	17	16	46
червень	18,6	17,9	17,5	18,0	29,0	66,1	8,8	103,9
	19,1	19,1	20,6	19,6	14	27	18	5
липень	19,3	21,4	23,6	21,4	36,9	6,4	11,4	54,7
	20,8	21,7	21,3	21,3	21	17	18	56
серпень	24,8	22,1	21,5	22,8	0,1	27,6	4,6	32,3
	21,6	20,9	19,3	20,6	9,0	13,0	15,0	37
вересень	17,9	19,1	16,6	17,8	0,0	0,7	0,0	0,7
	17,6	15,2	13,0	15,3	15	10	12	37

Примітка: у чисельнику – фактичні значення середньодекадної температури та суми опадів за декаду; у знаменнику – середньобогаторічні дані (норма).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Аналіз процесу інтродукції кленів у ботанічному саду ДНУ показав (Zaitseva, Dolgova, 2010), що на початку формування дендрологічної колекції, у середині минулого сторіччя, в колекції нараховувалося 15 видів і 5 форм кленів. Відбувалося поступове зменшення кількості екземплярів і таксонів. Найменш стійкими виявилися види *A. betulifolium* Max., *A. mono* L., *A. palmatum* Thunb., *A. rubrum* L., *A. saccharum* March., які були висаджені в 3–5 екз. (*A. rubrum* – 11 екз.) і випали з колекції впродовж 20–25-ти років після посадки. Низьку стійкість в районі інтродукції показали також *A. ginnala* Max. і *A. trautvetteri* Medw., кількість екземплярів яких зменшилася в 5 разів у перший період культивування і становила відповідно 5 і 1 екз. Кількість екземплярів *A. ginnala* надалі знижується, і на теперішній час із старих посадок зберіглося тільки по одному дереву *A. ginnala* і *A. trautvetteri*, що свідчить про недостатню їх стійкість в районі інтродукції.

Природні ареали усіх цих видів знаходяться в регіонах з підвищеною вологістю клімату – коефіцієнт зволоженості в Японії становить 5,8–6,3, на Далекому Сході – 3,8–4,1, на Кавказі – 3,5–4,8, в Атлантичному регіоні Північної Америки – 1,0–1,5, що помітно перевищує цей показник для Степового Придніпров'я (0,8). Мінімальні температури в окремих районах природного зростання найменш стійких видів дорівнюють або перевищують цей показник для Степового Придніпров'я. Незважаючи на те, що клени з цих районів пристосовані до низьких зимових температур, вони показали незадовільний результат при інтродукції. Малостійкими виявилися і всі декоративні форми кленів з Атлантичного регіону Північної Америки.

Зниження кількості екземплярів середземноморського виду *A. monspessulanum*, середньоазійського виду *A. semenovii* та далекосхідного виду *A. ginnala* може бути наслідком несприятливого розташування в щільних насадженнях у затінку на секторах дендрарію ботанічного саду, так як ці види на відміну від інших видів роду являються світлолюбними.

За останні роки повторно інтродуковані *A. mono* і *A. palmatum*. Колекція поповнилася новими видами кленів: *A. laetum* C.A.Mey., *A. velutinum* Bois. і *A. ibericum* Bieb. (Кавказ) *A. mandshuricum* Maxim. (Далекий Схід), *A. cissifolium* K. Koch. (Японія), *A. hersii* Rehd. (Центр. Китай), які можуть бути недостатньо стійкими у Степовому Придніпров'ї, зважаючи на результати аналізу динаміки складу колекції роду *Acer* L. в ботанічному саду ДНУ.

Таким чином, попередні оцінки екологічного потенціалу видів, що залучаються в колекцію, за критеріями ботаніко-географічного походження та еокліматичної відповідності, дають важливу інформацію щодо прогнозування успішності

інтродукційних випробувань видів роду *Acer L.* в посушливих умовах степової зони, проте являються недостатніми для точного кількісного прогнозу стану рослин при дії певних гідротермічних факторів вегетаційного періоду в даному районі інтродукції. З цією метою нами запропоновано математичну модель, яка описує взаємозв'язок оводненості тканин листя та погодних факторів температури і зволоженості, і базується на експериментальних даних динаміки вмісту води у листках досліджуваних видів впродовж вегетаційного періоду.

Поставлене завдання ускладнюється тим, що значення температури повітря (t , °C) і кількості опадів (W , мм) під час спостережень в умовах польового досліджу змінювалися випадково. Ці обставини обмежують застосування звичайних емпірико-статистичних методів для оцінки впливу t і W внаслідок таких причин, як різна спрямованість впливу одного з факторів на коефіцієнт кореляції з іншим фактором; неможливість проведення двохфакторного експерименту у контрольованих модельних дослідках з деревно-чагарниковими рослинами; неоднозначність рішень при регресійному аналізі, для чого виникає необхідність графічної інтерпретації функції двох змінних у трьохмірному просторі.

У зв'язку з цим найбільш доцільним виявляється інший шлях вирішення задачі, який використовується в математичному аналізі біосистем (Kutlakhmedov, 1985) – евристично розробити рівняння, яке буде відображати існуючий взаємозв'язок вивчаємих параметрів. Пошук такого рішення, його реалізація і зіставлення отриманих результатів з показниками стійкості рослин представлені в даній роботі.

Оводненість листя визначається головними факторами: екзогенними – температурою повітря t і кількістю опадів W та ендогенними – структурно-функціональними особливостями листка в онтогенезі. Функціональний зв'язок між оводненістю тканин Θ та цими факторами може бути представлений за аналогією до рівняння стану для газів $P = RT/V$, як функція двох змінних:

$$\Theta = f(t; W) \quad (1)$$

$$\Theta = LW/t, \quad (2)$$

де Θ – оводненість листя, %, яка пропорційна W і обернено пропорційна t ; W – кількість опадів, мм; t – температура повітря, °C; L – коефіцієнт пропорційності.

Для більш точного описання реального стану оводненості тканин, необхідно ввести коефіцієнти, які відображають біологічні (структурно-функціональні) особливості досліджуваних видів рослин, використовуючи для цього аналогію поправок і доповнень у рівнянні Ван-дер-Ваальса по відношенню до вихідного рівняння стану газів. В результаті з рівняння (2) отримуємо:

$$\Theta = LW/t + at - b\sqrt{W}. \quad (3)$$

Коефіцієнт a відбиває специфічні для кожного виду структурно-фізіологічні особливості, які лежать в основі механізмів адаптації до водно-температурного стресу, і проявляються у ознаках ксероморфності листя, інтенсивності транспірації, ступеню жаростійкості листя, інтенсивності ланок метаболізму, компартментації води у клітинах, осмотичних властивостей протопласту клітин. Коефіцієнт a перш за все пов'язаний з температурним фактором і здійснює найбільш помітний вплив на величину оводненості тканин, що відображається у вигляді добутку at у рівнянні (3).

Коефіцієнт b відбиває ті механізми структурно-функціональної організації тканин, які забезпечують певний, найбільш оптимальний для кожного виду рівень оводненості за умов достатнього або навіть надлишкового водопостачання. В якості таких механізмів можна, наприклад, розглядати обмеження швидкого апопластного радіального транспорту води поясами Каспарі на рівні ендодерми кореня, або регулювання енергозалежних процесів формування осмотичного градієнту у тканинах і органах рослин. Коефіцієнт b пов'язаний переважно з опадами і меншою мірою впливає на величину оводненості, порівняно з коефіцієнтом a , що відображається у вигляді добутку $b\sqrt{W}$ з від'ємним знаком.

Після перетворень отримуємо квадратичну функцію

$$\frac{\Theta t}{W} = L + \frac{at^2}{W} - \frac{bt}{W^{1/2}}, \quad (4),$$

що аналогічна рівнянню

$$y_i = ax_i^2 - bx_i + L. \quad (5)$$

Таким чином, залежність змінних t , W і Θ можна виразити у вигляді квадратичної функції узагальнених змінних y_i , до якої включені t , W , Θ , та змінної x_i , до якої включені t , W :

$$x_i = \frac{t_i}{W_i^{1/2}} \text{ и } y_i = \frac{\Theta_i t_i}{W_i}. \quad (6)$$

Використовуючи експериментальні дані з оводненості листя Θ_i по кожному відбору проб, розраховували узагальнені змінні y_i і x_i . Отримали парні значення y_i і x_i для кожного виду, відповідно до кількості відборів проб. Розташували їх у порядку зростання значень x_i , отримали криві, які добре описуються квадратичною залежністю. Криві апроксимували квадратичною функцією ($R^2=0,92-1,00$). В результаті апроксимації отримали числові значення коефіцієнтів a , b та L (табл. 2). Особливо слід відмітити, що для всіх досліджуваних видів були отримані від'ємні значення коефіцієнта b , що підтверджує наше припущення про механізми обмеження надходження води при надлишковому зволоженні.

Таблиця 2

Значення $W_{екстр.}$ при різних температурах та ступінь посухостійкості рослин кленів

Вид	Коефіцієнти квадратичної регресії узагальнених змінних y_i і x_i			$W_{екстр.}$ мм за декаду		Посухо-стійкість, бали
	L	a	b	$t = 19,6^\circ\text{C}$	$t = 24,8^\circ\text{C}$	
<i>A. platanoides</i>	0,3661	0,0354	-0,124	37,1	59,4	4
<i>A. pseudoplatanus</i>	1,8482	0,0548	-0,511	11,3	18,2	5
<i>A. campestre</i>	0,6686	0,0382	-0,184	21,9	35,1	5
<i>A. tataricum</i>	0,4128	0,0330	-0,128	30,7	49,1	5
<i>A. semenovii</i>	0,6230	0,0393	-0,195	24,2	38,8	5
<i>A. ginnala</i>	0,2937	0,0361	-0,0981	47,2	75,6	3
<i>A. monspessulanum</i>	0,9900	0,0449	-0,279	17,4	27,9	5
<i>A. trautvetteri</i>	0,3379	0,0432	-0,125	49,1	78,6	3
<i>A. saccharinum</i>	0,4662	0,0340	-0,117	28,0	44,8	4
<i>A. negundo</i>	1,3887	0,0517	-0,3689	14,3	22,9	5

Коефіцієнти a , b та L кількісно характеризують видову специфічність реакції рослин на посуху, що дає можливість провести порівняльний аналіз адаптивних властивостей рослин, різних за стійкістю до водно-термічного стресу. В цілому коефіцієнти добре узгоджуються з результатами проведених нами раніше досліджень з оцінки водообмінних процесів та стійкості рослин (Zaitseva, 2004, 2006, 2006a). Було проведене подальше вивчення отриманої функціональної залежності, а саме вивчалися точки екстремуму функції, тобто величини найменшої оводненості, достатньої для нормального функціонування того чи іншого виду рослини. При фіксованій величині W оводненість тканин досягає свого мінімуму у точці $t_{екстр.}$

Дослідження точки екстемуму проводили з використанням рівняння (4) через частну похідну функції $\Theta = f(W; t)$ по температурі. Похідну прирівнювали нулю, оскільки похідну беремо у точці мінімуму:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} = -\frac{LW}{t^2} + a = 0. \quad (7)$$

За рівнянням (7) можна розрахувати значення кількості опадів, необхідне для підтримання мінімуму оводненості для нормальної життєдіяльності рослини, при певному значенні температури повітря під час вегетації:

$$W_{\text{екстр}} = \frac{at^2}{L} \quad (8)$$

Рівняння (8) пов'язує між собою незалежні змінні W і t через коефіцієнти a і L . Цей зв'язок також можна виразити через комбінацію коефіцієнтів, включаючи коефіцієнт b і використовуючи квадратичну залежність (5). Але в даному аналізі ми обмежуємося рівнянням (8), яке можна трактувати як мінімальну кількість опадів, потрібну рослині для нормального функціонування (без необхідності включення активного енергозалежного транспорту води) за умов певного температурного режиму в період вегетації.

Таким чином, критерій $W_{\text{екстр}}$ визначає нижню межу гомеостазу функціонування рослинних тканин у тих чи інших температурних умовах. Нижчі значення $W_{\text{екстр}}$ свідчать про більшу стійкість рослини до посухи, особливо за умов високих температур. Результати розрахунку показника $W_{\text{екстр}}$ наведені у таблиці 2.

Як заданий параметр було використано два середньодадних значення температури – за першу декаду липня з помірними, дещо нижчими за норму температурами, та за першу декаду серпня з найбільш високими температурами за сезон. У першому випадку, при $t = 19,6$ °C, складаються сприятливі для рослин температурні умови, у другому випадку, при $t = 24,8$ °C, яка перевищує норму на 3,2 °C, температурний фактор має стресовий для рослин характер. Таким же чином оцінювали стресовий характер температурного режиму у польовому досліді І. Г. Шматко та ін. (Shmatko, 1989), коли температура під час досліджень у травні і червні перевищувала середньобагаторічну норму на 2–3 °C, що суттєво відбивалося на розвитку зернових культур.

Представлені у табл. 2 дані показують, що у всіх видів, незалежно від ступеню стійкості, більшою чи меншою мірою підвищується потреба у водопостачанні для забезпечення нижньої межі нормального функціонування за умов високої температури. Показник $W_{\text{екстр}}$, розрахований у точці екстремума функції, найбільш повно розкриває адаптивні можливості досліджуваних видів. Такі отримані аналітичним шляхом оцінки збігаються з комплексними оцінками посухостійкості рослин, які були отримані нами з використанням фізіолого-біохімічних методів (Zaitseva, 2006a) і шляхом візуальних спостережень (Zaitseva, 2007).

За оптимальної температури найбільша кількість опадів необхідна таким малостійким видам, як *A. trautvetteri* (49,1 мм), *A. ginnala* (47,2 мм). Невелика кількість вологи достатня для більш посухостійких видів *A. pseudoplatanus* (11,3 мм), *A. monspessulanum* (17,4 мм). За екстремальних температурних умов найбільш суттєво збільшується потреба у водозабезпеченні малопосухостійких видів – наприклад, у *A. trautvetteri* показник $W_{\text{екстр}}$ досягає 78,6 мм, *A. ginnala* – 75,6 мм. У посухостійких видів значення $W_{\text{екстр}}$ підвищуються не більше ніж на 8–10 мм.

ВИСНОВКИ

Розроблений новий підхід до оцінки посухостійкості рослин, з використанням рівняння стану оводненості тканин, дає можливість спростити і поглибити регресійний аналіз залежності водонасиченості тканин від неконтрольованих зовнішніх факторів – температури і опадів під час вегетації.

Отримані нові інтегральні характеристики показника $W_{\text{екстр}}$ добре узгоджуються з комплексними оцінками посухостійкості на прикладі інтродукованих видів кленів і можуть бути використані як кількісний критерій витривалості рослин у посушливих умовах степової зони.

Використання критерію $W_{\text{екстр}}$ як показника функціональної залежності оводненості тканин від температури і кількості опадів, дозволяє прогнозувати

фізіологічний стан рослин на основі даних гідротермічного режиму під час вегетації та визначити необхідний режим поливу для різних за посухостійкістю рослин.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Belgard, A. L., 1950.** Lesnaja rastitel'nost' jugo-vostoka USSR [Forest vegetation of the south-east of Ukrainian SSR]. Kiev University Press, Kiev (in Russian).
- Belgard, A. L., 1971.** Stepnoe lesovedenie [The Steppe Silvics]. Forest. Industry, Moscow (in Russian).
- Diaz-Barradas, M. C., Zunzunegui, M., Ain-Lhout, F. et al., 2010.** Seasonal physiological responses of *Argania spinosa* tree from Mediterranean to semi-arid climate. *Plant and Soil*. 337 (1-2), 217–321.
- Genkel, P. A., 1982.** Fiziologija zharo- i zasuhoustojchivosti rastenij [Physiology of Heat and Drought Resistance of Plants]. Nauka, Moscow (in Russian).
- Gieger, T., Frank, M., 2002.** Effects of deformation and stress on biomass partitioning and water relations of *Quercus robur* and *Quercus petraea*. *Basic and Applied ecology*. 3(2), 171–181.
- Heilmeier, H., Erhard, M., Wartinger, A., Brinckmann, E., Horn, R., Schulze, E.-D., 2001.** Biomass partitioning in response to soil drought: A pot experiment with *Prunus dulcis* trees during four years. *Basic and Applied Ecology*. 2(2), 165–175.
- Kohno, M. A., 1968.** Introdukcija kleniv na Ukraini [Maple's introduction in Ukraine]. Naukova Dumka, Kiev (in Ukrainian).
- Kohno, N. A., 1982.** Kleny Ukrainy [Maples of Ukraine]. Naukova Dumka, Kiev (in Russian).
- Kutlakhmedov, Yu. A., 1985.** Primenenie teorii nadezhnosti v radiobiologii mnogokletochnykh sistem [Application of the Theory of Reliability in Radiobiology of Multicellular Systems]. Reliability of Biological Systems, Naukova Dumka, Kiev, 3–17 (in Russian).
- Lo Gullo, M. A., Salleo, S., Rosso, R., Trifilò, P., 2003.** Drought resistance of 2-year-old saplings of Mediterranean forest trees in the field: relations between water relations, hydraulics and productivity. *Plant and Soil*. 250(2), 259–272.
- Mahouachi, J., Socorro, A. R., Talon, M., 2006.** Responses of Papaya Seedlings (*Carica Papaya* L.) to water stress and re-hydration: growth, photosynthesis and nutrient imbalance. *Plant and Soil*. 281(1-2), 137–146.
- Rossi, L., Sebastiani, L., Tognetti, R. et al., 2013.** Tree-ring wood anatomy and stable isotopes show structural and functional adjustments in olive trees under different water availability. *Plant and Soil*. 372(1-2), 567–579.
- Shmatko, I. G., Grigoryuk, I. A., Shvedova, O. E., 1989.** Ustojchivost' rastenij k vodnomu i temperaturnomu stressam [Plant Resistance to Water and Temperature Stresses]. Naukova Dumka, Kiev (in Russian).
- Vysotsky, G. N., 1983.** Zashhitnoe lesorazvedenie [Protective wood cultivation]. Naukova Dumka, Kiev (in Russian).
- Zaitseva, I. O., 2004.** Dynamika vodoobminnih procesiv rodu *Acer* L. u zv'jazku z ih posuhostojkistju [Dynamics of Water Exchange Processes of *Acer* L. Genus in Connection with their Drought Resistance]. DNU newsletter. "Biology. Ecology" Series. 12 (1), 54–61 (in Ukrainian).
- Zaitseva, I. A., 2006.** Vodnyj balans rastenij semejstva Saxifragaceae Juss. v uslovijah Stepnogo Pridneprov'ja [Water Balance of Plants of Saxifragaceae Juss. Family in the Conditions of Steppe Pridneprov'ye]. DNU newsletter. "Biology. Ecology" Series. 14(2), 72–78 (in Russian).
- Zaitseva, I. A., 2006(a).** Skorost' vodoootdachi kak kriterij zasuhoustojchivosti rastenij-introductentov [Rate of Water Yield as a Criterion of Drought Resistance of Introduced Plants]. Materials of International Scientific Conference "Allelopathy and Modern Biology, Kiev, 223–227 (in Russian).
- Zaitseva, I. A., 2007.** Ocenka polevoj zasuhoustojchivosti drevesnyh introductentov [Assessment of Field Drought Resistance of Introduced Tree Species]. Collection of scientific papers "Faltz Fein Readings", Kherson, 128–131 (in Russian).
- Zaitseva, I. O., Dolgova, L. G., 2010.** Fiziologo-biohimichni osnovi introdukcii derevnih roslin u Stepovomu Pridniprovi [Physiological and biochemical basis of introduction of woody plants in The steppe Prydniprovia: monograph]. Publisher Dnepropetrovsk. Nat. University Press (in Ukrainian).

Стаття надійшла в редакцію: 18.03.2015

Рекомендує до друку: д-р с.-г. наук, проф. А. В. Боговін

BIOGEOCENOLOGY, GEOBOTANY AND PHYTOCENOLOGY



A. I. Samchuk¹

Dr. Sci. (Chem.), Sen. Res. Sci.

A. A. Grodzinskaya²✉

Cand. Sci. (Biol.), Sen. Res. Sci.

K. V. Vovk¹

UDK 550.426+550.46

¹*M. P. Semenenko Institute of geochemistry, mineralogy
and ore formation of the National Academy of Sciences
of Ukraine, Ak. Palladina ave, 34, Kyiv, Ukraine, 03680*

²*Institute of Evolutionary Ecology of the National
Academy of Sciences of Ukraine, Ak. Lebedeva st., 37,
Kyiv, Ukraine, 03143*

RESEARCH ON ACCUMULATION OF MACRO- AND MICROELEMENTS IN LEAVES OF TREES IN KYIV MEGALOPOLIS

Abstract. The specific accumulation of macroelements and microelements in the leaves of different tree species in specific urban areas of the Kyiv megalopolis was investigated. The fallen leaves of *Aesculus hippocastanum* (*Aesculus hippocastanum* L.), species of genera Alder (*Alnus*), Maple (*Acer*), Birch (*Betula*), Poplar (*Populus*), Oak (*Quercus*), Viburnum (*Viburnum*) and Walnut (*Yuglans*) were selected to investigate. Also authors conducted geochemical studies of soils.

The following methods were used in the study: chemical, spectral analysis, atomic absorption analysis and method of mass spectrometry with inductively coupled plasma (ICP-MS).

Content rating of macroelements found the following laws: the leaves of the trees have the most accumulation of sodium, potassium, calcium and magnesium. Sodium and potassium, calcium and magnesium in freshly-fallen leaves of trees varies (0,02–0,08 %); (2,2–3,49 %); (14,5–15,0 %); (0,66–3,89 %) respectively; after winter there is removal of potassium in leaves of all species of trees, calcium thus virtually unchanged.

In the fallen poplar leaves that lay the winter there is a strong depletion of Mg (10 times) and increasing concentration of Na (2 times). Fallen leaves of birch are characterized by a significant reduction in P (14 times), Ca (5 times) and S (3 times), but have little accumulation of Mg (from 1.05 to 1.17 %). The depletion of Na (4 times) and the same enrichment in Mg is observed for typical oak leaves. For the maple leaf in the spring there is a moderate depletion (compared to autumn) all macroelements except phosphorus, for which there is an accumulation of 1.5 times.

It is established that the content of trace elements specific to each species of trees. Species of *Betula* are concentrators of Cu (180 mg / kg), Pb (20 mg / kg), Zn (280 mg / kg), of *Yuglans* sp. – Se (18 mg / kg), *Quercus* sp. – Mn (3110 mg / kg), V (12 mg / kg), *Viburnum* sp. – Zr (300 mg / kg). The behavior of trace elements authors divided into two groups. The first classified as chemical elements whose concentration after winter in fallen leaves almost constant (~ 3–5 %) – Ti, Zr, Mo, V; the second – whose concentration is significantly reduced (~ 25–30 %) – Cu, Zn, Mn, Pb, Se.

✉ Tel.: + 38044-526-20-51. E-mail: a.grodzinskaya@gmail.com

DOI: 10.15421/031504

An important indicator is also the intensity of biological absorption of trace elements from the soil by plants. There is significant accumulation in comparison with the ground in the leaves of the trees for Mn, V (Kn – 4–12), mean values are typical for Cu, Zn, Mo, Pb (Kn – 1–4), it is not accumulation for Ti, Zr, Cr, Se (Kn – 0,07–0,86). The exceptions are the leaves of birch, which have intensive enrichment in Cu (Kn = 11) and Zn (Kn = 9).

Mobility of trace elements in the soil affects the possibility of accumulation by plants. The study found that the largest share accounts for relatively mobile forms that leach by the influence of weak acids, organic acids (40–50 %); less – for adsorbed by hydroxide (28–38 %). Share of soluble and ion-exchanging forms studied trace elements are 9–18 %. The soils on which species of birch grow have the greatest mobility of microelements, and hence their availability for plants.

Humus content in the studied soils ranges from 4.21–6.41 %. Soils under birch contain the greatest amount of humus, soils under the poplars – the least.

Keywords: *tree species, chemical composition of leaves, soil of Kievo-Sviatoshin district, microelements, macroelements, mobile forms of chemical elements.*

УДК 550.426+550.46

А. И. Самчук¹

д-р хим. наук, глав. науч. сотр.

А. А. Гродзинская²

канд. биол. наук, ст. науч. сотр.

Е. В. Вовк²

¹*Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. М. П. Семененка
НАН Украины, просп. Ак. Паладина, 34, г. Киев, Украина, 03680*

²*Институт эволюционной экологии НАН Украины, ул. Ак. Лебедева, 37,
г. Киев, Украина, 03143,
тел.: +38044-526-20-51, e-mail: a.grodzinskaya@gmail.com*

АККУМУЛЯЦИЯ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ РАЗНЫХ ДРЕВЕСНЫХ ПОРОД В УСЛОВИЯХ КИЕВСКОГО МЕГАПОЛИСА

Аннотация. Выполнено сравнение содержания химических элементов в свежескопавших листьях и листьях после зимования разных древесных пород, которые произрастают в границах Киевского мегаполиса под давлением специфических условий городских агломераций. Рассчитаны коэффициенты биологического поглощения микроэлементов для конского каштана обыкновенного (*Aesculus hippocastanum* L.), видов родов Ольха (*Alnus*), Клен (*Acer*), Береза (*Betula*), Тополь (*Populus*), Дуб (*Quercus*), Калина (*Viburnum*) та Орех (*Juglans*). Исследовано содержание органического вещества и формы нахождения микроэлементов в почвах.

Ключевые слова: *древесная порода, химический состав листьев, почвы в лесопарках Кievo-Святошинского района, микроэлементы, макроэлементы, подвижные формы химических элементов.*

УДК 550.426+550.46

А. І. Самчук¹

д-р хім. наук, гол. наук. співр.

Г. А. Гродзинська²

канд. біол. наук, ст. наук. співр.

К. В. Вовк²

¹*Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка
НАН України, просп. Ак. Паладіна, 34, м. Київ, Україна, 03680*

²*Інститут еволюційної екології НАН України, вул. Ак. Лебедєва, 37,
м. Київ, Україна, 03143,
тел.: +38044-526-20-51, e-mail: a.grodzinskaya@gmail.com*

АКУМУЛЯЦІЯ МАКРО- І МІКРОЕЛЕМЕНТІВ У ЛИСТКАХ РІЗНИХ ДЕРЕВНИХ ПОРІД В УМОВАХ КІЇВСЬКОГО МЕГАПОЛІСУ

Анотація. Проведено порівняння вмісту хімічних елементів у свіжо-опалих листках та листках після зимівлі різних деревних порід, які зростають в межах Київського мегаполісу під тиском специфічних умов міських агломерацій. Розраховано коефіцієнти біологічного поглинання мікроелементів для гіркокаштану звичайного (*Aesculus hippocastanum* L.), видів

родів Вільха (*Alnus*), Клен (*Acer*), Береза (*Betula*), Тополя (*Populus*), Дуб (*Quercus*), Калина (*Viburnum*) та Горіх (*Yuglans*). Досліджено вміст органічної речовини та форми знаходження мікроелементів у ґрунтах.

Ключові слова: *деревна порода, хімічний склад листків, ґрунти в лісопарках Києво-Святошинського району, мікроелементи, макроелементи, рухомі форми хімічних елементів.*

ВСТУП

Сучасні підходи до екологічної оцінки якості природних середовищ повинні бути орієнтовані, в першу чергу, на біотичні показники (Biodiagnostica..., 2013). Якість природного середовища за умов агломерацій великого міста, безперечно, впливає на життєдіяльність рослин, зокрема дерев, роль яких в містах є вкрай важливою, бо завдяки їх наявності істотно покращується склад повітря, гальмується розповсюдження токсичних викидів тощо. Тому проблема забезпечення деревних порід умовами, сприятливими для їх зростання, є актуальною і важливою. Зокрема, окремого розгляду заслуговує вивчення специфіки мінерального живлення дерев, їх бездефіцитного забезпечення макро- і мікроелементами. Риси специфічності умов мінерального живлення рослин в містах обумовлюються широким колом чинників, зокрема розірваністю біогеохімічних колообігів речовин, заасфальтуванням великих площ територій, наявністю в середовищі токсичних речовин, котрі можуть спричинити вплив на системи поглинання й транспорту речовин в ґрунтах і рослинах, надмірним зростанням в ґрунті іонів натрію й хлору, що зумовлено посипанням вулиць хлоридом натрію в зимовий час, тощо. Серед описаних чинників впливу одним із пріоритетних є підвищення вмісту мікроелементів, особливо важких металів, в ґрунтах і рослинах, спричинене техногенним навантаженням на довкілля у великих містах.

Дослідження останніх десятиліть показали, що мікроелементи ґрунту суттєво впливають на ріст та розвиток рослин, стан і функціонування організму людини та тварини (Samchuk et al., 2006). Без них неможливий перебіг більшості біохімічних і фізіологічних процесів, що відбуваються в живих організмах.

Мікроелементи в рослинах виконують роль каталізаторів, зокрема в процесах фотосинтезу і засвоєння азоту. Встановлено, наприклад, що в синтезі і обміні білкових речовин рослин значну роль відіграє молібден, який входить до складу ферменту нітратредуктази. При нестачі цього елемента гальмується процес відновлення нітратів, порушується нормальний хід білкового обміну, при цьому вміст білка в тканинах рослин зменшується, а солей азотної кислоти, навпаки, збільшується. Мідь входить до складу ферментів, що контролюють окисні процеси в організмі, цинк приймає активну участь в азотному обміні та гідролізі крохмалю, кобальт підвищує інтенсивність процесів дихання та фотосинтезу (Beus et al., 1976).

Ступінь забезпеченості рослинних і тваринних організмів (у тому числі і людини) мікроелементами залежить від вмісту їх у навколишньому середовищі і, перш за все, у ґрунті. Академік В. І. Вернадський вперше вказав на залежність хімічного складу організмів від вмісту хімічних елементів в земній корі. А створене О. П. Виноградовим вчення про біогеохімічні провінції ґрунтується на визнанні того, що в деяких регіонах компоненти ландшафту, перш за все ґрунти, не містять зовсім чи містять недостатню кількість деяких мікроелементів, або навпаки, містять їх забагато, що і зумовлює виникнення і розповсюдження масових, властивих даній місцевості ендемічних захворювань.

Надходження елементів з ґрунту в рослини залежить від форм їх знаходження в ґрунті, а також від загального хімічного складу ґрунту, його реакції, окисно-відновного потенціалу, фізичних властивостей і біологічної діяльності ґрунтових організмів. Рослини засвоюють хімічні елементи в кількостях, які необхідні для виконання їх життєвих функцій. Але при цьому наявність підвищених концентрацій певного елемента в ґрунті часто призводить до вимушеного засвоєння цього

елементу, що може бути шкідливим для життєдіяльності рослин. В той же час у рослин є різноманітні стратегії запобігання зростанню вмісту важких металів (Gryshko et al., 2012).

О. П. Виноградов (1952) виокремив два типи транслокації хімічних елементів:

А) групове, коли всі рослини в межах провінції з високим вмістом того чи іншого елемента в ґрунтах накопичують його в підвищених кількостях;

Б) селективне видове, або, частіше, родове, коли окремий вид або рід рослинності завжди в різних умовах вирощування містить підвищену кількість певного елемента в порівнянні з сусідніми видами (родами); так, широко відомою є галмейна флора, яка активно концентрує цинк, астрагали, які селективно накопичують селен тощо.

Механізм надходження хімічних елементів в рослини, в тому числі токсичних елементів, важких металів та радіонуклідів, пояснює система бар'єрно-безбар'єрного накопичення, науково обґрунтована А. Л. Ковалевським (Kovalevskii, 1969). Сутність її полягає в тому, що рослини поглинають хімічні елементи вибірково у відповідності до їх біологічних особливостей, вироблених тривалою еволюцією і закріплених біохімічними механізмами.

В умовах міста аж ніяк не вистачало часу для еволюційного формування фізіологічної, морфо-функціональної адаптації рослин до специфічних умов мінерального живлення. У зв'язку з цим існує нагальна потреба у вивченні особливостей стану мінеральних елементів в ґрунтах міських агломерацій, специфіки їх поглинання та транслокації в органах різних деревних порід. Це необхідно для того, щоб встановити, які види дерев найбільш придатні для їх культивування в умовах міста.

Метою даного дослідження є з'ясування особливостей розподілу макро- і мікроелементів у опалих листках ряду деревних порід та ґрунтах у межах Києво-Святошинського району Київського мегаполісу. Була поставлена задача визначення інтенсивності процесу вилугування елементів з опалого листя в процесі його розкладу.

ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Досліджували зразки опалих листків деревних порід (*Aesculus hippocastanum* L., *Alnus*, *Acer*, *Betula*, *Populus*, *Quercus*, *Viburnum* та *Yuglans* spp.) та ґрунтів, зібраних в межах Києво-Святошинського району Київського мегаполісу. Ґрунти та листки відбирали біля дерев у осінній та весняний періоди.

При дослідженні були використані наступні методи: хімічні, спектральний аналіз, атомно-абсорбційний аналіз та метод ICP-MS.

У роботі для розчинення проб використовувалися концентровані кислоти HF, HCl, HNO₃, H₂SO₄, H₃PO₄, які додатково очищували за допомогою системи Subboiling. Для побудови калібрувальних графіків застосовували стандартні розчини елементів Fluka (фірми SIGMA-OLDRICH, Швейцарія). Розчинення проб проводили в мікрохвильовій печі ETNOS фірми MILISTONE (Італія). У якості внутрішнього стандарту використовувався ¹¹⁵In, із зовнішніх – стандартні зразки ґрунтів СДПС-2, СДПС-1 (дерново-підзолисті зразки ґрунтів).

Проби ґрунтів та рослин розкладалися за однією з наступних аналітичних схем (Ponomarenko et al., 2008).

Аналітична схема № 1. Здійснюється розклад проби азотною кислотою. Наважку 0,1 г досліджуваного матеріалу поміщали в тefлоновий автоклав, промивали 10 мл азотної кислоти (густина 1,4 г/см³). Ротор встановлювали в МХ-піч, яку нагрівали за програмою при 200 °С протягом 30 хв. Після охолодження автоклава розчин переводили в платинові чашки і випаровували до вологих солей. Солі розчиняли при нагріванні в 5 %-ній азотній кислоті. Розчин переливали в мірну колбу об'ємом 50 мл і доводили до мітки 5 %-ним розчином тієї ж кислоти.

Аналітична схема № 2. Метод ґрунтується на розкладанні матеріалу фтористоводневою та азотною кислотами в МХ-печі. Наважку 0,25–0,1 г досліджуваного матеріалу поміщали в автоклав із фторопласту, змочували декількома краплями води, додавали 10 мл азотної кислоти і 10 мл фтористоводневої кислоти та нагрівали за температури 220 °С протягом 30 хв. Потім розчин випаровували на водяній бані до утворення вологих солей, обмивали краї чашки водою, повторювали випаровування на піщаній бані до появи сухих солей. Залишок солей розчиняли нагріваючи та додавали 5 мл азотної кислоти. Одержаний розчин переливали в мірну колбу місткістю 50 мл і доводили об'єм до мітки 5 %-ною азотною кислотою.

Аналітична схема розкладання № 3. Метод ґрунтується на розкладанні проб у суміші азотної, фтористоводневої й сірчаної кислот в МХ-печі. Наважку проби 0,1–0,2 г поміщали в чашку зі скловуглецю, доливали 5 мл азотної, 2 мл фтористоводневої і 1 мл сірчаної або хлорної кислоти. Чашку нагрівали при 100 °С протягом 60 хв. Операцію розкладу речовини повторювали в суміші $\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$ (1:1). Після охолодження автоклава обмивали кришку посудини водою і випаровували розчин до вологих солей. Залишок розчиняли в 10 мл азотної кислоти (1:1), переливали розчин у мірну колбу місткістю 50 мл і доливали до мітки водою.

Вміст важких металів та селену визначали за допомогою мас-спектрометра з індукційно зв'язаною плазмою (ICP-MS) аналізатора Element-2 (Німеччина). Похибка вимірювання $\delta \leq 3\%$ згідно з додатком до свідоцтва про атестацію № ПТ-0347/01.

Для кількісної оцінки надходження мікроелементів з ґрунту в рослинність найчастіше застосовується коефіцієнт біологічного накопичення (K_n), який визначається співвідношенням вмісту металу в одиниці маси акцептора – А (рослини в перерахунку на її золу) і донора – D (ґрунту):

$$K_n = \frac{A}{D}.$$

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Дані хімічних визначень вмісту макрокомпонентів в опалих листках різних деревних порід представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Вміст макроелементів у опалому листі дерев, %							
Деревна порода	Зольність, %	Na	K	Ca	Mg	P	S
Тополя	22,78	0,08	3,14	14,52	2,04	0,67	0,41
Береза	9,63	0,08	3,49	15,55	1,05	0,69	0,9
Дуб	10,63	0,08	3,19	15,55	0,66	0,47	0,75
Клен	14,97	0,02	2,32	15,49	3,89	0,4	0,85

Вміст натрію в листках дерев свіжого опаду коливається в межах 0,02–0,08 %. За вмістом калію у листках в осінній період дерева розташовуються у наступному порядку: береза (3,49 %) > дуб (3,19 %) > тополя (3,14 %) > клен (2,2 %). Після зимового періоду відбувається винос калію із листків всіх видів дерев, концентрація натрію при цьому майже не змінюється.

Вміст лужноземельних елементів (кальцію і магнію) в свіжо-опалих листках дерев варіює у межах 14,5–15 % і 0,66–3,89 % відповідно. Найбільша кількість магнію відзначається у листках клену і тополі (3,89 і 2,04 % відповідно), найменша – у дуба (0,66 %). Після зимового періоду спостерігається значний винос магнію із листків тополі.

Відомо, що на міграційну поведінку макро- та мікроелементів в системі «рослина-грунт» в значній мірі впливає вміст фосфору та органічних кислот в листках та ґрунтах (Vynogradov, 1952; Mineev, 1990). За нашими даними, вміст фосфору в листках деревних порід становив 0,4–0,69 %.

У рослинах фосфор знаходиться в органічній та мінеральній формах. Після їх відмирання фосфорні сполуки мінералізуються, утворюючи важко розчинні солі кальцію, магнію, заліза. Завдяки дії ґрунтових бактерій, що сприяють їх розчинності, ці сполуки знову стають доступними для рослин (Mineev, 1990).

Таким чином, у опалих листках тополі, які пролежали зиму спостерігається сильне збіднення Mg (10 разів) і підвищення концентрації Na в 2 рази. Опалі листки берези характеризуються суттєвим зменшенням кількості P (14 разів), Ca (5 разів) і S (3 рази), проте незначним накопиченням Mg (з 1,05 до 1,17 %). Для листків дуба характерне чотирьохкратне збіднення на Na і таке ж збагачення на Mg. Для листків клену у весняний період спостерігається помірне збіднення (порівняно з осіннім) на всі макроелементи, окрім фосфору, для якого відбувається накопичення в 1,5 рази.

Аналітичні дані про вміст мікроелементів у опалих листках наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Середній вміст мікроелементів в листі дерев, мг/кг

Деревна порода	Mn	Ti	Zr	Mo	V	Cu	Pb	Zn	Cr	Se*
Тополя	320	210	160	3	5	20	12	50	4	11
Береза	980	520	42	2	4	180	20	280	3	12
Вільха	800	480	40	0,4	7	8,2	8	84	–	–
Калина	240	300	300	3	6	15	3	28	–	–
Дуб	3110	800	56	3	12	23	14	86	5	14
Каштан	2200	760	50	2,4	4	10	12	80	4	–
Горіх	2700	820	54	2,8	6	12	10	86	5	18
Клен	2800	1000	110	2,6	5	18	20	30	4	12
Ґрунт	400	3200	350	0,8	1	16	10	30	17	90

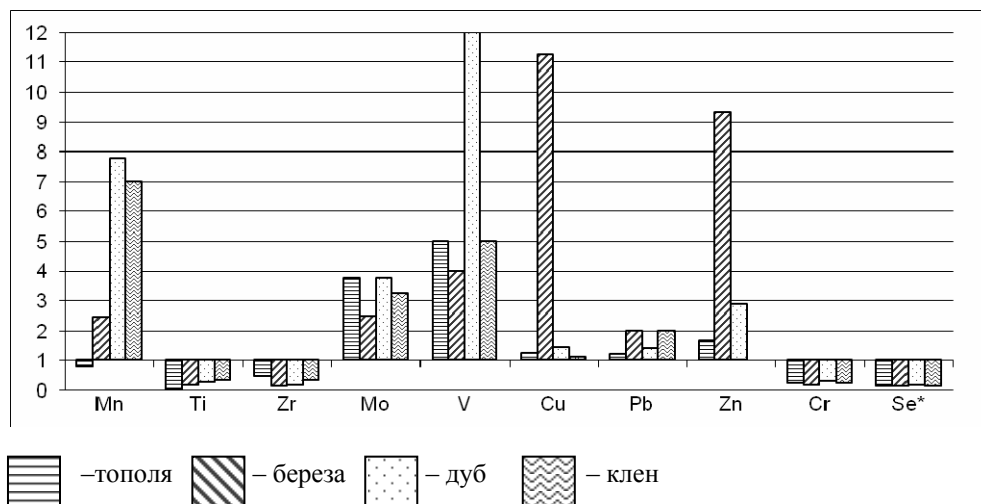
Примітка: * – концентрація елемента подана в мкг/кг; «–» – вміст елемента знаходиться поза межами визначення методики.

За порядком концентрації в опалих листках різних деревних порід мінеральні елементи можна об'єднати у три групи:

1. Елементи з підвищеною концентрацією – Mn, Ti.
2. Елементи середніх концентрацій – Zr, Cu, Zn.
3. Мікроелементи – Ni, Co, V, Cr, Mo, Pb, Se.

Дослідження вмісту мінеральних елементів у листках різних деревних порід показує, що найбільше концентрують Mn, Ti, Zr види родів дуб, каштан, горіх у порівнянні з березою та вільхою. Листки берези збагачені, порівняно з іншими видами дерев, Cu, Zn, Pb. Найбільший вміст селену спостерігається для листків видів горіху. Мо та Cr виявлено майже в однакових кількостях у всіх досліджуваних породах, окрім вільхи та калини.

Мікроелементи по-різному вилучаються рослинами із ґрунту. Показником інтенсивності вилучення виступає коефіцієнт біологічного накопичення. Суттєво накопичуються порівняно з ґрунтом в листках досліджуваних дерев Mn, V (K_n 4–12), середні значення характерні для Cu, Zn, Mo, Pb (K_n – 1–4), накопичення відсутнє для Ti, Zr, Cr, Se (K_n – 0,07–0,86). Виключення становлять листки берези, для яких виявлено інтенсивне збагачення на Cu ($K_n=11$) та Zn ($K_n=9$) (рис. 1).



Примітка: * – концентрація елемента подана в мкг/кг; згідно А. І. Перельману (1999), коефіцієнт біологічного поглинання більше 1 вказує на інтенсивне поглинання, а менше 1 – на середнє і слабке поглинання.

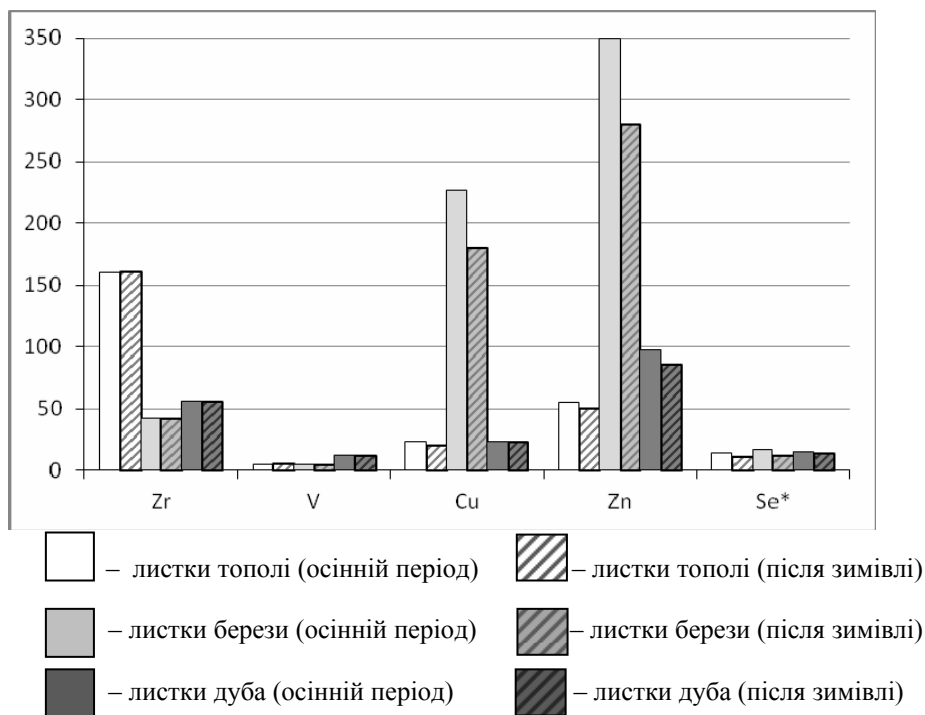
Рис. 1. Коефіцієнти біологічного накопичення (K_b) мікроелементів для опалих листків різних порід дерев

Подібні дослідження автори проводили для деревних порід Українського Полісся, результати яких наведені у публікації А. І. Самчука зі співавторами (Samchuk et al., 2006). Дані по середньому вмісту мікроелементів в золі листків дерев Київського мегаполісу та Українського Полісся корелюють, однак рослини Київського мегаполісу більш збагачені мікроелементами та мають вищі коефіцієнти поглинання, що обумовлене специфічними умовами міської агломерації.

Порівняння концентрацій мікроелементів у листках, зібраних у осінній та весняний періоди (рис. 2), свідчить про те, що вміст Ti, Zr, Mo, V змінюється слабо (~3–5 %). На противагу цьому, концентрація Cu, Zn, Mn, Pb, Se суттєво зменшується (~25–30 %) після зимівлі опалого листа. Очевидно, це обумовлене утворенням рухомих форм перерахованих вище елементів під дією фульвової кислоти. Отже останні елементи швидше надходять до ґрунту і стають доступними для рослин. Ti, Zr, Mo, V мають довший цикл перетворення, що з часом може призвести до збіднення ґрунтів цими елементами. Вивчення швидкості відновлення елементного складу ґрунтів необхідне для вирішення питання про внесення відповідних добрив.

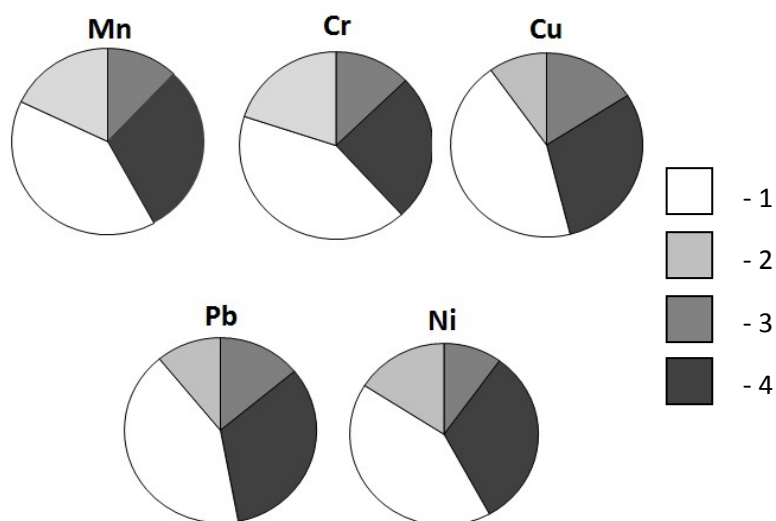
Для дослідження рухомості важких металів нами були визначені форми їх знаходження у ґрунті (рис. 3). Для всіх мікроелементів найбільша частка серед рухомих форм припадає на органічну (40–50 %), менша – на сорбовану гідроксидами (28–38 %). Для Mn, Cr, Ni фіксована форма переважає над іонно-обмінною, для Cu, Pb спостерігається зворотна тенденція. Частка водорозчинної форми незначна – 0,04–0,1 %. Співвідношення між рухомими формами важких металів в ґрунтах варіює залежно від того, яка деревна порода на них зростає. Ґрунти під березами характеризуються найбільшою часткою водорозчинних (0,08–0,15 %), іонно-обмінних (14–18 %) та органічних форм (46–50 %). Порівняно з іншими деревами, під тополями спостерігається підвищення частки сорбованої форми знаходження мікроелементів у ґрунтах (32–38 %).

Поведінка важких металів в ґрунтах значною мірою обумовлюється наявністю і кількістю в них органічної речовини, особливо гумусових (гумінових та фульвових) кислот. Вони впливають на процеси розчинності, утворення нерозчинних і розчинних комплексних з'єднань, коагуляцію і екранування поверхні мінеральних часток плівками гелів.



Примітка: Se * – концентрація елемента подана в мкг/кг.

Рис. 2. Середній вміст мікроелементів в опалих листках різних порід дерев у весняний і осінній періоди, мг/кг



Примітка: 1 – органічна; 2 – фіксована; 3 – іонообмінна; 4 – сорбована на гідроксидах.

Рис. 3. Рухомі форми знаходження мікроелементів у ґрунтах, %

З табл. 3 видно, що найбільшу кількість гумусу вміщує ґрунт під березою, а найменшу – під тополею. Цей результат підтверджує особливості впливу листового опаду на органічний склад ґрунту. Найбільше ґрунт збагачує гумусом береза, листки якої швидко розкладаються, тоді як у тополі, де за зимовий період переважає процес мінералізації листового опаду, утворення у ґрунті гумінових речовин найменше.

Таблиця 3

Вміст органічної речовини у ґрунтах під деревами різних порід (%)				
Деревна порода	Вміст органічного вуглецю	Вміст гумусу	Адсорбована вода при 100–105°C	Втрати при прокалюванні (1000 °C)
Береза	3,77	6,41	1,7	10,31
Дуб	2,93	4,98	2,09	10,49
Клен	2,87	4,88	1,59	7,92
Тополя	2,48	4,21	1,44	7,41

ВИСНОВКИ

Дослідження вмісту макро- і мікроелементів в опалих листках різних деревних порід в осінній період і після зимівлі дозволило зробити наступні висновки:

1. У листках дерев найбільше відбувається накопичення натрію, калію, кальцію, магнію. Вміст натрію і калію, кальцію і магнію в свіжо-опалих листках дерев варіює в межах (0,02–0,08 %), (2,2–3,49 %), (14,5–15,0 %), (0,66–3,89 %) відповідно; після зимового періоду відбувається винос калію із листків всіх видів деревних порід, вміст кальцію при цьому практично не змінюється.

2. Вміст мікроелементів специфічний для кожного виду дерев. Види р. Береза є концентраторами Cu (180 мг/кг), Pb (20 мг/кг), Zn (280 мг/кг), р. Горіх – Se (18 мкг/кг), р. Дуб – Mn (3110 мг/кг), V (12 мг/кг), р. Калина – Zr (300 мг/кг). Після зимівлі вміст Ti, Zr, Mo, V в опалих листках майже не змінюється (~3–5 %), а концентрація Cu, Zn, Mn, Pb, Se суттєво зменшується (~25–30 %).

3. Розраховані коефіцієнти біологічного поглинання свідчать, що інтенсивно накопичуються Cu ($K_n=11$), Zn ($K_n=9$), Mn, V ($K_n=4-12$), накопичення не спостерігається для Ti, Zr, Cr, Se ($K_n=0,07-0,86$).

4. Дослідження форм знаходження мікроелементів у ґрунті показало, що найбільша частка припадає на умовно рухомі форми, що вилуговуються під дією слабких кислот: органічну (40–50 %), менше – на сорбовану гідроксидами (28–38 %). Найбільша рухомість, а отже, і доступність для рослин, характерна для ґрунтів, на яких зростають види роду *Береза*. Для цих ґрунтів властивий і найбільший вміст гумусових речовин, що підтверджує швидкий процес розкладання листків берези.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Beus, A. A., Grabovskaya, L. I., Tikhonova, N. V., 1976. Geokhimiya okruzhayushei sredy [Invorimental Geochemistry], Nedra, Moscow (in Russia).
- Biodiagnostica v ekologicheskoi otsenke pochv i sopredelnykh sred: tezisy dokladov Mezhdunarodnoi konferentsiyi, Moskva, 4–6 fevralya 2013 g. [Biodiagnostics in ecology rating of soils and neighbouring invironments: theses of papers of international conference, Moscow, 4–6 february 2013], Binom. Laboratoriya znaniy, Moscow (in Russia).
- Vinogradov, A. P., 1952. Mikroelementy v zhyzni rastenii i zhyvotnykh [Microelements in life of plants and animals], Publ. AS USSR, Moscow (in Russia).
- Gryshko, V. M., Syschykov, D. V., Piskova, O. M., Danylchuk, O. V., Mashtaler, N. V., 2013. Vazhki metaly: nadkhodzhennya v grunty, translokatsiya v roslynach ta ekologichna nebezpeka [Heavy metals: income in soils,

translocation in plants and ecological risk], Publ Donbas (in Ukraine).

Kovalevskii, A. L., 1969. Biogeokhimiya rastenii [Plant Biogeochemistry], Buryatiya Publ., Ulan-Ude (in Russia).

Mineev, V. G., 1990. Agrokhiimiya [Agrochemistry], Print MGU, Moscow (in Russia).

Perelman, A. I., Kasimov, N. S., 1999. Geokhimiya landshafta: uchebnic [Landscape geochemistry: textbook], Moscow University, Moscow (in Russia).

Ponomarenko, O. M., Samchuk, A. I., Krasyuk, O. P., Makarenko, T. I., Antonenko, O. G., 2008. Analitychni skhemy

probopidgotovky girskykh porid ta mineraliv i vyznachennya v nykh mikroelementiv metodom mas-spectrometrii z induktsiino zvyazanoju plazmoyu (ICP-MS) [Analytical scheme of sample preparation of rocks and minerals and detection microelements in them by method of mass spectrometry with inductively coupled plasma (ICP-MS)], Mineralogical Journal, 30, 4, pp. 97–103 (in Ukraine).

Samchuk, A. I., Kuraeva, I. V., Egorov, O. S. et al., 2006. Vazhki metaly v gruntakh Ukrayinskogo Polissya ta Kyivskogo megapolisu [Heavy metals in soils of Ukrainian Polesye and Kyiv megalopolis], Naukova Dumka, Kyiv (in Ukraine).

Стаття надійшла в редакцію: 23.01.2015

Рекомендує до друку: чл.-кор. НАНУ, д-р біол. наук, проф. А. П. Травлєєв

BIOGEOCENOLOGY, GEOBOTANY AND PHYTOCENOLOGY



T. Z. Moskalets ✉
V. V. Moskalets

Cand. Sci. (Biol.), Assoc. Prof.
Dr. Sci. (Agric.), Sen. Res. Sci.

UDK 581.524.3:631.147:
631.4:631.8:631.95

*Bila Tserkva National Agrarian University,
Soborna ploshcha, 8/1, Kyiv region, Ukraine, 09111*

POPULATION ECOLOGY AND AUTOECOLOGY MANIFESTATIONS OF MODIFICATIONAL VARIABILITY OF GENOTYPES TRIBE *TRITICEAE* IN FOREST-STEPPE AND POLISSYA ECOTYPES

Abstract. The tribe *Triticeae* of Forest-Steppe and Polissya ecotypes in aspect of the interaction of two systems: an organism (genotype) and the environment in population, auto- and synecology levels has been studied. The obtained fruition allows us to increase the productivity of agro-ecosystems in common get a stable crop productivity through greater relevance and adaptability of genotypes to environment conditions in specific ecotypes. Varieties and lines of triticale and wheat soft winter studied at different levels of integration, reveal their morphological, biological and ecological differences, whereby genotypes differentiated by the hygro-morphability – adaptability to moisture conditions, in particular: – hygro-morphics for conditions to deficiency and moderate (unstable) of moisture ($HTC < 0.6$ and < 1): Vivate Nosivske, Pshenychne (triticale semidwarf type of development); KC 14, KC 5, KC 1, KC 22, KC 16, KC 21 (wheat of semidwarf type of development):

– hygro-morphics for conditions of comfortable and excessive moisture ($HTC = 1$ and > 1.5): DAY 5, Ellada, Avhusto (triticale); KC 17, Л 4696/96 (wheat);

– hygro-morphics with highly display of adaptation to conditions of deficiency and moderate and also comfortable and excessive of moisture: Slavetne, Slavetne polipshene (triticale); Yuvivata 60, Nosshpa 100, Prydesnianska napivkarlykova, Zoriana Nosivska, KC 7 (wheat), allowed to get an idea of the diversity of ecological communities of winter triticale and wheat soft winter.

Long-term research of varieties and lines of triticale and wheat allows arranging them by the trofo-morphability:

– mehatrophics – demanding for soil fertility and sensitive to the addition of mineral nutrients (triticale genotypes: Vivate Nosivske, Pshenychne, DAY 5, Chaian, Ellada, Chornoostyste; wheat genotypes: Nosshpa 100, Prydesnianska napivkarlykova, KC 14, KC 5, KC 1, KC 16, KC 21);

– mesotrophics – moderately demanding for soil fertility and occupy a middle position between oligotrophics and eutrophics (Avhysto, Yahyar, Zernookisne, Zoriana Nosivska, Yuvivata 60, Л 4696/96);

– oligomesotrophics – undemanding for soil fertility and for farming standards (Slavetne, Slavetne polipshene, DAY 5).

Trofomorphics differ from each other by specific and non-specific features of trophic needs. Triticale and wheat soft winter ecomorphics are divided by sensitivity to the length of daylight into:

✉ Tel.: +38096-329-76-71. E-mail: moskalets78@rambler.ru

DOI: 10.15421/031505

- high-sensitive – genotypes with high yield potential and grain quality, including triticale: Vivate Nosivske; Pshenychne; wheat: Prydesnianska napivkarlykova, Nosshpa 100, KC 14, KC 5, KC 1, KC 21;
- midl-sensitive – genotypes with maximum yield under different sowing (Slavetne, Slavetne polipshene, ДАУ 5, Chaian, Chornoostyste; KC 22, KC 16);
- intermediate – genotypes that form high yield and grain quality under optimum sowing time: triticale (Avhusto, Yahuar, Ellada), wheat (Nosshpa 100, KC 1, KC 5, KC 17, KC 21, KC 22).

Triticale and wheat sowing is different by their variety. It has been established that megatrophics, such as: Vivate Nosivske, Pshenychne, ДАУ 5, Chaian, Chornoostyste, Nosshpa 100, Prydesnianska napivkarlykova, KC 1, KC 5, KC 14, KC 16, KC 21, KC 22) form a low yield and grain quality on depleted soils in organic matter and are not competitive towards weeds and pathogens of fungal diseases.

Key words: *ecomorphics of Triticum aestivum (L.) and Triticosecale Witt., population ecology and autoecology manifestations.*

УДК 581.524.3:631.147:
631.4:631.8:631.95

Т. З. Москалец
В. В. Москалец

канд. биол. наук, доц.
д-р с.-х. наук, стар. науч. сотр.

*Белоцерковский национальный аграрный университет,
Соборная пл., 8/1, г. Белая Церковь, Киевская обл., Украина, 09111,
тел.: +38096-329-76-71, e-mail: moskalets78@rambler.ru*

АУТЕКОЛОГИЧЕСКИЕ И ДЕМОКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ МОДИФИКАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ГЕНОТИПОВ ТРИБЫ TRITICEAE ЛЕСОСТЕПНОГО И ПОЛЕССКОГО ЭКОТИПОВ

Аннотация. Экспериментально исследовано биоценотическое проявление модификационной способности генотипов тритикале озимого и пшеницы мягкой озимой лесостепного и полесского экотипов, в зависимости от агроэкологических факторов. Сорта тритикале и пшеницы изучены как экоморфические геоценоконсорции, что определило их агроэкологическую оценку в зависимости от генотипических и фенотипических характеристик (зимо-, посухоустойчивость, площадь листовой поверхности, устойчивость к болезням и вредителям, урожайность и качество зерна и др.), на основе чего предложена схема создания устойчивых высокопродуктивных фитоценозов тритикале озимого и пшеницы мягкой на различных иерархических уровнях (аутэкологическом, демэкологическом, биоценотическом, экосистемном), путем селекции и апробации экоморф (гибридов, линий) по ряду ценных хозяйственных и экологических признаков. Вместе с морфо- и физиологическими характеристиками сортов и линий конкретных экотипов, предложено использовать их экоморфические особенности реакции на воздействие определенных агротехнических факторов (минеральные удобрения, микробные препараты, предшественники, норма и сроки высева семян).

Ключевые слова: *экоморфы Triticum aestivum (L.) и Triticosecale Witt., аутэкологические и демэкологические проявления.*

УДК 581.524.3:631.147:
631.4:631.8:631.95

Т. З. Москалець
В. В. Москалець

канд. біол. наук, доц.
д-р с.-г. наук, стар. наук. співр.

*Білоцерківський національний аграрний університет,
Соборна пл., 8/1, м. Біла Церква, Київська обл., Україна, 09111,
тел.: +38096-329-76-71, e-mail: moskalets78@rambler.ru*

АУТЕКОЛОГІЧНІ ТА ДЕМОКОЛОГІЧНІ ПРОЯВИ МОДИФІКАЦІЙНОЇ ЗДАТНОСТІ ГЕНОТИПІВ ТРИБИ TRITICEAE ЛІСОСТЕПОВОГО ТА ПОЛІСЬКОГО ЕКОТИПІВ

Анотація. Експериментально досліджено біоценотичні прояви модифікаційної здатності генотипів тритикале озимого і пшениці м'якої озимой лісостепового та поліського екотипів, залежно від агроекологічних чинників. Сорти тритикале і пшениці вивчено як екоморфічні геоценоконсорції, що визначило їх агроекологічну оцінку залежно від генотипових та

фенотипових характеристик (зимо-, посухостійкість, площа листової поверхні, стійкість проти хвороб і шкідників, урожайність та якість зерна та ін.), на основі чого запропоновано схему створення стійких високопродуктивних фітоценозів тритикале озимого і пшениці м'якої озимої на різних ієрархічних рівнях (аутекологічному, декекологічному, біоценологічному, екосистемному), шляхом виведення та запровадження екоморф (гібридів, ліній) з низкою цінних господарських та екологічних ознак. Поряд з морфо- та фізіологічними характеристиками сортів і ліній конкретних екотипів, запропоновано використовувати їхні екоморфні особливості реакції на вплив певних агротехнічних чинників (мінеральні добрива, мікробні препарати, попередники, норма та строки висіву насіння).

Ключові слова: екоморфи *Triticum aestivum* (L.) і *Triticosecale* Witt., аутекологічні та декекологічні прояви.

ВСТУП

Екосистемний підхід розкриває комплексність і динамічну природу екосистем (Didukh and Pliuta, 1994; Bykov, 1988; Holubets, 2010) та є важливим у розробці науково-обґрунтованої практики ведення сільського господарства майбутнього (Khramtsov, L. I. and Khramtsov, V. L., 2013). Тритикале озиме і пшениця м'яка озима, які відносяться до триби Пшеничні (*Triticeae*), привертають до себе особливу увагу за низкою ключових ознак: врожайність, харчова цінність, стійкість проти несприятливих абіотичних і біотичних чинників, висока екологічна пластичність та ін.

Не розв'язаною залишається проблема формування високопродуктивних і еколого-адаптивних фітоценозів пшениці м'якої й тритикале озимого лісостепового та поліського екотипів, зокрема у ґрунтово-кліматичних зонах слабкої реалізації потенціалу пшениці озимої та в зоні екологічної небезпеки. Це унеможливорює максимальну й гармонізовану реалізацію потенціалу їхніх генотипів, з урахуванням низки сприятливих та несприятливих для них екотопів, якими відрізняються регіони вирощування зернових культур в Україні.

Для розв'язання зазначеної проблеми необхідне поєднання господарсько-економічного (Vernadskii, 1944) та екосистемного підходів вирощування цих культур (Ramenskii, 1938; Akimov, 1948, 1954; Mazing, 1972; Travleyev, 2012), що дасть змогу на сучасному етапі максимально реалізувати потенційні можливості генотипів пшениці й тритикале озимих в певних екологічних нішах, які найповніше відповідають екологічним умовам їхньої саморегуляції як геоценоконсорцій або мікроекосистем.

Для досягнення поставленої мети необхідно вивчити та дослідити нові сорти й лінії тритикале озимого і пшениці м'якої озимої як окремі екоморфні геоценоконсорції та провести їх градацію за проявом генотипових та фенотипових характеристик для найкращої відповідності генотипів природно-кліматичним умовам екотопу вирощування.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Методологічною основою нашого дослідження було вчення В. І. Вернадського про ноосферу (Vernadskii, 1944), концепція виду як системи М. І. Вавілова, вчення В. М. Сукачова про біогеоценоз (Sukachiov, 1945), концепція консорції Л. Г. Раменського (Ramenskii, 1938) та В. М. Беклемішева (Bekliemyshev, 1951), сільськогосподарська екологія М. Т. Масюка (Masiuk et al., 1994). Науково-теоретичною базою стали сучасні гіпотези саморегуляції агроєкосистем, концепції екосистемного підходу та екологобезпеченого розвитку аграрного виробництва. Наукові дослідження виконували комплексно, використовуючи методи сільськогосподарської екології: екосистемного підходу, польовий і морфобіометричний; декекологічний; аналізу та синтезу, наукової абстракції причинно-наслідкових зв'язків у певній, логічно обґрунтованій послідовності; лабораторний; інформаційний; математично-статистичний; розрахунково-порівняльний.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Згідно з вченням О. Л. Бельгарда про екоморфи – як сукупність рослин, що мають низку спільних пристосувальних ознак до певного екологічного чинника, ми розглядали й диференціювали сорти і константні лінії тритикале та пшениці м'якої озимої (яким властива різна екологічна пластичність до тих чи інших абіотичних чи біотичних чинників) за пристосованістю до умов зволоження – гігморфністю, зокрема на:

– *гігморфни для умов недостатнього та помірного (нестійкого) зволоження* (ГТК – $< 0,6$ і < 1): Вівате Носівське, Пшеничне (тритикале напівкарликового типу розвитку); КС 14, КС 5, КС 1; Носшпа 100, КС 22, КС 16, КС 21 (пшениця напівкарликового типу розвитку);

– *гігморфни для умов достатнього та надмірного зволоження* (ГТК = 1 і $> 1,5$): ДАУ 5, Еллада, Августо (тритикале); КС 17, Л 4696/96 (пшениця);

– *гігморфни з високо вираженою адаптацією до умов недостатнього та помірного зволоження і достатнього та надмірного зволоження*: Славетне, Славетне поліпшене (тритикале); Ювіата 60, Носшпа 100, Придеснянська напівкарликова, Зоряна Носівська, КС 7, що дозволили одержати уявлення про екологічне розмаїття угруповань тритикале озимого й пшениці м'якої озимої.

Гігморфни, як аут- і синекоекологічна категорії, характеризують преференції організмів до градацій режиму зволоження ґрунту та відносної участі в угрупованні певного гігротопу, а трофоморфи – до градацій трофності едафотопу (Belgard, 1950). Дослідження генотипів зернових культур у різних фізико-географічних екотопах, дозволило встановити, їхню певну гігморфічну приналежність, тісно пов'язану в просторовому розподілі з різними гігротопами (Полісся, Лісостепу та перехідної зони Лісостеп-Полісся) (табл. 1).

Таблиця 1

Урожайність зерна гігморф тритикале озимого залежно від гідротермічних чинників Лісостепу, перехідної зони Лісостеп-Полісся та Полісся, середнє за 2007–2013 рр.

Назва сорту	Гідротермічний коефіцієнт (ГТК)	$\leq 0,6$	≤ 1	1–1,5	$\geq 1,6$	≥ 2
		Урожайність зерна, т/га				
АД 256 (st)		3,2	3,8	6,1	4,9	4,3
Славетне		4,2	4,7	6,8	5,7	5,2
ДАУ 5		3,3	3,2	4,7	4,8	4,4
Вівате Носівське		4,1	4,6	5,1	4,2	3,5
Пшеничне		3,7	4,5	4,8	3,5	3,2
Августо		3,5	4,3	5,7	4,8	4,5
Чорноостисте		3,1	3,3	4,4	4,3	4,3
Славетне поліпшене		3,7	5	7	6,4	4,7
НІР ₀₅		0,16	0,44	0,25	0,8	0,32

Відповідно до закону мінімуму Ю. Лібіха, нами встановлено, що екстремальними умовами вологості є значення ГТК = $< 0,6$ або ГТК $> 1,5$. Гігморфни тритикале озимого і пшениці м'якої озимої формують екологічні чітко визначені групи по відношенню до умов вологості. Приналежність генотипів зернових до певної гігморфни свідчить про те, що саме в конкретних умовах зволоження едафотопу, генотип із найбільшою ймовірністю може досягти своєї максимальної продуктивності й повною мірою розкрити свої функціональні властивості. Тому гігморфни досліджуваних озимих культур ми розглядаємо як аутекологічну та синекоекологічну категорії, що відображають один із напрямків екологічної концептуалізації угруповань рослин.

Багаторічні дослідження сортів та ліній тритикале і пшениці як окремих екоморфних геоценоконсорцій за проявом генотипових та фенотипових характеристик дозволили ранжувати їх за трофоморфністю, а саме на:

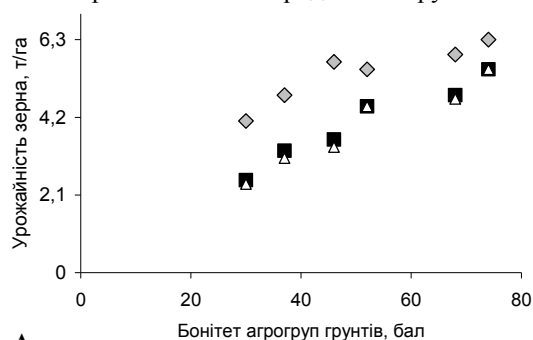
– *мегагрофи* – генотипи тритикале: Вівате Носівське, Пшеничне, ДАУ 5, Чаян, Еллада Чорноостисте; генотипи пшениці: Носшпа 100, Придеснянська напівкарликова, КС 14, КС 5, КС 1; Носшпа 100, КС 22, КС 16, КС 21 – екоморфи, що вимогливі до родючості ґрунту і чутливі до елементів мінерального живлення;

– *мезотрофи* – генотипи тритикале: Августо, Ягуар, Зерноукісне; генотипи пшениці: Зоряна Носівська, Ювівата 60, Л 4696/96 – екоморфи, які помірно вимогливі до родючості ґрунту й займають проміжне місце між оліготрофами і евтрофами;

– *олігомезотрофи* – генотипи тритикале: Славетне, Славетне поліпшене, ДАУ 5 – екоморфи, що невибагливі до родючості ґрунту та культури землеробства.

Трофоморфи однієї і тієї самої екологічної групи відрізняються специфічними та неспецифічними особливостями трофічних потреб (Belgard, 1950; Belgard and Markov, 1987). У результаті наших досліджень встановлено, що на фоні змін умов навколишнього природного середовища екоморфи здатні до флуктуаційних змін морфотипу, залежно від трофо- та гігоморфних характеристик та особливостей співвідношень ценоморфних видів.

Це підтверджується реакцією генотипів на родючість ґрунту (за балом бонітету) та дію мінеральних добрив (рис. 1 А, В). Нами встановлено, що більш залежать від забезпеченості ґрунтів поживною речовиною середньорослі й коротко-стеблові генотипи, які, в свою чергу, належать до різних гігоморф – це Вівате Носівське, Пшеничне (ксеромезофіт) та ДАУ 5, Чаян, Чорноостисте (мезогігрофіт). Сорти Славетне та Славетне поліпшене за трофоморфністю віднесено до проміжної групи і здатні формувати високі врожаї за низької родючості ґрунтів.



А

◆ Славетне поліпшене: $y = 2,19x - 3,15 + 0,57x^2$; $R^2 = 0,9$

■ ДАУ 5: $y = 3,0935x - 7,9876 + 0,7x^2$; $R^2 = 0,95$

△ Вівате Носівське: $y = 3,23 - 8,6 + 0,45x^2$; $R^2 = 0,41$

Рис. 1А. Трофоморфність екоморф тритикале озимого, залежно від родючості ґрунтів, середнє за 2005–2013 рр.; бал бонітету: 74–60 – для умов Центрального Лісостепу; 52–46 – перехідної зони Лісостеп-Полісся; 37–30 – Полісся; вуса - дисперсія

Вивчення питань з формування загальної фотосинтетичної продуктивності (ЗПФ) дозволило встановити, що для найпродуктивніших сортів від інтенсивності фотосинтезу найбільшою мірою (в середньому до 24 %), порівняно з іншими показниками, залежить формування колосу. За участю стебла і листя, ЗПФ для низки сортів (Славетне, ДАУ 5, Чаян, Пшеничне, Славетне поліпшене, Августо, Ягуар, Еллада, Чорноостисте, Зерноукісне, Вівате Носівське) становить 38 і 43 %, окрім сортів Еллада і Ягуар. Для середньорослих сортів тритикале озимого (Славетне, Славетне поліпшене, Августо) найвищий рівень фотосинтетичної продуктивності

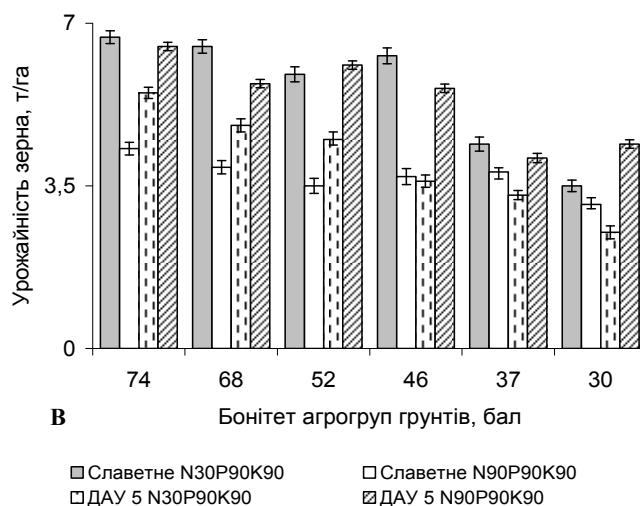


Рис. 1 В. Трофоморфність екоморф тритикале озимого, залежно від родючості ґрунтів і доз мінеральних добрив, середнє за 2005–2013 рр.; бал бонітету: 74–60 – для умов Центрального Лісостепу; 52–46 – перехідної зони Лісостеп-Полісся; 37–30 – Полісся; вуса - дисперсія

залежить від середньої площі листка. За продуктивною фотосинтетичною діяльністю та урожайністю зерна визначено межі екологічного оптимуму залежно від умов екотопів, строків сівби, доз мінеральних добрив. Зокрема, для середньостиглого сорту Славетне діапазон екологічного оптимуму за строками сівби припадає на 10–30 вересня – 1–5 жовтня для Лісостепового та Лісостеп-Поліського екотопів та 10–25 вересня – Поліського екотопу; за дозою мінеральних добрив – $N_{30-40}P_{90}K_{90}$ і $N_{40-60}P_{90}K_{90}$, відповідно. Для середньораннього, стійкого до вилягання сорту Вівате Носівське за строками сівби екологічний оптимум припадає на 10–20 вересня для умов Лісостепу, 5–20 вересня – Лісостеп-Полісся, за дозою мінеральних добрив – $N_{60-120}P_{90-120}K_{90-120}$ і $N_{90-120}P_{90-120}K_{90-120}$, відповідно. Встановлено, що в центральній частині Лісостепу короткостеблові, середньостиглі сорти ДАУ 5, Чаян на фоні $N_{30}P_{90}K_{90}$ та $N_{30+30}P_{90}K_{90}$ за сівби з 15 вересня до 15 жовтня формують високі та середні показники фотосинтетичної продуктивності. Це дозволило диференціювати сорти тритикале за чутливістю до тривалості світлового дня на:

- *високочутливі* – генотипи з високим потенціалом урожайності та якості зерна (Вівате Носівське, Пшеничне);
- *середньочутливі* – генотипи, що забезпечують максимальний урожай за різних строків сівби (Славетне, Славетне поліпшене, ДАУ 5, Чаян, Чорноостисте);
- *проміжні* – генотипи, що формують високу врожайність і якість зерна за оптимальних строків сівби (Августо, Ягуар, Еллада).

Для генотипів тритикале озимого щодо питань строків сівби потрібно підходити індивідуально для уникнення небажаних екологічних чинників і втрат урожаю (табл. 2). Висока чутливість цих генотипів до тривалості світлового дня зумовлює більш ранній початок формування фітоценозів та, відповідно, ранній збір високого та якісного врожаю, що вирішує проблему збору врожаю зерна тритикале у зоні нестійкого зволоження. Генотипи тритикале озимого першої групи (Вівате Носівське, Пшеничне), виведені в умовах перехідної зони Лісостеп-Полісся, – це, здебільшого, ранньостиглі, резистентні до несприятливих високих температур, високоінтенсивні сорти лісостепового екотипу. Сорти тритикале озимого з середньою чутливістю до тривалості світлового дня – Славетне, Славетне поліпшене, ДАУ 5, Чаян,

Чорноостисте, – це середньостиглі, резистентні до несприятливих низьких і високих температур. Ці сорти забезпечують високу урожайність зерна як за раннього, оптимального, так і за пізнього строків сівби, оскільки формують менш потужну наземну вегетативну масу перед припиненням вегетації восени та рано навесні після відновлення вегетації. Це дозволяє зазначеним вище екоморфам протистояти несприятливим біотичним чинникам, а натомість не застосовувати засоби хімічного захисту рослин. Відомо, що чинники навколишнього природного середовища по-різному впливають на трофо- та гігоморфи. Застосування підвищених доз мінеральних добрив підвищує продуктивність мегатрофів (Вівате Носівське, Пшеничне, ДАУ 5, Чаян, Еллада Чорноостисте) і, навіть, за умови вирощування на низько родючих ґрунтах. Встановлено, що сорти тритикале озимого, по відношенню до конкретної дози фосфорно-калійних добрив, по-різному реагують, зокрема, за вмістом вуглеводів у вузлі кушення (табл. 3). Для сорту Славетне поліпшене застосування $P_{90}K_{90}$ підвищує вміст загальних цукрів у вузлі кушення на 16,8–17,4 %. Застосування восени мінерального азоту у дозі N_{30} на фоні фосфорно-калійних добрив вірогідно ($p = 0,95$) збільшує нагромадження загальних цукрів й для інших сортів – ДАУ 5, Августо.

Таблиця 2

Чутливість екотипів тритикале озимого до термінів сівби за тривалістю осінньої вегетації, (середнє за 2007–2013 рр., Центральний Лісостеп України)

Назва сорту	Строк сівби							
	1–10 вересня		10–20 вересня		20–30 вересня		1–10 жовтня	
	тривалість вегетації восени, діб	урожайність зерна, т/га	тривалість вегетації восени, діб	урожайність зерна, т/га	тривалість вегетації восени, діб	урожайність зерна, т/га	тривалість вегетації восени, діб	урожайність зерна, т/га
АД 256 (ст.)	55	4,7	51	5,8	32	5,5	18	4
ДАУ 5	62	4,2	55	4,7	36	4,6	25	4,4
Вівате Носівське	60	5,1	50	4,8	28	4	10	3,6
Славетне	57	5	56	6,2	30	6	20	4,8
$НІР_{05}$	2,8	0,14	4,2	0,27	1	0,5	3,3	0,22

Таблиця 3

Вміст загальних цукрів у вузлі кушення тритикале озимого, залежно від дози мінеральних добрив і генотипу (середнє за 2008–2013 рр., Лісостеп України)

Назва сорту	Вміст загальних цукрів, %				
	варіанти досліджень				
	без добрив (контроль)	$P_{60}K_{60}$	$P_{90}K_{90}$	$N_{30}P_{60}R_{60}$	$N_{30}P_{90}R_{90}$
АД 256 (st)	29,4	29,5	39,7	33,3	39,5
Славетне	27,5	31,5	40,5	38,6	42,7
ДАУ 5	29,5	30,5	38,7	38,3	41,1
Вівате Носівське	23,5	24,6	35,5	29,9	37,5
Пшеничне	23,5	24,2	36,6	29,1	36,5
Августо	24,6	27,7	35	36,3	37,6
Чорноостисте	27,2	30,6	37,4	35,5	34,5
Славетне поліпшене	33,3	35,1	42,2	38,7	42,3
$НІР_{05}$	4,4	6,3	1,8	3,9	2,2

Встановлено, що екоморфи Вівате Носівське, Пшеничне, ДАУ 5, Чаян, Чорноостисте, які віднесені до групи мегатроф, на збіднених на органічну речовину ґрунтах формують низьку урожайність та якість зерна, є слабоконкурентними по відношенню до сегетальної рослинності і менш толерантними проти збудників грибкових захворювань. Цю ситуацію вдається нівелювати підбором інших генотипів або шляхом застосування органічних і мінеральних добрив, мікробних препаратів. Загалом, результати багаторічних досліджень, проведених у різних екотопах, дали змогу групувати екоморфи тритикале та пшениці м'якої озимої і за рівнем приналежності до певного екологічного чинника (табл. 4).

Згідно з наведеними даними в таблиці 4, видно, що деяким генотипам (Славетне, Славетне поліпшене, ДАУ 5, Чаян, Чорноостисте; Ювіата 60, Придеснянська напівкарликова, КС 1, КС 5, КС 16, КС 22, Л 4696/96) притаманний високий рівень спеціалізації щодо екологічних режимів зон Полісся та Лісостепу.

Таблиця 4

Преференції екоморф тритикале озимого і пшениці м'якої озимої до екологічних чинників

Екологічний чинник	Лімітуючий прояв чинника (рівень приналежності)		
	висока	середня	нижче середнього
Режим зволоження гіротопу (ГТК)	ДАУ 5, Чаян, Августо, Чорноостисте	Славетне, АД 256, Славетне поліпшене, Августо; КС 17, Л 4696/96; Ювіата 60, Носшпа 100, Придеснянська напівкарликова	Вівате Носівське, Пшеничне; КС 1, КС 5, КС 14, КС 16, КС 21, КС 22
Трофічний режим трофотопу (добрива, попередник)	Вівате Носівське, ДАУ 5, Еллада, Чаян, Чорноостисте, Пшеничне; КС 1, КС 5, КС 14, КС 16, КС 21, КС 22	Августо, Ягуар, Зерноукісне; Придеснянська напівкарликова, Л 4696/96; Ювіата 60, Носшпа 100	Славетне, Славетне поліпшене
Строки сівби	Вівате Носівське; Носшпа 100, КС 1, КС 5, КС 14, КС 17, КС 21, КС 22	АД 256, Славетне; Придеснянська напівкарликова, Л 4696/96, Ювіата 60	ДАУ 5
Фітопатогенні чинники	Еллада, Зерноукісне	АД 256, Вівате Носівське, Пшеничне; Носшпа 100, Л 41/95,	Славетне, ДАУ 5, Славетне поліпшене, Чаян, КС 1, КС 5, КС 14, КС 16, КС 21, КС 22, Придеснянська напівкарликова, Ювіата 60

Отже, екоморфічна диференціація цих сортів підкреслює їхній рівень спеціалізації щодо екологічних чинників і є підґрунтям для стратегії формування високопродуктивних фітоценозів *Triticeae* в конкретному екотопі.

ВИСНОВКИ

1. Вивчено нові генотипи лісостепоного та поліського екотипів з триби *Triticeae* в аспекті взаємодії двох систем: організму (генотипу) та навколишнього природного середовища на аут-, дем- та синекоекологічному рівнях. Одержані нами дані дозволяють підвищити продуктивність агроєкосистеми в цілому та отримувати стабілізуючу продуктивність культур через кращу відповідність та адаптивність генотипів умовам НПС в конкретних екотопах.

2. Сорти та лінії тритикале і пшениці м'якої озимої, досліджених на різних рівнях інтеграції, дозволило виявити їхні морфологічні, біологічні та екологічні відмінності, на підставі чого генотипи диференційовано за гігроморфністю – пристосованістю до умов зволоження, зокрема на:

– *гігроморфи для умов недостатнього та помірного (нестійкого) зволоження* (ГТК – $< 0,6$ і < 1): Вівате Носівське, Пшеничне (тритикале напівкарликового типу розвитку); КС 14, КС 5, КС 1; КС 22, КС 16, КС 21 (пшениця напівкарликового типу розвитку);

– *гігроморфи для умов достатнього та надмірного зволоження* (ГТК = 1 і $> 1,5$): ДАУ 5, Еллада, Августо (тритикале); КС 17, Л 4696/96 (пшениця);

– *гігроморфи з високо вираженою адаптацією до умов недостатнього та помірного зволоження і достатнього та надмірного зволоження*: Славетне, Славетне поліпшене (тритикале); Ювівата 60, Носшпа 100, Придеснянська напівкарликова, Зоряна Носівська, КС 7 (пшениця), що дозволили одержати уявлення про екологічне розмаїття угруповань тритикале озимого й пшениці м'якої озимої.

3. Багаторічні дослідження сортів та ліній дозволили ранжувати їх за трофоморфністю на:

– *мегатрофи* – вимогливі до родючості ґрунту і чутливі до внесення елементів мінерального живлення (генотипи тритикале: Вівате Носівське, Пшеничне, ДАУ 5, Чаян, Еллада, Черноостисте; генотипи пшениці: Носшпа 100, Придеснянська напівкарликова, КС 14, КС 5, КС 1, КС 22, КС 16, КС 21);

– *мезотрофи* – помірно вимогливі до родючості ґрунту й займають проміжне місце між оліготрофами і евтрофами (Августо, Ягуар, Зерноукісне; генотипи пшениці: Зоряна Носівська, Ювівата 60, Л 4696/96);

– *олігомезотрофи* – невибагливі до родючості ґрунту та культури землеробства (Славетне, Славетне поліпшене, ДАУ 5).

Трофоморфи однієї і тієї самої екологічної групи відрізняються специфічними та неспецифічними особливостями трофічних потреб.

4. Екоморфи тритикале озимого і пшениці м'якої озимої диференційовано за чутливістю до тривалості світлового дня на:

– *високочутливі* – генотипи з високим потенціалом урожайності та якості зерна, зокрема *тритикале*: Вівате Носівське, Пшеничне; *пшениці*: Придеснянська напівкарликова, Носшпа 100, КС 1, КС 5, КС 14; КС 21;

– *середньочутливі* – генотипи, що забезпечують максимальний урожай за різних строків сівби (Славетне, Славетне поліпшене, ДАУ 5, Чаян, Черноостисте; КС 22, КС 16);

– *проміжні* – генотипи, що формують високу врожайність і якість зерна за оптимальних строків сівби: тритикале (Августо, Ягуар, Еллада), пшениця (Носшпа 100, КС 1, КС 5, КС 17, КС 21, КС 22).

Для генотипів тритикале озимого та пшениці м'якої озимої щодо питань строків сівби потрібно підходити індивідуально для уникнення небажаних екологічних чинників і втрат урожаю.

5. Встановлено, що екоморфи тритикале (Вівате Носівське, Пшеничне, ДАУ 5, Чаян, Черноостисте) і пшениці м'якої (Носшпа 100, Придеснянська напівкарликова, КС 1, КС 5, КС 14; КС 16, КС 21, КС 22), які віднесені до групи мегатроф, на збіднених на органічну речовину ґрунтах формують низьку урожайність та якість зерна, є слабоконкурентними по відношенню до сегетальної рослинності і менш толерантними проти збудників грибкових захворювань. Цю ситуацію вдається нівелювати підбором інших генотипів або шляхом застосування органічних і мінеральних добрив, мікробних препаратів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Bykov, B. A., 1988. Ekologichieskii slovar [Ecological dictionary]. Nauka, Alma-Ata (in Russian).
Bekliemyshev, V. N., 1951. Biul. MOIP. Otd. biol. [Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Dep. biol.]. 11, 3–30 (in Russian).

Belgard, A. L., 1950. Lesnaia rastitelnost yugo-vostoka USSR [Forest vegetation south-east of USSR]. KGU, Kyiv (in Ukrainian).

Belgard, A. L., Markov, M. V., 1987. Okhrana i ratsionalnoie ispolzovanie zashchitnykh lesov stepnoi zony [Protection and rational use of protective forest steppe zone]. Dnepropetrovsk State University Publ. DGU, Dnepropetrovsk (in Ukrainian).

Didukh, Y. P., Pliuta, P. H., 1994. Fitoindukatsiia ekologichnykh faktoriv [Phytoindication ecological factors]. Naukova dumka, Kyiv (in Ukrainian).

Khramtsov, L. I., Khramtsov, V. L., 2013. Versiia o substantsii peizazha: monografiia [The version of the substance landscape: a monograph]. Monolit, Dnepropetrovsk (in Ukrainian).

Ramenskii, L. G., 1938. Vvedeniie v kompleksnoie pochvenno-geobotanicheskoe issledovanie zemel [Introduction to comprehensive soil-geobotanical research of lands], Moscow, Selkhozgiz, (in Russian).

Sukachiov, V. N., 1945. Doklady AN SSSR [Reports of USSR], 47, 6, 447–449 (in Russian).

Vinberg, G. G., 1981. Zhurn. obshch. biologii. [Journal of general biology]. Moscow (in Russian).

Vernadskii, V. I., 1944. Uspekhi biologii [Successes of biology], 18, 2, 113–120, Moscow (in Russian).

Akimov, M. P., 1948. Nauch. zap. [Scientific notes]. Dnepropetrovsk State University Publ. Dnepropetrovsk (in Ukrainian).

Akimov, M. P., 1954. Biul. Moscovskogo o-va isp. prirody [Bulletin of Moscow Society of nature use], 49 (3), 27–36 (in Russian).

Masiuk, N. T., Kharitonov, N. N., Mytsyk, A. A., Kulinich, B. B., 1994. Agrochimiia and Pochvoviedeniie. [Agrochemistry and Soil Science]. Kharkov (in Ukrainian).

Mazing, V. V., 1972. Razvitiie kontseptsyi strukturnykh urovniei v biologii [Development of the concept of structural levels in biology] (in Russian).

Стаття надійшла в редакцію: 23.02.2015

Рекомендує до друку: д-р с.-г. наук, проф. А. В. Боговін

BIOGEOCENOLOGY, GEOBOTANY AND PHYTOCENOLOGY



I. I. Krokhmal 

Cand. Sci. (Biol.), Sen. Res.

UDK 581.45:581.522.4

*Institute for Evolutionary Ecology of the National
Academy of Sciences of Ukraine,
Lebedeva str., 37, Kyiv, Ukraine, 03143*

FUNCTIONAL ANATOMY AND MORPHOLOGY OF LEAF *CAMPANULA SIBIRICA* L.

Abstract. The functional anatomy and morphology of leaf *Campanula sibirica* L. in different habitat conditions are investigated: in the Donetsk Botanical Garden of NAS of Ukraine (Donetsk, south-east of Ukraine, steppe zone) and in the Crimea: 1) Range Echki-Dag (south-east coast of the Crimea), Kara-Oba; 2) Bakhchisarai, Calais. Comparison leaf parameters different versions of the experiment was carried out using a statistical test ANOVA.

Comparison of anatomical and morphological parameters of rosette leaves of *C. sibirica* in two localities in the Crimea showed that in arid conditions of the Crimea (Calais) increases the thickness of leaf, mesophyll, abaxial epidermis. The number of cells on the abaxial side of leaf is not changed, the number of stomata, epidermal-stomatal (SEI) and pore-stomatal (SPI) indices are decreased, while the stomatal size is increased.

It was found that in more arid growing conditions (Crimea, Calais) leaves of different formations *C. sibirica* are large values of specific leaf area (SLA), the stomatal size, lower values of leaf area (S), weight of dried leaf (M_1) compared with Donetsk.

Revealed that the responses to changing environment conditions are 1) to increase the number of links the functional leaf parameters and their closeness, 2) quantitative changes in stomatal-epidermal complex and the internal leaf anatomy. The most significant are the changes in stomatal complex, since it is linked with important adaptive traits of plants. In more severe conditions habitat of *C. sibirica*: 1) decreases palisade coefficient and stomatal density, increases their size with increases index (I) of rosette leaf; 2) significant changes occur in stomatal density on the abaxial side (increases) and stomatal length (decrease) with increases weight of cauline leaf, ratios M_1/M , M_1/S , leaf thickness, mesophyll thickness. The length of petiole of rosette leaf (L_p) is linked with leaf weight, M/S , tcm/tl . By increasing the length of the stomata (L_s) increases the specific leaf area (SLA). The length of the stomata (L_s) is positively correlated with leaf index, tcm/tl and tfe/tl , negatively with tcm/tl , palisade coefficient (k). Stomatal pore-index (SPI), which is associated with a complex adaptive traits of plants, defining the strategy of their function, positively linked with tcm/tl .

The adaptive traits of plants *C. sibirica* at: 1) rosette leaves – increases mesophyll thickness, in particular columnar mesophyll, abaxial epidermis, specific leaf area (SLA), a decreases area and weight of leaf, length of the petiole, the number of stomata, stomatal pore-

 Tel.: +38095-401-99-78. E-mail: dies_ira78@mail.ru

DOI: 10.15421/031506

index (SPI) with a simultaneous increases stomatal length; 2) cauline leaves – increases mesophyll thickness, specific leaf area (SLA), a decreases area and weight of dried leaf, increases the stomatal width. The fact that the cauline leaves function and provide vital activity of plant in the most extreme temperature and humidity period causes a greater number relations of their functional parameters and closeness of links compared with rosette. In more arid habitat conditions leaves of different formations *C. sibirica* are characterized by high photosynthetic energy use efficiency (PEUE), and low water use efficiency (WUE).

Key words: functional anatomy, stomatal-epidermal complex, functional morphology, leaf, adaptive trait.

УДК 581.45:581.522.4

І. І. Крохмаль

канд. біол. наук, стар. наук. співр.

*Інститут еволюційної екології НАН України,
вул. Лебедєва, 37, м. Київ, Україна, 03143,
тел.: +38095-401-99-78, e-mail: dies_irae78@mail.ru*

ФУНКЦІОНАЛЬНА АНАТОМІЯ И МОРФОЛОГІЯ ЛИСТКА *CAMPANULA SIBIRICA* L.

Анотація. Досліджено функціональну анатомію і морфологію листка *Campanula sibirica* L. в різних умовах існування. Порівняння параметрів листка в різних варіантах досліді проводили з використанням статистичного тесту ANOVA. Виявлено, що відповідними реакціями на умови середовища, що змінюється є: 1) підвищення кількості зв'язків функціональних параметрів листка і їх тісноти, 2) кількісні зміни в продихово-епідермальному комплексі та внутрішньої анатомії листка. Найбільш значущими є зміни в продиховому комплексі, так як він пов'язаний з важливими адаптивними ознаками рослин. Виявлено, що в найбільш жорстких умовах існування розмір, площа і вага сухого листка різних формацій *C. sibirica* зменшуються. Адаптивні ознаки рослин *C. sibirica* на рівні: 1) розеткового листка – збільшення товщини мезофілу, зокрема стовбчатого, абаксiального епідермісу, питомої площі листа (SLA), зменшення площі і ваги листка, довжини черешка, кількості продихів, продихово-порового індексу (SPI) з одночасним збільшенням довжини продихів; 2) стеблового листка – збільшення товщини мезофілу, питомої площі листка (SLA), зменшення площі і ваги сухого листка, збільшення ширини продихів. Той факт, що стеблове листя функціонує і забезпечує життєдіяльність рослини в найбільш екстремальний за температурою і вологою період, обумовлює більшу кількість зв'язків його функціональних ознак та їх тісноту в порівнянні з розетковим. У більш посухостійких умовах існування листя різних формацій *C. sibirica* відрізняється високою ефективністю використання енергії фотосинтезу (PEUE) та низькою ефективністю використання води (WUE).

Ключові слова: функціональна анатомія, продихово-епідермальний комплекс, функціональна морфологія, лист, адаптивна ознака.

УДК 581.45:581.522.4

И. И. Крохмаль

канд. биол. наук, стар. науч. сотр.

*Институт эволюционной экологии НАН Украины,
ул. Лебедева, 37, г. Киев, Украина, 03143,
тел.: +38095-401-99-78, e-mail: dies_irae78@mail.ru*

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ АНАТОМИЯ И МОРФОЛОГИЯ ЛИСТА *CAMPANULA SIBIRICA* L.

Аннотация. Исследована функциональная анатомия и морфология листа *Campanula sibirica* L. в разных условиях обитания. Сравнение параметров листа в разных вариантах опыта проводили с использованием статистического теста ANOVA. Выведено, что ответными реакциями на условия изменяющейся среды являются: 1) повышение количества связей функциональных параметров листа и их тесноты, 2) количественные изменения в устьично-эпидермальном комплексе и внутренней анатомии листа. Наиболее значимыми являются изменения в устьичном комплексе, так как он связан с важными адаптивными признаками растений. Выведено, что в наиболее жестких условиях существования размер, площадь и вес

высушенных листьев разных формаций *C. sibirica* уменьшаются. Адаптивные признаки растений *C. sibirica* на уровне: 1) розеточного листа – увеличение толщины мезофилла, в частности столбчатого мезофилла, абаксиального эпидермиса, удельной площади листа (SLA), уменьшение площади и веса листа, длины черешка, количества устьиц, устьично-порового индекса (SPI) с одновременным увеличением длины устьица; 2) стеблевого листа – увеличение толщины мезофилла, удельной площади листа (SLA), уменьшение площади и веса высушенного листа, увеличение ширины устьица. Тот факт, что стеблевые листья функционируют и обеспечивают жизнедеятельность растения в наиболее экстремальный по температуре и влаге период, обуславливает большее количество связей их функциональных параметров и их тесноту в сравнении с розеточными. В засушливых условиях обитания листья разных формаций *C. sibirica* отличаются высокой эффективностью использования энергии фотосинтеза (PEUE), низкой эффективностью использования воды (WUE).

Ключевые слова: функциональная анатомия, устьично-эпидермальный комплекс, функциональная морфология, лист, адаптивный признак.

ВВЕДЕНИЕ

Аллометрические модели масштабирования, описывающие биологические процессы, важны для понимания адаптивных реакций растений к изменениям условий произрастания (Niklas, 1994; Hui et al., 2012). Адаптации растений к экстремальным условиям существования связаны со значительными перестройками их ассимилирующего аппарата, высокочувствительного к внешним воздействиям. Морфологические изменения листа являются функциональным ответом на факторы окружающей среды (Zhongqiang, Dan, 2009; Scheepens et al., 2010). Фотосинтетический аппарат растений обладает высокой пластичностью, что выражается в значительной вариабельности размеров листа и его анатомических характеристик.

В последние годы вопросы анатомии и физиологии листа, эпидермально-устьичного комплекса освещены в работах многих авторов (Poorter, Remkes, 1990; Tsialtas et al., 2002; Shipley, 2002; Wright et al., 2004; Shipley et al., 2005; Shipley, 2006; Franks et al., 2009; Brodribb et al., 2013). Изучение морфолого-анатомических особенностей листа видов рода *Campanula* L. проводится с целью уточнения систематики видов (Alcitere, Yildiz, 2010; Dremlyuga, 2012) или выяснения механизмов адаптации растений к различным условиям обитания (Gyorgy, 2009; Gostin, 2012; Krokmal, 2013).

Изучение морфолого-анатомических особенностей листа, установление связей его функциональных параметров и их скоординированное изменение в ответ на различные условия среды представляет собой большой интерес и делает цель наших исследований актуальной. Процесс адаптации затрагивает весь организм растения в целом, связанные с ним морфолого-анатомические перестройки изменяют его физиологический статус, в результате чего растение получает возможность наиболее эффективно использовать ресурсы среды в новых для него экстремальных условиях существования (Menshakova et al., 2008).

Цель работы – выявление особенностей функциональной анатомии и морфологии листа *Campanula sibirica* L. в разных условиях обитания для определения адаптивных признаков растений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сравнивали морфолого-анатомические признаки листьев *C. sibirica* в условиях Донецкого ботанического сада НАН Украины (Донецк, юго-восток Украины, степная зона) и в Крыму: 1) хребет Эчки-Даг (юго-восточное побережье Крыма), г. Кара-Оба; 2) Бахчисарай, Чуфут-Кале (предгорье, склон Внутренней гряды Крымских гор, лесостепь, долина притока Каси – реки Чурук-Су). Климатограмма мест произрастания *C. sibirica* представлена на рисунке 1. Климат Эчки-Дага умеренно-континентальный. К вершинам хребта Эчки-Даг средняя температура уменьшается с

12 до 8 °С, количество осадков увеличивается от 350 до 700 мм в год, средняя температура июля 23–24 °С. Климат Бахчисарая предгорный, полузасушливый, теплый, с мягкой зимой, количество годовых осадков составляет 50 мм, средняя температура в январе 0,8 °С, в июле 21,7 °С (Klimat i ..., 1982). Город Донецк расположен на юго-востоке Украины на р. Кальмиус. Климат города умеренно-континентальный с прохладной зимой и теплым (иногда знойным) летом. Среднегодовая температура воздуха составляет 8,0 °С, наиболее низкая она в январе (-6,1 °С), наиболее высокая – в июле (20,9 °С). В среднем за год в Донецке выпадает 514 мм атмосферных осадков, меньше всего их в октябре, больше всего – в июне (Preobrazhenskii, 1959).

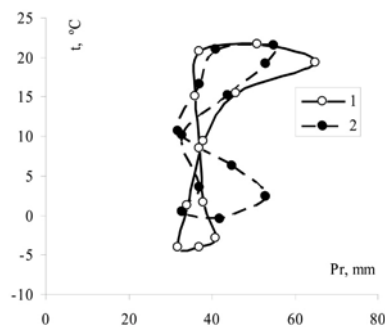


Рис. 1. Климатограмма местобитаний *Campanula sibirica* L.:
1 – Донецк, 2 – Крым (Чуфут-Кале);
t, °C – средняя температура, °C; Pr, mm – количество осадков, mm

Листья собирали с 5–10 растений в каждом варианте опыта, взвешивали, сканировали, с использованием программы AxioVision измеряли их площадь (S) и периметр (P), диаметр (d_p) и длину черешка (L_p) листа, рассчитывали индекс черешка – отношение диаметра черешка к его длине (d_p/L_p). Для анатомических исследований использовали временные препараты поперечного среза листа и эпидермиса. Измеряли толщину листа, мезофилла, эпидермиса, количество клеток и устьиц на 1 мм² поверхности листа, их размер. В работе использовали микроскоп Zeiss Primo Star. Отношения толщины тканей листа к общей толщине листа и коэффициент палисадности (k), т.е. отношение толщины столбчатого мезофилла к толщине губчатого (t_{cm}/t_{sm}), были вычислены согласно общепринятым методикам (Boyne, 2011; Boyne et al., 2013). Рассчитывали устьично-эпидермальный индекс (SEI, %) по формуле $ns \cdot 100 / (ec + ns)$, где ns – количество устьиц на 1 мм² поверхности листа, ec – количество эпидермальных клеток (Gupta, 1961). Длина замыкающих клеток устьиц (L_s) была использована для расчета устьично-порового индекса (SPI) по формуле $ns / (L_s)^2$ (Sack et al., 2003). Затем сканированные листья высушивали при температуре 60°C до постоянной массы и взвешивали, рассчитывали следующие показатели: m/S (отношение веса свежего листа к его площади), m₁/S (отношение веса высушенного листа к его площади), M/S (отношение веса свежей листовой пластинки к ее площади), M₁/S (отношение веса высушенной листовой пластинки к ее площади). Вычисляли удельную площадь листа (SLA, cm²/g) как отношение площади листа к его высушенной массе (SLA=S/m₁) (Sack et al., 2003). Известно, что один из адаптивных признаков растений к новым условиям среды – более высокая относительная скорость их роста (RGR), связана с высокой интенсивностью фотосинтеза и/или высокой удельной площадью листа (SLA) (Shipley, 2002). Для мировых сравнительных баз данных по экологическим свойствам растений удельная площадь листа является одним из лучших сравнительных показателей (Vendramini et al., 2002). Сравнение параметров листа в разных вариантах опыта проводили с использованием статистического теста ANOVA.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

C. sibirica распространен в Западной Сибири, на Алтае, в Средней Азии и Европе (Viktorov, 2005). Розеточные листья *C. sibirica* продолговатые, тупые, сужаются в черешок, стеблевые – ланцетные, заостренные, сидячие.

I. Отличия морфолого-анатомических параметров листа растений в разных местах обитания. Сравнение анатомо-морфологических параметров розеточных листьев *C. sibirica* в двух местообитаниях в Крыму, где он встречается как заносной натурализовавшийся вид, показало, что в засушливых условиях Крыма (Чуфут-Кале) увеличиваются толщина розеточного листа ($p < 0,002$), мезофилла ($p < 0,01$), как губчатого ($p < 0,001$), так и столбчатого ($p < 0,02$) в 2,0 раза, абаксиального эпидермиса – в 1,4 раза ($p < 0,001$), отношение толщины мезофилла к толщине листа (tm/tl) в 1,2 раза; уменьшаются отношение толщины эпидермиса к толщине листа (te/tl), верхнего эпидермиса к толщине листа (tue/tl) в 0,6 раза ($p < 0,002$), нижнего эпидермиса к толщине листа (tle/tl) в 0,7 раза ($p < 0,03$).

Увеличение слоев столбчатого мезофилла, возрастание их высоты – ксероморфные признаки растений в аридных условиях произрастания. Известно, что при произрастании в засушливых условиях и большой инсоляции происходит увеличение толщины пластинки листа и ассимиляционной ткани (Ivanova, 2014). Увеличение слойности и толщины палисадного мезофилла имеет адаптивный характер, поскольку основная фотосинтетическая деятельность листа связана именно с палисадной тканью. Обусловлено это тем, что новообразование хлоропластов в палисадной ткани происходит значительно дольше (Menshakova et al., 2008).

Количество клеток на абаксиальной стороне листа не изменяется, количество устьиц (ns) ($p < 0,05$), эпидермально-устьичный (SEI) ($p < 0,02$) и устьично-поровый (SPI) индексы ($p < 0,001$) уменьшаются в 0,7; 0,6 и 0,3 раза соответственно, тогда как размер устьиц увеличивается в 1,4 раза ($p < 0,002$). Количество клеток, устьиц и их размер на адаксиальной и абаксиальной поверхностях листа у растений *C. sibirica* на Чуфут-Кале одинаков, тогда как на верхнем эпидермисе растений на Кара-Обе располагаются единичные крупные устьица в сравнении с нижним эпидермисом.

В эволюционной экологии растений известна обратная довольно тесная корреляция между плотностью устьиц и их размером. Многие ученые (Franks, 2009; Brodribb et al., 2013; Zhang et al., 2012; Doheny-Adams et al., 2012) предполагают, что независимо от размера, формы, количества эпидермальных клеток, размер и плотность устьиц – это именно те эпидермальные признаки, которые определяют скорость газообмена, а более высокий темп проводимости более детерминирован высокой плотностью устьиц, а не увеличением их длины. В научной литературе известно, что SPI имеет тесную связь с известными адаптивными признаками: удельной площадью листа (SLA), биомассой, относительной скоростью роста (RGR) (Osunkoya et al., 2014); а также с физиологическими функциональными параметрами: максимальным фотосинтезом листа (A_{max}), затратами на строительство (CC), эффективностью использования воды (WUE) и энергии фотосинтеза (PEUE), которые в свою очередь связаны с экономией углерода (Osunkoya et al., 2010). Кроме того, в работах некоторых авторов встречаются доказательства того, что ключевые адаптивные признаки, такие как относительная скорость роста (RGR), накопление биомассы и удельная площадь листа (SLA) связаны с репродуктивным выходом растений (Wright et al., 2004). Следовательно, в засушливых условиях Крыма (Чуфут-Кале) для розеточных листьев *C. sibirica* в весенний период характерна высокая эффективность использования энергии фотосинтеза (PEUE) и максимальный фотосинтез (A_{max}) в сравнении с более влажным местообитанием в Крыму (хребет Эчки-Даг, г. Кара-Оба).

Сравнение растений *C. sibirica* в условиях Крыма (Чуфут-Кале) и Донецка показало, что в более аридных условиях (Чуфут-Кале) розеточные листья отличаются

меньшими значениями площади листа (S) ($p < 0,003$), его длины (L) в 0,6 раза, веса (m) в 0,1 ($p < 0,001$), длины черешка (L_p) и отношения веса листовой пластинки к ее площади (M/S ; M_1/S) в 0,3 раза ($p < 0,002$), веса высушенной листовой пластинки (M_1) в 0,2 ($p < 0,001$), количества устьиц на нижней поверхности листа (ns) в 0,5 ($p < 0,04$), устьично-порового индекса (SPI) в 0,4 ($p < 0,003$), te/tl ($p < 0,001$) и tle/tl ($p < 0,01$) в 0,8 раза; большими значениями длины устьица (Ls) в 1,2 ($p < 0,003$), индекса листа (I) в 2,4 ($p < 0,0005$), удельной площади листа (SLA) в 3,3 раза ($p < 0,0002$).

Некоторыми ботаниками (Osunkoya et al., 2014) доказано, что с изменением условий произрастания происходит значительное увеличение плотности устьиц, а не их размера. Однако возрастание плотности устьиц листа приводит к увеличению потребления углерода, но и увеличивает транспирацию. По мнению других ученых (Brodribb et al., 2013; Holland, Richardson, 2009) большое количество именно маленьких устьиц максимизирует диффузию CO_2 в листья для фотосинтеза без больших потерь воды. Несмотря на принятое некоторыми учеными положение о наличии большого количества мелких устьиц у мезофитов в засушливых условиях обитания (Ezau, 1980; Buinova, 1988), у *C. sibirica* на уровне розеточных листьев приспособление к жестким условиям произрастания достигается за счет уменьшения количества устьиц и увеличения их размеров. Последнее согласуется с мнением других авторов (Ceulemans et al., 1978; Bissing, 1982) о том, что низкая частота устьиц в сочетании с крупными их размерами способствует более эффективному контролю водообмена.

У стеблевых листьев *C. sibirica* в Крыму (Чуфут-Кале) в сравнении с Донецком достоверно больше отношение m/S в 2,0 раза ($p < 0,004$), ширина устьиц в 1,1 раза ($p < 0,02$), отношение толщины мезофилла к общей толщине листа (tm/tl) в 1,1 раза ($p < 0,001$), SLA в 3,8 раза ($p < 0,0001$); меньше размер листа ($p < 0,002$) – длина в 0,4, ширина – в 0,2 раза, индекс листа в 0,6, площадь и вес высушенного листа в 0,1 раза ($p < 0,001$).

Следовательно, в более аридных условиях произрастания (Крым, Чуфут-Кале) листья разных формаций *C. sibirica* отличаются большими значениями удельной площади листа (SLA), размера устьиц, меньшими значениями площади листа (S), веса высушенного листа (M_1) в сравнении с Донецком. К таким же выводам пришли Р.-Ё. Lauri et al. (2014), которые установили, что недостаток влаги приводит к уменьшению площади листовой пластинки и ее массы в абсолютных значениях. В Крыму (Чуфут-Кале) листья разных формаций *C. sibirica* характеризуются высокой эффективностью использования энергии фотосинтеза ($PEUE$) и максимальным фотосинтезом (A_{max}) в сравнении с Донецком.

II. Взаимоотношения функциональных морфолого-анатомических параметров листа, поиск адаптивных признаков растений. В более засушливых условиях произрастания (Чуфут-Кале) у растений возрастает количество связей анатомо-морфологических параметров листа разных формаций и их теснота, что является одной из адаптивных реакций растений на экстремальные условия (Krokhmal, 2013). О.О. Osunkoya et al. (2010) выявили более высокий уровень корреляции признаков у инвазивных видов в сравнении с аборигенными.

Толщина верхнего эпидермиса (tue) розеточного листа прямо коррелирует с толщиной столбчатого мезофилла (tcm) (0,90) и весом высушенной листовой пластинки (M_1) (0,94), толщина нижнего эпидермиса (tle) – с толщиной губчатого мезофилла (tsm) (0,79) и весом свежей листовой пластинки (M) (0,91). Известно, что клетки эпидермиса видов рода *Campanula* выполняют функцию запаса воды (Gyorgy, 2009).

Толщина столбчатого мезофилла (tcm) розеточного листа *C. sibirica* отрицательно связана с длиной устьица (-0,85) и его площадью (Ss) (-0,93). Отношение массы высушенной листовой пластинки к ее площади (M_1/S) увеличивается при возрастании толщины столбчатого мезофилла (0,92) и нижнего эпидермиса (0,99).

Площадь (-0,85) и вес (-0,91) листовой пластинки, толщина губчатого мезофилла (-0,85) и нижнего эпидермиса (tle) (-0,92) уменьшаются при увеличении эпидермально-устычного индекса (SEI). Устьично-поровый индекс (SPI) тесно связан с шириной листа (-0,93), индексом листа (-0,89), коэффициентом палисадности (0,78), отношениями M_1/M (-0,75). Следовательно, можно выявить смену стратегии функционирования листа по изменению его индекса в новых условиях произрастания. Соотношение веса высушенной листовой пластинки и сырой (M_1/M) увеличивается при возрастании длины устьица (0,92). При увеличении индекса розеточного листа (I) уменьшается коэффициент палисадности (-0,93), количество устьиц нижнего эпидермиса (-0,82), увеличивается их размер (рис. 2, a). Длина устьица (рис. 2, b), его площадь (-0,88) уменьшаются при увеличении коэффициента палисадности (k). Длина устьица обратно связана с отношением толщины столчатого мезофилла к толщине листа (tcm/tl) (рис. 2, c), прямо – с отношением толщины губчатого мезофилла к толщине листа (tsm/tl) (рис. 2, d) и отношением толщины нижнего эпидермиса к толщине листа (tle/tl) (0,99) (рис. 2, e).

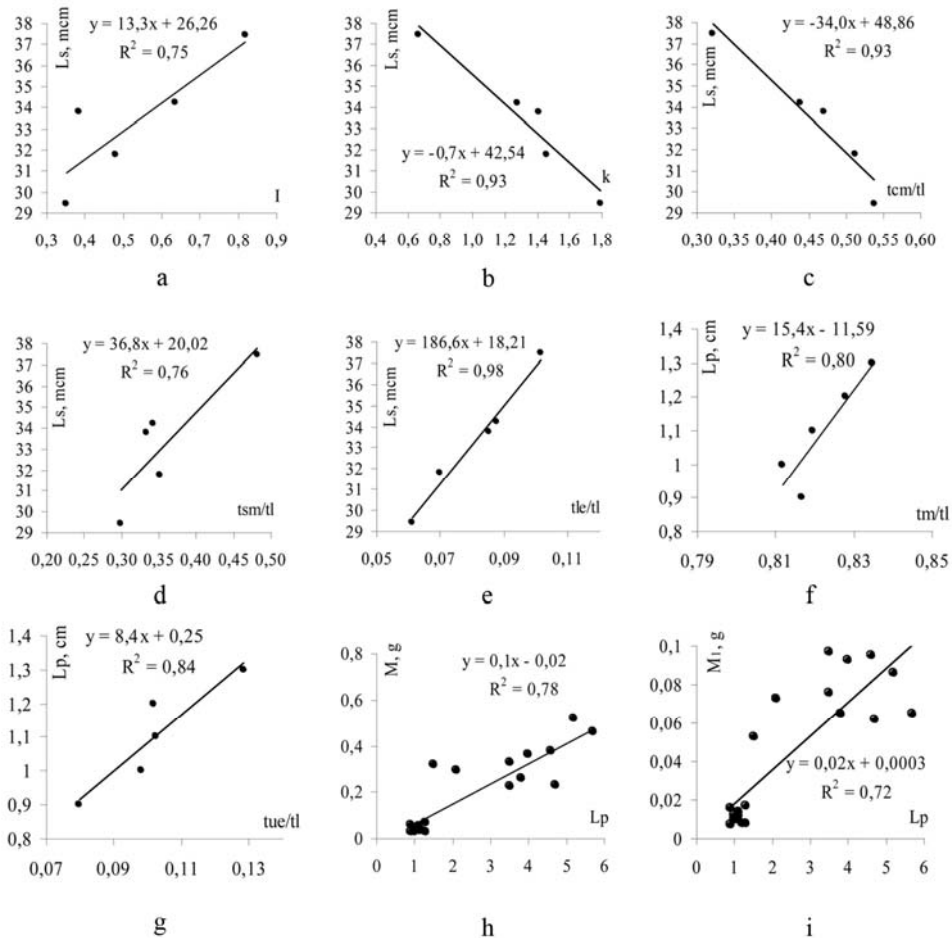


Рис. 2. Зависимость длины устьица нижнего эпидермиса розеточного листа *C. sibirica* от индекса листа (I) (a), коэффициента палисадности (k) (b), отношения толщины столчатого мезофилла к толщине листа (tcm/tl) (c), отношения губчатого мезофилла к толщине листа (tsm/tl) (d), отношения нижнего эпидермиса к толщине листа (tle/tl) (e); длины черешка розеточного листа (Lp) от отношений толщины мезофилла к толщине листа (tm/tl) (f), верхнего эпидермиса к толщине листа (tue/tl) (g); веса розеточного листа (свежего (M)) (h) и (высушенного (M_1)) (i);

a–g – в Крыму (Чуфут-Кале); h–i – в разных условиях произрастания

Удельная площадь розеточного листа растений (SLA) *C. sibirica* на Чуфут-Кале отрицательно коррелирует с толщиной столбчатого мезофилла (-0,93), верхнего эпидермиса (-0,98), отношением M/S (-0,90), M_1/S (-0,99), коэффициентом палисадности (-0,70); положительно – с длиной устьица (0,76). Длина черешка розеточного листа (L_p) *C. sibirica* возрастает при увеличении значения отношения толщины мезофилла к толщине листа (tm/tl) (рис. 2, *f*), отношения верхнего эпидермиса к толщине листа (tue/tl) (рис. 2, *g*).

Отношение толщины мезофилла к толщине листа (tm/tl) и толщины столбчатого мезофилла к толщине листа (tcm/tl), кроме того, что связано с длиной черешка и устьица, о чем приведено выше, положительно коррелирует с толщиной верхнего эпидермиса (0,95; 0,70 соответственно), отношениями M/S (0,95; 0,96), M_1/S (0,98; 0,79), M/M_1 (0,80; 0,91), коэффициентом палисадности (k) (0,75; 0,98); отрицательно – с удельной площадью листа (SLA) (-0,99; -0,83), индексом листа (-0,68; -0,92). Кроме того, отношение толщины столбчатого мезофилла к толщине листа (tcm/tl) положительно связано с устьично-поровым индексом (SPI) (0,70).

У розеточных листьев *C. sibirica* в условиях Донецка при увеличении толщины столбчатого мезофилла (tcm) возрастает толщина нижнего эпидермиса (tle). Большая жизнедеятельность столбчатого мезофилла требует большего количества притока воды с растворенными в ней минеральными веществами. Вода накапливается не только в межклетниках губчатой ткани, но и в нижнем эпидермисе. При увеличении диаметра черешка листа (dp) и, как следствие, возрастании его гидравлической проводимости, увеличивается накопление воды на единицу площади листа (M/S). Отношение толщины столбчатого мезофилла к толщине листа (tcm/tl) возрастает при увеличении длины черешка (L_p) (0,69).

Для общего массива данных розеточных листьев установлено, что при увеличении длины черешка листа (L_p) возрастает вес свежей (M) и высушенной листовой пластинки (M_1) (рис. 2, *h-i*), M/S (0,85). Удельная площадь листа (SLA) положительно связана с длиной устьица (0,84). Отношение толщины нижнего эпидермиса к толщине листа (tle/tl) увеличивается при возрастании длины черешка (L_p) (0,75).

У *C. sibirica* в Крыму (Чуфут-Кале) толщина стеблевого листа и мезофилла листа положительно связана с плотностью устьиц (0,90 и 0,86 соответственно) и отрицательно с их длиной (рис. 3, *a*). Увеличение веса листа также сопровождается значительными изменениями в плотности устьиц на абаксиальной стороне (возрастает) и их длине (уменьшается) (рис. 3, *b-c*). Отношения M_1/M и M_1/S положительно коррелируют с толщиной листа (0,87; 0,91 соответственно), с количеством устьиц нижнего эпидермиса (0,97; 0,92 соответственно) и отрицательно – с их длиной (-0,94). Удельная площадь стеблевого листа (SLA) уменьшается при увеличении толщины губчатого мезофилла (-0,86), веса листа (-0,81) и высушенной листовой пластинки (-0,82), M_1/S (-0,83), уменьшении длины устьица (L_s) (0,88), коэффициента палисадности (k) (0,88), tcm/tl (0,83), M/M_1 (0,98).

В качестве основного канала между растением и воздушной внешней средой выступает устьичный комплекс, который регулирует транспирацию воды с одновременным поглощением CO_2 для фотосинтеза, и, следовательно, играет значительную роль в физиологической эффективности и жизнедеятельности растения. Наблюдаемое увеличение в размере или плотности устьиц – известная стратегия для увеличения скорости диффузии CO_2 в листья, и, следовательно, к получению углерода, но это происходит, как правило, за счет увеличения транспирации (Franks, 2009; Russo et al., 2010; Zhang et al., 2012). Изменения в размере или плотности устьиц также связаны со скоростью расширения эпидермальных клеток, так как аллометрия двух этих признаков развивается скоррелированно (Sack et al., 2003).

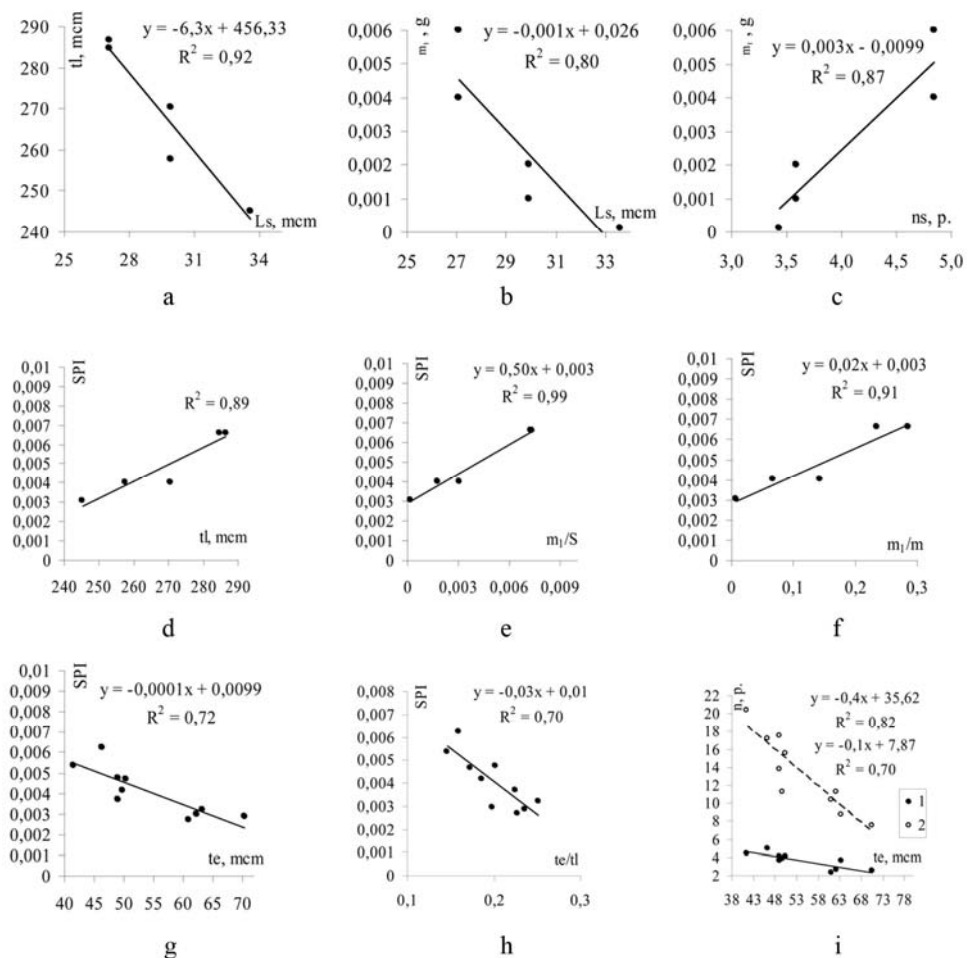


Рис. 3. Зависимость морфолого-анатомических параметров стеблевого листа *C. sibirica* от параметров устьичного комплекса и внутренней анатомии: толщины листа стеблевого листа (a) и веса высушенного листа (m_1) (b) от длины устьица (Ls); веса высушенного листа (m_1) от количества устьиц на 1 мм^2 абаксальной стороны листа (ns) (c); устьично-порового индекса (SPI) от толщины листа (tl) (d); отношения веса высушенного листа к его площади (m_1/S) (e); отношения веса высушенного листа к свежему (m_1/m) (f); толщины эпидермиса (te) (g); отношения толщины эпидермиса к толщине листа (te/tl) (h); количества устьиц и эпидермальных клеток на 1 мм^2 абаксальной поверхности листа от толщины эпидермиса (te) (i): 1 – количество устьиц, 2 – количество клеток;

a-f – для *C. sibirica* в Крыму (Чуфут-Кале); g-i – для *C. sibirica* в Донецке

Устьично-поровый индекс (SPI) имеет большое количество связей со многими параметрами: толщиной листа (tl) (0,94) (рис. 3, d), мезофилла (tm) (0,90), весом свежего (m) (0,86) и высушенного листа (m_1) (0,94), значениями отношений m_1/S (0,99) (рис. 3, e) и m_1/m (0,95) (рис. 3, f).

Соотношение толщины столбчатого мезофилла и листа (tcm/tl) уменьшается, а губчатого мезофилла и листа (tsm/tl) увеличивается при возрастании индекса листа (I) (-0,85 и 0,71 соответственно), его ширины (nl) (-0,92 и 0,92), площади (S) (-0,74 и 0,77), устьично-эпидермального индекса (SEI) (-0,78 и 0,70).

Для стеблевого листа *C. sibirica* в Донецке характерно меньшее количество связей функциональных признаков. Количество устьиц (-0,84) и эпидермальных

клеток (-0,90), устьично-поровый индекс (SPI) отрицательно связан с толщиной эпидермиса (-0,95) (рис. 3, g). Длина устьица обратно связана с толщиной столбчатого мезофилла (-0,70), также как и для листьев растений из Чуфут-Кале. Соотношение толщины столбчатого мезофилла и листа (t_{cm}/t_l) увеличивается при уменьшении длины устьица (L_s) (-0,73). Устьично-поровый индекс (SPI) увеличивается при убывании t_e/t_l (рис. 3, h) и возрастании t_m/t_l (0,90). Количество эпидермальных клеток и устьиц на 1 мм² абаксиальной поверхности стеблевого листа увеличивается при уменьшении толщины эпидермиса листа (t_e) (рис. 3, i).

В общем массиве данных стеблевого листа *C. sibirica* удельная площадь листьев (SLA) имеет положительную связь с коэффициентом палисадности (0,71), отрицательную с толщиной столбчатого мезофилла (-0,67) и M_1/M (-0,91). Устьично-поровый индекс (SPI) связан с m_1/S (-0,59), отношениями t_m/t_l (0,59) и t_e/t_l (-0,67). Отношение t_{cm}/t_l положительно связано с m/S (0,59) и SLA (0,83).

Стеблевые листья *C. sibirica* обеспечивают жизнедеятельность растений в неблагоприятный период. Они формируются в середине лета – наиболее экстремальный период по температуре и влагообеспечению, по нашему мнению, именно это обуславливает повышение количества связей их функциональных параметров в сравнении с розеточными.

ВЫВОДЫ

Выявлено, что ответными реакциями на условия изменяющейся среды являются: 1) изменение количества и тесноты связей функциональных параметров листа; 2) количественные изменения в устьично-эпидермальном комплексе и внутренней анатомии листа. В разных условиях существования изменения в устьично-эпидермальном комплексе листа разных формаций *Campanula sibirica* происходят в корреляции с важными функциональными признаками листа.

В более жестких условиях обитания у *C. sibirica* 1) при увеличении индекса (I) розеточного листа уменьшается коэффициент палисадности и плотность устьиц, увеличивается их размер; 2) при увеличении веса стеблевого листа, отношений M_1/M , M_1/S , толщины листа и мезофилла происходят значительные изменения в плотности устьиц на абаксиальной стороне (возрастает) и их длине (уменьшается).

Длина черешка розеточного листа (L_p) связана с весом листа, M/S , t_{cm}/t_l . При увеличении длины устьица (L_s) возрастает удельная площадь розеточного листа (SLA). Длина устьица (L_s) положительно коррелирует с индексом листа, t_{sm}/t_l и t_{le}/t_l , отрицательно с t_{cm}/t_l , коэффициентом палисадности (k). Устьично-поровый индекс (SPI), который связан с комплексом адаптивных признаков растений, определяющих стратегию их функционирования, положительно связан с t_{cm}/t_l . Таким образом, при приспособлении к изменяющимся условиям обитания происходят функциональные перестройки розеточного листа, выражающиеся в изменении длины черешка листа (L_p) и устьица (L_s), устьично-порового индекса (SPI).

Адаптивные признаки растений *C. sibirica* на уровне: 1) розеточного листа – увеличение толщины мезофилла, в частности столбчатого мезофилла, абаксиального эпидермиса, удельной площади листа (SLA), уменьшение площади и веса листа, длины черешка, количества устьиц, устьично-порового индекса (SPI) с одновременным увеличением длины устьица; 2) стеблевого листа – увеличение толщины мезофилла, удельной площади листа (SLA), уменьшение площади и веса высушенного листа, увеличение ширины устьица.

Листья стеблевой формации функционируют и обеспечивают жизнедеятельность растения в наиболее экстремальный по температуре и влаге период, что обуславливает большее количество связей их функциональных признаков в более экстремальных условиях произрастания по сравнению с розеточными. В более жестких условиях обитания листья обеих формаций *C. sibirica* отличаются высокой эффективностью использования энергии фотосинтеза (PEUE) и низкой эффективностью использования воды (WUE).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Alcitepe, Em., Yildiz, K., 2010.** Taxonomy of *Campanula tomentosa* Lam. and *C. vardariana* Bocquet from Turkey. *Turk J. Bot.*, 34, 191–200.
- Bissing, D. R., 1982.** Evolution of leaf architecture in the chaparral species *Fremontodendron californicum* ssp. *californicum* (Sterculiaceae). *Amer. J. Bot.*, 69, 957–972.
- Boyne, R. L., 2011.** Comparative leaf anatomy of invasive and noninvasive climbers under different light levels. Implications for ecophysiological performance and phenotypic plasticity. B. Sc. thesis, Queensland University of Technology, Brisbane, Australia.
- Boyne, R. L., Osunkoya, O. O., Scharaschkin, T., 2013.** Variation in leaf structure of the invasive Madeira vine (*Anredera cordifolia*, Basellaceae) at different light levels. *Australian Journal of Botany*, 61, 412–417.
- Brodribb, T. J., Jordan, G. J., Carpenter, R. J., 2013.** Unified changes in cell size permit coordinated leaf evolution. *New Phytologist*, 199, 559–570.
- Buinova, M.G., 1988.** Anatomiya i pigmenty lista rasteniy Zabaykalya [Anatomy and pigments of leaves of the plants of Zabaikalye]. Nauka, Novosibirsk (in Russia).
- Ceulemans, R., Jmpens, J., Lemeur, R. et al., 1978.** Water movements in the soil-poplar-atmosphere system. *Oecol. Plant.*, 13, 1, 1–12.
- Doheny-Adams, T., Hunt, L., Franks, P. J. et al., 2012.** Genetic manipulation of stomatal density influences stomatal size, plant growth and tolerance to restricted water supply across a growth carbon dioxide gradient. *Philosophical Transactions of the Royal Society, B, Biological Sciences*, 367, 547–555.
- Dremlyuga, N. G., Futorna, O. A., 2012.** Struktura poverkhni lystkiv vydiv sektsii *Rapunculus* L. (Fourr.) Boiss. rodu *Campanula* L. flory Ukrainy [The structure of the leaf surface of species of section *Rapunculus* L. (Fourr.) Boiss. genus of *Campanula* L. flora of Ukraine], *Sovremennaya fitomorfologiya* [Modern phytomorphology], 1, 103–106 (in Ukraine).
- Ezau, K., 1980.** Anatomiya semennykh rastenii [Anatomy of Seed Plants], Mir, Moscow (in Russia).
- Franks, P. J., 2009.** Maximum leaf conductance driven by CO₂ effects on stomatal size and density over geologic time. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA, Beerling*, 106, 10343–10347.
- Gostin, I. N., 2012.** Analele Stiintifice ale Universitatii Al. I. Cuza Iasi S. Biologil vegetala, 58, 2, 47–50.
- Gupta, B., 1961.** Correlation of tissues in leaves II. Absolute stomatal numbers. *Annals of Botany*, 25, 71–77.
- Gyorgy, E., 2009.** Anatomic adaptive strategies of some Cormophytes with individuals growing in light and shaded conditions. *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj-Napoca*, 37, 2, 33–39.
- Holland, N., Richardson, A. D., 2009.** Stomatal length correlates with elevation of growth in four temperate species. *Journal of Sustainable Forestry*, 28, 63–73.
- Hui, F., Guixiang, Y., Te, C. et al., 2012.** An alternative mechanism for shade adaptation: implication of allometric responses of three submersed macrophytes to water depth. *Ecol. Res.*, 27, 1087–1094.
- Ivanova, L. A., 2014.** Adaptive features of leaf structure in plants of different ecological groups. *Russian Journal of Ecology*, 45, 2, 107–115.
- Klimat i opasnye gidrometeorologicheskie yavleniya Kryma, 1982** [Climate and hydrometeorological hazards of Crimea], Gidrometeoizdat, Leningrad (in Russia).
- Krokhmal, I., 2013.** Functional anatomy of leaf *Campanula alliariifolia* Willd. *Not. Bot. Horti Agrobot.*, 41., 2, 388–395.
- Lauri, P.-É., Marceron, A., Normand, F. et al., 2014.** Soil water deficit decreases xylem conductance efficiency relative to leaf area and mass in the apple. *The Journal of Plant Hydraulics*.
- Menshakova, M. Yu., Zhironov, V. K., Khaitbaev, A. Kh., Gainanova, R. I., 2008.** Izmenchivost fotosinteticheskogo apparata rastenii: borealnye i subarcticheskie ekosistemy [The variability of the photosynthetic apparatus of plants: boreal and subarctic ecosystems]. Nauka, Moscow (in Russia).
- Niklas, K. I., 1994.** Plant allometry: the scaling of form and process. University of Chicago Press, Chicago.
- Osunkoya, O. O., Bayliss, D., Panetta, F. D. et al., 2010.** Leaf trait co-ordination in relation to construction cost, carbon gain and resource-use efficiency in exotic invasive and native woody vine species. *Annals of Botany*, 106, 371–380.
- Osunkoya, O. O., Boyne, R., Scharaschkin, T., 2014.** Coordination and plasticity in leaf anatomical traits of invasive and native vine species. *Am. J. Bot.*, 101, 9, 1423–1436.
- Poorter, H., Remkes, C., 1990.** Leaf area ratio and net assimilation rate of 24 wild species

differing in relative growth rate. *Oecologia*, 83, 553–559.

Preobrazhenskii, V. S., 1959. Ocherki prirody Donetskogo kraia [Essays of the nature of the Donetsk region]. Izd-vo AN SSSR, Moskva (in Russia).

Russo, S. E., Cannon, W. L., Elowsky, C. et al., 2010. Variation in leaf stomatal traits of 28 species in relation to gas exchange and edaphic gradient in a Bornean rainforest. *American Journal of Botany*, 97, 1109–1120.

Sack, L., Cowan, P.D., Jaikumar, N. et al., 2003. The ‘hydrology’ of leaves: coordination of structure and function in temperate woody species. *Plant, Cell & Environment*, 26, 1343–1356.

Scheepens, J. F., Frey, E. S., Stocklin, J., 2010. Genotypic and environmental variation in specific leaf area in a widespread Alpine plant after transplantation to different altitudes. *Oecologia*, 164, 141–150.

Shipley, B., 2002. Trade-offs between net assimilation rate and specific leaf area in determining relative growth rate: relationship with daily irradiance. *Functional Ecology*, 16, 35, 682–689.

Shipley, B., Vile, D., Gamier, E. et al., 2005. Functional linkages between leaf traits and net photosynthetic rate: reconciling empirical and mechanistic models. *Functional Ecology*, 19, 4, 602–615.

Shipley, B., 2006. Net assimilation rate, specific leaf area and leaf mass ratio: which is most closely correlated with relative growth rate? A meta-analysis. *Functional Ecology*, 20, 4, 565–574.

Tsialtas, J. T., Kassioumi, M., Veresoglou, D. S., 2002. Leaf Construction Cost of the Most Abundant Species in an Upland Grassland Area of Northern Greece. *Russian Journal of Plant Physiology*, 49, 3, 360–363.

Vendramini F., Diaz, S., Gurvich, D. E. et al. 2002. Leaf traits as indicators of resource-use strategy in floras with succulent species. *New Phytologist*, 154, 1, 147–157.

Viktorov, V. P., 2005. Kolokolchiki (rod *Campanula* L.) Rossii i sopredelnykh stran [Bells (genus *Campanula* L.) of Russia and adjacent countries]. Moscow (in Russia).

Wright, I. J., Reich, P. B., Westoby, M. et al., 2004. The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*, 428, 821–827.

Zhang, S. B., Guan, Z. J., Sun, M. et al., 2012. Evolutionary association at stomatal traits with leaf vein density in *Paphiopedilum*, Orchidaceae, 7, 1–10.

Zhongqiang L., Dan, Y., 2009. Factors affecting leaf morphology: a case study of *Ranunculus natans* C.A. Mey. (Ranunculaceae) in the arid zone of northwest China. *Ecol. Res.*, 24, 1323–1333.

Стаття надійшла в редакцію: 08.04.2015

Рекомендує до друку: д-р біол. наук, проф. І. О. Зайцева

BIOGEOCENOLOGY, GEOBOTANY AND PHYTOCENOLOGY



O. I. Blinkova ✉

Cand. Sci. (Biol.), Sen. Res. Sci.

UDK 504.73.03:630*

*Institute for Evolutionary Ecology of the National
Academy of Sciences of Ukraine, Ak. Lebedeva st., 37,
Kyiv, Ukraine, 03143*

ANALYSIS OF SYNERGIES BETWEEN THE VEGETATION COVER AND THE INTENSITY OF OUTWASH IN MOUNTAIN CONDITIONS

Abstract. The case study of the most degraded catch land of the Southern macroslope of the Crimean mountains by the method of ecological profiling the growth of anthropogenic (man-induced) transformation of vegetation cover depending on the intensity of outwash and cleveness of slope is shown.

Key words: outwash, vegetational cover, ecological factors.

УДК 504.73.03:630*

О. І. Блінкова

канд. біол. наук, ст. наук. співр.

*Інститут еволюційної екології НАН України, вул. Ак. Лебедєва, 37,
м. Київ, Україна, 03143,
тел.: +38063-741-32-47, e-mail: elena.blinkova@gmail.com*

АНАЛІЗ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ РОСЛИННОГО ПОКРИВУ ТА ІНТЕНСИВНОСТІ ВОДНОЇ ЕРОЗІЇ В ГІРСЬКИХ УМОВАХ

Анотація. Однією з основних причин трансформації структури рослинного покриву, зниження його стійкості та ємності в гірських умовах є розвиток водної ерозії. Дослідження взаємозв'язку «рослинний покрив-водна ерозія» ускладнене низкою причин: геоморфологічна будова водозборів є дуже мозаїчною; площа підземних водозборів не співпадають з площею поверхневих за наявності карстових сполучень різних водозбірних басейнів; гірським екосистемам характерні локальні опади; більшість рік та водотоків є зрегульованими. Реакція рослинного покриву на ерозійні явища залежить також від типу, інтенсивності та тривалості впливу процесу, що може бути виявлено перш за все на фітоценотичному рівні. Завдяки унікальним природним умовам, межуванню з Чорним морем, пересіченню кількох природних зон найбагатшим на біорізноманіття регіоном України є Південний макросхил Кримських гір. В Кримських горах ерозійно-небезпечний поверхневий стік формується під взаємозалежним впливом великої кількості екологічних чинників абіотичного, біотичного та антропогенного походження.

✉ Tel.: +38063-741-32-47. E-mail: elena.blinkova@gmail.com

DOI: 10.15421/031507

В роботі представлено аналіз взаємозв'язку стану рослинного покриву та інтенсивності водної ерозії за синергетичних засад на прикладі найбільш еродованого водозбору Кримських гір. Встановлено, що стан рослинного покриву відображає інтегральний ефект взаємодії екзо- та ендегенних екологічних чинників. Досліджені середньовікові дубові ліси є низькопродуктивними, сильно ослабленими внаслідок природних умов та певного зниження природної стійкості і продуктивності у процесі 4–5 генерацій природного поновлення. Їхній стан погіршується по мірі зниження від верхньої до нижньої, прибережної частини водозбору залежно від збільшення крутизни нахилу поверхні понад 20°. Найчутливішим індикатором інтенсивності прояву водної ерозії є трав'яний ярус. Ерозійно-деградовані ділянки є досить бідними, найбільш репрезентативними є представники родини *Poaceae*, *Caryophyllaceae*, *Asteraceae*. Встановлено, що за градієнтом ерозійної деградації поступово збільшується кількість криптофітів та терофітів. Особливістю є повна відсутність на сильно ерозійно-деградованих ділянках фанерофітів. Аналіз спектру життєвих форм рослинного покриву та типу будови пагона свідчить про наявність своєрідних морфологічних пристосувань та адаптацій рослин до постійно змінених ґрунтових умов. За екологічною стратегією встановлено збільшення частки експлерентів по мірі зростання ерозійної дигресії ґрунту.

Оцінка екологічних параметрів середовища існування видів показала, що за дії різної інтенсивності впливу водної ерозії на рослинний покрив лімітуючими екологічними чинниками є вологість та загальний сольовий режим ґрунту, при цьому характерним є поступове збільшення по мірі дигресії ґрунту кількості видів з широкою екологічною амплітудою (мезовалентні, геміевривалентні, евривалентні). Виявлені закономірності свідчать про ерозійне та антропогенне подальше підсилення деградації цих лісових екосистем, що, в свою чергу, спричиняє зниження гідрологічної ролі лісів у водозборі, зростання інтенсивності водної ерозії ґрунту та збільшення небезпеки прояву екологічних загроз для населення, природних екосистем, суміжних земельних угідь і комунікацій.

Ключові слова: водна ерозія, рослинний покрив, екологічні чинники.

УДК 504.73.03:630*

Е. И. Блинкова

канд. биол. наук, ст. науч. сотр.

*Институт эволюционной экологии НАН Украины, ул. Ак. Лебедева, 37,
г. Киев, Украина, 03143,
тел.: +38063-741-32-47, e-mail: elena.blinkova@gmail.com*

АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА И ИНТЕНСИВНОСТИ ВОДНОЙ ЭРОЗИИ В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Аннотация. Одной из основных причин трансформации структуры растительного покрова, снижения его устойчивости и емкости является развитие водной эрозии в горных условиях. Благодаря уникальным природным условиям, пересечению нескольких природных зон самым богатым на биоразнообразие регионом Украины является Южный макросклон Крымских гор, в котором эрозионно-опасный поверхностный сток формируется под влиянием абiotических, биотических и антропогенных экологических факторов.

В работе установлено, что исследованные средневековые дубовые леса являются низкопродуктивными, сильно ослабленными вследствие природных условий, снижения устойчивости и производительности в процессе 4–5 генераций естественного возобновления. Их состояние ухудшается по мере снижения от верхней до нижней, прибрежной части водосбора в зависимости от увеличения крутизны наклона поверхности более 20°. На эрозионно-деградированных участках наиболее репрезентативными представителями являются семейства *Poaceae*, *Caryophyllaceae*, *Asteraceae*. Установлено: увеличение количества криптофитов, терофитов и эксплерентов; полное отсутствие на деградированных участках фанерофитов. Проведенные анализы спектра жизненных форм и типа строения побега свидетельствуют о наличии своеобразных морфологических приспособлений, адаптаций растений к постоянно изменяющимся почвенным условиям. Лимитирующими экологическими факторами являются влажность и общий солевой режим почвы, характерным есть постепенное увеличение по мере дигрессии почвы количества видов с широкой экологической амплитудой (мезовалентные, гемиевривалентные, эвривалентные).

Ключевые слова: водная эрозия, растительный покров, экологические факторы.

INTRODUCTION

The Southern macroslope of the Crimean Mountains is the richest in biodiversity among the regions of Ukraine owing to unique environmental conditions, adjoining Black Sea and junction of several natural zones (Davydova, 1991; Bokov, 2009).

At the same time mountain terrain of the region are under a mighty anthropogenic influence that limits normal development of vegetation cover. As the studies testify, the underregulated anthropogenic induction has caused significant disturbance of environmental balance of catchments' ecosystems of the Southern macroslope of the Crimean mountains, increase in number, frequency and intensity of manifestations of negative ecological factors. Expansion of outwash is one of the main reasons of transformation of vegetation structure, decrease in its resistibility and capacity there. The studies of «vegetation cover-outwash» links is complicated by the following reasons: the geomorphologic structure and vegetation of catchments are rather mosaic; the area of subsurface catchments does not coincide with the area of the surface ones due to presence of karstic communications between different catchments; locally encouraged precipitation which is organic to mountain ecosystems; most rivers and water flows are regulated ones (Gorshenin, 1994; Klyukin, 2007; Wells, 2001). In the Crimean mountains the erosion hazardous run-off is being formed under the interdependent influence of a great number of ecological factors of abiotic, biotic and anthropogenic origin, among which a great role is played by the sylvan by regulating the distribution of atmospheric precipitation in time and space. The reaction of vegetation cover upon erosive phenomena depends on the type, intensity and duration of the process exposition, that can be detected both at the coenotic level – intermediate observation of the parameters of the entire coen, and at populational level, subject to control over the entirety of the coen (Egas, 2004; DeWitt, 1998).

So, the aim of study was the analysis of dependence between the state of vegetation cover and the intensity of outwash at experimental plots of the Southern Coast of the Crimea.

MATERIAL AND METHODS

Depending on the anthropogenic transformation gradient at different elevations and different slope steepness in the upper, middle and lower parts of Andus river catchment in accordance to the principles of comparative ecology the ecological profile consisting of three experimental plots (EP) was founded (Tab. 1). EP1 is at the distance of 1 km off the highland plateau of Karabi-Yaila massif mass (800 m asle) in a slightly eroded zone, EP2 – on a medium eroded slope, EP3 – on a riparian heavily eroded slope that protrudes to the coastal communications line. For each stand, forest mensuration parameters were determined: weighted average diameter (D_{ave}) and height (H_{ave}), age (A), mean tree basal area (G), total number of trees (N), stand density (P), growth class (B), stand of timber (M).

Table 1

Characteristic of oak stands

№ EP	Altitude above sea-level, m	Steepness of slope α , degree	H, m	D, cm	A, years	G, m ² /acr.	N, us./acr.	P	B	M, m ³ /acr.
1	400	12°	5,8	13,4	65	12,31	833	0,9	IV	160
2	200	24°	3,7	8,8	65	3,59	581	0,5	V	110
3	175	35°	3,3	7,9	60	1,14	202	0,2	V ^b	90

At the EPs field studies of structural-functional elements of phytocoenosis (stand, staddle, underwood and vegetational cover) were conducted by common forestry and geobotanical methods (Anuchin, 1977; Tsiganov, 1983; Vorobev, 1967). The plants' named were identified by S. Cherepanov (Cherepanov, 1995). To appraise the diversity of species was used the scale of J. Braun-Blanquet (Braun-Blanquet, 1964). The systematic structure

of the herbage was given consideration; life-forms were considered by Ch. Raunkiaer (Raunkiaer, 1934); the structure of above-ground bines, types of ecological strategies by L. Ramenskiy (Ramenskiy, 1938). The appraisal of ecological environmental attributes was made under scales of D. Tsiganov (1983): 1) climatic: thermo-climatic scale (Tm), climate continentality (Kn), ombroclimatic scale (Om), cryoclimatic scale (Cr); 2) soil: moisture (Hd), humidification frequency (Fh), nitrogen value of soils (Nt), salt regime (Tr) and acidity of soils (Rc). In order to determine the quantitative appraisal of usage of each factor under the method of L. Zhukova (2010) based on the graduations of scales by D. Tsiganov (1983), the ecological valence of each species was specified. The area of EPs was calculated with the account of steepness of the slope. The phytosanitary state of trees was appraised in accordance with the Phytosanitary Forest Regulation in Ukraine (1995). The stand state index was calculated as sum of gains in the index of trees' state for the number of trees in a certain category, divided by total quantity of examined trees. Stand with index value from the interval 1–1,5 (I) are considered healthy, the weakened ones (II) – 1,51–2,50, heavily weakened (III) – 2,51–3,50, the wilting ones (IV) – 3,51–4,50, recently dead (V) – 4,51–5,50, old dead stands (VI) – 5,51–6,50. In order to avoid the influence of irregular intensity of silvicultural practice upon the index of stand state, for each category of states the weighted average Kraft class (WAKC) was calculated as the sum of gains of number of trees of each Kraft class to its index (I–V), divided by total number of certain category of state. For this purpose the trees of each category were subdivided into 5 more groups according to Kraft classes. Classes V^a and V^b were united into class V, since the trees of these categories were rarely found in the studied plant plots. The WAKC depicts the localization of damage zone in the tree stratum: the closer the WAKC is to Kraft class I, the higher is the degree of damage, since this evidences that the most persistent trees are influenced by negative ecological factors. The degree of damage of a territory was determined under N. Gorshenin (1994), A. Klyukin (2007).

RESULTS

The Andus river springs at the Southern slope of Karabi-Yaila massif mass in the central part of the Southern coast of the Crimea. The soils are arenose, in the upper stream adjacent there are limy chumps and break stone. Under the clay loams there is a red clayey soil thick layer. The catching is covered with dry oak and hornbeam forests of predominantly two types – very dry and dry hornbeam and oak subors. Most frequently are formed the stands of natural origin of the 4th- 5th generations with dominating of *Quercus robur* L. and *Carpinus betulus* L. In the underwood dominating are *Crataegus pojarkovae* Kossykh., *Carpinus orientalis* Mill., *Rosa canina* L. It is discovered, that the main type of soil erosion on slopes over 20° in the catchment is outwash, and erosive manifestations begin in the zone of partially degraded forests where the canopy closure is below 0.6. Only at its Eastern edge, where the slope is 30° steep, the herbage and soil are damaged, in spots reaching the loose subsurface rock. At the same time, under a tight canopy cover the typical forest vegetation is well preserved, and there are no signs of erosion. More degraded EP2 has rather lower parameters. Stand consists of fragments, comprised of patches of vegetative renewal of *Quercus petraea* Liebl., each of 6–15 plants which differ by development and state. Erosive formations are developing, they are partially covered with turf, but in some places on cleve elements of mesorelief the rock comes to the surface (Tab. 2). Only in the places, where biogroups of *Q. petraea* Liebl., are developing the growth of erosive formations has suspended. Even worse are the corresponding figures at EP3. All detected erosion gullies in the lower part of catchment are active. The erosion rate under majority of criteria at EP3 is twice higher. The ecological profile clearly shows the gradient of catchment area erosive degrading increase depending on growth of cleveness of slope. It conforms to known data on increase of potential energy of erosive processes down the slope under the influence of increase of speed and mass of direct runoff. Sylvipathological survey of the profile's vegetation has not discovered fireplaces, pests and deceases.

Table 2

Characteristic of gullies at the ecoprofile

Characteristic of ravines, transformation of EP	EP2	EP 3
Number of gullies on experimental plots, pcs.	4	2
Average depth, m	3,8±0,2	7,5±0,4
Average width, m	2,6±0,1	4,3±0,2
Average distance between the gullies, m	15,2±0,8	25,5±1,3
Average ravines length within the experimental plot, m	58,4±2,9	120, 3±6,0
Average volume of erosional forms m ³ /acr.	963,9±48,2	3341,7±167,1
Dissection degree of area gullies, m/acr.	7,4±0,4	2,8±0,1
Degree of transformation	middle, IV stadium	intense, II stadium

The analysis of the stand structure testifies that the biggest number of very weakened and dyeing trees was detected in EP3. The number of weakened trees decreases: 23,6 %, 13,4 %, and 7,3 %. At the same time it is noted that at EP1 and EP2 this category is represented predominantly by trees of III Kraft class, compared to the EP3 having weakened trees by 81 % consist plants of II Kraft class. Even codominants' development is more depressives at EP3. The medium eroded EP2 contains 19,1 % of wilting trees, the highly eroded one – 15,1 %. But at the last EP3 also 4 % of codominant trees are in this category (WAKC=3,0). At the same time at EP1 and EP2 the drying out pattern is close to the natural mortality: $WAKC_{EP1}=3,4$; $WAKC_{EP2}=3,5$, that is accordingly 40 % and 50 % are the trees of IV category. The representatives of V category also are represented richer on EP2 and EP3. It evidences higher intensity of stand wilt at EP2 and EP3 (Tab. 3).

Table 3

Phytosanitary structure of oak stands at the ecoprofile

№	Category												Index
	I		II		III		IV		V		VI		
	WAKC	%	WAKC	%	WAKC	%	WAKC	%	WAKC	%	WAKC	%	
1	—	—	2,9	23,6	3,0	65,5	3,4	8,0	5,0	0,5	6,1	2,4	3,11
2	—	—	3,0	13,4	3,3	64,9	3,5	19,1	4,1	1,9	5,0	0,6	3,35
3	1,0	0,31	2,2	7,3	3,2	75,7	3,0	15,1	5,0	1,4	—	—	3,12

Reaction of herb stratum upon appropriate changes of edapho-lithogenous basis is indicative. The herb stratum of the most erosion degraded MP3 is rather poor, the representatives of families *Poaceae* (46,2 %), *Caryophyllaceae* (23,1 %) та *Asteraceae* (15,4 %) which are present on all the elements of gullies. For the medium zone the most widely spread are also families *Poaceae*, *Caryophyllaceae* та *Asteraceae*. Only in the places, where biogroups of *Q. petraea* Liebl. are developed, start to appear species of other families, namely *Fabaceae*, *Rubiaceae*, *Brassicaceae* etc. Such domination of *Poaceae*, *Caryophyllaceae* and *Asteraceae* is associated with erosive formations, where the most active are processes of deformation and creep. The most florist saturation (27 species) and range of families (11) is detected in the control plot, which is typical for this forest type. Within the framework of study of interrelation between «outwash-vegetation cover» distribution of plants by life-forms system is important. Hemicryptophytes (56,3 %) dominate in phytocoenosis with mild erosive degradation, cryptophytes (21,9 %) and phanerophytes (15,6 %) are spread there. With the gradient of erosive degradation the quantity of cryptophytes and therophytes increases gradually. Maximal quantity of therophytes is characteristic for EP3 – 38,5 % (with the account of minimal species saturation) (Tab. 4).

An interesting peculiarity is complete absence of phanerophytes on highly erosion degraded plots, which is explained with a weak mechanism of adaptation of phanerophytes' generative organs to strong anthropogenic loads. So, the range of vegetation life-forms of

the ecoprofile testifies the presence of original morphological fit and adaptation of plants to permanently changing soil environment.

Table 4

Biological spectrum at the ecoprofile			
Life-form	EP1, %	EP2, %	EP3, %
Phanerophytes	15,6	9,1	–
Chamephytes	3,1	13,2	15,3
Hemicryptophytes	56,3	36,8	23,1
Cryptophytes	21,9	27,3	38,5
Therophytes	3,1	13,6	23,1

One of features characterizing the conditions of a habitat is the built-up of plants' surface shoots. By this criterion there is quantitative domination of species with non-rosellate pattern of surface shoot formation in the regional flora (Golubev, 1989). On medium (63,0 %) and slightly (53,9 %) eroded plots a significant place is occupied also by species with non-rosellate type. The number of species with semi-rosellate built-up of surface shoot increases by growth of erosive degrading of soils from 25,9 % (EP1) to 35,8 % (EP3). Maximal quantity of species with rosellate type is characteristic for EP3 – 16,6 %. It is explained by morphological peculiarities of adaptation of plants to dynamic soil conditions. By co-relation of ecologic & coenotical strategies of plants the increase of share of explerents by increase of soil erosive digression is detected at the ecoprofile. Thus, the number of explerents at EP2 and EP3 is almost the same (52,3–52,4 %), but at a slightly damaged plot the number of explerents comprises one-fifth (22,3 %) of total number of species. In this case the biggest quantity of violents (43,1 %) and patients (34,6 %) is naturally determined.

It is known that each organism is characterized with ecological amplitude – the range of indicator values allowing it to exist. Analysis of ecological scales that characterize climatic factors showed that the biggest number of broad valence fractions is detected at medium and heavily damaged territories. On slightly damaged territory there were not detected any species which are eurybiontic towards climatic factors. Studying the interrelation «outwash-vegetation cover» revealed that more actual appears to be the distribution of valence fractions relevant to soil factors, especially moisture and salt relations in the soil (Figs. 1, 2). As against climatic factors moisture and salt relations in the soil have narrower values ranges.

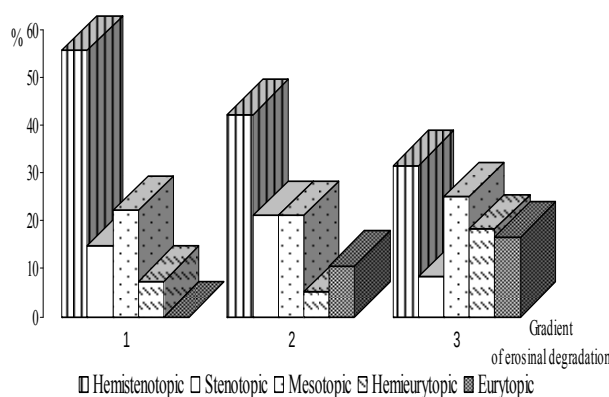


Fig. 1. Soil moisture

The appraisal of ecological parameters of the environment where the species exist by soil moisture testifies that stenotopic and hemistenotopic species on the slightly eroded plot comprise 70,37 %, on the medium one – 63,42 %, the heavily eroded one – 40,0 % (Fig. 1).

Such distribution of valence fractions testifies that confirmed are theoretical and experimental data on the fact that species with the least tolerance index take dominating position in constant or slightly changes habitats (Parsons, 1994). And vice versa, the increase in number of eurybiontic species by the transformation gradient testifies evidences the amplitude of eurybionts' reaction to the set moisture regime resulting from the influence of water erosion (0 %, 10,5 %, 16,7 %). Upon study of habitat conditions within the ecoprofile with common salt regime it is detected: irrespective of the level of transformation of surface soil the hemistenovalence fraction prevails in all experimental plots; the number of eurybionts increases by digression growth; almost similar on the ecoprofile is the distribution of mezovalence species (Fig. 2).

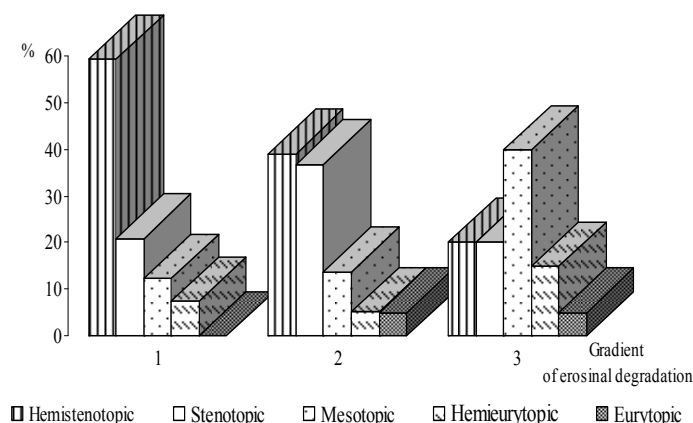


Fig. 2. Salt regime

In general, the appraisal of habitat conditions under common salt regime and moisture of the soil has the same trends connected with prevailing of species that have broad amplitude of fluctuations in relation to relevant edaphic factors on more degraded territories. How such dynamics of ecological parameters can be explained? We believe that the increase of stenobionts' share depending of soil moisture can occur in the result of extortion of eurybiontic species from the vegetative community through this factor, secondly – the increase of share of stenobiontic, new species which are more adapted to rich habitats. The fact that among forest species there is no adaptation to fluctuations of moisture changes may in such groups result from absence of inter-specific and intra-specific competition under this parameter following relatively steady environment conditions, that arise through depositing of moisture under the cover of layered tree vegetation and developed ground litter layer and humic layer. All this provides for stationary relatively steady conditions by soil moisture without sharp fluctuations as this inevitably happens in erosion degraded soils where a closed multilayer shoot is absent.

CONCLUSION

The analysis of vegetation cover depicts the integral effect of inter-action of exogenous and endogenous ecological factors. The anthropogenic factors shall be referred to determinant exogenous factors. The secondary ones, which are currently gaining development, are the endogenous factors of inter-specific and intra-specific competition between forest species and non-forest ones, which fill the ecological niche that has become free. The studied middle-aged oak forests are low-productive and heavily weakened. Their state is degenerating as going down from the upper to the lower parts of the catchment depending on increase of cleveness of surface on slopes. The most sensible indicator of outwash manifestations' intensity is the herbage. Most representative are the members of

Poaceae, Caryophyllaceae and Asteraceae. It is found that: depending on the gradient of erosion degrading the quantity of cryptophytes and therophytes is gradually increasing; complete absence of phanerophytes on heavily erosion degraded plots. The range of vegetation life-forms evidences the presence of specific morphological accommodations and adaptations of plants. By ecological strategy the increase of share of exsperents by increase of soil erosive digression is detected. Subject to varied intensity of outwash influence upon the vegetation the soil moisture and salt relations are the limiting ecological factors, provided that gradual decrease of mezovalence, hemieuryvalence and euryvalence species is characteristic. The revealed regularities evidence the erosive and anthropogenic further growth of degrading of these forest ecosystems, that causes decrease in hydrological role of forests in the catchment and increase in intensity of soil erosion.

REFERENCES

- Anuchin, N., 1977.** Forest taxation [Lesnaya taksatsiya], Nauka, Moscow (in Russian).
- Bokov, V., 2009.** The prospects of creating unified environmental network of Crimea. [Perspektivyi sozdaniya edinoy prirodoohrannoy seti Kryima], Kryimuchpedgiz, Simferopol (in Russian).
- Braun-Blanquet, J., 1964.** Pflanzensoziologie: grundzüge der vegetationskunde, New York, 865 p.
- Cherepanov, S., 1995.** Vascular plants of Russia and adjacent states, Saint Petersburg (in Russian).
- Davydova, L., 1991.** Basins of Black and Azov Seas [Basseynyi Chernogo i Azovskogo morey]. Gidrometereizdat, Saint Petersburg (in Russian).
- DeWitt, T. et al., 1998.** Costs and limits of phenotypic plasticity. Trends in Ecology and Evolution, 13. 77–81.
- Egas, M. et al., 2004.** Evolution restricts the coexistence of specialists and generalists: the role of trade-off structure. The american naturalist, 163, 518–531.
- Golubev, V., 1989.** Study of ecological and biological structure of plant communities [Izuchenie biologicheskoy i ekologicheskoy strukturyi rastitelnyih soobshchestv], Ukrainian Botanical Journal, 74, 8, 1140–1153 (in Russian).
- Gorshenin, N., 1994.** Erosion of forest soils [Eroziya gorniyh lesnyih pochv i borba s ney], Lesnaya promyshlennost, Moscow (in Russian).
- Klyukin, A., 2007.** Exogenous geodynamics of Crimea [Ekzogennaya geodinamika Kryima], Tavriya, Simferopol (in Russian).
- Parsons, P., 1994.** The energetic cost of stress. Can biodiversity be preserved? Biodiv. Lett. V. 2, 11–15.
- Ramenskiy, L., 1938.** Introduction to complex soil-geobotanical study of land [Vvedenie v kompleksnoe pochvenno-geobotanicheskoe issledovanie zemel]. Nauka, Moscow (in Russian).
- Raunkiaer, Ch., 1934.** The life forms of plants and statistical plant geography, being the collected papers of Raunkiaer. Clarendon Press, Oxford, 632 p.
- Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine (№ 555), 1995. Phytosanitary Forest Regulation in Ukraine. Kiev (in Ukrainian).
- Tsiganov, D., 1983.** Phytoindication of ecological regimes in the zones of coniferous and deciduous forests [Fitoindikatsiya ekologicheskikh rezhimov v zonah hvoynnykh i listvennykh lesov]. Nauka, Moscow (in Russian).
- Vorobev, D., 1967.** Methods of forest typology [Metodyi lesnoy tipologii], Urozhay, Kiev (in Russian).
- Zhukova, L. et al., 2010.** Assessment of ecological valence major ecological and cenotic groups: approaches and methods [Otsenka ekologicheskoy valentnosti osnovnykh ekologo- tsenoticheskikh grupp: podhodyi i metodyi], Eastern forests: history and modernity in the Holocene, 1. Nauka, Moscow (in Russian).
- Wells, M., 2001.** A Method of Assessing Water Erosion Risk in Land Capability Studies. Swan Coastal Plain & Darling Range, Department of Agriculture Western, Australia, 12 p.

Стаття надійшла в редакцію: 22.03.2015

Рекомендує до друку: д-р с.-г. наук, проф. С. Г. Чорний

ECOLOGICAL PROBLEMS OF PHYTOINDICATION



O. Y. Buzhdygan  Cand. Sci. (Biol.)
S. S. Rudenko Dr. Sci. (Biol.), Professor
S. S. Kostyshyn Dr. Sci. (Biol.), Professor

UDK 504.73

*Chernivtsi National University,
L. Ukrainka str., 25, Chernivtsi, Ukraine, 58012*

HABITAT CONDITIONS THAT DRIVE PLANT TRAITS IN GRASSLANDS: PHYTOINDICATIVE ANALYTICAL APPROACH

Abstract. Plant communities of the 31 pastoral grasslands have been assessed using the phytoindicative analytical method of Ellenberg (1974) in order to compare the community reactions on the habitat-climatic and habitat-edaphic conditions of the following 3 physic-geographical zones of Chernivtsi Region in Ukraine: *Plain, Foothills and Mountains*. An average realized niche of each plant species has been assessed along the gradients of the study factors of habitat-climatic conditions, such as: insolation, thermal regime and the degree of continentality, as well as the following habitat-edaphic conditions: the soil moisture, acidity, and nitrogen content. The deviations of the pastoral plant communities from their potential climax states have been assessed.

Key words: *phytoindication, phytocenosis, pasture, grassland, Ellenberg's analytical method.*

УДК 504.73

О. Я. Буждиган канд. біол. наук
С. С. Руденко д-р біол. наук, проф.
С. С. Костишин д-р біол. наук, проф.

*Чернівецький національний університет,
вул. Лесі Українки, 25, м. Чернівці, Україна, 58012,
тел.: +38037-258-47-92, e-mail: oksana.buzh@gmail.com*

УМОВИ СЕРЕДОВИЩА ЯК ВИЗНАЧАЛЬНІ ФАКТОРИ РОСЛИН ЛУЧНИХ ЕКОСИСТЕМ: ФІТОІНДИКАЦІЙНИЙ АНАЛІТИЧНИЙ ПІДХІД

Анотація. Біля 78 % сільськогосподарських ґрунтів (56 % від загальної площі земель України) є орними, що складає найвищий рівень розораності ґрунтів в Європі (Sutton, 2008). Деградовані пасовищні луки лідирують в списку таких, що конвертують в орні агросистеми, таким чином руйнуючи лучну екосистему. Метою роботи було визначення особливостей реакції угруповань рослин лучних екосистем пасовищного типу використання на кліматичні та ґрунтові фактори в межах трьох фізико-географічних зон Чернівецької області України: рівнинна зона, передгір'я та гірська зона (Карпати), кожна з яких характеризується специфічним макрокліматом, еволюцією рослинних угруповань, особливостями ландшафту, висотою над рівнем моря, віком і типами гірських порід.

 Tel.: +38037-258-47-92. E-mail: oksana.buzh@gmail.com

DOI: 10.15421/031508

Об'єктами дослідження були рослинні угруповання 31 пасовищної екосистеми. Досліджувані луки використовуються населенням для випасу великою рогатою худобою. Рослинні зразки для фітоіндикації відбирали під час піку сезону вегетації (червень–липень) в 2005, 2006 і 2007 з дослідних ділянок 10 м × 10 м для кожного з порівнюваних пасовищ. Визначали видову приналежність рослин та чисельність кожного виду в угрупованні. Досліджувані рослинні угруповання аналізували за допомогою фітоіндикаційного аналітичного методу Елленберга (1974) для порівняння реакції угруповання на кліматичні умови середовища та фактори ґрунту. Середня реалізована ніша кожного виду рослин оцінена за градієнтами дослідження кліматичних факторів, таких як: інсоляції, теплового режиму і ступеня континентальності, а також наступних ґрунтових умов: вологості, кислотності та вмісту азоту. Оцінено відхилення рослинних угруповань від їх потенційного кліматичного стану.

Використання показника середньої реалізованої ніші видів рослин вздовж градієнту досліджуваних кліматичних та ґрунтових факторів показало, що рослинні угруповання є чутливими індикаторами щодо змін умов середовища. Встановлено, що відхилення рослинних угруповань від їх потенційного кліматичного стану зростає при пересуванні у напрямку від гірської зони до рівнинної, що може бути обумовлено збільшенням антропогенного впливу та пасторального навантаження на лучні екосистеми в напрямку від гір до рівнинної зони.

Ключові слова: фітоіндикація, фітоценоз, пасовище, лука, аналітичний метод Елленберга.

УДК 504.73

О. Я. Буждыган

канд. биол. наук

С. С. Руденко

д-р биол. наук, проф.

С. С. Костышин

д-р биол. наук, проф.

*Черновицкий национальный университет,
ул. Леси Украинки, 25, г. Черновцы, Украина, 58012,
тел.: +38037-258-47-92, e-mail: oksana.buzh@gmail.com*

УСЛОВИЯ СРЕДЫ КАК ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ФАКТОРЫ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ ЛУГОВЫХ ЭКОСИСТЕМ: ФИТОИНДИКАЦИОННЫЙ АНАЛИТИЧЕСКИЙ ПОДХОД

Аннотация. Сделана оценка растительных сообществ 31 пастбищной экосистемы с помощью фитоиндикационного аналитического метода Элленберга (1974) для сравнения реакции антропогенно-трансформированных сообществ на климатические условия среды и эдафические факторы в пределах трех физико-географических зон Черновицкой области Украины: равнинная зона, предгорье и горы (Карпаты). Использование показателя средней реализованной ниши видов растений вдоль градиента исследуемых климатических и эдафических факторов показало, что растительные сообщества являются чувствительными индикаторами изменений условий среды. Установлено, что отклонение растительных сообществ от их потенциального климатического состояния возрастает при передвижении по направлению от горной зоны к равнинной, что может быть обусловлено увеличением антропогенного воздействия и пасторальной нагрузки на луговые экосистемы в направлении от гор к равнинной зоне.

Ключевые слова: фитоиндикация, фитоценоз, пастбище, луг, аналитический метод Элленберга.

INTRODUCTION

Near 70 % of Ukraine's total land area of 60 million hectares is classified as agricultural land, which includes cultivated land (grains, technical crops, forages, potatoes and vegetables, and fallow), gardens, orchards, vineyards, and permanent meadows and pastures (US Department of Agriculture, 2004; 2014). Due to the Ukrainian National Department of the Soil Fertility Conservation the 78 % of the agricultural lands (56% of the Ukraine's total land) are arable, and it is the highest level of land plowing in a Europe (Sutton, 2008). Such increase dramatically in land arable and soil cultivation is a result of the large industrial farms shifting away from cattle toward crop production since 2000. Cattle livestock is not quickly profitable and not as attractive to investors as the other types of farming. The collapse of the

Soviet Union in 1991 increased feed and production costs and reduced profitability for cattle livestock enterprises (US Department of Agriculture, 2014). Because of reduce in cattle' inventories the demand for forage is continuing to shrink, which is followed by the transferring of the natural pastoral grasslands to the plowed lands in order to supply the crop production. These anthropogenic influences are dramatically crucial and irreversible for the native ecosystems. Ukraine's agricultural sector is estimated to cause 35–40 percent of all environmental degradation (US Department of Agriculture, 2004).

The aim of the current paper is to define the special characteristics of the flora community reaction on habitat conditions within the three geographically different areas (*Plain*, *Foothills* and *Mountains*); each one is determined by specific macroclimate and history of vegetation development. The null hypothesis is that flora composition of the grassland communities reacts the most vigorously to changes in abiotic conditions, and reflects anthropogenic influences the most quickly.

MATERIALS AND METHODS

The study objects are the plant communities of the 31 grassland ecosystems, which are located within the three distinct physical-geographical zones of Chernivtsi Region (47°43' – 48°41' N × 24°55' – 27°30' E) of Ukraine: *Plain*, *Foothills*, and *Mountains*, each one is determined by specific characteristics of landscapes, climate, elevation, age and type of rocks. The physical-geographical zonation of Chernivtsi Region is due to mapping of Voropaj (2004): *Plain* zone is located in a north part of a region between rivers Prut and Dniester; *Foothill* zone is a central before-mountain area of Chernivtsi Region; and *Mountain* zone is presented by Bukovina Carpathian Mountains, which are located on the south of the study region. All of the study grasslands, unmanaged since 1992, are used as commons for cattle pasturing by private household farms, which typically have two to three head of cattle per farm.

The sampling and analysis methods were performed in the same way for each of the compared ecosystems. Biological samples for phytoindication analysis were gathered during peak growing seasons (June – July) in years 2005, 2006 and 2007. Study plots for each of the compared pastures were 10 m × 10 m. Plant specimens were identified to species. Plant cover (C_i) in study communities was measured as a visual assessment of the relative area covered by each species $i=1, \dots, n$ within the composition of community in a study plot 1 m × 1 m, and then recorded as a continuous variable c between 0 and 100 % and transferred into the Braun-Blanquet (1965) cover classes (C_i) as follows: $C_i=5$, when $c \geq 75$ %; $C_i=4$, when $50 \% \leq c < 75$ %; $C_i=3$, when $25 \geq c < 50$ %; $C_i=2$, when $5 \geq c < 25$ %; and $C_i=1$, when $1 \geq c < 5$ %.

Each of plant species i within the study communities was analyzed using the analytical method of Ellenberg (1974) in order to assess the factors f of habitat-climatic conditions, such as: insolation L , thermal regime T and the degree of continentality K , as well as the following habitat-edaphic conditions: the soil moisture F , acidity R , and nitrogen content N . The index for each factor f ($n=1 \dots 6$) is a continuous variable f_i , which is assessed for each species i , as follows in table 1.

The phytoindication measure X_f of a total community reaction on a factor f was calculated as follows: $X_f = \sum C_i f_i / \sum C_i$, where C_i is a plant cover class ($C_i=1 \dots 5$) of species $i=1, \dots, n$ assessed by the Braun-Blanquet method; f_i is a value of factor f of each species $i=1, \dots, n$ within the community, where f is 1 of the following 6 factors analyzed using the analytical method of Ellenberg (1974): L , T , K , R , F , N . The X_f expresses an average realized niche of species along the gradients of the study factors f .

The reference value for each factor f is linked to its mean (m_f) assessed across all pastures within each of study physic-geographical zone of Chernivtsi Region (fig. 1). Due to Didukh and Gaiova (2008) the reference value expresses potentially the reference climax state of the study community.

Relative deviation r_f of the measured values of f from the reference value was assessed as follows (Didukh and Gaiova, 2008): $r_f = X_f - m_f / \max_f * 100\%$, where X_f is a phytoindication measure of a total community reaction on a factor f ; m_f is a mean value of

X_f assessed across all pastures within each of study physic-geographical zone of Chernivtsi Region; $\max_f$ is a maximum possible value within the scale of factor f .

An overall deviation of plant community relatively to the reference point was quantified as an average of relative deviations r_f of the measured values of f from the reference values: $r = \sum r_f / n$, where n is a number of factors f ($n=6$).

Table 1

Description and abbreviation of the factors f under assess driven from the analytical method of Ellenberg (1974)

Factor f , abbreviation	$\max_f$	Description
Habitat-climatic conditions:		
Insolation, L	9	indicates the relative strength of insolation; vary from 1 (species requiring full shade) to 9 (plant species requiring full light).
Degree of continentality, K	9	describes the resistance of a species to the frequency and length of occurrence of dry periods in the growing season, as well as to the length of the pre-frost period; vary from 1 (the most features of an Atlantic climate) to 9 (the most continental features).
Degree of the temperature regime, T	9	indicates the resistance of a plant species to the thermal regime; vary from 1 (species requiring low temperatures) to 9 (species requiring high temperatures).
Habitat-edaphic conditions:		
Soil moisture, F	12	expresses the ecological reaction of species in relation to the humidity of the substrate in the growing season; vary from 1 (species requiring extremely dry soils) to 12 (aquatic plants that are mostly completely submerged in water).
Soil acidity, R	9	reflects biologically the acidity of the substrate experienced by plants from; vary from 1 (species requiring highly acid soil [pH < 3.5]) to 9 (species requiring neutral or basic soils [pH > 6.5]).
Nitrogen content in the soil, N	9	expresses the ecological reaction of species to the content of nitrogen in the soil; vary from 1 (species only occurring in soils poor in nitrogen) to 9 (species only occurring in soils with high content of nitrogen).

RESULTS AND DISCUSSIONS

Within the study area the measure of phytocenosis reaction on the soil humidity X_F varies from 3.4 to 5.3 with an average value $m=4.2$ ($SD(\pm)=0.4$). In general these data expresses the high level of the soil humidity within the study pastures from the prospective of the phytoindication analysis. It can be explained by the leaching (permacidous) type and periodic leaching type of soil moisture regimes, where the soil returns less moisture to the atmosphere than it receives. Comparative analysis of the X_F within each of the three physic-geographical zones of Chernivtsi Region shows the following minimum, maximum, and mean values respectively: for *Plain* zone ($3.6 \leq X_F \leq 4.8$; $m = 4.2$, $SD(\pm)=0.4$); for *Foothills* zone ($3.4 \leq X_F \leq 5.3$; $m=4.2$, $SD(\pm)=0.5$); and for *Mountains* ($3.7 \leq X_F \leq 4.7$; $m=4.2$, $SD(\pm)=0.3$). Grasslands of wet foothills from time to time are perched by groundwater, because the excess moisture is percolated down to the dead horizon of desiccation.

The important property of soils is also their acidity. The reaction of plant communities on the soil acidity R expressed by the measure X_R varies in general within the study area as follows: $2.3 \leq X_R \leq 5.7$, $m=4.0$, ($SD(\pm)=0.8$). Within 12 pastures of *Plain* area X_R vary between a low of 2.3 and a high of 5.0 with the mean value $m = 3.7$ ($SD(\pm)=0.9$). Within 12 pastures of *Foothills* the measure X_R ranges from 3.0 to 5.7 values ($m = 4.4$, $SD(\pm)=0.7$). The minimum, maximum, and mean values are respectively $3.5 \leq X_R \leq 4.5$, $m = 3.9$ ($SD(\pm)=0.4$) for the measure X_R within 7 pastures of *Mountain* area. Plain area has a high diversity of soil types, which may explain the high variety in values of measure X_R within the plant communities of *Plain* zone. Foothill area has acidic soils, but also it is an ecotone between two other zones, which may explain the high range of values of X_R .

Mountain soils are mostly acidic, that is expressed by mountain plant communities as low range and variation in plant reaction to the soil acidity.

Table 2

The phytoindication measures X_f of the study communities' reactions on factors f							
Study grasslands		X_f of factors f under assess:					
		F	N	R	L	T	K
Plain zone	<i>Vikno</i>	4.6	4.7	3.6	7.3	3.8	2.4
	<i>Kostryzhivka</i>	4.3	3.9	5.0	7.4	4.3	3.3
	<i>Luzhany</i>	4.3	4.0	4.4	7.2	7.2	3.0
	<i>Polyana</i>	3.6	3.2	2.5	6.2	2.1	3.0
	<i>Chornyvka</i>	3.9	4.3	3.3	6.9	2.9	3.8
	<i>Zelena</i>	4.3	3.0	2.8	7.3	3.3	3.2
	<i>Vovchynec</i>	3.8	4.0	5.0	7.9	5.0	3.5
	<i>Stavchany</i>	3.6	3.5	3.7	6.9	2.5	2.6
	<i>Grushivcy</i>	4.4	5.6	2.3	6.8	3.3	3.2
	<i>Myhalkove</i>	4.4	5.1	3.5	7.3	3.9	4.0
	<i>Magala</i>	4.8	4.3	4.6	7.2	2.9	3.3
	<i>Zarozhany</i>	4.4	2.8	3.2	7.1	2.6	3.1
Foothills	<i>Ternavka</i>	3.7	3.5	5.0	7.5	3.7	3.7
	<i>Gorbovo</i>	4.3	4.1	4.3	7.1	3.6	3.2
	<i>Valya Kuzmyna</i>	4.1	3.6	4.6	7.2	4.3	3.9
	<i>Myhalcha</i>	3.4	2.3	5.7	7.0	3.1	4.1
Foothills	<i>Cher. Dibrova</i>	4.2	3.9	4.6	7.2	4.3	3.4
	<i>Dubovo</i>	4.1	3.7	5.0	7.5	3.2	3.8
	<i>Kostynsy</i>	4.6	3.9	4.3	6.9	3.1	2.7
	<i>Brusnyca</i>	4.1	3.4	4.4	7.5	3.5	3.6
	<i>Chereshenka</i>	5.3	5.2	3.0	7.5	2.1	2.4
	<i>Banyliv Pidgirnyj</i>	4.4	3.1	3.2	6.9	2.8	3.1
	<i>Krasnoyilsk</i>	4.6	3.6	4.6	7.4	3.5	3.0
Mountains	<i>Staryj Vovchynec</i>	4.1	4.6	4.5	6.5	3.4	3.4
	<i>Stebnyk</i>	3.7	3.4	4.1	3.9	3.2	3.5
	<i>Lopushna</i>	4.0	3.0	4.4	6.4	3.1	3.8
	<i>Selatyn</i>	4.1	3.8	3.8	7.0	3.8	3.1
	<i>Shepit</i>	4.0	2.8	3.5	7.2	2.6	3.5
	<i>Dolyshnij Shepit</i>	4.2	3.7	3.6	6.6	2.3	2.9
	<i>Percalab</i>	4.7	4.4	4.5	6.9	3.2	3.5

Soil fertility is characterized by bioavailable macronutrients' supply, including mineral nitrogen (N). The ecological reactions of plant communities to the soil content of nitrogen X_N vary from 2.3 to 5.6 ($m = 3.8$, $SD(\pm) = 0.7$) in general within the study pastures of Chernivtsi Region. The minimum, maximum and mean values of X_N assessed separately within each of the three physic-geographical zones of the study area are as follows: $2.8 \leq X_N \leq 5.6$; $m = 4.0$, $SD(\pm)=0.8$ within the *Plain* zone; $2.3 \leq X_N \leq 5.2$; $m=3.7$, $SD(\pm)=0.7$ within the *Foothills*; and $2.8 \leq X_N \leq 4.4$; $m=3.6$, $SD(\pm)=0.5$ within the *Mountains*. This data are consistent with the studies of soils of Chernivtsi Region that show in general the decrease in soil fertility while moving in direction from *Plain* to *Mountains* physical-geographical zones.

Habitat-climatic conditions of the study 31 pastoral plant communities are expressed by their reaction on the relative strength of insolation X_L , thermal regime X_T , as well as by the community resistance X_K to the frequency and length of occurrence of dry periods in the growing season, as well as to the length of the pre-frost period.

The resistances of the study plant communities to the thermal regime X_T vary from 2.1 to 7.2 ($m=3.4$, $SD(\pm)=0.9$) within the study grassland of the study area. In term of physic-geographical zoning of Chernivtsi Region the analysis of range and variability of

X_T values in grasslands under study shows the following results for each of physic-geographical zones: for *Plain* zone ($2.1 \leq X_T \leq 7.2$; $m = 3.7$, $SD(\pm)=1.4$); for *Foothills* ($2.1 \leq X_T \leq 4.3$; $m = 3.4$, $SD(\pm)=0.6$); and for *Mountains* ($2.1 \leq X_T \leq 3.8$; $m = 2.9$, $SD(\pm)=0.6$). Our data are consistent with the general data related to the climate thermal regimes of the study physical-geographical zones showing the decrease in mean daily temperatures while moving in direction from *Plain* to *Mountains*.

The communities' reactions to the relative strength of insolation is expressed by measure X_L which varies between a low of 3.9 and a high of 7.9 with the mean value $m = 7.0$ ($SD(\pm)=0.7$). Our phytoindication data show that the *Mountain* communities experience lower insolation ($3.9 \leq X_L \leq 7.2$; $m = 6.4$, $SD(\pm)=0.4$) in comparison to the *Plain* ($6.2 \leq X_L \leq 7.9$; $m = 7.1$, $SD(\pm)=0.3$) and *Foothills* ($6.5 \leq X_L \leq 7.5$; $m = 7.2$, $SD(\pm)=1.2$). These data are expected due to increase in elevation, which is followed by increase in transparency of atmosphere. It increases an effective radiation, especially at night. Furthermore, during the summer seasons, while the solar radiation is highly intensive, the probability of clear skies in the mountains is at 10–15 % less than in the area between the revers Prut and Dniester. That highly reduces the direct solar radiation reaching the Earth's surface of the Mountain area.

The measure X_K expresses the community resistance to the frequency and length of occurrence of dry periods in the growing season, as well as to the length of the pre-frost period. It changes its values from 2.4 to 4.1 ($m = 3.3$; $SD(\pm)=0.4$) within the study grasslands throughout the Chernivtsi Region. The grassland communities assessed separately within the *Plain* and *Foothill* areas show the close results in the minimum, maximum, mean values, and variations of the measure X_K ($m \approx 3.2$; $SD(\pm) \approx 0.4$), while the mountain grassland communities show the comparatively lower range and variability of values: $2.9 \leq X_K \leq 3.8$; $m = 3.3$, $SD(\pm)=0.3$. That can be driven by intensification of the extreme external conditions. In general the study area experiences the Temperate Continental Climate which is highly influenced by the humid air masses from Atlantic. Complex terrain of Chernivtsi Region causes variety in climate of different zones: in the east it is more continental, and while moving in direction from foothills to mountains it becomes more severe due to the cold and short summer.

The deviation “r” of plant communities from the reference value, which is assessed relative to the physical-geographical zone, varies from 1.9 to 11.4 and shows how far each one of the study phytocenosis is from its climax state (figure). Average values of the

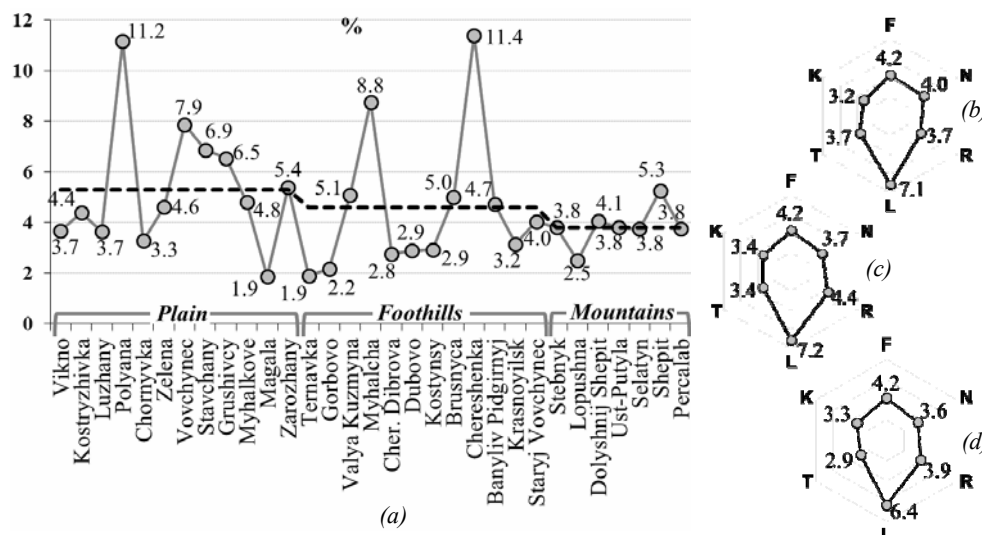


Fig. 1. Overall deviation “r” of plant communities (a) of the study pastoral grasslands from the relative reference values, which are the mean values m_f of the study factors f assessed respectively for each of study physic-geographical zone: *Plain* (b), *Foothills* (c), and *Mountains* (d). Dashed line indicates the average deviation of plant communities within each of the study zones

deviations assessed separately for each of physical-geographical zones show the decrease in deviation of plant communities from the reference value while moving from *Plain* area toward the *Mountains*. It can be explained by the decrease of anthropogenic influence on the study grasslands in direction from plain to mountains.

CONCLUSIONS

An average realized niche of species along the gradients of the study factors of habitat-climatic conditions, such as: insolation, thermal regime and the degree of continentality, as well as the following habitat-edaphic conditions: the soil moisture, acidity, and nitrogen content shows plant communities to be vigorous indicator of external ecosystem conditions. The deviation of the pastoral plant communities from their potential climax states increases while moving in direction from the Carpathian Mountains through the Foothills to the Plain physical-geographical zone of Chernivtsi Region that can be driven by anthropogenic influence increase in the direction from mountains to plane area.

REFERENCES

- Braun-Blanquet, J., 1965.** Plant Sociology: The Study of Plant Communities [Translated and edited by G.D. Fuller and H.C. Conrad]. New York: McGraw-Hill. 439 p.
- Didukh, Ya. P., Gaiova, Yu.Yu., 2008.** The synphytoindication analysis of plant communities of the Cherkassko-Chyhyrsky geobotany district. Ukrainian Botanical Journal. 65, 2, 159–179.
- Ellenberg, H., 1974.** Zeigerwerte der Gefasspflanzen Mitteleuropas. Gottingen: Goltze. 97 S.
- Sutton, W. R., 2008.** Integrating environment into agriculture and forestry: progress and prospects in Eastern Europe and Central Asia. Vol. 1. World Bank Publications. 69 p.
- US Department of Agriculture. 2004.** Ukraine: Agricultural Overview. Foreign Agricultural Service, Production Estimates and Crop Assessment Division.: <http://www.fas.usda.gov/regions/ukraine>
- US Department of Agriculture. 2014.** Ukraine: Livestock and Products Annual. Agricultural Service, Production Estimates and Crop Assessment Division. <http://www.fas.usda.gov/data/ukraine-livestock-and-products-update>
- Voropaj, L. I., 2004.** Geographical picture of the Chernivtsi Region. Regional Science. Geography. Tourism. 29. P. 4–7.

Стаття надійшла в редакцію: 15.01.2015
Рекомендує до друку: д-р с.-г. наук, проф. А. В. Боговін

ZOOCENOSES AS A COMPONENT OF BIOGEOCENOSIS



G. A. Mustafayeva ✉ Cand. Sci. (Biol.), Sen. Res. Sci.

UDK 595.7+591.9

*Institute of Zoology
Azerbaijan National Academy of Sciences,
504 pas, 1128 bl, Abbasov str, Baku,
Azerbaijan Republic, Az1073*

THE TROPHIC LINKS OF APHELINIDS (HYMENOPTERA, APHELINIDAE) AND PHYTOPHAGES (HOMOPTERA: COCCOIDEA, ALEURODIDEA, APHIDOIDEA) IN AZERBAIJAN

Abstract. Aphelinids are parasites of many sucking insect pests. They are known as effective entomophages of many harmful sucking insects – coccidae, aphids, aleurodids, they are successfully used in biological control.

Use of natural resources of useful entomophages against pests is of great theoretical and practical importance. However, the entomophagous natural resources, including aphelinids, are still little used in integrated systems of plant protection against pests. The study of the host and the parasite relationships allows to evaluate the prospects of their use for pest control.

The aim of the research is to study the aphelinids (Hymenoptera, Aphelinidae) in Azerbaijan, as a basis for the development of ways of their practical application in the integrated plant protection against pests.

As a result of long-term research in Azerbaijan it had been registered 61 species of aphelinids belonging to 4 subfamilies and 15 genera. These parasites were derived from scale insects, soft scales, aphids, aleurodids, etc. The table of trophic links of aphelinids (Hymenoptera, Aphelinidae,) and their hosts, as well as a list of genera and species of aphelinids with hosts – phytophages has been compiled.

Aphelinids are mainly related to Homoptera (Hemiptera). The larvae of aphelinids are internal, rarely external parasites of coccidia (mainly scale insects), aphids, aleurodids, rarely other insects. The trophic relations of aphelinids with the hosts are established. From the 61 species identified for Azerbaijan the aphid parasites (Aphidinea) are 14 species of 2 genera, scale insects parasites (Diaspididae) are 30 species of 9 genera, soft scales and pulvinary parasites are 11 species of two genera, parasites of aleurodids (Aleyrodinea) are 5 species of 2 genera, 1 genus 1 species is associated with mealybugs. 1 species is a parasite of Orthoptera.

Entomophages of the genera Aphytis Howard, Coccobius Ratseburg, Ablerus Howard, Pterotrix Westwood, Archenomus Howard, Hispaniella Mercet., Aspidiotiphagus Howard, Diaspiniphagus Silvestri, Encarsia Foerster are the parasites of scale insects. The parasites of the genera Coccophagus Westwood, Marietta Motschylsky Coccidae are associated with soft scales, the parasites of the genera Aphelinus Dalman, Protaphelinus Mackauer are associated with aphids.

✉ Tel.: +994-12-055-599-70-76. E-mail: zoolog88@mail.ru

DOI: 10.15421/031509

ISSN 1726-1112. Ecology and noospherology. 2015. Vol. 26, no. 1–2

81

Marietta picta (Andre) except soft scales is also a parasite of *Plancoccus citri* Risso (mealybugs). Aphelinid *Centrodora amoena* Foerster of the *Centrodora* genus is associated with Orthoptera.

By the type of trophic links the aphelinids in Azerbaijan are divided into the following groups:

1. Monophages – infecting one, rarely two, three closely related species of the hosts. These include: *Eretmocerus haldemani* Howard, *Aphelinus fulvus* (Yasnoch), *Aphelinus mali* (Haliday), *Aphytis chilensis* Howard, *Aphytis maculicornis* Masi, *Aphytis chrysomphala* Merc., *Coccobius granati* Yasnoch and Mustafayeva sp.n., *Coccobius pistasicolus* (Yasnoch), *Coccophagus insidiator* Dalman, *Coccophagus proximus* Yasnoch, *Coccophagus paleolecanii* Yasnoch, *Pteroptrix macropedicellata* (Malac), *Encarsia leucaspidis* Merc., *Centrodora amoena* Foerster.

2. Oligophages infecting hosts are related to various genera and a subfamilies. These include 44 species.

3. Polyphages that infect hosts from different families are related to only a few types: *Coccophagus lycimnia* (Walker), *Aphelinus chaonia* Walker., *Aspidiotiphagus citrinus* Graw.

In the fauna of Azerbaijan aphelinids the monophages (14 species) and the polyphages (3) are characterized by only a few species, the majority of the species (44 species) are oligophages.

Key words: Aphelinids, trophic links, monophages, oligophages, polyphages.

УДК 595.7+591.9

Г. А. Мустафаева канд. биол. наук, стар. науч. співр.

Институт зоологии НАН Азербайджану,

504 проезд, 1128 квартал, вул. Аббасова, м. Баку, Азербайджан, Az1073,

тел.: +994-12-055-599-70-76, e-mail: zoolog88@mail.ru

ТРОФИЧНІ ЗВ'ЯЗКИ АФЕЛІНІД (HYMENOPTERA, APHELINIDAE) З ФІТОФАГАМИ (НОМОРТЕРА: СОССОІДЕА, АЛЕУРОІДЕА, АРНІДОІДЕА) В АЗЕРБАЙДЖАНІ

Анотація. Наведено інформацію про афелінід (Hymenoptera, Aphelinidae) Азербайджану, які виявлені для фауни цієї республіки. В результаті багаторічних спостережень встановлено 61 вид афелінід, виведених з щитовок, псевдощитовок, попелиць, алеїродід і т.д. Представлені результати дослідження трофічних зв'язків афелінід (Hymenoptera, Aphelinidae) та їх господарів, а також складено список родів і видів афелінід з господарями-фітофагами.

Ключові слова: афелініди, трофічні зв'язки, монофаги, олігофаги, поліфаги.

УДК 595.7+591.9

Г. А. Мустафаева канд. биол. наук, стар. науч. сотр.

Институт зоологии НАН Азербайджана,

504 проезд, 1128 квартал, ул. Аббасова, г. Баку, Азербайджан, Az1073,

тел.: +994-12-055-599-70-76, e-mail: zoolog88@mail.ru

ТРОФИЧЕСКИЕ СВЯЗИ АФЕЛИНИД (HYMENOPTERA, APHELINIDAE) С ФИТОФАГАМИ (НОМОРТЕРА: СОССОІДЕА, АЛЕУРОІДЕА, АРНІДОІДЕА) В АЗЕРБАЙДЖАНЕ

Аннотация. Приведена информация об афелинидах (Hymenoptera, Aphelinidae) Азербайджана, которые выявлены для фауны этой республики. В результате многолетних наблюдений установлен 61 вид афелинид, выведенных из щитовок, ложнощитовок, тлей, алеїродид и т.д. Представлены результаты исследования трофических связей афелинид (Hymenoptera, Aphelinidae) и их хозяев, а также составлен список родов и видов афелинид с хозяевами-фитофагами.

Ключевые слова: афелиниды, трофические связи, монофаги, олигофаги, полифаги.

ВВЕДЕНИЕ

Использование природных ресурсов полезных энтомофагов в борьбе с вредителями имеет большое теоретическое и практическое значение. Афелиниды широко известны как эффективные энтомофаги многих вредных сосущих насекомых – кокцид, тлей, алеїродид, благодаря чему их успешно применяют в биологической борьбе.

Однако, природные ресурсы энтомофагов, в том числе афелиниды, все еще мало используются в интегрированных системах защиты растений от вредителей. Афелиниды являются паразитами многих вредных насекомых, поэтому изучение их хозяина в паразитных связях позволяет оценить перспективы их использования для борьбы с вредителями. В первом сообщении о фауне афелинид Азербайджана приводится 29 видов (Rzaeva and Yasnosh, 1979). По нашим данным, для фауны Восточного Азербайджана выявлено 46 видов афелинид (Mustafaeva, 1990).

Целью исследований явилось изучение афелинид (Hymenoptera, Aphelinidae) Азербайджана как основа для разработки путей их практического применения в интегрированной защите растений от вредителей.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Материалом для настоящей статьи послужили сборы, проводившиеся в 1990–2013 гг. в районах Азербайджана с ранней весны до поздней осени. Сборы проведены как во время комплексных фаунистических экспедиций Института зоологии НАН Азербайджана, так и путем многочисленных индивидуальных экспедиций. Афелиниды собирались в естественных и культурных станциях путем выведения из хозяев и с помощью энтомологического сачка (Borkhsenius, 1968; Tryapitsyn et al., 1982). Для определения мелких видов изготовили микроскопические препараты. Для определения афелинид использовались определительные таблицы, составленные Никольской и Яснош (Nicholas and Yasnosh, 1966), Яснош (Yasnosh, 1995).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.

В результате многолетних исследований в Азербайджане зарегистрировано 61 вид афелинид, относящихся к 4 подсемействам и 15 родам. Афелиниды, в основном, связаны с Homoptera. Личинки афелинид внутренние, реже наружные паразиты кокцид (главным образом щитовок), тлей, алейродид, реже других насекомых. Установлены трофические связи афелинид с хозяевами-фитофагами. Ниже в таблице 1 приводятся эти данные.

Таблица 1

Трофические связи афелинид (Hymenoptera, Aphelinidae) Азербайджана с их хозяевами-фитофагами

Семейства Aphelinidae. Роды и виды афелинид	Фитофаги-хозяева афелинид. Виды хозяев
1	2
Род <i>Aphelinus</i> Dalman	
1. <i>Aphelinis asychis</i> Walker.	<i>Hyalopterus pruni</i> Geoffr.
2. <i>Aphelinus chaonia</i> Walker.	<i>Aphis gossypii</i> Glov. ² <i>Dysaphis devector</i> Walk. ² <i>Chaitophorus niger</i> Mordv. ² <i>Brachycaudis helichrysi</i> Kalt. ² <i>Aphis umbrella</i> C.B. ² <i>Aphis farinosa</i> Gmel. ² <i>Aphis fabae</i> Sc. ² <i>Aphis genistae</i> Scop. ² <i>Aphis craccivora</i> Koch. ² <i>Hyalopterus pruni</i> Geoffr. ²
3. <i>Aphelinus daucicola</i> Kurdjumov	<i>Brachycaudis cardui</i> L. ² <i>Siphocorine eylosyei</i> Schre.
4. <i>Aphelinus flavipes</i> (= <i>A. kurdjumovi</i>) Mercet.	<i>Diaspis devector</i> Wlk. ² <i>Brachycaudis helichrysi</i> Kalt. ² <i>Aphis craccivora</i> Koch. ² <i>Aphis rufula</i> Walk. ² <i>Shisaphis graminum</i> Rond. ² <i>Rhopalosiphum maidis</i> Fitch. ²

1	2
5. <i>Aphelinus fulvus</i> (Yasnosh)	<i>Chaetophorus capreae</i> Koch. ²
6. <i>Aphelinus fusciscapus</i> Foerster.	Хозяин не известен. ²
7. <i>Aphelinus brunneus</i> Yasnosh	<i>Aphis fabae</i> Scop. ²
8. <i>Aphelinus mali</i> (Haliday)	<i>Friosoma lanigerum</i> Hausm. ²
9. <i>Aphelinus</i> (<i>Mesidiopsis</i>) <i>subflavescens</i> (Westwood).	<i>Tuberculatus querceus</i> Kalt. ²
10. <i>Aphelinus varipes</i> Foerster.	<i>Aphis gossypii</i> Glow. ²
11. <i>Aphelinus toxopteraphidis</i> Kurd.	<i>Sphizaphis graminum</i> Rond. ²
12. <i>Aphelinus bicolor</i> Yasnosh	<i>Aphis fabae</i> Scop. ²
13. <i>Aphelinus transversus</i> Thoms.	Хозяин не известен. ²
Род <i>Protaphelinus</i> Mackauer	
14. <i>Protaphelinus nikolskajae</i> (Yasnosh) (= <i>Aphelinus nikolskaya</i> Yasnosh)	<i>Pemphigus bursarius</i> L. ² <i>Pemphigus lichtensteini</i> Tullg. ²
Род <i>Marietta</i> Motschylsky	
15. <i>Marietta picta</i> (Andre).	<i>Parthenolecanium persicae</i> F. ¹ <i>Plancoccus citri</i> Risso.
16. <i>Marietta zebra</i> (Kurd).	<i>Sphaerolecanium prunastri</i> Fonsc. ¹ <i>Pulvinaria betulae</i> L. ¹ <i>Pulvinaria floccifera</i> (Westw.) ¹ <i>Pulvinaria sp.</i> ¹
Род <i>Eretmocer</i> Haldemani	
17. <i>Eretmocer</i> <i>haldemani</i> Howard	<i>Trialeurodes vaporariorum</i> Westw. ³ <i>Aleurodes proletella</i> L. ³
Род <i>Aphytis</i> Howard.	
18. <i>Aphytis aonidea</i> Mercet.	<i>Lepidosaphes granati</i> Kor. <i>Carulaspis minima</i> Targ. <i>Epidiaspis leperii</i> Signoret <i>Diaspidiotus pyri</i> (Lichtenstein). <i>Diaspidiotus prunorum</i> Laing.
19. <i>Aphytis chilensis</i> Howard	<i>Aspidiotus nerii</i> Bche.
20. <i>Aphytis maculicornis</i> Masi	<i>Parlatoria oleae</i> Golvee.
21. <i>Aphytis mytilaspidis</i> Le Baron	<i>Diaspidiotus caucasicus</i> Borchs <i>Aulacaspis rosae</i> Bche. <i>Salicicola kermanensis</i> Lndgr. <i>Diaspidiotus ostreaformis</i> Curt. <i>Nuculaspis abietis</i> Schr. <i>Tecaspis prunorum</i> Borchsenius. <i>Tecaspis asiatica</i> Balachowsky. <i>Lepidosaphes granati</i> Kor. <i>Lepidosaphes ulmi</i> L. <i>Lepidosaphes ficus</i> Sign.
22. <i>Aphytis proclia</i> Walker	<i>Pseudaulacaspis pentagona</i> Targioni – Tozzetti. <i>Diaspidiotus perniciosus</i> Comst. <i>Diaspidiotus pyri</i> Licht.
23. <i>Aphytis testaceus</i> Tschum	<i>Carulaspis minima</i> Targ. <i>Lepidosaphes granati</i> Kor. <i>Epidiaspis leperii</i> Signoret.

1	2
24. <i>Aphytis hispanicus</i> Merc.	<i>Parlatoria oleae</i> Golvee. <i>Carulaspis visci</i> Schr <i>Aspidiotus nerii</i> Bche. <i>Chrysomphalus dictyospermi</i> Morg.
25. <i>Aphytis chrysomphalu</i> Merc.	<i>Chrysomphalus dictyospermi</i> Morg.
26. <i>Aphytis moldavicus</i> Yasnoch	<i>Diaspidiotus pyri</i> Licht. <i>Lepidosaphes ulmi</i> L. <i>Epidiaspis leperii</i> Signoret.
Род <i>Coccobius</i> Ratseburg.	
27. <i>Coccobius granati</i> Yasnoch and Mustafayeva sp.n.	<i>Lepidosaphes granati</i> Kor.
28. <i>Coccobius pistacicolus</i> (Yasnoch)	<i>Lepidosaphes pistaciae</i> Arch.
29. <i>Coccobius mesasiaticus</i> (Yasnoch et Myartseva)	<i>Diaspidiotus caucasicus</i> Borchs.
30. <i>Coccobius testaceus</i> (Masi)	<i>Lepidosaphes conchiformis</i> Gmel. <i>Lepidosaphes ficus</i> Sign. <i>Lepidosaphes ulmi</i> L. <i>Lepidosaphes granati</i> Kor. <i>Diaspidiotus ostreaformis</i> Gurt.
Род <i>Coccophagus</i> Westwood, 1833	
31. <i>Coccophagus differens</i> Yasnoch.	<i>Sphaerolecanium prunastri</i> Fonsc. ¹
32. <i>Coccophagus lycimnia</i> (Walker)	<i>Coccus hesperidum</i> L. ¹ <i>Coccus pseudomagnoliarum</i> Kum. ¹ <i>Parthenolecanium corni</i> Bche. ¹ <i>Sphaerolecanium prunastri</i> Fonsc. ¹ <i>Parthenolecanium persicae</i> F. ¹ <i>Eulecanium bituberculatum</i> Targ. ¹ <i>Eulecanium rugulosum</i> (Arc.) ¹ <i>Rhodococcus turanicum</i> Arch. ¹ <i>Pulvinaria floccifera</i> (Westw.) ¹
33. <i>Coccophagus maculipennis</i> Yasnoch.	<i>Pulvinaria aurantii</i> Ckll. ¹ <i>Pulvinaria</i> sp. ¹
34. <i>Coccophagus insidiator</i> Dalman	<i>Physokermes piceae</i> Sch. ¹
35. <i>Coccophagus proximus</i> Yasnoch	<i>Sphaerolecanium prunastri</i> Fonsc. ¹
36. <i>Coccophagus piceae</i> Erd.	<i>Pulvinaria</i> sp. ¹ <i>Pulvinaria betulae</i> L. ¹
37. <i>Coccophagus semicircularis</i> Forst (= <i>C.scutellarius</i> Dalman).	<i>Parthenolecanium persicae</i> F. ¹ <i>Coccus hesperidum</i> L. ¹
38. <i>Coccophagus paleolecanii</i> Yasnoch	<i>Paleolecanium bituberculatum</i> Targ. ¹
39. <i>Coccophagus signatus</i> Yasnoch	<i>Pulvinaria floccifera</i> (Westw.) ¹ <i>Pulvinaria</i> sp. ¹
Род <i>Ablerus</i> Howard.	
40. <i>Ablerus atomon</i> (Walker)	<i>Aulacaspis rosae</i> Bche. <i>Diaspidiotus ostreaformis</i> Curt. <i>Diaspidiotus caucasicus</i> Borchs <i>Diaspidiotus perniciosus</i> Comst.
41. <i>Ablerus celsus</i> Walker.	<i>Lepidosaphes ulmi</i> L. <i>Lepidosaphes granati</i> Kor.
42. <i>Ablerus chrysomphali</i> Ghesguire.	<i>Diaspidiotus caucasicus</i> Borchs. <i>Chrysomphalus dictyospermi</i> Morg., <i>Parlatoria oleae</i> Colvee

1	2
Род <i>Pteroptrix</i> Westwood.	
43. <i>Pteroptrix macropedicellata</i> (Malac).	<i>Aulacaspis rosae</i> Bche.
Род <i>Archenomus</i> Howard	
44. <i>Archenomus bicolor</i> Howard.	<i>Aspidiotus nerii</i> Bche. <i>Tecaspis asiatica</i> Arch. <i>Diaspidiotus pyri</i> Lichtenstein
45. <i>Archenomus caucasicus</i> Yasnoch.	<i>Diaspidiotus caucasicus</i> Borchs <i>Diaspidiotus perniciosus</i> Comst. <i>Diaspidiotus prunorum</i> Laig.
46. <i>Archenomus longiclavae</i> Giralt.	<i>Diaspidiotus ostreaformis</i> Curt. <i>Lepidosaphes granati</i> Kor. <i>Lepidosaphes ulmi</i> L.
47. <i>Archenomus maritimus</i> (Nikolska-yae)	<i>Lepidosaphes granati</i> Kor. <i>Diaspidiotus perniciosus</i> Comst. <i>Diaspidiotus pyri</i> (Lichtenstein).
Род <i>Hispaniella</i> Mercet.	
48. <i>Hispaniella lauri</i> Mercet.	<i>Salicicola kermanensis</i> Lndgr. <i>Lepidosaphes ulmi</i> L. <i>Diaspidiotus caucasicus</i> Borchs <i>Diaspidiotus perniciosus</i> (Comst) <i>Diaspidiotus ostreaformis</i> Curt
Род <i>Aspidiotiphagus</i> Howard.	
49. <i>Aspidiotiphagus citrinus</i> Graw.	<i>Parlatoria oleae</i> Colve. <i>Aspidiotus nerii</i> Bche <i>Pseudaulacaspis pentagona</i> Targioni – Tozzetti. <i>Diaspidiotus perniciosus</i> Comst. <i>Diaspidiotus prunorum</i> Laing. <i>Chrysomphalus dictyospermi</i> Morg. <i>Diaspis echinocacti</i> Bche. <i>Lepidosaphes ulmi</i> L. <i>Lepidosaphes gloverii</i> Pack. <i>Carulaspis minima</i> Targ. <i>Aulacaspis rosae</i> Bche. <i>Tecaspis prunorum</i> Borchsenius. <i>Tecaspis asiatica</i> Balachowsky
Род <i>Diaspiniphagus</i> Silvestri	
50. <i>Diaspiniphagus similis</i> (Masi)	<i>Diaspidiotus ostreaformis</i> Curt.
Род <i>Encarsia</i> (=Prospaltella) Foerster	
51. <i>Encarsia aurantii</i> (Howard)	<i>Lepidosaphes ulmi</i> L. <i>Lepidosaphes gloverii</i> Pack. <i>Pseudaulacaspis pentagona</i> Targioni – Tozzetti.
52. <i>Encarsia gigas</i> Tshum	<i>Diaspidiotus ostreaformis</i> Curt.
53. <i>Encarsia fasciata</i> (Malenetti)	<i>Lecaspis pusilla</i> Loew. <i>Unaspis evonymi</i> Comst. <i>Adiscodiaspis tamaricicola</i> Mal. <i>Aulacaspis rosae</i> Bche <i>Lepidosaphes ulmi</i> L. <i>Aonidea lauri</i> Boche.
54. <i>Encarsia intermedia</i> Ferr.	<i>Nuculaspis abietis</i> Schr., <i>Lopholeucaspis yaponica</i> Ckll.
55. <i>Encarsia perniciosi</i> Tow.	<i>Diaspidiotus perniciosus</i> Comst.
56. <i>Encarsia formosa</i> Gahan.,	<i>Trialeurodes vaporariorum</i> (Westw) ³
57. <i>Encarsia partenopea</i> (Masi)	<i>Aleurodes proletella</i> L. ³ <i>Trialeurodes vaporariorum</i> West ³

1	2
58. <i>Encarsia tricolor</i> Foerster	<i>Aleurodes proletella</i> L. ³ <i>Siphoninus phylllyreae</i> Hal. ³
59. <i>Encarsia gautieri</i> (Mercet)	<i>Siphoninus phylllyreae</i> Hal. ³
60. <i>Encarsia leucaspidis</i> Merc.	<i>Leucaspis pusilla</i> Loew.
Род <i>Centrodora</i> Foerster	
61. <i>Centrodora amoena</i> Foerster	<i>Xiphidium dorsetum</i> Latz.

Примечания. Систематическая принадлежность хозяев имеет следующие обозначения: щитовки – без отметки, ложнощитовки – 1, тли – 2, алейродиды – 3.

В таблице 2 приводятся связи родов афелинид с хозяевами.

Таблица 2

Связи родов афелинид с хозяевами-фитофагами

Хозяева афелинид					
Щитовки	Ложно-щитовки	Белокрылки или алейродиды	Тли	Мучнистые червецы	Паразиты Orthoptera
Aphytis Howard	Coccophagus Westwood	Eretmoceris Haldeman	Aphelinus Dalman	Marietta Motschylsky	Centrodora Foerster
Coccobius Ratseburg.	Marietta Motschylsky	Encarsia Foerster	Protaphelinus Mackauer		
Ablerus Howard					
Pterotrix Westwood,					
Archenomus Howard					
Hispaniella Mercet.					
Aspidiotiphagus Howard.					
Diaspiniphagus Silvestri					
Encarsia Foerster					

Результаты наших исследований позволяют разделить афелинид Азербайджана по типу трофических связей на следующие группы:

1. Монофаги – заражающие один, реже два или три близких вида хозяев. К ним относятся: *Eretmoceris haldemani* Howard, *Aphelinus fulvus* (Yasnoch), *Aphelinus mali* (Haliday), *Aphytis chilensis* Howard, *Aphytis maculicornis* Masi, *Aphytis chrysomphalu* Merc., *Coccobius granati* Yasnoch and Mustafayeva sp.n., *Coccobius pistasicolus* (Yasnoch), *Coccophagus insidiator* Dalman, *Coccophagus proximus* Yasnoch, *Coccophagus paleolecanii* Yasnoch, *Pterotrix macropedicellata* (Malac), *Encarsia leucaspidis* Merc., *Centrodora amoena* Foerster.

2. Олигофаги – заражающие хозяев, относящихся к различным родам одной трибы и подсемейства. К ним относятся 44 вида.

3. Полифаги – заражающие хозяев из различных семейств. К ним относятся лишь немногие виды: *Coccophagus lycimnia* (Walker), *Aphelinus chaonia* Walker., *Aspidiotiphagus citrinus* Graw.

ВЫВОДЫ

1. Результаты наших исследований показали, что из 61 видов афелинид, выявленных для Азербайджана, паразитами тлей (Aphidinea) являются 14 видов 2 родов, паразитами щитовок (Diaspididae) – 30 видов 9 родов, паразитами ложнощитовок и пулвинарий – 11 видов двух родов (с мучнистыми червецами связан 1 вид 1 рода), паразитами алейродид (Aleyrodinea) – 5 видов 2 родов и 1 вид является паразитом Orthoptera.

2. В фауне афелинид Азербайджана монофагия и полифагия свойственна лишь немногим видам (14 и 3 соответственно), большинство видов (44) являются олифагами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Borkhsenius, N. S., 1968. Katalog shchitovok (Diaspidoidea) mirovoi fauny [Catalog of scale insects (Diaspidoidea) of the world fauna], Science, Moscow, Leningrad (in Russian).

Mustafaeva, G. A., 1990. Afenilidy (Hymenoptera, Aphelinidae) Vostochnogo Azerbaidzana (fauna, ecologiia I khoziaistvennoe znachenie) [Aphelinids (Hymenoptera, Aphelinidae) of East Azerbaijan (fauna, ecology and economic significance)], Thesis abstract on competition of a scientific PhD degree. Biol. Sciences: spec. 2413.01 – Entomology. Baku (in Russian).

Nicholas, M., Yasnosh, V. A., 1966. Afelinidy Evropeiskoi chasti SSSR I Kavkaza [Aphelinids European part of the USSR and the Caucasus], Science, Moscow, Leningrad (in Russian).

Rzaeva, L. M., Yasnosh, V. A., 1979. Materialy k izucheniyu fauny khalcid (Hymenoptera, Chalcidoidea) Azerbaidzana [Materials to study Chalcids fauna (Hymenoptera, Chalcidoidea) of Azerbaijan], Math. AN AzSSR, 2, 89–94 (in Russian).

Tryapitsyn, V. A., Shapiro, V. A., Schepetilnikova, V. A., 1982. Parazity I khishchniki vrediteli selskokhoziaistvennykh kultur [Parasites and predators of crop pests], Kolos, Leningrad (in Russian).

Yasnosh, V. A., 1995. Semeistvo Aphelinidae – Afelinidy. Opredelitel nasekomykh Dalnego Vostoka Rossii [Family of Aphelinidae – aphelinids. Keys to the insects of Russian Far East], Dalnauka, Vladivostok, IV, 2, 506–551 (in Russian).

Стаття надійшла в редакцію: 29.03.2015

Рекомендує до друку: д-р біол. наук, проф. О. М. Сумароков

ECOLOGICAL BIOCHEMISTRY



G. A. Ushakova 
H. N. Shiyntum

Dr. Sci. (Biol.), Professor

UDK 577.11:574.4

*O. Honchar Dnipropetrovsk National University,
Gagarin ave, 72, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010*

EVOLUTIONARY PROGRESS IN THE FUNCTIONS OF METALLOTHIONEINS IN THE EVER CHANGING ECOSYSTEMS

Abstract. Metallothioneins (MTs) exist in various organisms ranging from some prokaryotes to eukaryotes and mammals. MTs are low molecular weight proteins (MW ranging from 500 to 14000 Da), highly rich in cysteine residues and effectively bind with metals. MTs have the capacity to bind both physiological (such as zinc, copper, selenium) and xenobiotic (such as cadmium, mercury, silver, arsenic) heavy metals through the thiol group of its cysteine residues, which represent nearly 30 % of its constituent amino acid residues. Their combination with heavy metals gives rise to metal-thiolate clusters. It has been suspected that the presence of cysteine in MT is necessary for its functioning and that MT itself is essential for life, modulating complex diseases and the immune system. All different types of MTs are classified with respect to so many factors mainly in groups I and II. There are four main distinguished sub families of the mammalian MT gene families; *MT-1* (subtypes *A, B, E, F, G, H, L, M, X*), *MT-2*, *MT-3*, *MT-4*. They are synthesised primarily in the liver and kidneys. Their production is dependent on availability of the dietary minerals, as zinc, copper and selenium, and the amino acids histidine and cysteine. The rise of these sub families can be attributed to the different functions fulfilled by them. The absence of one defined primary common function could certainly be the reason for serial duplications that gave rise to the respective isoforms. The evolution of MT has been so important to science that they have been considered valid biomarkers in medicine and environmental studies. MT is not limited to the human system, it has also been found in other mammals of the animal kingdom vertebrates (such as the chicken, *Gallus gallus*, or the mammalian *Mus musculus*), in higher plants (such as *Pisum sativum*, *Triticum durum*, *Zea mays*, *Quercus suber*), in protozoa (ex. the ciliate *Tetrahymena genera*), in yeast (such as *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida albicans*), in invertebrates (such as the nematode *Caenorhabditis elegans*, the insect *Drosophila melanogaster*, the mollusc *Mytilus edulis*, or the echinoderm *Strongylocentrotus purpuratus* and in many prokaryotes (such as the cyanobacteria *Synechococcus spp*). The MTs from this diverse taxonomic range represent a high-heterogeneity sequence (regarding molecular weight and number and distribution of Cys residues) and do not show general homology; in spite of this, homology is found inside some taxonomic groups (such as vertebrate MTs).

In this review, we will be looking at the evolution of MTs in respective organisms and the different roles they perform in each of their respective locations in these organisms. We will specifically look at the following factors; evolution of the genetic constitution of MTs and their structural composition and functions.

Keywords: *Metallothioneins (MTs), structure, classification, evolution, genes, function.*

 Tel.: +38063-273-81-03. E-mail: hnkafor@yahoo.com

DOI: 10.15421/031510

ISSN 1726-1112. Ecology and noospherology. 2015. Vol. 26, no. 1–2

89

УДК 577.11:574.4

Г. О. Ушакова
О. Н. Шинтум

д-р біол. наук, проф.

Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара,
пр. Гагаріна, 72, м. Дніпропетровськ, Україна, 49010,
тел.: +38063-273-81-03, e-mail: hnkafor@yahoo.com

ЕВОЛЮЦІЙНИЙ ПРОГРЕС У ФУНКЦІЯХ МЕТАЛОТІОНЕІНІВ У ЕКОСИСТЕМАХ, ЩО ПОСТІЙНО ЗМІНЮЮТЬСЯ

Анотація. Металотіонеїни (МТ) є в різних організмах, починаючи від деяких прокариотів, до еукаріотів і ссавців. МТ є протеїнами з низькою молекулярною масою (в інтервалі від 500 до 14000 Да), збагачені на залишок цистеїну й ефективно зв'язуються з металами. МТ здатні зв'язувати як фізіологічні іони (наприклад, цинку, міді, селену), так і іони важких металів-ксенобіотиків (таких як кадмій, ртуть, срібло, миш'як) за рахунок тілової групи своїх залишків цистеїну, які представляють близько 30 % складу амінокислотних залишків. Їх зв'язування з важкими металами призводить до утворення металтіолових кластерів. Вважається, що присутність цистеїну в МТ необхідно для його функціонування, а також має важливе значення для виживання організмів, так як може змінювати імунний статус. Різні типи МТ класифіковані, головним чином, у групах I і II. Виділяють чотири основні підгрупи сімейства металотіонеїнів, які поділяють залежно від сімейств генів МТ ссавців: МТ-1 (підтипи А, В, Е, F, G, Н, L, М, Х), МТ-2, МТ-3, МТ-4. Вони синтезуються головним чином в печінці та нирках. Їхня продукція залежить від наявності харчових мінералів, таких як цинк, мідь і селен, і гістидину амінокислот і цистеїну. Підрозділ на багато підгруп МТ пов'язано з різними функціями даних білків. Відсутність однієї з певної первинної загальної функції, безумовно, може бути причиною для виділення відповідних ізоформ МТ в окремий підтип. Еволюція МТ дуже важлива для науки, так як віддзеркалює зміну спектру важливих біомаркерів в медицині та екологічних дослідженнях. МТ не обмежуються організмом людини, вони також знайдені в інших ссавців серед хребетних (наприклад, курки, *Gallus Gallus*, або ссавців *Mus Musculus*), у вищих рослин (наприклад, *Pisum sativum*, *Triticum durum*, *Zea mays*, *Quercus suber*), в найпростіших (напр. інфузорія *Tetrahymena genera*), в дріжджах (наприклад, *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida albicans*), у безхребетних (наприклад, нематоди *Caenorhabditis elegans*, комах *Drosophila melanogaster*, молюсках *Mytilus edulis*, або голкошкірих *Strongylocentrotus purpuratus* і в багатьох прокариотів (наприклад, ціанобактерії *Synechococcus spp*). МТ від такого різноманітного таксономічного діапазону є дуже неоднорідні (за молекулярною масою та кількості й розподілу залишків цистеїну), частіше всього мають низьку ступінь гомології; незважаючи на це, гомологія знаходиться всередині деяких таксономічних груп (наприклад, хребетних МТ).

У даному огляді розглянуто еволюцію МТ в різних організмах залежно від мінливості виконуваної функції даних білків за пристосування до конкретних умов проживання. В огляді акцентовано увагу на наступні фактори: еволюція генів МТ, структурна організація даних молекул, їх функції.

Ключові слова: металотіонеїни (МТ), структура, класифікація, еволюція, гени, функція.

УДК 577.11:574.4

Г. А. Ушакова
О. Н. Шинтум

д-р биол. наук, проф.

Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара,
пр. Гагарина, 72, г. Днепропетровск, Украина, 49010,
тел.: +38063-273-81-03, e-mail: hnkafor@yahoo.com

ЕВОЛЮЦИОННЫЙ ПРОГРЕСС В ФУНКЦИЯХ МЕТАЛЛОТИОНЕИНОВ В ПОСТОЯННО МЕНЯЮЩИХСЯ ЭКОСИСТЕМАХ

Аннотация. Металлотионеины (МТ) имеются в различных организмах, начиная от некоторых прокариот, до эукариот и млекопитающих. МТ являются белками с низкой молекулярной массой (в интервале от 500 до 14000 Да), обогащены остатками цистеина и эффективно связываются с металлами. МТ способны связывать как физиологические ионы

(например, цинка, меди, селена), так и ионы тяжелых металлов – ксенобиотиков (таких как кадмий, ртуть, серебро, мышьяк) за счет тиоловой группы своих остатков цистеина, которые представляют около 30 % состава аминокислотных остатков. Их связывание с тяжелыми металлами приводит к образованию металтиоловых кластеров. Предполагают, что присутствие цистеина в МТ необходимо для его функционирования, а также имеет важное значение для выживаемости организмов, так как могут изменять иммунный статус. Различные типы МТ классифицированы, главным образом, в группах I и II. Выделяют четыре основных подгруппы семейства металлотиионеинов, которые подразделяют в зависимости от семейств генов МТ млекопитающих; МТ-1 (подтипы А, В, Е, F, G, H, L, M, X), МТ-2, МТ-3, МТ-4. Они синтезируются в основном в печени и почках. Их продукция зависит от наличия пищевых минералов, таких как цинк, медь и селен, и гистидина аминокислот и цистеина. Подразделение на множество подгрупп МТ связано с различными функциями данных белков. Отсутствие одной из определенной первичной общей функции, безусловно, может быть причиной для выделения соответствующих изоформ МТ в отдельный подтип. Эволюция МТ очень важна для науки, так как отражает изменение спектра важных биомаркеров в медицине и экологических исследованиях.

В данном обзоре рассмотрена эволюция МТ в различных организмах в зависимости от изменчивости выполняемой функции данных белков в условиях приспособления к конкретным условиям обитания. В обзоре акцентировано внимание на следующие факторы: эволюция генов МТ, структурная организация данных молекул, их функции.

Ключевые слова: металлотиионеины (МТ), структура, классификация, эволюция, гены, функция.

INTRODUCTION

Evolution is change in heritable traits of biological populations over successive generations in the ecosystem. Evolutionary processes give rise to diversity at every level of biological organisation, including the level of species, individual organisms, and at the level of molecular evolution (Brian, 2011). The use of the name metallothionein was first mentioned in 1957 to describe a protein isolated from equine renal cortex containing large amounts of sulphur and cadmium (Margoshes & Vallee, 1957; Kagi & Vallee, 1960) and to date, there has been unraveling of more structures and functions implying that MTs evolution is equally a fast growing process. Metallothioneins are rich cysteine low molecular weight proteins that are said to be essential in the detoxification of the mammalian system. They are also said to be heat stable and metal binding (Margoshes & Vallee, 1957).

The human body expresses at least ten known very closely related MT proteins. The production of MT is zinc and selenium dependent from dietary minerals as well as histidine and cysteine present in the body. They are largely synthesized in the liver and the kidney in humans but are found at a number of other sites.

Its main functions are said to be the detoxification of metals (heavy metals in particular) like mercury and cadmium, the homeostasis of essential metals including Copper and Zinc, anti-oxidation against reactive oxygen species, protection against DNA damage, oxidative stress, cell survival, angiogenesis, apoptosis, as well as increase proliferation, in the body (Higashimoto et al., 2009).

Since the discovery of MTs in 1957, many experiments have been carried out to date with different organisms. It has been found in many of these organisms that MTs exist in different locations and are very vital for the existence of these organisms. Most of these organisms embody many isoforms of these MTs and each has a function all though some of their roles have yet to be highlighted as are their mechanisms as well. Mammals, including humans, have four isoforms but the first two (*MT-1/ MT-2*) had been known to be the major isoforms expressed ubiquitously by most mammalian organs including the brain (Cherian et al., 2003) but recent studies have identified *MT-3* as the major metalloprotein in the brain and CNS (Egli et al., 2006). *MT-4*, although found in the squamous epithelial and also

known to have life saving functions, is still to be studied on a large scale as have been the previous three.

In other organisms like insects, each of the studied type has its own distinguished MT features and functions. Some of the functions have been confirmed to be common in certain insects, like the predominance of MTs in the brain in the case of *Drosophila melanogaster* (four MTs), *Orchesella cincta* (one MT), and *Oxya chinensis* (two MTs) characteristically for protection against toxicity from heavy metals (Liu et al., 2014) but strangely, *Oxya chinensis* has also been found to contain a significant amount of MTs in the gut (Klaassen et al., 2009). As far as *D. melanogaster* is concerned, MT-C and MT-D have not yet been found to possess strong roles due to their inability to bind strongly with heavy metals.

Metallothionein structure and classification

MT is not limited to the human system, it has also been found in other mammals of the animal kingdom vertebrates (such as the chicken, *Gallus gallus*, or the mammalian *Mus musculus*), in higher plants (such as *Pisum sativum*, *Triticum durum*, *Zea mays*, *Quercus suber*), in protozoa (ex. the ciliate *Tetrahymena genera*), in yeast (such as *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida albicans*), in invertebrates (such as the nematode *Caenorhabditis elegans*, the insect *Drosophila melanogaster*, the mollusc *Mytilus edulis*, or the echinoderm *Strongylocentrotus purpuratus* and in many prokaryotes (such as the cyanobacteria *Synechococcus* spp). The MTs from this diverse taxonomic range represent a high-heterogeneity sequence (regarding molecular weight and number and distribution of Cys residues) and do not show general homology; in spite of this, homology is found inside some taxonomic groups (such as vertebrate MTs).

Fowler et al. were the first to establish a classification of MTs in 1987 into three classes; Class I was made to include polypeptides related in the positions of the Cys to equine MT-1B (MTs homologous to horse MT), Class II included MTs non homologous to horse MT, and Class III comprised phytochelators, cys-rich enzymatically synthesized peptides (polyisopeptides composed of atypical gamma- glutamylcysteinyl units and are not therefore direct gene products) (Fowler et al., 1987). The second classification was performed by Binz and Kagi in 2001, and takes into account taxonomic parameters and the patterns of distribution of Cys residues along the MT sequence. It results in a classification of 15 families for proteinaceous MTs (Binz & Kagi, 1999). Family 15 contains the plant MTs, which in 2002 were further classified by Cobbett and Goldsbrough into 4 Types (1, 2, 3 and 4) depending on the distribution of their Cys residues and a Cys-devoid regions (called spacers) characteristic of plant MTs.

MTs are classified base on the similarities of their structures. All mammalian MTs are placed Class I. The amino acids sequences of MTs of mammalian origin contain approximately 61aa of similar composition. They all contain 20 cysteine residues that remain unchanged along the aa sequence. These cysteines participate in the coordination of 7mol of Cd or Zn per mol of MT, explaining why they have a high affinity for Cd (10^{-22}) and Zn (10^{-18}) (Kagi & Vallee, 1960).

In mammals, 20 totally conserved cysteine residues (Cys) bind, in the reduced form, a complement of 7 equivalents of polarizable bivalent metal ions giving rise to two unique metal-thiolate clusters with characteristic spectroscopic features (Binz & Kagi, 1999). The spontaneous refolding of the native structure upon metal addition attests to a guiding role of the positions of the Cys and other AAs conserved in the polypeptide chain. The invertebrate holo-MTs studied thus far display similar clusters with structural and compositional variations due to different numbers and relative positions of the Cys residues on the polypeptide chain.

Table below shows how much MTs in various ecosystems have marginally evolved. The characterization and structurization of MT have been revealed by only a few articles. Its three dimensional structure was first reported by X-ray crystallography and NMR spectroscopy in the 1990s. Later structural studies have shown that MT with 61aa can bind

Evolutionary characteristics of MTs in various organisms

Family	Pattern	3D Structure	SD	KTR	MSA	PT
1	2	3	4	5	6	7
Vertebrate	K-x(1,2)-C-C-x-C-P-x(2)-C	mouse Cd7-MT-1 (PDB: 1DFS, 1DFT) Human Cd7-MT-2 (PDB: 1HMU, 2HMU) Rabbit Cd7-MT-2 (PDB: 1MRB, 2MRB) Rat Cd7-MT-2(PDB: 1MRT, 2MRT, 4MT2) Cd5Zn2-MT-2 (not in PDB)	m1: mammalian MT-1 m2: mammalian MT-2 m3: mammalian MT-3 m4: mammalian MT-4 m: mammalian MT a1: avian MT-1 avian MT-2 a: avian MT r: reptilian MT t: teleost MT s: sharks MT b: batracian MT	Mammals		No
Mollusc	C-x-C-x(3)-C-T-G-x(3)-C-x-C-x(3)-C-x-C-K	-	mo1: mussel MT-1 mo1: mussel MT-1 mo2: mussel MT-2 mog: gastropod MT mo: other mollusc MT	Pelecypoda gastropoda	Yes	Yes
Crustacean	P-[GD]-P-C-C-x(3,4)-C-x-C	blue crab Cd6-MT-I (PDB: 1DMC, 1DMD, 1DME, 1DMF) mud crab Cd6-MT1 sea urchin -MTA (1qjk, 1qjl)	c: crustacean MT cl: crustacean MT-1 c2: crustacean MT-2	crustacea	Yes	Yes
Echinodermata	P-D-x-K-C-V-C-C-x(5)-C-x-C-x(4)-C-C-x(4)-C-C-x(4,6)-C-C		e1: echinodermata MT type 1 e2: echinodermata MT type 2	echinoidea	Yes	Yes
Diptera	C-G-x(2)-C-x-C-x(2)-Q-x(5)-C-x-C-x(2)-D-C-x-C	-	d1: diptera MT type 1 d2: diptera MT type 2	diptera	Yes	No
Nematoda	K-C-C-x(3)-C-C	-	n1: nematoda MT type 1 n2: nematoda MT type 2	secernentea	Yes	No
Ciliata	-	-	ci: ciliata MT	ciliata (protozoa)	No	No

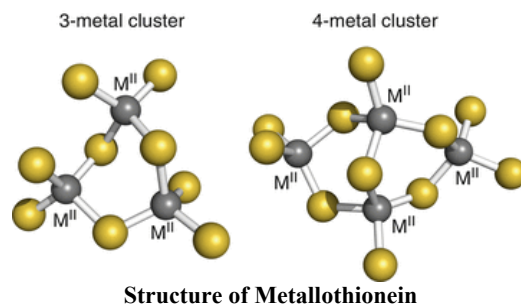
1	2	3	4	5	6	7
Fungi-I	C-G-C-S-x(4)-C-x-C-x(3,4)-C-x-C-S-x-C	N.crassa Cu6-MT (PDB: 1T2Y)	f1: fungi-I MT	basidiomycotina deuteromycotina ascomycotina	Yes	No
Fungi-II	-	-	f2: fungi-II MT	deuteromycotina	No	No
Fungi-III	-	-	f3: fungi - III MT	deuteromycotina	No	No
Fungi-IV	C-X-K-C-x-C-x(2)-C-K-C	-	f4: fungi-IV MT	ascomycotina	No	No
Fungi-V	-	PDB: 1A00, 1AQQ, 1AQR, 1AQS	f5: fungi-V MT	ascomycotina	Yes	No
Fungi-VI	-	-	f6: fungi-VI MT	ascomycotina	No	No
Prokaryota	K-C-A-C-x(2)-C-L-C	-	pr: prokaryota MT	cyanobacteria	Yes	No
Plant	[YFH]-x(5,25)-C-[SKD]-C-[GA]-[SDPAT]-x(0,1)-C-x-[CYF]	-	P1: plant MT type 1 p2: plant MT type 2 p21: plant MT type 2x1 pec: plant EC MT-like protein	angiospermae (magnolophyta)	Yes	Yes
Phytochelatins and other non- proteinaceous	-	-	-	viridiplantae	-	-

SD – Subdivision, KTR – Known Taxonomic Range, MSA – Multiple Sequence Alignment, PT – Phylogenetic trees

Notes:

Plant: yields all plant sequences, but also MTCU_HELPO (P55947) and the non-MT ITB3_HUMAN (P05106)

Family 99: phytochelatins and other non-proteinaceous MT-like polypeptides: gammaglutamyl-L-cysteiny units, these are not proteins.



with both essential (Zinc and Copper) and toxic (Cadmium and Mercury) metals in two distinct cluster within the molecule. One cluster is closer to the N-terminal and three metal atoms bound structures to nine cysteines with three bridging sulphur atoms, while the second cluster is closer to the C-terminal and four metal atoms bound to 11 cysteines with five bridging sulphur atoms figure (Schicht & Freisinger, 2009).

Specific Functions of MTs

Metallothioneins have been found to exist in various tissues of different species, ranging from eukaryotes to mammals, playing significant roles in their respective locations for the life of the individuals. MTs are stress proteins that bind with metals and regulate the homeostasis of essential trace metals, counteracting the toxic effects of heavy metals such as Cd, Hg and Ag in insects (Viarengo et al., 1999). Looking at the different types of MTs and their functions in different organisms will portray a manner of evolution that has captured the attention of a huge audience of the scientific world in modern times.

MTs and their functions have been studied in insects such a *Drosophila melanogaster*, *Orchesella cincta*, and *Oxya chinensis* with some similar and very dissimilar patterns of distribution and function. *D. melanogaster* has four MTs (*MT-A*, *MT-B*, *MT-C*, *MT-D*), all of which are transcriptionally induced by heavy metals through the same metal-responsive transcription factor, MTF-1 (Egli et al., 2006), while *Orchesella. cincta* has only one identified MT. Two MTs (*OcMT-1* and *OcMT-2*) have recently been identified in *Oxya chinensis* (Liu et al., 2014).

MTs B, C, D are located in the same gene cluster and encode very similar peptides (67 % amino acid identity) (Egli et al., 2003). *Drosophila MT-A* and *MT-B* were classified as copper-type thioneins due to their metal binding properties. (Valls et al., 2000; Domenech et al., 2003). The expression of MTs at the gene level is transcriptionally regulated by metal-responsive transcription factor 1 (MTF-1), homolog to the mammalian MTF-1. The mechanism is such that MTF-1 binds to the short DNA motifs termed metal-responsive elements (MREs) in the MT promoter upon metal load. These MREs are necessary and sufficient to mediate the transcriptional response to heavy metals (Stuart et al., 1984). Basal and induced levels of transcription in both mammals and in *Drosophila* depend on MTF-1 activity, and consequently a mutation of MTF-1 in both organisms dramatically increases the sensitivity to heavy metals (Egli et al., 2003, Wang et al., 2004). *MT-A* and *MT-B* are of major importance to the heavy metal defense of *Drosophila*, with a leading role of *MT-A* and *MT-B* for Cu and Cd load respectively. Individual activities of MTs are achieved by the corresponding specificity in induction and, probably some metal-cluster features that confer a more optimal character to the *Cu-MT-A* and *Cd-MT-B* complexes, respectively (Egli et al., 2006). This has been shown already for MT-B under high cadmium load (Domenech et al., 2003). The roles played by *MT-C* and *MT-D* are still to be well elucidated as their metal-binding capacity is very insignificant as compared with the capacity of *MT-A* and *MT-B*.

The two MTs obtained from *O. Chinensis* possessed different coding sequences, peptides and cysteine concentrations (11). The amino acid sequence of *OcMTI* protein was similar in length to those of *MT-A*, *MT-B*, *MT-C* and *MT-D* in *Drosophila*, varying from

40aa to 44aa (Egli et al., 2003) and are much shorter than the MTs of most other species, ranging in size from 58aa to 61aa. Both *OcMT1* and *OcMT2* code for most of the conserved cysteine residues and functional motifs such as (C-C, C-X-C, C-X-Y-C) (10). A total of 16 cysteine residues were found along the entire *OcMT2* sequence, and cysteine and lysine (Lys, K) were adjacent at four positions. The Cys residues adjacent to Lys have been suggested to play roles in the structures and stabilities of the metal-binding sites of the protein (Chung et al., 1991). These important structural characteristics suggest that *OcMT1* and *OcMT2* may be involved in heavy metal detoxification by capturing the metal within the tissues and that these residues may serve as primary chelating sites (Ren et al., 2010). The two *OcMT* genes were found to be widely expressed in the brain, the optic lobe and the digestive tissues (FG, GC, MG and HG) (Liu et al., 2014). The expressions levels of *OcMT1* and *OcMT2* in the fat bodies were higher compared with those in the other tissues with the exception of the brain and optic lobe. These findings suggest that *OcMT1* and *OcMT2* can detoxify exogenous chemicals. The higher expression levels of *OcMT2* in the ovaries suggest that this MT may be related to the protection of *O. chinensis* reproduction from metal toxicity or from oxidative stress (Klaassen et al., 2009). Therefore, the two MTs may play important roles in the detoxification of exogenous chemicals (Liu et al., 2014).

Mammalian MTs are mainly consisted of *MT-1*, *MT-2*, *MT-3*, and *MT-4*. They originated through a series of duplication events. In a general sense, *MT-1* and *MT-2* encode for ubiquitous proteins while *MT-3* and *MT-4* evolved to accomplish specific roles in the brain and epithelium respectively. Further expansion of the *MT-1* gene has occurred in the primate lineage reaching in humans a total of 13 paralogs, five of which are pseudogenes, while the remaining eight are still functionally active. In humans, the reading frame of all five *MT-1* pseudogenes is reconstructed by sequence homology with a functional duplicate revealing that loss of invariant cysteines is the most frequent event accounting for pseudogeneisation. Expression analyses based on EST counts and RT-PCR experiments show that, as for *MT-1* and *MT-2*, human *MT-3* is also ubiquitously expressed while *MT-4* transcripts are present in brain, testes, esophagus and mainly in thymus (Moleirinho et al., 2011).

Mammalian *MT-1* and *MT-2* are conserved proteins that play a critical role in heavy-metal homeostasis and are transcriptionally induced by metal (Beach & Palmiter, 1981) and glucocorticoids (Hager & Palmiter, 1981).

Since its discovery (Palmiter et al., 1992), *MT-3* has been frequently associated with the protection against neuronal injury (Chung & West, 2004; Hozumi et al., 1995). The mammalian *MT3* protein shows a characteristic insertion of six residues at the a-domain when compared to that of *MT-1* and *MT-2* and an extra residue in the b domain (Thr), which is responsible for neuron growth inhibitory activity in Alzheimer disease (Cai et al., 2006; Romero-Isart et al., 2002). Although the expression of *MT-3* has been almost exclusively related to brain tissues, it has also been demonstrated that *MT-3* is a ubiquitously expressed gene. In this regard, it is worth mentioning that *MT-3* associates with other proteins in mouse brains as part of a multiprotein complex (Lahti et al., 2005) suggesting function diversification and involvement in various physiological processes.

MT-4 retains a high degree of conservation between humans and mice, yet it shows the highest sequence divergence when compared with any other MT family member (Moleirinho et al., 2011). It has been shown that mouse *Mt-4* retains the capacity to bind Zn (Quaife et al., 1994; Tio et al., 2004), Cd and Cu as the ubiquitously expressed *MT-1/MT-2*, although the affinity to Cu is higher (Tio et al., 2004; Meloni et al., 2006). Suggestions have been made that *MT-4* is inactive in some individuals (Moleirinho et al., 2011). It is tempting to assume that the loss (pseudogeneization) of *MT-4* can be compensated by functional equivalents. In this context, *MT-1* and *MT-2* would be the most likely candidates for a number of reasons. First, the metal binding properties of *MT-1* and *MT-2* overlap that of *MT-4* in mice (Cai et al., 2005). Second, it has been demonstrated that some *MT-1* duplicates have cellular specificity (Schmidt & Hamer, 1986; Cherian et al., 2003) and some of them are expressed in epithelium. Third, previous experiments in *Drosophila*

melanogaster demonstrated that the number of functional gene duplications correlates to the resistance to Cd (Maroni et al., 1987; Maroni et al., 1986) and Cu (Maroni et al., 1987) as a direct consequence of the increased gene expression.

CONCLUSION

There exist a general consensus as to the principal functions of MTs; detoxification and homeostasis, but the common impression is that we are still a long way from seeing the end of their evolution. As the various ecosystems continue to evolve, so do every micro and macro components in the ecosystems. Many isoforms and sub-isoforms from various organisms have been identified but most functions are yet to be attributed to a lot of them. A very common factor about the MTs is that they are triggered by the presence of heavy metals, enabling homeostatic, detoxification and oxidative stress functions. From the time of their discovery till today, MTs have evolved massively with the latest researches being carried out to find treatment for various diseases especially in the battle against cancer. At the rate at which their evolution continues to unravel via experiments, it is only a matter of time before many functions are figured out and their uses are expanded.

REFERENCES

- Beach, L. R., Palmiter, R. D., 1981. Amplification of the metallothionein-I gene in cadmium-resistant mouse cells. *P Natl Acad Sci USA*, 78, 2110–2114.
- Binz, P. A., Kagi, J. H. R., 1999. Metallothionein: molecular evolution and classification. *Advanced Life Sciences*, 7–13.
- Brian, K. H., 2011. Strickberger's Evolution. Jones & Bartlett Publishers. Dalhousie University Brian K Hall, PH.D.; Benedikt Hallgrímsson. ISBN 978-1-4496-4722-3. pp. 3–6.
- Cai, B., Zheng, Q., Huang, Z.-X., 2005. The properties of the metal–thiolate clusters in recombinant mouse metallothionein-4. *Proteins* 24, 327–336.
- Cai, B., Zheng, Q., Teng, X.-C., Chen, D., Wang, Y., Wang, K. Q., Zhou, G. M., Xie, Y., Zhang, M. J., Sun, H. Z., Huang, Z. X., 2006. The role of Thr5 in human neuron growth inhibitory factor. *J Biol Inorg Chem*, 11, 476–482.
- Cherian, M. G., Jayasurya, A., Bay, B. H., 2003. Metallothioneins in human tumors and potential roles in carcinogenesis. *Mutat Res*, 533, 201–209.
- Chung, R. S., West, A. K., 2004. A role for extracellular metallothioneins in CNS injury and repair. *Neuroscience*, 123, 595–599.
- Chung, W. P., Dewan, J. C., Walters, M. A., 1991. Models of lysine-cysteine hydrogen bonding in metallothionein: hydrogen bonding between ammonium and benzenethiolate in $[(C_6H_{11})_2NH_2]^2[Co(SC_6H_5)_4]$. *J Am Chem Soc*, 113, 525–530.
- Domenech, J., Palacios, O., Villareal, L., Gonzalez, D. P., Capdevila, M., Adrian, S., 2003. MTO: the second member of a *Drosophila* dual copperthionein system. *FEBS Lett*, 533, 72–78.
- Egli, D., Domenech, J., Selvaraj, A., Balamurugan, K., Hua, H., Capdevila, M., Georgiev, O., Schaffner, W., Atrian, S., 2006. The four members of the *Drosophila* metallothionein family exhibit distinct yet overlapping roles in heavy metal homeostasis and detoxification. *Genes Cells*, 11, 647–658.
- Egli, D., Selvaraj, A., Yepiskoposyan, H., Zhang, B., Hafen, E., Georgiev, O., Schaffner, W., 2003. Knockout of metal-responsive transcription factor MTF-1 in *Drosophila* by homologous recombination reveals its central role in heavy metal homeostasis. *Embo J*, 22(1), 100–108.
- Fowler, B. A., Hildebrand, C. E., Kojima, Y., Webb, M., 1987. Nomenclature of metallothionein. *Experientia Suppl*, 52, 21.
- Gumulec, J., Raudenska, M., Adam, V., Kizek, R., Masarik, M., 2014. Metallothionein – immunohistochemical Cancer Biomarker: a meta-analysis. *PLoS ONE* 9(1):e85346. doi:10.1371/journal.pone.0085346.
- Hager, L. J., Palmiter, R. D., 1981. Transcriptional regulation of mouse liver metallothionein-I gene by glucocorticoids. *Nature* 291, 340–342.
- Hahn, Y., Lee, B., 2006. Human-specific nonsense mutations identified by genome sequence comparisons. *Hum Genet* 119, 169–178.
- Higashimoto, M., Itoyama, N., Ishibashi, S., Inoue, M., Takiguchi, M., Suzuki, S., Onishi, Y., Sato, M., 2009. Tissue dependent preventive effect of metallothionein against DNA damage in dyslipidemic mice under repeated stresses of fasting or restraint. *Life Sciences*, 84, 569–575.
- Hozumi, I., Inuzuka, T., Hiraiwa, M., Uchida, Y., Anezaki, T., Ishiquro, H., Kobayashi, H., Uda, Y., Miyatake, T., Tsuji, S.,

1995. Changes of growth inhibitory factor after stab wounds in rat brain. *Brain Res*, 688, 143–148.
- Kagi, J. H., Vallee, B. L., 1960. Metallothionein, a cadmium and zinc containing protein from equine renal cortex. *J Biol Chem*, 235, 3460–3465.
- Klaassen, C. D., Liu, J., Diwan, B. A., 2009. Metallothionein protection of cadmium toxicity. *Toxicol Appl Pharm* 238, 215–220.
- Lahti, D. W., Hoekman, J. D., Tokheim, A. M., Martin, B. L., Armitage, I. M., 2005. Identification of mouse brain proteins associated with isoform 3 of metallothionein. *Protein Sci*, 14, 1151–1157.
- Liu, Y., Wu, H., Kou, L., Liu, X., Zhang, J., Guo, Y., Ma, E., 2014. Two metallothionein genes in *Oxya chinensis*: molecular characteristics, expression patterns and roles in heavy metal stress. *PLoS ONE* 9(11):e112759. doi:10.1371/journal.pone.0112759.
- Margoshes, M., Vallee, B. L., 1957. A cadmium protein from equine kidney cortex. *J Am Chem Soc*, 79, 4813–4814.
- Maroni, G., Otto, E., Young, J. E., 1986. Structure and expression of a tandem duplication of the *Drosophila* metallothionein gene. *P Natl Acad Sci USA*, 83, 6025–6029.
- Maroni, G., Wise, J., Young, J. E., Otto, E., 1987. Metallothionein gene duplications and metal tolerance in natural populations of *Drosophila melanogaster*. *Genetics* 117, 739–744.
- Meloni, G., Zovo, K., Kazantseva, J., Palumaa, P., Vasak, M., 2006. Organization and assembly of metal-thiolate clusters in epithelium-specific metallothionein-4. *J Biol Chem*, 281, 14588–14595.
- Moleirinho, A., Carneiro, J., Matthiesen, R., Silva, R. M., Amorim, A., Azevedo, L., 2011. Gains, losses, and changes of function after gene duplication: study of the metallothionein family. *PLoS ONE*, 6(4):e18487. doi:10.1371/journal.pone.0018487.
- Palmiter, R. D., Findley, S. D., Whitmore, T. E., Durnam, D. M., 1992. MT-III, a brainspecific member of the metallothionein gene family. *P Natl Acad of Sci USA*, 89, 6333–6337.
- Quaife, C. J., Findley, S. D., Erickson, J. C., Froelick, G. J., Kelly, E. J., Zambrowicz, B. P., Palmiter, R. D., 1994. Induction of a New Metallothionein Isoform (MT-IV) Occurs during Differentiation of Stratified Squamous Epithelia. *Biochemistry-US*, 33, 7250–7259.
- Ren, F., Jiang, H., Sun, J., He, L., Li, W., Wang, Y., Wang, Q., 2010. Cloning, characterization, expression, and copper sensitivity of the metallothionein-1 gene in the Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*. *Mol Biol Rep*, 38, 2383–2393.
- Romero-Isart, N., Jensen, L. T., Zerbe, O., Winge, D. R., Vasak, M., 2002. Engineering of Metallothionein-3 Neuroinhibitory Activity into the Inactive Isoform Metallothionein-1. *J Biol Chem*, 277, 37023–37028.
- Schicht, O., Freisinger, E., 2009. Spectroscopic characterization of Cicer arietinum metallothionein 1. *Inorg Chim Acta*, 362, 714–724.
- Schmidt, C. J., Hamer, D. H., 1986. Cell specificity and an effect of ras on human metallothionein gene expression. *P Natl Acad Sci USA*, 83, 3346–3350.
- Stuart, G. W., Searle, P. F., Chen, H. Y., Brinster, R. L., Palmiter, R. D., 1984. A 12-base-pair DNA motif that is repeated several times in metallothionein gene promoters confers metal regulation to a heterologous gene. *P Natl Acad Sci USA*, 81, 7318–7322.
- Tio, L., Villarreal, L., Atrian, S., Capdevila, M., 2004. Functional differentiation in the mammalian metallothionein gene family: metal binding features of mouse MT4 and comparison with its paralog MT1. *J Biol Chem*, 279, 24403–24413.
- Tokuda, E., Ono, S-I., Ishige, K., Naganumad, A., Ito, Y., Suzuki, T., 2007. Metallothionein proteins expression, copper and zinc concentrations, and lipid peroxidation level in a rodent model for amyotrophic lateral sclerosis. *Toxicology*, 229, 33–41.
- Valls, M., Bofill, R., Romero-Isart, N., Gonzalez-Duarte, R., Abian, J., Carrascal, M., Gonzalez-Duarte, P., Capdevila, M., Atrian, S., 2000. *Drosophila* MTN: a metazoan copper-thionein related to fungal forms. *FEBS Lett*. 467(2-3), 189–194.
- Wang, Y., Wimmer, U., Lichtlen, P., Inderbitzin, D., Stieger, B., Meier, P. J., Hunziker, L., Stallmach, T., Forrer, R., Rulicke, T., Georgiev, O., Schaffner, W., 2004. Metal-responsive transcription factor-1 (MTF-1) is essential for embryonic liver development and heavy metal detoxification in the adult liver. *FASEB J*. 18,1071–1079.

Стаття надійшла в редакцію: 30.04.2015
Рекомендує до друку: д-р біол. наук, проф. Й. В. Царик

ECOLOGICAL STUDY OF MICROORGANISMS



O. G. Shekhovtseva 
I. A. Maltceva

Dr. Sci. (Biol.), Professor

UDK 631.574:54/.5(477.62)

*B. Khmelnytsky Melitopol State Pedagogical University,
Lenina str., 20, Melitopol, Ukraine, 72312*

INFLUENCE OF CHLORIDE AND SULFATE IONS ON THE COMPOSITION AND THE BIOMASS OF SOIL ALGAE IN THE SOILS OF MARIUPOL CITY URBAN ECOSYSTEMS

Abstract. In the article the results of the estimation of composition of salts and an activity of chlorid-ion and sulfat-ion in soils of the steppe area of Ukraine (by example of Mariupol) are presented. The author was conducting the researches on the territory of Mariupol city during a period from 2008 to 2011. The urban soils have some specific properties which are the result of anthropogenic transformation.

Now all around the world the special attention is given to biodiversity in terrestrial ecosystems, which are an important feature of the natural resources and the main sign of trends in their development. The processes of urbanization of natural landscapes have caused some changes of biological factor of the soil formation and also of the formation of artificial ecological systems. These systems are characterized by the infringement of their functioning.

The alteration of chloride and sulfate ions have been analyzed in comparison with zonal soils of background areas in connection with possible changes of species composition and structure of groupings of soil algae for which the top horizons of soil are the main place for existence. The given researches showed that chloride salts are prevailing in composition of soluble salts.

Species composition and indication properties of soil algae as biological pollution indicators of the protected of the urbanized soils have been studied. The greatest quantity of kinds of seaweed is allocated in zonal soils. In samples of soil Mariupol by direct count the 86 algae species of Chlorophyta (43 %), Cyanophyta (25 %), Xanthophyta (16 %), Bacillariophyta (13 %) and Eustigmatophyta (3 %) have been found. The green and blue-green algae were found to be prevailed, it was proved that they are the basis of dominate species complex.

Structural features of algae soil in habitats with various character of action of factors of urbanized environment are subjected to benchmark analysis. There were examined the formation processes of biological indexes depending on the soluble salts of soil profile and also an influence of these factors on ecological conditions of urban algae landscapes.

The level of anthropogenic load of pollutants has been determined. It is the evidence of negative influence of technogenic loading, in particular process of the accumulation of sulfates, chlorides and deterioration of physical properties of soil on the variety of soil algae species.

Some trends can be easily interpreted on the basis of differential accumulation of biomass and the expected impact of the sharp decline in this indicator. If only the abiotic factors associated with

 Tel.: + 38095-774-84-79. E-mail: helga22@inbox.ru

DOI: 10.15421/031511

ISSN 1726-1112. *Ecology and noospherology*. 2015. Vol. 26, no. 1–2

99

monitoring biological indicators of soil, it should be equivalent to dependence, as some indicators, being next to the other, may be affected in certain environmental conditions.

The results of the chemical indicator researches participating in processes of biomass transformation of algae can explain the essence of occurring processes of changes for forecasting of degradation of soil under the influence of anthropogenic influence. The change of integral indexes of biological activity can serve as the degree of the anthropogenic affecting soils.

The results of studies of chlorides and sulfates in soils of urban ecosystems, their influence on the composition and biomass of soil algae are described. Fluctuation ranges in biomass of algae have been registered. The biomass of algae correlates with chlorides ($r = -0,90$) and sulfates ($r = -0,54$) in soil.

The results of the research can be widely applied to evaluate the state of the ecosystem of these variables and they can be used as bio-reflecting the reactions of anthropogenically damaged habitats on soil salt content of chlorides and sulfates as pollution.

Keywords: *urbanized ecosystem, soil, chlorides, sulfates, alga soil, biomass of algae.*

УДК 631.574:54/.5(477.62) **О. Г. Шеховцева**

И. А. Мальцева

д-р биол. наук, проф.

*Мелитопольский государственный педагогический университет
им. Б. Хмельницкого, ул. Ленина, 20, г. Мелитополь, Украина, 72312,
тел.: +38095-774-84-79, e-mail: helga22@inbox.ru*

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ИОНОВ ХЛОРИДОВ И СУЛЬФАТОВ В ПОЧВЕ УРБОЭКОСИСТЕМ г. МАРИУПОЛЯ НА СОСТАВ И БИОМАССУ ПОЧВЕННЫХ ВОДОРОСЛЕЙ

Аннотация. Изучено содержание хлоридов и сульфатов в почве урбоэкоцистем г. Мариуполя, их влияние на состав и биомассу почвенных водорослей. Преобладающей группой водорослей почв в урбоэкоцистем является Cyanophyta и Chlorophyta. Биомасса водорослей коррелирует в обратной зависимости с количеством хлоридов ($r = -0,90$) и сульфатов ($r = -0,54$) в почве.

Ключевые слова: *урбоэкоцистема, почва, хлориды, сульфаты, почвенные водоросли, биомасса водорослей.*

УДК 631.574:54/.5(477.62) **О. Г. Шеховцева**

І. А. Мальцева

д-р біол. наук, проф.

*Мелітопольський державний педагогічний університет ім. Б. Хмельницького,
вул. Леніна, 20, м. Мелітополь, Україна, 72312,
тел.: +38095-774-84-79, e-mail: helga22@inbox.ru*

ВПЛИВ ВМІСТУ ІОНІВ ХЛОРИДІВ І СУЛЬФАТІВ У ҐРУНТІ УРБОЕКОСИСТЕМ м. МАРІУПОЛЯ НА СКЛАД І БІОМАСУ ҐРУНТОВИХ ВОДОРОСТЕЙ

Анотація. Вивчено вміст іонів хлоридів і сульфатів у ґрунті в межах урбоєкоцистем м. Маріуполя та їх вплив на склад і біомасу ґрунтових водоростей. Переважаючою групою водоростей ґрунтів урбоєкоцистем є Cyanophyta та Chlorophyta. Біомаса водоростей корелює в зворотній залежності із кількістю іонів хлоридів ($r = -0,90$) та сульфатів ($r = -0,54$) у ґрунті.

Ключові слова: *урбоєкоцистема, ґрунт, хлориди, сульфати, ґрунтові водорості, біомаса водоростей.*

ВСТУП

На території України помітне місце займають засолені ґрунти, велика частина яких припадає на степову зону. Незначна кількість опадів, високе випарування (регіональний коефіцієнт зволоження становить 0,5 (Mil'kov, 1977; Novikova, 2007)),

близьке розташування мінералізованих підземних ґрунтових вод, високі температури складають умови для формування процесу засолення ґрунтів. Природне накопичення солей у ґрунтах також відбувається під час їх перенесення повітряним шляхом з моря на сушу (Onishchenko et al., 2011). Причинами, що призводять до засолення ґрунтів в умовах урбоєкосистем, окрім природних, є антропогенний вплив, пов'язаний із осадженням та фільтрацією через ґрунти розчинів хімічних речовин виробничих відходів, техногенно-обумовленого підтоплення шахтними водами тощо (Lavrik, 2009).

Водорості є складовою частиною ґрунтових біоценозів природних і урбанізованих екосистем. Ґрунтова альгофлора, як вважають багато авторів, знаходиться в прямій залежності від антропогенного впливу (Metting, 1981; Shtina and Nekrasova, 1985). Особливості ґрунтових водоростей та їх угруповань є додатковою якісною характеристикою ґрунту. Сольовий склад ґрунту є чинником, що обмежує розвиток водоростей. Зміна осмотичного тиску середовища внаслідок засолення ґрунту відображається на водно-сольовому обміні водоростей, що знижує продуктивність останніх (Shtina, 1990). Водорості можуть використовуватися як біоіндикатори стану забруднення ґрунтів солями, в тому числі, антропогенного походження (Shtina, 1990; Bellinger, 2010). У науковій літературі є відомості про склад водоростей засолених ґрунтів природного походження (Gollerbach and Shtina, 1969; Maltseva, 2000; Solonenko et al., 2006). Особливості змін водоростевого складу при зміні концентрацій іонів хлоридів і сульфатів у ґрунтах міських екосистем, не досліджувалися.

Метою досліджень є вивчення впливу сульфатів і хлоридів на видовий склад і біомасу водоростей ґрунтів м. Маріуполя, які перебувають під впливом аеротехногенного навантаження.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження здійснювали у м. Маріуполь, що знаходиться на півдні Донецької області – одному із найбільш антропогенно-трансформованих регіонів України. Місто Маріуполь розташовано на західному узбережжі Таганрозької затоки, при злитті річки Кальміус та її правобережного притоку Кальчик, до яких надходять шахтні і стічні води. Мінералізація річкових вод Північного Приазов'я збільшується від 0,5–1,0 г/дм³ під час весняного повноводдя до 2,0–4,0 г/дм³ в літньо-осінній період, при цьому сульфатно-кальцієвий сольовий склад трансформується на сульфатно-кальцієво-натрієвий (Geletyuk, 2003). Ґрунтоутворюючою породою району досліджень є лесоподібний суглинок. За гранулометричним складом ґрунти м. Маріуполя відносяться до середньосуглинистих і важкосуглинистих із переважанням мулистої та крупнопилуватої фракцій. Для міських ґрунтів району досліджень характерні зміни значень рН у бік підлужовування, на що було вказано нами раніше (Shekhovtseva and Maltseva, 2010). Контролем служили території природно-заповідного фонду України в межах південної частини Донецької області: Українського степового природного заповідника «Кам'яні могили» та заказника місцевого значення «Азовська дача». Зразки для досліджень відбирали на 8 стаціонарних пробних площах. Стаціонарні пробні площі, які знаходяться під дією аеротехногенних викидів на території міста Маріуполя, розташовані в природно-рекреаційній зоні – парк відпочинку «Азовмаш» (РЗАМ); санітарно-захисній зоні – біля стадіону «Азовець» (СЗАМ), біля промвузла «Азовмаш» (СЗАМ₁), металургійних комбінатів «ім. Ілліча» (СЗКІ) й «Азовсталь» (СЗАС); селітебній зоні – центральна частина міста (СЦТ); уздовж автотраси при виїзді з міста на смт Володарське (АМВ). Пробні площі зональних ґрунтів (контрольні) були закладені у степовому біогеоценозі Українського природного заповідника «Кам'яні могили» (ФС) і штучних дубових насадженнях заказника «Азовська дача» (ФЛ).

Для обстеження урбанізованих та зональних типів ґрунтів зразки відбиралися пошарово до глибини 90 см. Методи дослідження властивостей ґрунтів проводили польовими, лабораторно-аналітичними методами; вивчення складу водоростей –

культуральними методами (Gollerbakh and Shtina, 1969). Біомасу водоростей визначали об'ємно-розрахунковим методом (Bellinger, 2010). З метою ідентифікації видів використовували вітчизняні і зарубіжні визначники. Назви таксонів приведені відповідно до зведення «Vodorosti gruntiv Ukrayiny» (2001). Сульфати досліджувалися гравіметричним методом, хлориди – титриметричним за відповідними методиками (Arinushkina, 1970). Вміст аніонів у водній витяжці представлено у вигляді відсотків і міліграм-еквівалентів на 100 г ґрунту (мг-екв).

Обробка отриманого матеріалу здійснювалась методами математичної статистики з використанням кореляційного аналізу (Microsoft Excel, 2010; Statistika 6.0).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Динамічність таких показників як засолення ґрунтів в умовах степового посушливого клімату в урбоєкосистемах простежується на прикладі аніонів хлоридів і сульфатів. Результати аналізів кількісних показників їх вмісту виявляють високу варіативність (табл. 1). Максимальні концентрації хлорид-іону фіксувалися у 2008 році (53,75 мг-екв), сульфат-іону – у 2011 році (4,55 мг-екв). Мінімальні концентрації хлорид-іону (3,4 мг-екв) і сульфат-іону (0,33 мг-екв) – у 2009 році. Такі концентрації хлорид- і сульфат-іонів спостерігаються у ґрунтах, де ступінь засолення оцінюється від малої до сильної (Kovda, 1973).

За період із 2008 по 2011 рр. середньорічна кількість опадів у степовій зоні склала 509,25 мм. Сума опадів у м. Маріуполі за цей період становила 544,1 мм та істотно відрізнялася від середніх багаторічних показників (424 мм). Коливання її у розрізі років від 424,4 мм (2011 р.) до 692,2 мм (2009 р.) сформували специфічні умови впливу атмосферних опадів на рухливість досліджуваних іонів у ґрунтах як фонових ділянок так і в зоні аеротехногенного впливу. Зміни вмісту хлорид-іонів ($r = -0,79$) і сульфат-іонів ($r = 0,62$) у ґрунтах залежні від середньорічних коливань кількості опадів.

Таблиця 1

Результати аналізу кількісних показників вмісту хлоридів і сульфатів у ґрунтах району досліджень (2008–2011рр.)

Пробні площі	Вміст іонів, мг-екв/100 г										Співвідношення іонів Cl ⁻ /SO ₄ ²⁻		
	весна						зима						
	Cl ⁻			SO ₄ ²⁻			Cl ⁻		SO ₄ ²⁻				
	2008	2009	2011	2008	2009	2011	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2011
ФС	10,20	8,15	8,88	2,65	2,65	2,80	6,30	3,40	1,20	0,95	4,1	3,1	3,3
ФЛ	42,50	7,55	7,85	2,30	4,30	1,50	10,40	5,30	1,20	0,50	18,5	1,8	5,3
РЗАМ	36,60	9,40	8,25	1,37	1,70	2,00	12,30	5,30	1,00	0,78	52,9	5,1	4,14
СЗАМ	38,75	7,83	7,33	0,90	1,55	1,85	15,90	5,00	0,70	0,35	34,2	6,8	4,0
СЗАМ ₁	49,80	7,60	7,26	0,65	1,80	1,78	13,40	5,75	0,90	0,33	40,8	6,3	4,1
СЗАС	48,15	6,90	7,75	0,95	2,15	2,67	12,00	5,80	1,50	0,49	51,1	3,3	5,6
СЗКІ	46,25	6,90	8,38	0,60	2,90	4,55	11,90	5,80	1,20	0,54	79,7	2,4	2,7
СЦГ	45,65	7,50	8,63	1,25	2,75	1,30	12,60	5,50	1,20	1,18	48,3	3,0	6,8
АМВ	53,75	6,55	8,50	1,45	0,75	1,75	9,62	5,80	1,70	0,40	37,1	10,5	5,2

Інтенсивному капілярному пересуванню легкорозчинних солей догори з близьких сільномінералізованих підґрунтових вод і акумуляції їх у верхніх горизонтах сприяють високі температури (Novikova, 2007). Зміна вмісту хлорид- і сульфат-іонів простежувалася у різні часові відрізки: від сезонних до річних, що пов'язано з

температурним режимом та кількістю опадів. Середній вміст хлорид-іонів взимку нижче весняних у 15,8 разів, сульфат-іонів – у 2,7 рази, винятком є весна 2008 року (рис. 1).

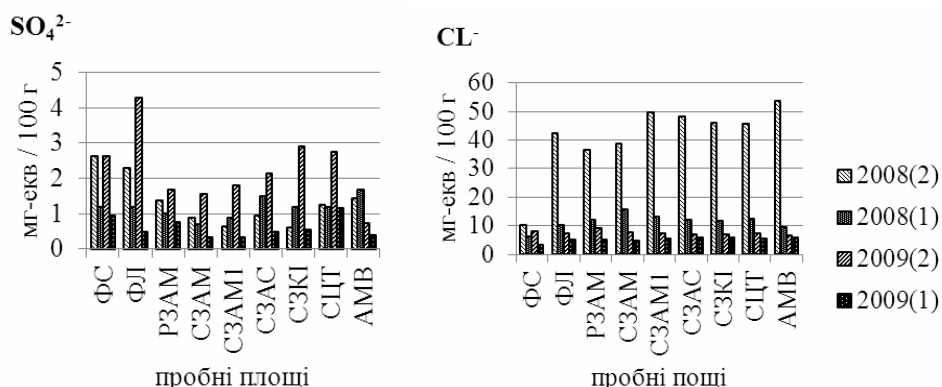


Рис. 1. Посезонний аналіз вмісту хлорид- і сульфат-іонів у ґрунтах району досліджень:
1 – зимові показники; 2 – весняні показники

Середньорічна температура повітря у період 2008–2010 рр. перевищила середню багаторічну на 0,66 °С. У 2008 році високому вмісту іонів легкорозчинних солей у ґрунтах передували природно-кліматичні умови району досліджень у 2007 році, а саме – низька сума опадів порівняно із середньою багаторічною кількістю (373,3 мм) та висока середньорічна температура повітря (на 1,3 °С більша багаторічних даних).

Паралельно зі зміною загальної кількості іонів хлоридів і сульфатів змінюється їх співвідношення, проте спільним є домінування хлорид-іона на всіх пробних площах від 1,8 до 79,7 разів (табл. 1).

Глибина проникнення досліджуваних іонів різна, пов'язана з водним режимом ґрунту і впливом кліматичних факторів. Результати досліджень вмісту іонів сульфатів та хлоридів за ґрунтовим профілем представлені на рис. 2.

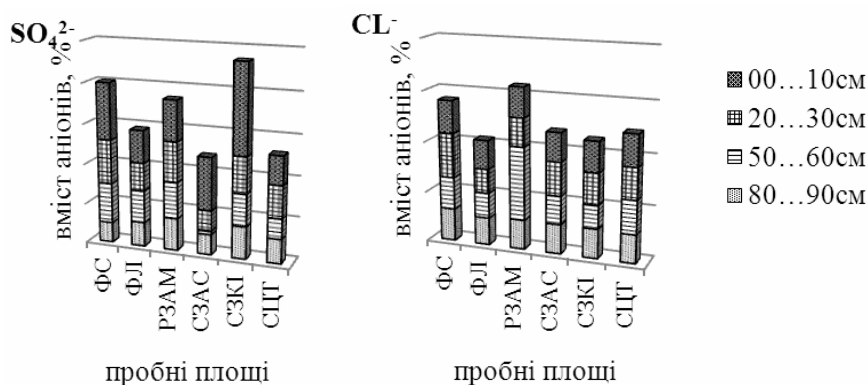


Рис. 2. Профільний розподіл хлорид- і сульфат-іонів у ґрунтах району досліджень (за даними 2011 р.)

Під час аналізу розподілу за профілем спостерігаємо рівномірне розташування сульфат-іонів у більшості варіантів за винятком верхнього шару ґрунту (до 10 см) де акумулюються ці іони у варіантах «СЗКІ» (до 46,8 %) і «СЗАС» (до 54,2 %). У верхньому шарі ґрунтів міських ділянок вміст хлорид-іонів складає меншу кількість і збільшується на глибині 50–60 см на 0,3–0,7 %.

Вміст сульфатів у водній витяжці ґрунтів зональних і урбаногенних територій варіює від 0,33 до 4,3 мг-екв, хлоридів від 3,4 до 53,75 мг-екв. Слід відмітити, що тільки на міських територіях зустрічалися максимальні показники і хлоридів [у 2008 році варіанти: «АМВ» відповідали 53,75 (мг-екв); «СЗАМ» – 15,9 (мг-екв); у 2009 році: «РЗАМ» – 9,4 (мг-екв); «СЗАС», «СЗКІ», «АМВ» – 5,8 (мг-екв); у 2011 році: «СЦТ» – 8,63 (мг-екв)] і сульфатів [у 2008 році: «АМВ» – 1,7 (мг-екв); у 2009 році: «СЗКІ» – 2,9 (мг-екв); «СЦТ» – 1,18 (мг-екв); у 2011 році: «СЗКІ» – 4,55 (мг-екв)] (табл. 1).

Можливо таке становище пов'язано зі складом викидів промислових підприємств. За даними Держкомстат України, Головного управління статистики у Донецькій області обсяги викидів 2008 р. від стаціонарних джерел забруднення у м. Маріуполі склали 359,3 тис. т. Основною причиною викидів забруднювачів атмосферного повітря в довкілля є застаріле пилогазоочисне устаткування ВАТ «ММК ім. Ілліча». Частка його обсягів складає 220,4 тис. т., ВАТ ММК «Азовсталь» – 136,1 тис. т.

Обсяги викидів хлору та його сполук від стаціонарних джерел у атмосферу становлять менше 1 %, на діоксид та інші сполуки сірки припадає 28 %. Середньорічне значення середньодобової концентрації діоксиду сірки у 2009 році не перевищувало граничнодопустимую концентрацію. У порівнянні з 2008 роком спостерігається тенденція поступового збільшення середньодобової концентрації (Україна у tsifrah ..., 2012), що може пояснювати акумуляцію в поверхневому шарі ґрунту сульфат-іону на даний момент часу.

Не можна виключати і процес імпульверизації ґрунтів солями, які приносяться з повітрям із морського узбережжя. Аналіз близькості розташування пробних ділянок до моря і концентрації хлорид-іонів у ґрунтах, показав, що ближче до узбережжя моря виділяється група пробних площ із більшою концентрацією хлоридів – «СЗАС», «СЦТ» і «СЗКІ».

Для міських ґрунтів району досліджень характерно, крім явищ континентального соленакопичення, також й акумуляція їх за рахунок імпульверизації та аеротехногенного впливу. Все це створює особливі умови для існування ґрунтової біоти і водоростей у тому числі. З 86 видів, що знайдено в урбанізованих екосистемах м. Маріуполя (табл. 2) переважають представники відділу Chlorophyta – 43 %, на другому місці за числом видів відділ Cyanophyta – 25 %. Водорості відділів Xanthophyta і Bacillariophyta становлять 16 і 13 % відповідно. Різноманіття відділу Eustigmatophyta незначне – 3 %.

Таблиця 2

Таксономічна структура водоростей ґрунтів досліджуваного регіону на рівні відділів

Пробні площі	Відносна кількість видів, %				
	Cyanophyta	Chlorophyta	Xanthophyta	Bacillariophyta	Eustigmatophyta
ФС	36,5	32,7	17,3	11,5	2
ФЛ	11,8	54,9	21,6	7,8	3,9
РЗАМ	20,4	42,9	18,3	14,3	4,1
СЦТ	37,5	31,3	15,6	15,6	не виявлено
СЗКІ	12,9	61,3	6,5	19,3	не виявлено
СЗАС	33,3	36,7	16,7	10	3,3
АМВ	22,6	45,2	12,9	16,1	3,2

Збільшення частки Cyanophyta у варіанті фонових ділянок «ФС» характерно для ґрунтової альгофлори степових біогеоценозів. На це вказує співвідношення кількості Cyanophyta до Chlorophyta – 1,11 та Cyanophyta до Xanthophyta – 2,11. У варіанті

«ФЛ» посилюється роль жовтозелених та зелених водоростей, значення показника Cyanophyta/Chlorophyta – 0,22 і Cyanophyta/Xanthophyta – 0,55, що менше одиниці і є характерною рисою альгофлор лісових біогеоценозів (Kuzyakhmetov, 2006; Maltseva, 2009). Співвідношення Cyanophyta до Chlorophyta менше одиниці відмічено також у варіантах «СЗКІ» (0,21); «РЗАМ» (0,48); «АМВ» (0,5); «СЗАМ» (0,91). Xanthophyta за даними різних досліджень (Shtina, Nekrasova 1985; Shtina, 1990) більш чутливі до різних антропогенних навантажень, тому в урбоекосистемах спостерігаємо зменшення різноманіття цих представників. Разом з тим, відмічається збільшення частки діатомових водоростей у ґрунтах урбоекосистем, виключенням є лише пробна площа СЗАС (табл. 2).

У результаті досліджень з 2008 по 2011 рр. за даними регресійного аналізу були розраховані коефіцієнти кореляції для біомаси водоростей та кількості хлоридів і сульфатів досліджуваних ґрунтів. Встановлено зменшення біомаси водоростей під час збільшення концентрації даних іонів. Біомаса водоростей корелює в зворотній залежності з кількістю хлоридів ($r = - 0,90$) і сульфатів ($r = - 0,54$) у ґрунтах.

ВИСНОВКИ

1. У верхньому гумусовому шарі досліджених ґрунтів спостерігається переважання вмісту хлорид-іона порівняно із сульфат-іоном.
2. Кількісні зміни вмісту хлорид-іонів і сульфат-іонів досліджених ґрунтів схильні до значних сезонних і середньорічних коливань. Під час зниження кількості опадів збільшується концентрація хлорид-іонів у верхньому ґрунтовому горизонті ($r = - 0,82$).
3. Для міських ґрунтів району досліджень характерно, крім континентального соленакопичення, акумуляція їх за рахунок імпульверизації та аеротехногенного впливу.
4. За профілем міських ґрунтів промислової зони спостерігається зміна вмісту хлорид-іонів із максимальним значенням у зразках із глибших шарів, а сульфат-іонів – у верхньому гумусовому горизонті.
5. Сольовий склад ґрунту є одним із чинників, що обмежує розвиток водоростей представників відділу Xanthophyta. Домінуючими відділами міських ґрунтів є Chlorophyta і Cyanophyta – вони складають 69 % всього різноманіття видів водоростей.
6. Біомаса водоростей корелює в зворотній залежності із кількістю хлоридів ($r = - 0,90$) і сульфатів ($r = - 0,54$) у ґрунті.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Arinushkina, Ye. V., 1970.** Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv [Guide for chemical analysis of soils], MGU, Moskva (in Russian).
- Bellinger E. G., 2010.** Freshwater algae: identification and use as bioindicators. John Wiley & Sons, Ltd.
- Vodorosti ґрунтів Ukrayiny** (istoriya ta metody doslidzhennya, systema konspekt flory), **2001.** [Soil algae of Ukraine: history and methods of research, system, synopsis of flora]. Kostikov, I. Yu., Romanenko, P. O., Demchenko, Ye. M., et al., Phytosociocentr, Kyiv (in Ukrainian).
- Geletyuk, V. P., 2003.** Yekologichni problemi malikh richok Zaporiz'koi oblasti ta shlyakhi ikh virishennya [Ecology problems of Small Rivers in Zaporizhia region's and path solutions]. Materiali seminaru. Persha robocha zustrich Ukrain's'koi richkovoi merezhi. Kyiv, 1, 35–36 (in Ukrainian).
- Gollerbakh, M. M., Shtina, E. A., 1969.** Pochvennyye vodorosli [Soil algae], Nauka, Leningrad (in Russian).
- Khitrov, N. B., 2004.** Vyor diagnosticheskikh kriteriyev sushchestvovaniya i stepeni vyrazhennosti solontsovogo protsessa v pochvakh [The choice of diagnostic criteria to judge the development of the solonetzic process in soils], Soil Science, 1, 18–31 (in Russian).
- Kovda, V. A., 1973.** Osnovy ucheniya o pochvakh: Obshchaya teoriya pochvoobrazovatel'nogo protsessa [Fundamentals of soils: The general theory of soil-forming process], Nauka, Moskva (in Russian).

- Kuzyakhmetov, G. G., 2006.** Vodorosli zonal'nykh pochv stepi i lesostepi [Algae of zonal soils steppes and forests of steppes], Ufa, Publication of Bashkir University (in Russian).
- Lavrik, M. O., 2009.** Geoeekologicheskiye posledstviya vedeniya ugledobychi dlya pochv Zapadnogo Donbassa [Analysis of the causes and consequences of soil salinization in mining regions] Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 5(12), 278–285 (in Ukrainian).
- Maltseva, I. A., 2000.** Gruntoví vodorosti deyakikh zasolenikh gruntiv Pivnichno-Zakhidnogo Priazov'ya [Algae soil of some soil salinity north-west Priazovye], Ecology and Noospherology, 9, 1-2, 92–97 (in Ukrainian).
- Maltseva, I. A., 2009.** Gruntovi vodorosti lisiv stepovoyi zony Ukrayiny [Soil algae of the forests of steppe area of Ukraine]. Luks, Melitopol (in Ukrainian).
- Metting, B., 1981.** The systematics and ecology of soil algae, Bot. Rev., 47, 195–312.
- Myl'kov, F. N., 1977.** Pryrodnye zony SSSR [Natura Zone USSR], Mysl, Moskva (in Russian).
- Novikova, A. V., 2007.** O proyavlenii i osobennostyakh solontsovykh svoystv v pochvakh stepnoy i sukhostepnoy zon Ukrainy [On the manifestation of solonchak properties in soils of the steppe and dry steppe zones in the south of Ukraine], Soil Science, 7, 811–882 (in Russian).
- Onishchenko, O. S., Danilenko, V. M., Dubrovina, L. A., et al., 2011.** Volodimir Ivanovich Vernadsky i Ukrainu [V. I. Vernadsky and Ukraine], Vibrani pratsi, 1(2) (in Ukrainian).
- Solonenko, A. M., Yarovoy, S. A., Podorozhniy, S. N., Raznopolov, O. N., 2006.** Vodorosli solonchakov stepanovskoy i fedotovoy kos severo-zapadnogo poberezh'ya Azovskogo morya [The algae of saline of the stepanovskaya and fedotova spits – north-western part of the sea of Azov], Gruntoznavstvo, 7, 3-4, 123–127 (in Ukrainian).
- Ukraina u tsifrah u 2011 rotsi, (2012).** Derzhavna sluzhba statistiki Ukraini. [Reigning Statistics Service of Ukraine], Statistichniy zbirk, redaktor Osaulenko O. G., Kiyv (in Ukrainian).
- Shekhovtseva, O. G., Maltseva, I. A., 2010.** Aerotekhnogennoye izmeneniye khimicheskikh pokazateley poverkhnostnogo gorizonta pochv – osnovnogo mesta sushchestvovaniya pochvennykh vodorosley (na primere urboekosistem g. Mariupolya) [Aerotechnogenic change of chemical indicators of superficial horizon of soils – the basic place of existence of soil algae (by example of urbanized ecosystems of Mariupol)], Gruntoznavstvo, 11, 1-2, 91–96 (in Ukrainian).
- Shtina, E. A., 1990.** Pochvennyye vodorosli kak ekologicheskiye indykatory [Soil algae as ecological indicators], Botan. zhurnal, 75(4), 441–453 (in Russian).
- Shtina, E. A., Nekrasova, K. A., 1985.** Reaktsiya pochvennykh vodorosley na antropogennyye vozdeystviya [Reaction of the anthropogenic impacts of algae in soil], Sb. nauch. trudov, Problemy antropogennogo vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredu, Moscow, 56–62 (in Russian).

Стаття надійшла в редакцію: 24.09.2014

Рекомендує до друку: д-р біол. наук, проф. І. Х. Узбек

ECOLOGICAL STUDY OF MICROORGANISMS



www.uenj.cv.ua

O. M. Moroz 
G. I. Zvir
S. O. Hnatush

Cand. Sci. (Biol.), Sen. Res. Sci.
Cand. Sci. (Biol.), Assoc. Prof.
Cand. Sci. (Biol.), Professor

UDK 579.81+579.68+546.3

Ivan Franko National University of Lviv,
Hrushevskyi Str., 4, Lviv, Ukraine, 79005

PIGMENTS SYNTHESIS BY PHOTOLITHOTROPHIC SULFUR BACTERIA *LAMPROCYSTIS* SP. Ya-2003 UNDER THE INFLUENCE OF HEAVY METALS SALTS

Abstract. Photolithotrophic sulfur bacteria at presence in medium H_2S as electron donor and CO_2 as electron acceptor at anaerobic conditions carry out anoxygenic photosynthesis using light as energy source. Main photosynthetic active pigments of purple sulfur bacteria are bacteriochlorophylls and carotenoids. Biosphere pollution by heavy metals negatively influence on living components of biocenoses. Synthesis of pigments by purple sulfur bacteria and their spectral characteristics under the influence of heavy metals are studied insufficiently. The aim of work was to investigate the influence of some bivalent metals (nickel, cobalt, iron and zinc) ions on pigments synthesis by purple sulfur bacteria cells of *Lamprocystis* genus, isolated from enriched by hydrogen sulfide water of Yavoriv Lake.

Bacteria *Lamprocystis* sp. Ya-2003 was cultivated under anaerobic conditions on lighting in van Niel medium for 10 days. To study the influence of heavy metals ions on quality and quantity composition of photosynthetic pigments the cells were sediment by centrifugation (centrifuge OS-6M) at 4025 g during 30 min and incubated during 1 h with metals salts: $NiCl_2$, $CoCl_2$, $FeCl_2 \times 4 H_2O$, $ZnCl_2 \times 7 H_2O$, at concentrations: 0; 0.5; 1; 1.5; 2; 2.5; 3; 4 mM. Biomass was determined by turbidimetric method, absorption spectra and pigments content in purple sulfur bacteria cells – by spectrophotometric method.

To obtaining pigment extracts the cells were dried at temperature 40 °C and destructed by rubbing with quartz sand. Pigments extraction carried out by mixture ethanol and acetone (1:1 v/v) to complete colorlessing of sediment. Obtaining extracts were using to registration of absorption spectra. Separation of pigments mixture was carried out by chromatography on silufol plates (“Sorbfil”, Russia) in the upflow of the system of solvents petrol : acetone : petroleum ether : hexane (10:10:3:10 v/v). Carotenoids were eluted from silikagel by an acetone or petroleum ether, bacteriochlorophyll – by an ethanol. Pigments identification carried out on coloring, by the sizes of R_f and basic maximums of absorption at a corresponding wave-length. Absorption spectra of extracted pigments of phototrophic sulfur bacteria were determined in the range of lengths of waves from 350 to 800 nm with the use of spectrophotometer SP-46.

It was established that photosynthetic purple sulfur bacteria *Lamprocystis* sp. Ya-2003 contain carotenoids of spirilloxanthin row, in particular, spirilloxanthin, likopin and rhodopin, and also bacteriochlorophyll *a*. Under the influence of 0.5–4 mM salts of nickel, cobalt, iron (II) and zinc there

 Tel.: +38067-811-86-44. E-mail: moroz_oksana@yahoo.com

DOI: 10.15421/031512

ISSN 1726-1112. Ecology and noospherology. 2015. Vol. 26, no. 1–2

107

are an insignificant changes of absorption spectra of extracted pigments. Under the influence of 1–4 mM Ni^{2+} , 2–3 mM Fe^{2+} and 3–4 mM Zn^{2+} on the curves of absorption spectra appear maximums in area of 500 nm, 1–2 mM Ni^{2+} and 0.5–3 mM Fe^{2+} – in area of 600 nm. Negative influence of nickel, cobalt, iron (II) and zinc ions at the concentrations of 2.5–4 mM on pigments formation by cells of *Lamprocystis* sp. Ya-2003 is discovered.

Inhibition by bivalent metals ions of pigments synthesis in purple sulfur bacteria is a considerable obstacle for realization by them of natural detoxication of the lighted zones of technogenic reservoirs from high-toxic hydrogen sulfide in the process of his use as electrons donor of anoxygenic photosynthesis.

Key words: photolithotrophic sulfur bacteria, pigments, heavy metals.

УДК 579.81+579.68+546.3

О. М. Мороз

канд. биол. наук, ст. науч. сотр.

Г. И. Звир

канд. биол. наук, доц.

С. А. Гнатуш

канд. биол. наук, проф.

Львовский национальный университет им. И. Франка,

ул. Грушевского, 4, г. Львов, Украина, 79005,

тел.: +38067-811-86-44, e-mail: moroz_oksana@yahoo.com

ОБРАЗОВАНИЕ ПИГМЕНТОВ ФОТОЛИТОТРОФНЫМИ СЕРОБАКТЕРИЯМИ *LAMPROCYSTIS* SP. Ya-2003 ПОД ВЛИЯНИЕМ СОЛЕЙ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Аннотация. Фотолитотрофные серобактерии, которые играют важную роль в круговороте соединений сульфура в природе, в освещенных глубинных слоях водоёмов осуществляют аноксигенный фотосинтез, используя высокотоксичный H_2S как донор электронов. Исследование взаимодействия пурпурных серобактерий с тяжелыми металлами важно для выяснения их роли в процессах возобновления биоценозов и возможного использования для биоремедиации загрязненных гидроген сульфидом и тяжелыми металлами водоемов.

Установлено, что фотосинтезирующие пурпурные серные бактерии *Lamprocystis* sp. Ya-2003 содержат каротиноиды спириллоксантинового ряда, в частности, спириллоксантин, ликопин и родопин, а также бактериохлорофилл *a*. Под влиянием 0,5–4 mM солей никеля, кобальта, ферума (II) и цинка наблюдается незначительное смещение абсорбционных спектров поглощения экстрагированных пигментов. Под влиянием 1–4 mM Ni^{2+} , 2–3 mM Fe^{2+} и 3–4 mM Zn^{2+} на кривых спектров поглощения появляются пики в участке 500 нм, 1–2 mM Ni^{2+} и 0,5–3 mM Fe^{2+} – в участке 600 нм. Выявлено негативное влияние ионов никеля, кобальта, ферума (II) и цинка при концентрациях 2,5–4 mM на образование пигментов клетками *Lamprocystis* sp. Ya-2003.

Ключевые слова: фотолитотрофные серобактерии, пигменты, тяжелые металлы.

УДК 579.81+579.68+546.3

О. М. Мороз

канд. біол. наук, ст. наук. співр.

Г. І. Звір

канд. біол. наук, доц.

С. О. Гнатуш

канд. біол. наук, проф.

Львівський національний університет ім. І. Франка,

вул. Грушевського, 4, м. Львів, Україна, 79005,

тел.: +38067-811-86-44, e-mail: moroz_oksana@yahoo.com

УТВОРЕННЯ ПІГМЕНТІВ ФОТОЛІТОТРОФНИМИ СІРКОБАКТЕРІЯМИ *LAMPROCYSTIS* SP. Ya-2003 ЗА ВПЛИВУ СОЛЕЙ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

Анотація. Фотолітотрофні сіркобактерії, які відіграють важливу роль у кругообігу сполук сульфуру у природі, в освітлених глибинних шарах водойм здійснюють аноксигенний фотосинтез, використовуючи високотоксичний H_2S як донор електронів. Дослідження взаємодії пурпурових сіркобактерій з важкими металами важливе для з'ясування їх ролі у процесах відновлення біоценозів і можливого використання для біоремедіації забруднених гідроген сульфідом і важкими металами водойм.

Встановлено, що фотосинтезувальні пурпурові сіркові бактерії *Lamprocystis* sp. Ya-2003 містять каротиноїди спірілоксантинового ряду, зокрема, спірілоксантин, лікопін і родопін, а також бактеріохлорофіл *a*. За впливу 0,5–4 мМ солей нікелю, кобальту, феруму (II) та цинку спостерігається незначний зсув абсорбційних спектрів поглинання екстрагованих пігментів. За впливу 1–4 мМ Ni^{2+} , 2–3 мМ Fe^{2+} та 3–4 мМ Zn^{2+} на кривих спектрів поглинання з'являються піки у ділянці 500 нм, 1–2 мМ Ni^{2+} та 0,5–3 мМ Fe^{2+} – у ділянці 600 нм. Виявлено негативний вплив йонів нікелю, кобальту, феруму (II) та цинку за концентрацій 2,5–4 мМ на утворення пігментів клітинами *Lamprocystis* sp. Ya-2003.

Ключові слова: фотолітотрофні сіркобактерії, пігменти, важкі метали.

ВСТУП

Забруднення біосфери важкими металами негативно впливає на живі компоненти біоценозів. Надходження їх у навколишнє середовище відбувається унаслідок природних процесів та антропогенних викидів. За впливу поллютантів змінюються не лише фізіологічні властивості представників, але й склад мікробних угруповань.

Фотолітотрофні сіркобактерії, які відіграють важливу роль у кругообігу сполук сульфору в природі, в освітлених глибинних шарах водойм здійснюють аноксигенний фотосинтез, використовуючи високотоксичний H_2S як донор електронів. Здатність бактерій до фотосинтезу обумовлена наявністю у них пігмент-протейнових комплексів, інтегрованих у цитоплазматичну і внутрішньоплазматичні мембрани (Kondratieva, 1989). Основними пігментами пурпурових сіркобактерій є бактеріохлорофіли і каротиноїди – продукти конденсації залишків ізопрену (Kondratieva, 1988; Overmann, 1999). Пурпурові сіркобактерії містять в основному бактеріохлорофіл *a*, у деяких з них наявний бактеріохлорофіл *b*. У клітинах бактерій найбільше каротиноїдів спірілоксантинового ряду, зокрема, спірілоксантину, лікопину та родопину. Лікопін, родопін, спірілоксантин, сфероїдин, оксеноксантин надають клітинам червоного і темно-червоного забарвлення (Kondratieva et al., 1989). Каротиноїди пурпурових сіркобактерій не лише поглинають енергію світла та передають її через бактеріохлорофіли до реакційних центрів і систем транспортування електронів, але й виконують фотопротекторну функцію (Kovacs et al., 2003). Відомо, що енергетичні, транспортні процеси та клітинний поділ є найбільш чутливими до дії важких металів (Ji and Silver, 1995). Утворення пурпуровими сіркобактеріями пігментів та їх спектральні характеристики за впливу йонів металів вивчені недостатньо. Дослідження взаємодії пурпурових сіркобактерій з важкими металами важливе для з'ясування їх ролі у процесах відновлення біоценозів і можливого використання для біоремедіації забруднених гідроген сульфідом і важкими металами водойм.

Метою роботи було дослідити вплив катіонів деяких двовалентних металів (нікелю, кобальту, феруму та цинку) на синтез пігментів клітинами пурпурових сіркобактерій роду *Lamprocystis*, виділених із збагаченої гідроген сульфідом води озера Яворівське.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єктами дослідження були фотолітотрофні пурпурові сіркобактерії *Lamprocystis* sp. Ya-2003 (Kit and Gudz, 2007). Штам ідентифікований за фізіолого-біохімічними властивостями (Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, 1997).

Бактерії культивували за анаеробних умов при освітленні у колбах, об'ємом 500 мл, чи пробірках, об'ємом 25 чи 40 мл, у середовищі Ван Ніля (pH ~ 7,5) впродовж 10 діб при 25–28 °C (LGC Prochem: Certified reference materials, 2007; Overman and Garcia-Pichel, 2007; Rodina, 1965). Для створення анаеробних умов пробірки повністю заповнювали середовищем і закривали гумовими корками. Освітлення при вирощуванні культур було цілодобовим, забезпечувалось лампами розжарювання,

потужністю 60 Вт. Бактерії освітлювали лампами (з інтенсивністю 500–700 лк) крізь червоний інтерференційний світлофільтр, який пропускає світло з довжиною хвиль понад 800 нм. Інтенсивність освітлення вимірювали за допомогою люксметра Ю-116.

Для вивчення впливу йонів важких металів на якісний та кількісний склад фотосинтезувальних пігментів клітини *Lamprocystis* sp. Ya-2003 вирощували до середини експоненційної фази росту, осаджували (центрифуга ОС-6М) центрифугуванням при 4025 g впродовж 30 хв та інкубували впродовж 1 години з солями металів: NiCl_2 , CoCl_2 , $\text{FeCl}_2 \times 4 \text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnCl}_2 \times 7 \text{H}_2\text{O}$, у концентраціях: 0; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4 мМ. Клітини двічі відмивали розчином натрій хлориду, осаджували центрифугуванням і висівали в пробірки (густина засіву – 0,15 г/л) (Moroz et al., 2010). Культивували впродовж 10 діб у пробірках, доверху заповнених середовищем, визначали біомасу турбідиметричним методом, спектри поглинання і вміст пігментів у клітинах пурпурових сіркобактерій – спектрофотометричним (Britton, 1985; Musiyenko et al., 2001; Paperno et al., 1977).

Біомасу визначали на фотоелектроколориметрі КФК-3 при довжині оптичного шляху $l = 3$ мм. Біомасу розраховували за формулою:

$$C = E_{660} \times n \div K,$$

де: C – біомаса, г/л; E – екстинкція при $\lambda = 660$ нм; n – фактор розведення, разів; K – коефіцієнт перерахунку, рівний 0,17.

Для одержання екстракту пігментів клітини тричі відмивали від середовища ізотонічним розчином натрій хлориду, центрифугували 30 хв. при 4025 g. Супернатант зливали, а одержану пастоподібну біомасу тонким шаром наносили на поверхню скла і висували за температури 40 °С. Висушені клітини руйнували розтиранням з кварцовим піском (Britton, 1985; Musiyenko et al., 2001; Paperno et al., 1977). Екстракцію пігментів проводили сумішшю етанолу та ацетону в об'ємному співвідношенні 1 : 1 до повного знебарвлення осаду. Одержані екстракти використовували для реєстрації спектрів поглинання (Musiyenko et al., 2001). Розділення суміші пігментів на окремі компоненти проводили за допомогою хроматографії на силуфольних пластинках («Sorbfil», Росія) у висхідному потоці системи розчинників бензин : ацетон : петролейний ефір : гексан в об'ємному співвідношенні 10 : 10 : 3 : 10 (Britton, 1985; Musiyenko et al., 2001; Paperno et al., 1977). Стандартними зразками були астаксантин із панцира креветок та β -каротин з клітин гриба *Blakeslea trispora*. Каротиноїди елюювали із силікагелю ацетоном або петролейним ефіром, бактеріохлорофіл – етанолом. Ідентифікацію пігментів проводили за забарвленням, величинами R_f та основними максимумами поглинання при відповідній довжині хвилі (Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, 1997; Frigard, 1996; Oelze, 1985). Спектри поглинання екстрагованих пігментів фототрофних сіркобактерій визначали у діапазоні довжин хвиль від 350 до 800 нм з використанням спектрофотометра СФ-46.

Концентрації основних пігментів бактерій розраховували за формулою:

$$C = D \div E \times l,$$

де C – концентрація пігменту, г/л; D – оптична густина розчину; E – питомий коефіцієнт екстинкції відповідного пігменту ($E_{\text{кар}} = 271,8$ при $\lambda = 474$ нм, $E_{\text{бкл}} = 930,0$ при $\lambda = 770$ нм), $l \times (\text{г} \times \text{см})^{-1}$; l – товщина поглинаючого шару (0,3 см), см.

Вміст пігментів з розрахунку на 1 г сухої ваги клітин обчислювали за формулою:

$$A = C \times V \times K \div H,$$

де A – кількість пігменту на 1 г сухої ваги клітин (мг/г); C – концентрація пігменту, г/л; V – об'єм екстракту, мл; H – наважка клітин, г; K – відношення об'єму елюату до об'єму розчину, нанесеного на хроматограму (Musiyenko et al., 2001; Paperno et al., 1977).

Статистичну обробку результатів проводили загальноприйнятими методами з використанням програми “Microsoft Excel 2003”. Для оцінки достовірності різниці

між статистичними характеристиками альтернативних сукупностей даних обраховували коефіцієнт Стюдента, достовірною вважалася різниця при рівні значимості $p \leq 0,05$ (Lakyn, 1990).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Пігментний склад пурпурових сіркових бактерій роду *Lamprocystis* не є однорідним. Від складу та співвідношення пігментів залежить забарвлення бактерій. Воно може бути не тільки пурпуровим, але пурпурово-фіолетовим, жовтим або буро-коричневим. Оскільки на біосинтез пігментів можуть впливати різні чинники, зокрема, кисень, світло різного спектру довжин хвиль й інтенсивності, компоненти середовища (Kondratieva, 1989), ми дослідили, як змінюється якісний склад та вміст пігментів у *Lamprocystis* sp. Ya-2003 за впливу йонів деяких двовалентних металів.

Хроматографічне розділення компонентів екстрактів клітин *Lamprocystis* sp. Ya-2003, вирощених у середовищі Ван Ніля до біомаси 4,1–5,2 г/л, дало змогу виявити пігменти, різні за забарвленням та величиною R_f (таблиця). На хроматограмах переважали яскраво-зелені, рожево-пурпурові, яскраво-жовті та пурпурові ділянки. Порівняння даних літератури з результатами аналізу спектрів поглинання та хроматографічного розподілу дозволили ідентифікувати пігменти (Britton, 1985; Gudz et al., 2011; Kondratieva et al., 1989), наявні у клітинах *Lamprocystis* sp. Ya-2003. У розчині екстрагованих пігментів основні максимуми поглинання спостерігали при 400, 450, 550, 650, 750 нм. Досліджувані бактерії містять каротиноїди спірілоксантинового ряду, зокрема, спірілоксантин, лікопін і родопін, а також бактеріохлорофіл *a*.

Фізико-хімічні властивості пігментів *Lamprocystis* sp. Ya-2003

Пігмент	Бактеріохлорофіл <i>a</i>	Спірілоксантин	Лікопін	Родопін
Забарвлення на хроматограмі	Яскраво-зелене	Рожеве	Жовте	Яскраво-пурпурове
Максимуми поглинання, нм	650, 750	550	400	450
Максимуми поглинання пігментів у органічних розчинниках, нм	770 (Kondratieva et al., 1989)	445,5, 486, 518, 550 (Britton, 1985; Gudz et al., 2011)	414, 436, 463 (Britton, 1985)	455, 482, 516 (Britton, 1985)
Значення R_f	0,17±0,02	0,44±0,01	0,52±0,02	0,85±0,01

Проведено аналіз спектрів поглинання екстрагованих пігментів клітин *Lamprocystis* sp. Ya-2003 і визначено їх вміст за впливу 0,5–4 мМ солей нікелю, кобальту, феруму (II) та цинку.

Суттєвих змін якісного складу пігментів клітин *Lamprocystis* sp. Ya-2003 за впливу 0,5–4 мМ Ni^{2+} , Co^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+} не виявлено (рис. 1). За впливу йонів металів спостерігався лише незначний зсув абсорбційних спектрів поглинання екстрагованих пігментів. За впливу 1–4 мМ Ni^{2+} , 2–3 мМ Fe^{2+} та 3–4 мМ Zn^{2+} на кривих спектрів поглинання пігментів спостерігали появу піків у ділянці 500 нм, 1–2 мМ Ni^{2+} та 0,5–3 мМ Fe^{2+} – появу піків у ділянці 600 нм, що відповідають каротиноїдам, які поглинають світло у видимій та інфрачервоній ділянках спектра (з максимумами поглинання 400–550 нм) (Britton, 1985; Gudz et al., 2011). Можливо, важкі метали викликають незначні зміни конформації молекул пігментів з подальшою їх модифікацією, що відображається у зміні їх спектральних характеристик.

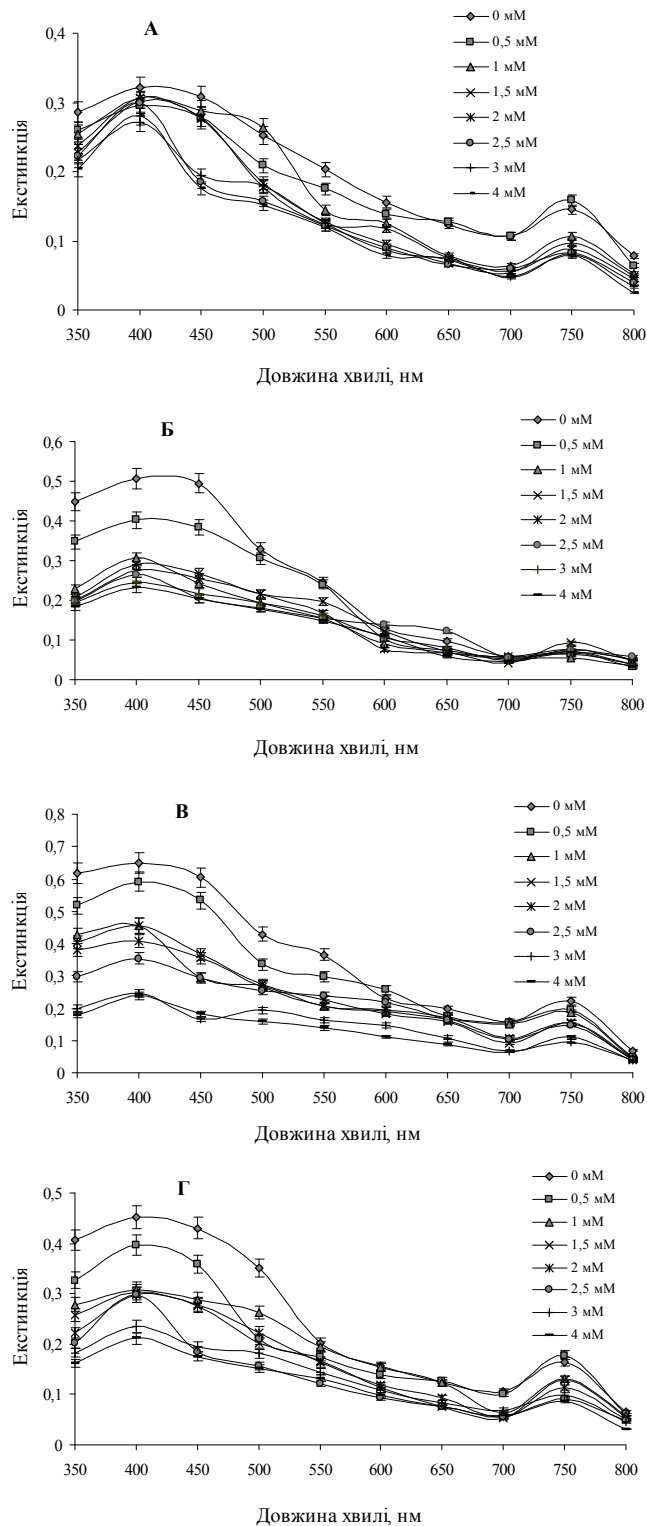


Рис. 1. Спектри поглинання пігментів *Lamprocystis* sp. Ya-2003 за впливу різних концентрацій Ni^{2+} (А), Co^{2+} (Б), Fe^{2+} (В), Zn^{2+} (Г)

Із зростанням концентрації йонів нікелю, кобальту, феруму (II) та цинку під час інкубування спостерігали зниження вмісту бактеріохлорофілу *a*, лікопіну, родопіну та спірілоксантину у клітинах бактерій (рис. 2). За впливу 4 мМ йонів нікелю

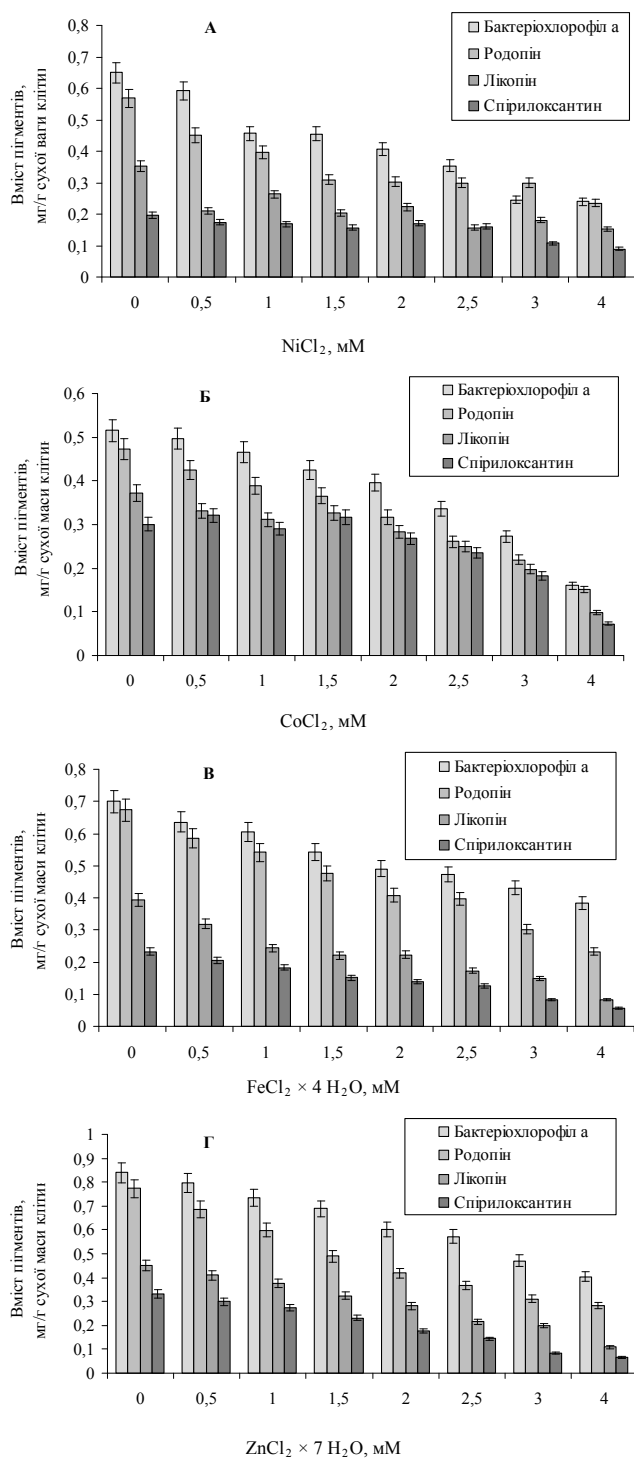


Рис. 2. Вплив Ni^{2+} (А), Co^{2+} (Б), Fe^{2+} (В), Zn^{2+} (Г) на вміст фотосинтезувальних пігментів бактерій *Lamprocystis* sp. Ya-2003

клітини утворювали родопіну на 58,7 % менше, ніж у контрольному варіанті, вміст спірілоксантину знижувався на 54,8 %. За впливу 3 мМ йонів металу клітини синтезували бактеріохлорофілу *a* на 62,3 % менше, а за впливу 2,5 мМ йонів нікелю клітини утворювали лікопіну на 55,4 % менше, ніж у контролі. Меншу на 53,7 % кількість, ніж у контрольному варіанті, родопіну клітини утворювали за впливу 3 мМ йонів кобальту, бактеріохлорофілу *a*, лікопіну та спірілоксантину – за впливу 4 мМ йонів металу, вміст пігментів знижувався відповідно на 68,9; 73,4 та 75,8; %. Суттєве зниження вмісту родопіну та спірілоксантину (відповідно на 55,1 і 64,2 %) спостерігали за впливу 3 мМ солі феруму (II), понад 4 мМ – бактеріохлорофілу *a* (на 45,3 %), 2,5 мМ – лікопіну (на 55,9 %). За впливу 2,5 мМ йонів цинку під час інкубування в клітинах сповільнювався синтез лікопіну, родопіну та спірілоксантину, внаслідок чого спостерігали зниження вмісту пігментів відповідно на 52,2; 52,7 і 56,2 % порівняно з контролем, за впливу 4 мМ йонів металу вміст бактеріохлорофілу *a* у клітинах бактерій виявився нижчим, ніж у контрольному варіанті, на 52,0 %. Таким чином, виявлено негативний вплив йонів нікелю, кобальту, феруму (II) та цинку за концентрацій 2,5–4 мМ на синтез пігментів (каротиноїдів – спірілоксантину, лікопіну, родопіну, та бактеріохлорофілу *a*) клітинами фотосинтезувальних пурпурових сіркових бактерій *Lamprocystis* sp. Ya-2003.

Спектральні властивості пігментів у клітині визначаються взаємодією їх молекул між собою, а також з ліпідами і білками фотосинтезувальних мембран хромофорів (Kondratieva, 1989). Імовірно, бактерії роду *Lamprocystis* акумулюють йони металів, нагромаджуючи їх як у поверхневих структурах, так і всередині клітин. Наявність металів у цитоплазмі є причиною їх зв'язування з функціональними групами багатьох важливих клітинних метаболітів, модифікації активної конформації та денатурації ферментів і нуклеїнових кислот, інгібування реплікації ДНК, синтезу РНК, білка, пігментів, пригнічення дихання, порушення процесів азотфіксації, фотосинтезу тощо (Nies, 1999; Tashirev, 1995). Пригнічення йонами двовалентних металів утворення пігментів фотосинтезувальними пурпуровими сіркобактеріями є значною перешкодою для здійснення ними природного очищення освітлених зон техногенних водойм від високотоксичного гідроген сульфід у процесі його використання як донора електронів аноксигенного фотосинтезу.

ВИСНОВКИ

Показано, що клітини *Lamprocystis* sp. Ya-2003, вирощені у середовищі Ван Ніля, містять каротиноїди, зокрема, спірілоксантин, лікопін і родопін, а також бактеріохлорофіл *a*. За впливу 0,5–4 мМ солей нікелю, кобальту, феруму (II) та цинку якісний склад пігментів клітин *Lamprocystis* sp. Ya-2003 суттєво не змінюється. За впливу 1–4 мМ Ni^{2+} , 2–3 мМ Fe^{2+} та 3–4 мМ Zn^{2+} на кривих абсорбційних спектрів поглинання екстрагованих пігментів з'являються піки у ділянці 500 нм, 1–2 мМ Ni^{2+} та 0,5–3 мМ Fe^{2+} – у ділянці 600 нм. Йони нікелю, кобальту, феруму (II) та цинку за концентрацій 2,5–4 мМ негативно впливають на утворення пігментів клітинами досліджуваних бактерій, вміст яких порівняно з контролем достовірно ($p \leq 0,05$) зменшується. Очевидно, за впливу йонів важких металів, які зумовлюють зміни якісного та кількісного складу пігментів фотолітотрофних пурпурових сіркобактерій, можуть знижуватися фотопротекторні властивості каротиноїдів, а також метаболічна активність бактерій, зокрема, здатність до детоксикації гідроген сульфід у забруднених важкими металами природних, техногенних водоймах та промислових стоках.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- | | |
|---|---|
| <p>Britton, G., 1985. General carotenoid methods. Methods in enzymology. Academic press, London. 3 (B), 113–145.</p> | <p>Frigard, E. N., 1996. Spectrochromatograph of photosynthetic pigments as fingerprinting technique for microbial phototrophs. FEMS Microbiol. Ecol. 20, 69–77.</p> |
|---|---|

- Gudz, S. P., Gorishnyj, M. B., Hnatysh, S. O., 2011.** Bakterialniy fotosintez [Bacterial photosynthesis]. LNU Press, Lviv (in Ukrainian).
- Ji, G., Silver, S., 1995.** Bacterial resistance mechanisms for heavy metals of environmental concern. *J. Indust. Microbiol.* 14, 61–75.
- Kit, L. Ya., Gudz, S. P., 2007.** Purpurovi sirkobakteriyi z vodoym Yavorivskogo rodovishcha sirki [Purple sulfur bacteria from Yavoriv sulfur deposit reservoirs]. *Microbiol. Zhurn.* 69 (1), 12–19 (in Ukrainian).
- Kondratieva, E. N., 1989.** Fotosinteziruyushchie mikroorganizmy [Photosynthetic microorganisms]. Moscow Univ. Press, Moscow (in Russian).
- Kondratieva, E. N., 1988.** Sistematicheskoe polozhenie i fiziologo-biohimicheskoe raznoobrazie fototrofnih mikroorganizmov [Systematic position, physiological and biochemical variety of phototrophic microorganisms]. *Phototrophic microorganisms. Scient. Center of AS USSR Biol. Research.* Moscow. 3–9 (in Russian).
- Kondratieva, E. N., Maximova, I. V., Samojlov, V. D., 1989.** Fotosinteziruyushchie bakterii [Photosynthetic bacteria]. Moscow Univ. Press, Moscow. 6–82 (in Russian).
- Kovacs, A. T., Rakhely, G., Kovacs, K. L., 2003.** Genes involved in the biosynthesis of photosynthetic pigments in the purple sulfur photosynthetic bacterium *Thiocapsa roseopersicina*. *Appl. Environm. Microbiol.* 69 (6), 3093–3102.
- Lakyn, G. F., 1990.** Byometryja [Biometrics]. Higher school, Moscow (in Russian).
- LGC Prochem: Certified reference materials, 2007.** Retrieved from URL.
- Moroz, O. M., Klym, I. R., Podoprygora, O. I., Borsukevych, B. M., 2010.** Vpliv vazhkih metaliv na rist i okisnennya sirkovodnyu fotosintezuvalnimi sirkobakteriyami vodoymi kar'eru Yavorivskogo sirkovogo rodovishcha [Hard metals influence on growth and hydrogen sulfide oxidation by photosynthetic sulfur bacteria from Yavoriv sulfur deposit open pit water]. *Nauk. Visn. Uzhgorod. Univ. Ser. Biol.* 28, 30–34 (in Ukrainian).
- Musiyenko, M. M., Parshykova, T. V., Slavnyi, P. S., 2001.** Spektrofotometrichni metodi v praktitsi fiziologiyi, biohimiyi ta ekologiyi roslin [Spektrofotometrical methods in practice of plants physiology, biochemistry and ecology]. Fitosociocenter, Kyiv (in Ukrainian).
- Nies, D. H., 1999.** Microbial heavy metal resistance. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 51, 730–750.
- Oelze, J. M., 1985.** Analysis of bacteriochlorophylls. *Meth. microbiol.* 18, pp. 257–284.
- Opredelitel bakteriy Berdzhii, 1997.** [Bergey's Manual of Systematic Bacteriology]. Mir, Moscow (in Russian).
- Overmann, J., 1999.** Mahoney Lake: A case study of the ecological significance of phototrophic sulfur bacteria. *Adv. Microbiol. Ecol.* 15, 251–288.
- Overmann, J., Garcia-Pichel, F., 2007.** The phototrophic way of life. *The Procaryotes: Ecophysiology and Biochemistry.* Springer, New York.
- Paperno, T. Ya., Pozniakov, V. P., Smirnova, A. A., Elagin, L. M., 1977.** Fiziko-himicheskie metody issledovaniya v organicheskoy i biologicheskoy himii [Physical and chemical methods of research in organic and biological chemistry]. Prosveshcheniye, Moscow (in Russian).
- Rodina, A. G., 1965.** Metody vodnoy mikrobiologii: Prakt. Rukovodstvo [Methods of water microbiology: Practical Guidance]. Nauka, Moscow, Leningrad (in Russian).
- Tashirev, A. B., 1995.** Vzaimodeystvie mikroorganizmov s metallami [Coaction of microorganisms with metals]. *Microbiol. Zhurn.* 57 (2), 95–104 (in Russian).

Стаття надійшла в редакцію: 14.04.2015

Рекомендує до друку: д-р біол. наук, проф. Й. В. Царик

PROTECTION OF HUMAN HEALTH



T. Yu. Lykholat¹ ✉
O. A. Lykholat¹
T. M. Shevchenko¹
N. P. Sayfieva²

Dr. Sci. (Biol.), Sen. Res.
Dr. Sci. (Biol.), Professor

UDK 616.24 – 76.29.49:
76.03.31

¹*O. Honchar Dnipropetrovsk National University,
Gagarin ave, 72, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010*

²*Municipal institution “Ternovska CML” DOR,
Ternovka, Dnipropetrovsk region, Ukraine, 51500*

ANTIOXIDANT SYSTEM IN SYSTEM IN THE ORGANS OF DIFFERENT AGE RATS EXPOSED TO EXOGENOUS ESTROGENS

Abstract. Breast cancer (BC) is the most common cancer and the second leading cause of cancer death in the world. It is a leader in cancer incidence structure of the female population in the most economically developed countries. For example, It was estimated that almost 1.7 million cases of female breast cancer were diagnosed worldwide, corresponding to a rate of 43 per 100,000 and about 522,000 females (13 per 100,000 populations) have died from breast cancer globally during 2012. Deaths of women from breast cancer has increased more than 2.5 times over the past 10 years and won first place.

Nutrition makes 30–35 % of the risk factors that promote occurrence of tumors. Products containing veterinary preparations is extremely dangerous for human health: hormonal growth promoters – stilbenes, steroids possess carcinogenic activity to cause a violation of puberty and reproductive capacity. Hormones are not completely destroyed by heat treatment products, so remain, though sometimes in smaller doses in meat, milk, eggs, vegetables and fruits. Steroid hormones are destroyed by heat treatment less all. Tumour biology plays important role in breast cancer survival.

The aim was to study the state of lipid peroxidation and antioxidant system in the organs of rats of different ages exposed to exogenous estrogens to determine the trigger mechanisms for the development of tumors.

Alimentary estrogen exposure caused an increased lipid peroxidation in animals in pubertal period and mature females. There have been varying degrees of peroxidation intensification depending on the age and organ specificity: the highest elevation of control indexes was noted in blood serum. The kidneys were the greatest resistance to the identified exogenous estrogens action. At females in pubertal period prooxidant reactions of excessive response force in the brain and liver of mature animals.

In the kidney of female from experimental groups found decrease in the content of reduced glutathione indicates a risk of disruption to the detoxification system. This may lead to an accumulation of free radicals that are initiating factor of proliferative processes.

The concentration of reduced glutathione in the brain tissue is sufficiently robust indicator. Therefore, reducing the level of the peptide in the brain of rats in the prepubescent period is a negative predictor of integral afferent system destruction.

There was a discrete organ changes in the activity of enzymes of antioxidant protection depended on the age of the animals and indicated on imbalance of glutathione system enzymes works. Since the

✉ Tel.: +38050-034-05-98. E-mail: Lykholat2010@ukr.net

DOI: 10.15421/031513

glutathione system is involved in inactivation of estrogens by their conjugation reactions catalyzed by glutathione transferase reduction in the activity of the enzyme may lead to the accumulation of highly intermediate metabolites and damage of intracellular structures, primarily DNA.

Imbalance of unit of superoxiddismutase – glutathione peroxidase results in an accumulation of peroxides, which is an indicator of development of endogenous intoxication, more pronounced in females pubertal period. Admission of hormonal drug with food caused changes in indicators of prooxidant – antioxidant systems followed by the defeat of signaling pathways of transfer information.

Similar phenomena may further to become triggers of compensatory mechanisms potential reduce, in particular adaptation and apoptosis with followed amplification of proliferation, which, together with the direct genotoxic action of exogenous estrogens are an important pathogenic link in carcinogenesis and the development of the primary tumor, the further progression of breast tumors.

Keywords: *steroid hormones, TBA-active products, the activity of glutathione transferase, glutathione reductase, glutathione peroxidase, superoxide dismutase, total antioxidant activity.*

УДК 616.24 – 76.29.49:
76.03.31

Т. Ю. Лихолат¹
О. А. Лихолат¹
Т. М. Шевченко¹
Н. П. Сайфієва²

д-р біол. наук, стар. наук. співр.

д-р біол. наук, проф.

¹Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара,
пр. Гагаріна, 72, м. Дніпропетровськ, Україна, 49010,
тел.: +38050-034-05-98, e-mail: Lykholat2010@ukr.net

²КУ «Терновська ЦМЛ» ДОР, м. Тернівка, Криворізький р-н,
Дніпропетровська обл., Україна, 51500

СТАН АНТИОКСИДАНТНОЇ СИСТЕМИ В ОРГАНАХ ЩУРІВ РІЗНОГО ВІКУ, ЯКІ ПІДДАВАЛИСЯ ВПЛИВУ ЕКЗОЕСТРОГЕНІВ

Анотація. Аліментарна експозиція естрогенів викликає дисбаланс у системі «перекисне окислення ліпідів – антиоксидантний захист» в організмі тварин незалежно від віку. Відзначено органну дискретність змін активності ензимів антиоксидантного захисту, яка залежить від віку тварин, що свідчить про розбалансування роботи ферментів системи глутатіону.

Ключові слова: *стероїдні гормони, ТБК-активні продукти, активність глутатіонтрансферази, глутатіонредуктази, глутатіонпероксидази, супероксиддисмутази, загальна антиоксидантна активність.*

УДК 616.24 – 76.29.49:
76.03.31

Т. Ю. Лихолат¹
О. А. Лихолат¹
Т. Н. Шевченко¹
Н. П. Сайфієва²

д-р биол. наук, стар. науч. сотр.

д-р биол. наук, проф.

¹Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара,
пр. Гагарина, 72, г. Днепропетровск, Украина, 49010,
тел.: +38050-034-05-98, e-mail: Lykholat2010@ukr.net

²КП «Терновская ЦГБ» ДОР, г. Терновка, Криворожский р-н,
Днепропетровская обл., Украина, 51500

СОСТОЯНИЕ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ В ОРГАНАХ КРЫС РАЗНОГО ВОЗРАСТА, ПОДВЕРГШИХСЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ ЭКЗОЭСТРОГЕНОВ

Аннотация. Алиментарная экспозиция эстрогенов вызывает дисбаланс в системе «перекисное окисление липидов – антиоксидантная защита» в организме животных независимо от возраста. Отмечена органная дискретность изменений активности энзимов

антиоксидантной защиты, которая зависит от возраста животных, что свидетельствует о разбалансировке работы ферментов системы глутатиона.

Ключевые слова: стероидные гормоны, ТБК-активные продукты, активность глутатионтрансферазы, глутатионредуктазы, глутатионпероксидазы, супероксид-дисмутаза, общая антиоксидантная активность.

ВВЕДЕНИЕ

Рак молочной железы (РМЖ) в структуре заболеваемости и смертности женского населения устойчиво занимает лидирующие позиции. По статистическим данным почти 1,7 миллиона случаев рака молочной железы были диагностированы во всем мире в течение 2012 года, что составляет 43 случая на 100000, из них 522000 женщин (13 на 100000 населения) умерли вследствие заболевания. Это самая распространенная единичная причина смерти среди всех женщин в возрасте от 35 до 54 лет. По оценкам экспертов, вероятность заболеть раком молочной железы составляет 1:12, а в некоторых группах женщин она существенно возрастает. Возраст больных в последние десятилетия сильно снизился – пораженными оказываются даже 20–30-летние (Boyle, 2012; Youlden et al., 2014).

На развитие заболеваемости влияют очень многие факторы: генетические, химические, физические, биологические, алиментарные. Питание составляет 30–35 % факторов риска, которые способствуют возникновению опухолей. Безопасность продуктов питания является приоритетом на всех стадиях пищевой цепи. Однако, в современном промышленном животноводстве при интенсивных технологиях выращивания животных, в нарушение технологических регламентов часто незаконно используют вредные для здоровья человека гормональные стимуляторы роста, потому что они позволяют добиться значительного повышения производительности. Продукция, содержащая ветеринарные препараты, крайне опасна для здоровья человека: гормональные стимуляторы роста – стильбены, стероидные гормоны обладают канцерогенной активностью, вызывают нарушение полового созревания и репродуктивной способности. Гормоны не вполне разрушаются при тепловой обработке продуктов, поэтому остаются, хотя, иногда, и в меньших дозах, в мясе, молоке, яйцах, овощах и фруктах. Менее всего разрушаются при тепловой обработке стероидные гормоны.

Половые гормоны животных идентичны гормонам человека. Попадая в организм человека с пищей, эти гормоны воспринимаются им как свои собственные. Прямой корреляции между пищевым рационом и заболеванием раком этого вида не обнаружено, но есть веские основания считать, что потребление большого количества жиров животного происхождения (с мясом и молочными продуктами) может способствовать его развитию, возможно, в результате повышения уровней эстрогена, циркулирующего в организме (Chun et al., 2012).

Наиболее ответственный период постнатального онтогенеза – половое созревание, его называют также пубертатным периодом. В пубертатном периоде количество гормонов, обуславливающих формирование женского фенотипа и секретирующихся гипофизом и яичниками, постепенно увеличивается. Половые гормоны, прежде всего, эстрогены, вместе с другими факторами, в частности, соматотропным гормоном, вызывают большие морфофункциональные сдвиги в организме, осуществляют выраженный эффект на биохимические обменные процессы, усиливая анаболизм, влияют на функцию различных органов и систем организма: при гипоестрогении (не соответствующей возрасту) развиваются остеопороз, гормональная кардиопатия, депрессивное состояние, сенильные психозы; при гиперэстрогении – гиперпластические процессы и гормонозависимые опухоли (Bouwens et al., 2011).

По литературным данным при онкологических заболеваниях наблюдается нарушение окислительного гомеостаза в виде активации процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ) со значительным накоплением в крови начальных и конечных продуктов, истощением неферментативного звена антиоксидантной системы (АОС), появлением продуктов окислительной деструкции белков и нуклеиновых кислот, что способствует развитию метаболической иммунодепрессии, которая проявляется возникновением вторичного иммунодефицита и эндогенной интоксикацией. Дисбаланс между АОС и ПОЛ приводит к возникновению раковых состояний и в дальнейшем к резистентности при лечении (Boucher et al., 2012).

Цель работы – исследование состояния ПОЛ – АОС в органах крыс разного возраста, подвергавшихся воздействию экзоэстрогенов, для определения триггерных механизмов развития новообразований.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Эксперименты были проведены на крысах-самках линии Вистар, подвергавшихся воздействию экзоэстрогена в течение 45 суток. На начало эксперимента возраст подопытных животных составлял 3 месяца – в пубертантном периоде (группа II, $n = 6$) и 6 месяцев – половозрелые (группа IV, $n = 6$). Контрольные группы составили интактные животные соответствующего возраста (группы I, $n = 6$ и группы III, $n = 6$).

Для моделирования влияния экзогенного эстрогена пищу крыс обрабатывали препаратом «Синэстрол», который по биологическим и лечебным свойствам близок к стероидным эстрогенным гормонам, в расчете 2 мкг / кг массы.

Все животные содержались в стандартных условиях вивария, получали сбалансированное питание. Исследования проводили согласно требованиям, предусмотренным Директивой № 2010/63/ЕС по защите животных, которых используют с научной целью (Council Directive...2010). Выведение животных из эксперимента проводили под кетаминным наркозом (1 мг/100 г) путем декапитации утром следующего дня после окончания последней процедуры.

Материалы исследования: сыворотка крови, мозг, печень и почки крыс. Подопытные ткани промывали охлажденным физиологическим раствором и помещали в охлаждаемую среду для гомогенизации. Для получения 10 %-ных гомогенатов ткани измельчали на холоде и гомогенизировали в гомогенизаторе Поттера с тефлоновым пестиком в пятикратном объеме 0,25 М сахарозы, изготовленной на 0,001 М растворе ЭДТА.

Объектом исследований были показатели процессов ПОЛ – по содержанию ТБК-активных продуктов (Korobeynikova, 1989), и состояние антиоксидантной защиты: содержание восстановленного глутатиона (ВГ) (Owens, Belcher, 1965), активность глутатионтрансферазы (ГТ), глутатионредуктазы (ГР), глутатионпероксидазы (ГП), супероксиддисмутазы (СОД) (Pereslegina, 1989), общая антиоксидантная активность (ОАОА) (Klebanov et al., 1988), уровень общего протеина (Lowry et al., 1951) определяли спектрофотометрическим методом. Для исследований использовали сертифицированные реактивы. Измерительная аппаратура, которую использовали при выполнении работы, была стандартизирована, ее метрологический контроль осуществлялся в установленном порядке.

Полученные данные обрабатывали стандартными методами оценки вариационных рядов. Вычисления выполняли с помощью программного продукта STATISTICA 6.0 (фирма StatSoft, США). Полученные данные считали достоверными при уровне значимости критерия Стьюдента $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

После проведения исследований по определению влияния экспозиции экзоэстрогена на процессы перекисного окисления липидов и состояние

антиоксидантной защиты в органах крыс разного возраста были получены следующие результаты (табл. 1, 2).

Таблица 1

Показатели печени и почек самок крыс, которые были алиментарно экспонированы экзогенными эстрогенами, $M \pm m$

Показатели	Варианты опыта			
	I группа	II группа	III группа	IV группа
Печень				
Восстановленный глутатион, ммоль/г ткани	12,99 $\pm$ 0,61	17,52 $\pm$ 0,80*	10,77 $\pm$ 0,53	14,25 $\pm$ 0,71*
Глутатионредуктаза, ммоль/г ткани	214,36 $\pm$ 10,72	189,71 $\pm$ 9,50*	139,80 $\pm$ 7,00	206,90 $\pm$ 10,34*
Глутатионтрансфераза, мкмоль/мин. г протеина	487,67 $\pm$ 24,40	576,91 $\pm$ 28,85*	452,51 $\pm$ 22,60	546,17 $\pm$ 27,32*
ТБК-активные продукты, нмоль/г белка	29,14 $\pm$ 1,46	36,6 $\pm$ 1,83*	23,16 $\pm$ 1,16	27,45 $\pm$ 1,37*
Общая антиокислительная активность, ус.ед.	26,47 $\pm$ 1,32	31,26 $\pm$ 1,56*	36,60 $\pm$ 1,83	41,58 $\pm$ 2,10*
Супероксиддисмутаза, опт.ед/мин. г белка	236,54 $\pm$ 11,83	257,59 $\pm$ 12,90	254,39 $\pm$ 12,70	268,13 $\pm$ 13,40
Глутатиопероксидаза, мкмоль/мин. г белка	53,06 $\pm$ 2,65	50,50 $\pm$ 2,50	51,83 $\pm$ 2,60	52,71 $\pm$ 2,64
Почки				
Восстановленный глутатион, ммоль/г ткани	7,38 $\pm$ 0,37	5,34 $\pm$ 0,27*	7,28 $\pm$ 0,36	6,042 $\pm$ 0,30*
Глутатионредуктаза ммоль/г ткани	81,63 $\pm$ 4,10	80,49 $\pm$ 4,02	71,57 $\pm$ 3,58	73,36 $\pm$ 3,67
Глутатионтрансфераза, мкмоль/мин. г протеина	226,45 $\pm$ 11,32	245,93 $\pm$ 12,30	247,23 $\pm$ 12,36	260,33 $\pm$ 13
ТБК-активные продукты, нмоль/г белка	26,17 $\pm$ 1,30	28,78 $\pm$ 1,40	15,90 $\pm$ 0,80	19,32 $\pm$ 0,97*
Общая антиокислительная активность, ус.ед.	25,73 $\pm$ 1,30	26,68 $\pm$ 1,33	26,00 $\pm$ 1,30	33,72 $\pm$ 1,70*
Супероксиддисмутаза, опт.ед/мин. г белка	161,50 $\pm$ 8,10	169,09 $\pm$ 8,45	158,12 $\pm$ 0,80	131,25 $\pm$ 6,56*
Глутатиопероксидаза, мкмоль/мин. г белка	48,15 $\pm$ 2,40	37,56 $\pm$ 1,88*	42,23 $\pm$ 2,11	36,32 $\pm$ 1,82*

Примечание (здесь и дальше): * – достоверность отличий показателей опытных групп к соответствующему контролю с уровнем значимости $p < 0,05$

В группе крыс в пубертантном периоде уровень ТБК-активных продуктов в печени превышал контрольные параметры на 25,6 %, половозрелых самок – на 18,5 %. В почках также наблюдалось превышение ТБК-активных продуктов на 10 % в группе II и 21,5 % в группе IV (табл. 1). В мозгу активность ПОЛ в подопытной группе II возрастала на 33,7 %, группе IV – 29,5 %, соответственно. В сыворотке крови крыс в возрасте 4,5 месяца уровень ТБКАП превышал контрольные показатели на 48,4 %, 7,5 месяцев – на 51,4 % (табл. 2).

Глутатион является одним из самых мощных клеточных неэнзимных антиоксидантов. На синтез этого трипептида в организме также влияет возраст: начиная с 28 лет, его производство уменьшается с каждым годом примерно на 1 %.

Таблица 2

**Показатели мозга и сыворотки крови самок крыс, которые были алиментарно
экспонированы экзогенными эстрогенами, $M \pm m$**

Показатели	Варианты опыта			
	I группа	II группа	III группа	IV группа
Головной мозг				
Восстановленный глутатион, ммоль/г ткани	221 $\pm$ 11,05	154,75 $\pm$ 7,40*	190 $\pm$ 9,50	203,25 $\pm$ 10,16
Глутатионредуктаза ммоль/г ткани	195,2 $\pm$ 9,76	168,25 $\pm$ 8,41*	174 $\pm$ 8,70	200,5 $\pm$ 10,03*
Глутатионтрансфераза, мкмоль/мин. г протеина	51,14 $\pm$ 2,56	45,77 $\pm$ 2,29*	61,06 $\pm$ 3,05	57,27 $\pm$ 2,86
ТВК-активные продукты, нмоль/г протеина	28,61 $\pm$ 1,40	38,26 $\pm$ 1,90*	24,26 $\pm$ 0,12	31,42 $\pm$ 1,57*
Общая антиокислительная активность, усл.ед.	34,35 $\pm$ 1,71	21,98 $\pm$ 1,10*	27,52 $\pm$ 1,38	17,17 $\pm$ 0,85*
Супероксиддисмутаза, опт.ед/мин. г протеина	888,46 $\pm$ 44,4	764,08 $\pm$ 38,2*	543,91 $\pm$ 27,2	660,85 $\pm$ 33,4*
Глутатиопероксидаза, мкмоль/мин. г протеина	26,94 $\pm$ 1,347	28,02 $\pm$ 1,40	32,75 $\pm$ 1,64	38,97 $\pm$ 1,95*
Сыворотка крови				
Восстановленный глутатион, ммоль/г ткани	2,6 $\pm$ 0,13	2,01 $\pm$ 0,10*	2,36 $\pm$ 0,12	2,11 $\pm$ 0,10*
Глутатионредуктаза ммоль/г ткани	0,42 $\pm$ 0,02	0,35 $\pm$ 0,02*	0,39 $\pm$ 0,02	0,36 $\pm$ 0,02
Глутатионтрансфераза, мкмоль/мин. г протеина	9,12 $\pm$ 0,45	7,30 $\pm$ 0,37*	8,79 $\pm$ 0,96	8,09 $\pm$ 0,40*
ТВК-активные продукты, нмоль/г протеина	0,75 $\pm$ 0,04	1,11 $\pm$ 0,06*	0,75 $\pm$ 0,04	1,14 $\pm$ 0,57
Общая антиокислительная активность, усл.ед.	39,43 $\pm$ 1,97	47,71 $\pm$ 2,39*	38,03 $\pm$ 2,12	49,02 $\pm$ 2,45*
Супероксиддисмутаза, опт.ед/мин. г протеина	53,18 $\pm$ 2,66	70,20 $\pm$ 3,51*	55,55 $\pm$ 2,78	59,44 $\pm$ 2,9
Глутатиопероксидаза, мкмоль/мин. г протеина	0,088 $\pm$ 0,004	0,099 $\pm$ 0,005*	0,096 $\pm$ 0,0048	0,101 $\pm$ 0,005

Дефицит глутатиона отмечается при очень многих заболеваниях, в частности новообразованиях. Главным органом синтеза восстановленного глутатиона у млекопитающих является печень (Akerboom, Sies, 1990). Содержание восстановленного глутатиона в печени крыс группы II превышал показатели соответствующей контрольной группы на 39,9 %. В IV группе, которую составили крысы старшего возраста, повышение составляло 32,4 %. При нормальных условиях 80–90 % глутатиона расщепляется почками вследствие чрезвычайно высокой активности в них гамма-глутамилтранспептидазы. При влиянии Синэстрола в почках наблюдалось истощение пула восстановленного глутатиона: у подопытных крыс (группа II) содержание ВГ был сниженным на 27,6 % по сравнению с контролем. В группе IV также зафиксировано падение уровня восстановленного глутатиона относительно контрольного показателя на 17 %. Снижение уровня глутатиона служит показателем истощения антиоксидантной системы. В мозге крыс контрольной группы I индекс восстановленного глутатиона был выше на 30 % относительно

показателей соответствующей подопытной группы. В мозге крыс старшего возраста, получавших гормональный препарат, наблюдалась тенденция к накоплению тиоловых соединений.

В подопытной группе самок в возрасте 4,5 месяца активность глутатионредуктазы была на 11,5 % ниже контрольной. У животных в возрасте 7,5 месяцев активность фермента была выше на 48 %, чем у интактных самок соответствующего возраста. В почках самок обеих экспериментальных групп, поданных алиментарной экспозиции экзоэстрогена, активность глутатионредуктазы достоверно не отличалась от контрольных показателей. В мозге крыс II группы наблюдалась ингибция активности этого фермента (на 14 %). В то же время в мозге самок старшего возраста активация энзима составила 15,3 %.

В обезвреживании вторичных продуктов пероксидации и других окисленных веществ главную роль играют глутатионтрансферазы. Они конъюгируют с глутатионом главные и наиболее токсичные продукты перекисного окисления липидов. Восстановление с помощью глутатионтрансферазы гидропероксидов предупреждает прогрессирование пероксидации и появление ее вторичных метаболитов. В печени у подопытных животных в возрасте 4,5 и 7,5 месяцев активность фермента возрастала на 18,3 % и на 20,7 %, соответственно. Наблюдалась тенденция к активации энзима в почках: на 8,6 % (группа II) и 5,3 % (группа IV). В мозге животных младшего возраста активность глутатионтрансферазы угнеталась на 10,5 %, старшего возраста – на 6,2 %.

Супероксиддисмутаза осуществляет инактивацию радикалов кислорода, которые возникают в ходе биологических реакций переноса электронов или при влиянии ксенобиотиков, различных заболеваниях (Alyayev et al., 2006). При определении активности СОД в печени в подопытных группах крыс в пубертантном периоде и половозрелых наблюдалась тенденция к росту на 8,9 % и 5,4 %, соответственно. В почках младших самок активность энзима возрастала на 4,7 %, в IV группе его активация составила 17 %. В мозге крыс II подопытной группы наблюдалась ингибция фермента на 14 %, в то время у животных IV группы этот показатель вырос на 21,5 %.

Путем восстановления перекисей липидов в соответствующие спирты и расщепления пероксида водорода до воды глутатионпероксидаза защищает организм от окислительного повреждения (Mariani et al., 2011). При определении активности ГП, использующей в качестве донора H^+ восстановленный глутатион, в печени наблюдалась тенденция к ее уменьшению в группе II на 4,83 %, у половозрелых животных в подопытной группе найдено незначительное (на 1,7 %) превышение контроля. В почках зафиксировано ингибирование активности фермента, степень которого зависела от возраста животных: у 4,5-месячных крыс – на 22 %, 7,5-месячных – на 14 % в сравнении с соответствующими контрольными группами. В сыворотке наблюдалась тенденция к увеличению активности ГП в подопытных группах II и IV на 12 % и 5 %, соответственно. Исследование головного мозга показало незначительную активацию глутатионпероксидазы (на 4 %) у крыс в пубертантном периоде и рост активности энзима на 19 % у половозрелых самок.

Детерминация интегрального показателя состояния антиоксидантных систем – общей антиоксидантной активности в органах самок крыс свидетельствует о различном потенциале защитных систем в зависимости от возраста. Так, в почках, сыворотке крови, печени отмечено повышение активности антиоксидантной системы: у самок в возрасте 4,5 месяца – на 3,7 %, 21 % и 18,1 %, 7,5 месяца – на 29,7 %, 28,9 % и 13,6 % по отношению к контролю. В то же время, исследование головного мозга животных показало довольно значительную инактивацию антиоксидантной системы: на 36 % у крыс в пубертантном периоде и на 37,6 % у половозрелых самок.

ВЫВОДЫ

Таким образом, алиментарная экспозиция эстрогенов вызывала усиление процессов перекисного окисления липидов в организме животных в пубертантном периоде и половозрелых самок. Имела место различная степень интенсификации перекисидации в зависимости от возраста и органоспецифичность: максимальное превышение контрольных показателей отмечено в сыворотке крови. Наибольшую резистентность к действию экзоэстрогенов выявили почки. У самок в пубертантном периоде в головном мозге и печени реакция прооксидантной системы превышала силу ответа в органах половозрелых животных.

Найденное уменьшение содержания восстановленного глутатиона в почках самок опытных групп свидетельствует о риске развития нарушений функционирования системы детоксикации. Это может приводить к накоплению свободных радикалов, которые являются иницирующими факторами развития пролиферативных процессов.

Концентрация восстановленного глутатиона в тканях головного мозга является достаточно устойчивым показателем. Поэтому уменьшение уровня трипептида в головном мозге крыс в препубертантном периоде является отрицательным прогностическим критерием деструкции интегральной афферентной системы.

Отмечена органная дискретность изменений активности энзимов антиоксидантной защиты, которая зависит от возраста животных, что свидетельствует о разбалансировке работы ферментов системы глутатиона. Поскольку система глутатиона вовлечена в инактивацию эстрогенов путем их конъюгации в реакциях, катализируемых глутатионтрансферазой, снижение активности энзима может приводить к накоплению высокоактивных промежуточных метаболитов и повреждению внутриклеточных структур, главным образом ДНК.

Дисбаланс звена СОД – ГП результируется в накопление перекисей, что является показателем развития эндогенной интоксикации, более выраженной у самок в пубертантном периоде. Поступление гормонального препарата с пищей вызвало изменения показателей прооксидантно-антиоксидантных систем с последующим поражением сигнальных путей передачи информации.

Подобные феномены в дальнейшем могут стать триггерами снижения потенциала компенсаторных механизмов, в частности адаптации и апоптоза с последующим усилением процессов пролиферации, что вместе с непосредственным генотоксическим действием экзоэстрогенов являются важным патогенетическим звеном в канцерогенезе, развитии первичной опухоли, дальнейшей прогрессии опухолей молочной железы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Akerboom, T., Sies, H., 1990. Glutathione: metabolism and physiological functions, GRG Press, Boston.
- Alyayev, Yu. G., Bezrukov, E. A., Shestiperov, P. A. 2006. Molekulyarnaya patologiya raka predstatel'noy gelezy: diagnosticheskaya i prognosticheskaya znachimost' osnovnykh markerov [Molecular pathology of prostate cancer: diagnostic and prognostic significance of the main markers], Oncourology, 2, 45–50 (in Russian).
- Boyle, P., 2012. Triple-negative breast cancer: epidemiological considerations and recommendations, Ann. Oncology, 23 (6), 7–12.
- Boucher, B. A. et al., 2012. Intake of phytoestrogen foods and supplements among women recently diagnosed with breast cancer in Ontario, Canada Prevention and Cancer Control, 4 (3), 95–107.
- Bouwens, C. S. et al., 2011. Influence of genetic factors on the development of breast cancer in the older woman, Reprod. Toxicology, 3, 302–311.
- Chun, J., et al., 2012. Breast cancer risk factors in younger and older women, Curr. Aging Sci., 5 (2), 140–147.
- Council Directive 2010/63/EU of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes, J. Eur. Communities. 276, 33–79.
- Klebanov, G. I., Babenkova, I. V., Teselkin, J. O., 1988. Otsenka antiokislitel'noy

aktivnosti plasmy krovi s primeneniem geltotchnich lipoproteidov [Evaluation of antioxidant activity of blood plasma using yolk lipoproteins], Lab. Delo, 5, 59–62 (in Russian).

Korobeinikova, E. N., 1989. Modificatsia metoda opredeleniya TBC-aktivnich produktov [Modification method for determining the TBA-active products], Lab. Delo, 7, 8–9 (in Russian).

Lowry, O. H., Rosenbrough, N. J., Farr, A. L., 1951. Protein masurement with the Folin phenol reagent, J. Biol.Chem., 193, 265–269.

Mariani, A., Jeandel, C., Paris, F., 2011. Puberty and pubertal growth dynamics in

children with idiopathic short stature, J. Pediatr. Endocrinol. Metab., 24 (6), 319–325.

Owens, W. I., Belcher, R. V., 1965. A colorimetric micro-method for determination of glutathione, Biochem., 94 (3), 705–711.

Pereslegina, I. A., 1989. Aktivnost' antioksidantnykh fermentov slyuny zdorovykh detey [The activity of antioxidant enzymes saliva of healthy children], Lab. Delo, 11, 20–23 (in Russian).

Youlden, D., Cramb, S., Yip, C., Baade, P., 2014. Incidence and mortality of female breast cancer in the Asia-Pacific region, Cancer Biology Medicine, 11 (2), 101–115.

Стаття надійшла в редакцію: 14.04.2015

Рекомендує до друку: д-р біол. наук, проф. О. В. Севериновська

SHORT REPORTS



I. A. Tarakhkalo 

UDK 63.502.4

*O. Honchar Dnipropetrovsk National University,
Gagarin ave, 72, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010*

REVISITING THE NATURAL-RESERVED FUND OF LUGANSK REGION

Abstract. It was considered the impact of the active destructive processes on objects of natural-reserved fund in a difficult situation in the southeast of Lugansk region. The analysis of the biogeocoenosis damage degree in this area was carried out.

In connection with the difficult situation in the east of Ukraine the destructive anthropogenic processes damage has increased significantly. The natural-reserved fund of Lugansk region was endangered. In this situation damage assessment to forest vegetations, whose origin in this territory is largely artificial, and not disposed to natural regeneration in these growing conditions, is of particular value (Travleev A. P., Travleev L. P., 1988; Travleev A. P., 2004).

Due to sharp decline of forest vegetation on the planet, industrial pollution of air, soil and water resources, implication of forests, as a stabilizing factor in the natural environment, is growing. Solving such tasks as rational use of natural resources, ensuring the ecological balance of the biosphere and creating favorable living environment depends largely on correct forest exploitation and protection.

Pyrogenic processes are the determining factor affecting formation and change of forest biocenosis. Biogeocoenosis changes often occur under the influence of the pyrogenic factor and the proportion of its influence rises sharply in the conflict zone. Uncontrolled pyrogenic environmental impact causes serious damage to ecosystems, reducing the qualitative and species composition of forest reserves and its ecological functions, resulting in significant economic losses.

For acquisition of information about the area and the extent of biogeocoenosis damage on the selected sites we have chosen the visual estimation method (visual inspection without detailed assessment), because obtaining more accurate information is difficult for the moment, due to the related risks of the current situation. We consider damaged biogeocoenoses as well as the cause and nature of the damage and the damage degree. We define the causes of damage as the disturbances resulting from anthropogenic, predominantly military actions. We also define the degree of damage as the percentage-based share of the destroyed plant community on areas of study.

The territory of Severodonetsk and Stanichno-Lugansk forest husbandry and hunting farms has been considered as the subjects. We have investigated forestry as a whole, as well as particular areas, to which it was possible to access.

The Novozvanovskiy and Badger Draw landscape reserves and also Pecan Grove Closed Wood are the objects of natural-reserved fund, which we have studied as a whole. Likewise we partly investigated Derkul Ichthyological Reserve, Sharov Kut Landscape Reserve and Peschanoie Natural Landmark.

 Tel.: +38096-166-12-49. E-mail: illia.tarakhkalo@gmail.com

DOI: 10.15421/031514

In the investigated protected objects some areas completely destroyed by pyrogenic processes and the landscape transformed into the so-called "moon" landscape as a result of shellbursts. The greatest degree of damage as a result of the investigation, we had found in the Pecan Grove Forest Reserve with a total area of 351.7 hectares. Landscape of Severodonetsk forest husbandry, which is attached to the combat zone average hit a third. This is related to the duration of the ongoing fighting in the territories clashes. In Stanichno Luhansk forest husbandry and hunting farms economy, nearly destroyed some areas Derkul ichthyological reserve and landscape reserve Sharov Kut. In the studied areas of natural protected sites extent of the damage resulting from visual inspection of 100 %

As a result of military operation in the Lugansk region, in a relatively short period from mid-2014 to the beginning of 2015, only according to our research, it has been destroyed 260.4 hectares of nature-reserved fund of the region, which in turn indicates a very intense pace of destruction. With due consideration of the complexity of growing woodlands in this area and "moon" landscape formation, their future restoration is extremely difficult.

At the moment, talk about the overall biogeocoenosis damage assessment in the area of the anti-terrorist operation is still early and extremely difficult, by reasons of military operation is not completed and secure access to these objects is not provided. But preliminary data suggest the critical rate of destruction of natural-reserved fund, and attracting more attention and resources to this issue even now is imperative.

Keywords: *destructive, pyrogenic processes, forestry, biogeocoenosis damage, natural-reserved fund.*

УДК 63.502.4

І. О. Тарахкало

*Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара,
пр. Гагаріна, 72, м. Дніпропетровськ, Україна, 49010,
тел.: + 38096-166-12-49, e-mail: illia.tarakhkalo@gmail.com*

ДО ПИТАННЯ ПРО СТАН ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНОГО ФОНДУ ЛУГАНСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Анотація. Пірогенні процеси є провідним фактором, що впливає на формування та зміну лісових біогеоценозів. Зміни біогеоценозів часто відбуваються під дією пірогенного фактора і частка його впливу різко зростає в зоні конфлікту. Неконтрольовані пірогенні впливи на навколишнє середовище завдають серйозної шкоди як самим екосистемам, знижуючи якісний і породний склад лісового фонду і його екологічних функцій, так і спричиняють значні економічні наслідки. У статті розглянуто вплив активних деструктивних процесів на об'єкти природно-заповідного фонду в умовах складної ситуації на південному сході Луганської області. Проведено аналіз ступеня пошкодження лісових біогеоценозів на цій території, більшість з яких є штучними за своїм походженням та, як правило, не здатними до природного відновлення.

Ключові слова: *деструктивні, пірогенні процеси, природно-заповідний фонд.*

УДК 63.502.4

И. А. Тарахкало

*Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара,
пр. Гагарина, 72, г. Днепропетровск, Украина, 49010,
тел.: + 38096-166-12-49, e-mail: illia.tarakhkalo@gmail.com*

К ВОПРОСУ О СОСТОЯНИИ ПРИРОДНО-ЗАПОВЕДНОГО ФОНДА ЛУГАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация. Пирогенные процессы являются ведущим фактором, влияющим на формирование и изменение лесных биogeоценозов. Смены биogeоценозов часто происходят под действием пирогенного фактора и доля его влияния резко возрастает в зоне конфликта. Неконтролируемые пирогенные воздействия на окружающую среду наносят серьезный ущерб как самим экосистемам, снижая качественный и породный состав лесного фонда и его экологических функций, так и влекут за собой значительные экономические последствия. В

статье рассмотрено влияние активных деструктивных процессов на объекты природно-заповедного фонда в условиях сложной ситуации на юго-востоке Луганской области. Проведен анализ степени повреждения биогеоценозов на этой территории, большинство из которых являются искусственными по своему происхождению и, как правило, не способны к естественному возобновлению.

Ключевые слова: деструктивные, пирогенные процессы, природно-заповедный фонд.

ВВЕДЕНИЕ

В связи со сложной ситуацией на востоке Украины ущерб от деструктивных антропогенных процессов значительно возрос. Под ударом оказался природно-заповедный фонд Луганской области. В этой ситуации особую ценность представляет оценка нанесенного ущерба именно лесным насаждениям, происхождение которых на данной территории в большей степени является искусственным, и не расположенным к естественному возобновлению в этих условиях произрастания (Travleev A. P., Travleev L. P., 1988; Travleev A. P., 2004).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для получения данных о площади и степени повреждения биогеоценозов на выбранных участках нами был использован метод визуальной оценки (визуального осмотра без детальной оценки), поскольку в данное время получение более точной информации затруднительно, в связи с сопряженными рисками из-за сложившейся ситуации. Мы учитываем биогеоценозы, получившие повреждения, причины и характер повреждений, а также степень повреждения. Под причинами повреждения мы понимаем нарушения, полученные в результате антропогенных действий преимущественно военного характера. Под степенью повреждения мы понимаем процентное отношение доли уничтоженного растительного сообщества на исследуемых участках.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В качестве исследуемых объектов были рассмотрены территории Северодонецкого и Станично-Луганского лесохозяйственных хозяйств. Нами были исследованы как лесничества в целом, так и отдельные их участки, к которым был доступ.

К объектам природно-заповедного фонда, которые были нами исследованы в целом, относятся ландшафтные заказники «Новозвановский», «Барсучья балка» и лесной заказник «Ореховая роща». Также частично нами были исследованы ихтиологический заказник «Деркульский», ландшафтный заказник «Шаров Кут» и заповедное урочище «Песчаное».

Наибольшая степень повреждения, в результате проведенного исследования, нами была обнаружена в лесном заказнике «Ореховая роща» с общей площадью 351,7 га. В этом заповедном объекте некоторые участки полностью уничтожены пирогенными процессами, а ландшафт, в результате разрыва снарядов, преобразился в так называемый «лунный». Участки Северодонецкого лесохозяйственного хозяйства, которые прилегали к зоне боевых действий, в среднем пострадали на треть. Это связано с длительностью ведущихся на этих территориях боевых столкновений.

В Станично-Луганском лесохозяйственном хозяйстве практически уничтоженными оказались некоторые участки Деркульского ихтиологического заказника и ландшафтного заказника «Шаров Кут». На исследованных участках этих природно-заповедных объектов степень повреждения, полученная в результате визуального осмотра, составляет 100 % (табл. 1).

Таблица 1

**Поврежденные объекты природно-заповедного фонда
Станично-Луганского лесохозяйственного хозяйства**

Название поврежденного объекта	Общая площадь, га	Площадь повреждения, га	Степень повреждения, %
Ихтиологический заказник местного значения «Деркульский»	90	4,1	100
Ландшафтный заказник местного значения «Шаров Кут»	732	2	100
Заповедное урочище «Песчаное»	98	72,6	50

Ихтиологический заказник «Деркульский» представляет собой лесные насаждения в русле р. Деркул, с исследованной площадью повреждения 4,1 га. В ландшафтном заказнике «Шаров Кут», на территории которого преобладают коренные дубовые, дубово-вязовые и производные ивовые, осокоревые и осиновые леса, общая площадь повреждения составила 2 га. Заповедное урочище «Песчаное», представляющее ценное высокопродуктивное насаждение сосны обыкновенной в возрасте 80 лет на малопродуктивных супесчаных почвах второй бортовой террасы р. Северский Донец (Арапов et al., 2013), оказалось повреждено на 50 % с площадью повреждения 72,6 га. Во всех перечисленных случаях повреждения получены в результате пирогенного процесса, возникшего вследствие проведения боевых действий на этих территориях.

В Северодонецком лесохозяйственном хозяйстве повреждениям подверглись ландшафтные заказники местного значения «Новозвановский», «Барсучья балка» и лесной заказник «Ореховая роща». Степень повреждения каждого из перечисленных объектов составляет 30 % от их территории (табл. 2).

Таблица 2

**Поврежденные объекты природно-заповедного фонда
Северодонецкого лесохозяйственного хозяйства**

Название поврежденного объекта	Общая площадь, га	Площадь повреждения, га	Степень повреждения, %
Ландшафтный заказник местного значения «Новозвановский»	209,8	209,8	35
Ландшафтный заказник местного значения «Барсучья балка»	134,67	134,67	30
Лесной заказник местного значения «Ореховая роща»	351,7	351,7	30

Новозвановский ландшафтный заказник, являющийся ассоциацией лесной, луговой и степной растительности, с общей площадью 209,8 га, был поврежден на 35 % от его общей территории. Эта природно-заповедная территория по степени повреждения оказалась наиболее пострадавшей в Северодонецком лесохозяйственном хозяйстве.

В ландшафтном заказнике «Барсучья балка», представляющая из себя байрачные леса и участки разнотравно-типчаково-ковыльной степи (Арапов et al., 2013), степень повреждения 30 % на общей площади 134,67 га. Повреждения нанесены пожарами, возникшими в результате боевых действий, а также вследствие взрывов были сломаны деревья, образовались воронки от разрывов.

Лесному заказнику «Ореховая роща», который представлен ассоциацией лесной, луговой и степной растительности, нанесены повреждения в соотношении 30 % от общей площади заказника, которая составляет 351,7 га.

ВЫВОДЫ

В результате боевых действий в Луганской области за довольно короткий период с середины 2014 до начала 2015 года, только по нашим исследованиям, было уничтожено 260,4 га природно-заповедного фонда области, что в свою очередь говорит об очень интенсивных темпах их уничтожения. С учетом сложности произрастания лесных массивов на этой территории и образования «лунного» ландшафта дальнейшее их восстановление является крайне затруднительным.

На данный момент говорить о полной оценке ущерба повреждений биогеоценозам в зоне проведения АТО еще рано и крайне затруднительно, пока полностью не прекращены боевые действия и не обеспечен безопасный доступ к этим объектам. Но предварительные данные говорят о критических темпах уничтожения природно-заповедного фонда и уже сейчас необходимо привлекать больше внимания и ресурсов к этой проблематике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Arapov, A. A., Sova, T. V., Savenko, O. A., Fyeryents, V. B., 2013. Prirodno-zapovidnij fond Luganskoji oblasti [Natural Reserve Fund Luhansk region]. Luganska Pravda, Lugansk (in Ukrainian).

Belova, N. A., Travleev, A. P., 1999. Estestvennyie lesa i stepnyie pochvyi [Natural forest and steppe soils]. DSU, Dnepropetrovsk (in Russian).

Luganske oblasne upravlinnya lisovogo ta mislivskogo gospodarstva (electronic resource) [Lugansk Regional Department of Forestry and

Hunting]. URL: <http://www.luglis.gov.ua> (in Ukrainian).

Travleev, A. P., Travleev, L. P., 1988. Les i pochva v uslovijah stepi [Forest and soils in steppe conditions]. DSU, Dnepropetrovsk (in Russian).

Travleev, A. P., 2004. Estestvennyie i iskusstvennyie lesa jugo-vostoka stepnoj zony Ukrainy [Natural and artificial forests of the southeast of the steppe zone of Ukraine]. Questions of Forest Steppe and protection prirody, DSU, Dnepropetrovsk (in Russian).

Стаття надійшла в редакцію: 18.04.2015

Рекомендує до друку: чл.-кор. НАНУ, д-р біол. наук, проф. А. П. Травлев

TO AUTHORS' ATTENTION !

When preparing the article for sending to the editorial board, stick to the following rules:

1. Send at the address of the editorial board two printed copies of the article, at the e-mail address – electronic version.

The article should be checked carefully, signed by all authors and attended with written reference, signed by Doctor of Sciences of appropriate specialization and expert conclusion about the possibility of open publication of the article.

The size of the article is 10 pages of typescript at the most (one page in the journal format contains about 4500 signs, including the spaces).

The size of the illustrations and tables should be 30 % of the article size at the most.

All text materials should be given in 1,5 intervals. From each edge of the page 2 cm. should be left, shrift – Times New Roman 12 points, indentation – 0,8 cm.

When setting the type it is necessary to distinguish between hyphen and dash and to use double angle brackets.

It is obligatory to set a space between initials and a surname. Text materials should be made in the text editor MS Word 2003, 2007, as a document Word (*.doc).

Mathematical formulae and equations should be made in equation editor Microsoft Equation, chemical – in the editor ISIS Draw.

3. Use the units of International Measurement System.

4. The structure of the article:

- UDC index in the upper left corner of the page;
- initials and surnames of all authors (preferably not more than 4 persons), indicating the scientific degree and the academic status of each author;
- the full name and the address of the organization in which the research was conducted (in Ukrainian, Russian and English), e-mail address, telephone number for hot link with the author;
- the title of the article in Ukrainian, Russian and English, which briefly informs about the substance of it and content 13 words at the most;
- the annotation is expanded in English (600-700 words), it should contain the information about the aim, methods, data, scientific novelty, practical importance, key words (6 – 8 words); the annotation is reduced in Ukrainian and Russian, where the results, main conclusions and key words (6 – 8 words) are given;
- the body text of the article should content the following parts: Introduction; Data and methods of the research; Results and their discussion; Conclusions; References.

Tables should be numerated according to their mentioning in the text. Give a brief title at the top of each table. Statistical and other detailed information is given as a note below. Table data should be made in the table editor MS Word 2003, 2007.

Number illustrations according to their discussion in the text. Point at the foot of the illustration its title. The illustrations in the article should have the separate electronic copy. Diagrams and graphic charts should be made in Microsoft Excel, Statistica program packages, schemes – in Visio program package. Save them in the format of these programs as separate files (e.g., petrov_ris1).

The best file formats for scanning the images are TIFF, JPEG, EMF. All elements of text in the images (graphic charts, diagrams, schemes) if it is possible should have a font Times New Roman or Times New Roman Cyr (in a particular instance Courier). Keep each image in a separate object. The images after scanning when printing should be clear, as well as original one.

- gratitude as appropriate is given in the end of the article before the list of references;
- list of used literature. References to the literature should be given in the semicircular brackets with the name of quoted author (or the title of the source if there are more than three authors) and the publication date. In the list of references every Ukrainian-language and Russian-language source should be given through the transliteration in English letters indicating the English translation in square brackets, as well as in semicircular brackets - the original source of language;
- who (from editorial board) recommends the article for publication.

5. Separately the electronic data about the authors which content the information about the surname, name and middle name in full, academic degree, academic rank, workplace (full and abbrevi-

ated name of organization), post, town, country, contact phone number and e-mail are given in Ukrainian, Russian and English.

6. Working at the revision an author should take into account all the notes, retype and send all the materials to the address of the colleague of editors up to the date, noted by an editor. Articles that come after the revision later than in 3 months will be considered as new ones.

Sent materials are not returned back. The editorial board preserves a right to correct and abridge the text or send the script back for revision in the case of nonobservance of the above rules.

Authors take the responsibility for the content of the materials.

ДО УВАГИ АВТОРІВ !

При оформленні статті до надсилання в редакцію просимо дотримуватися таких правил:

1. Надіслати на адресу редакційної колегії два роздрукованих екземпляри статті, на електронну адресу – електронну версію.

Стаття має бути ретельно перевірена, підписана всіма авторами і супроводжуватися письмовою рекомендацією, підписаною доктором наук відповідного профілю та експертним висновком про можливість відкритої публікації поданої статті.

Обсяг статті – не більше 10 сторінок машинопису (одна сторінка у форматі журналу містить до 4500 знаків, включаючи пропуски).

Обсяг ілюстрацій і таблиць не повинен перевищувати 30 % обсягу статті.

2. Усі текстові матеріали роздрукувати через 1,5 інтервала, залишаючи з кожного краю сторінки відступи 2 см, шрифт – Times New Roman 12 пунктів, абзацний відступ – 0,8 см. При наборі статті необхідно розрізняти дефіс і тире, а також застосовувати поліграфічні «ялинки». Між ініціалами та прізвищем обов'язково залишати пропуск. Текстові матеріали підготувати в редакторі MS Word 2003, 2007 як документ Word (*.doc). Математичні формули і рівняння готуйте в редакторі рівнянь Microsoft Equation, а хімічні – у редакторі ISIS Draw.

3. Використовуйте одиниці Міжнародної системи вимірювань.

4. Структура статті:

- індекс УДК у верхньому лівому куті сторінки;
- ініціали та прізвища усіх авторів (бажано не більше 4 особи), із зазначенням вченого ступеня та звання кожного автора;
- повна назва і адреса організації, у якій виконувалися дослідження, подати українською, російською та англійською мовами, а також указати *e-mail*, телефон для оперативного зв'язку з автором;
- назва статті українською, російською та англійською мовами, яка повинна коротко інформувати про її зміст і містити не більше 13 слів;
- анотація: розширена – англійською мовою (600–700 слів), повинна містити інформацію про мету, методику, результати, наукову новизну, практичну значимість, ключові слова (6–8 слів); скорочені – українською та російською мовами, в яких коротко описують результати головних висновки проведених досліджень, ключові слова (6–8 слів);
- основний текст статті повинен містити такі розділи: Вступ; Матеріали та методи досліджень; Результати та їх обговорення; Висновки; Список використаної літератури.

Таблиці повинні бути пронумеровані відповідно до змісту статті. Дати назву до кожної таблиці. Статистична та інша деталізація наводяться під таблицею. Табличні матеріали підготувати у табличному редакторі Word 2003, 2007.

Рисунки нумерують у порядку їх обговорення в тексті. Унизу рисунка указати його назву. Рисунки до статті повинні мати окрему копію в електронному вигляді. Діаграми та графіки слід виконувати у пакетах Excel, Statistica, схеми – у пакеті Visio та зберігати у форматах цих програм окремими файлами (наприклад, petrov_ris1). Найкращими для сканованих зображень є формати файлів TIFF, JPEG, EMF. Усі елементи тексту у зображеннях (графіках, діаграмах, схемах), якщо це можливо, повинні мати гарнітуру Times New Roman або Times New Roman Cyr (в окремих випадках Courier). Кожне зображення зберігайте в окремому об'єкті. Зображення після сканування при роздрукуванні повинні бути чітким, не гіршим за чіткість основного тексту.

- подяки при необхідності подаються наприкінці статті перед списком використаної літератури;

- список використаної літератури. Посилання на літературні джерела слід подавати в напівкруглих дужках із зазначенням прізвища цитованого автора (або назви джерела, якщо авторів більш ніж три) та року видання. У списку використаних джерел кожне україномовне чи російськомовне джерело слід подавати транслітерацією англійськими літерами із зазначенням у квадратних дужках перекладу англійською мовою, а також у напівкруглих дужках – оригінальну мову джерела;

- ким з членів редакційної колегії рекомендовано статтю до публікації.

5. Окремо подаються відомості про авторів в електронному вигляді, які містять інформацію про прізвище, ім'я та по батькові повністю, науковий ступінь, вчене звання, місце роботи (повна та скорочена назва організації), посада, місто, країна, контактні телефони та електронна пошта українською, російською та англійською мовами.

6. При поверненні статті на доопрацювання автор зобов'язаний урахувати всі зауваження редактора і надіслати виправлені та передруковані матеріали на адресу редакційної колегії в указаний термін. Статті, повернуті після доопрацювання пізніше ніж через 3 місяці, розглядаються як нові надходження.

Подані матеріали не повертаються. Редакція зберігає за собою право виправляти та скорочувати текст, а також повертати рукопис на доопрацювання у разі недотримання наведених вище правил.

Відповідальність за зміст поданих матеріалів несуть автори.

Науковий журнал

ЕКОЛОГІЯ ТА НООСФЕРОЛОГІЯ
2015. Т. 26, № 1–2

Українською, російською та англійською мовами

Засновники:

ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ім. О. ГОНЧАРА,
ТОВ «АГЕНТСТВО «ТЕЛЕПРЕСІНФОРМ»

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 21139-10939 ПР від 19.01.15 р.

Літературне редагування та коректура – А. О. Черненко
Художньо-технічне оформлення та комп'ютерна верстка – В. А. Горбань

Підписано до друку 06.07.2015 р. Формат 70×108 1/16. Папір офсетний.
Друк плоский. Гарнітура Times New Roman. Умовн. друк. арк. 28.
Замовлення № . Тираж 100 прим.
