

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:
DNIPROPETROVSK REGIONAL NATURAL CONVERSATION SOCIETY
RESEARCH AND TRAINING CENTER OF O. GONCHAR DNU –
A. L. BELGARD PRYSAMARYA BIOSPHERIC STATION

ECOLOGY AND NOOSPHEROLOGY

Vol. 25 2014
no. 1–2

Scientific Journal
Founded in 1995

www.uenj.cv.ua

Kyiv – Dnipropetrovsk
2014

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. Morguun (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. Khutorniy; 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; E. V. Shein; Yu. R. Shelyag-Sosonko; S. O. Shoba; Gu Siyu; S. Skiba; O. O. Sozynov; P. C. Srivastava; V. S. Stogniy; E. Strbova; I. V. Tsarik; N. N. Tsvetkova; S. P. Wasser; D. G. Zamolodchikov; 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; E. V. Shein; S. O. Shoba; Gu Siyu; S. Skiba; P. C. Srivastava; E. Strbova; D. G. Zamolodchikov.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Чл.-кор. НАНУ, д-р біол. наук **А. П. Травлєєв** (голов. редактор); акад. УЕАН, д-р біол. наук **J. M. Recio Espejo** (заст. голов. редактора, Іспанія); акад. УЕАН, д-р біол. наук **J. G. Ray** (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. Бобовін** (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 **Д. Г. Замолодчиков** (Росія); д-р біол. наук **В. М. Зверковський**; д-р біол. наук **А. В. Івашов**; 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 **Е. Nevo** (Ізраїль); д-р біол. наук **В. В. Нікіфоров**; д-р біол. наук **В. І. Парпан**; 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 **P. C. 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**; канд. фіз.-мат. наук **В. С. Чернищенко**; 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**; д-р біол. наук **Є. В. Шейн** (Росія); чл.-кор. РАН, д-р біол. наук **С. О. Шоба** (Росія); канд. біол. наук **Е. Штрбова** (Словаччина).

ІНОЗЕМНІ ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:

Акад. УЕАН, д-р біол. наук **J. M. Recio Espejo** (Іспанія); акад. УЕАН, д-р біол. наук **J. G. Ray** (Індія); д-р біол. наук **Gu Siyu** (Китай); д-р біол. наук **F. Gurbuz** (Туреччина); д-р біол. наук **Д. Г. Замолодчиков** (Росія); акад. АН Туркменістану, д-р біол. наук **Н. Р. Корпєєв** (Туркменістан); акад. НАНУ, д-р біол. наук **Е. Nevo** (Ізраїль); д-р біол. наук **С. Скіба** (Польща); д-р біол. наук **P. C. Srivastava** (Індія); д-р геогр. наук **М. К. Чертко** (Білорусь); д-р біол. наук **Є. В. Шейн** (Росія); чл.-кор. РАН, д-р біол. наук **С. О. Шоба** (Росія); канд. біол. наук **Е. Штрбова** (Словаччина).

Рекомендовано до друку Вченою радою
Дніпропетровського національного університету ім. О. Гончара
(протокол № 10 від 21.03.2013 р.)

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, 2014
© ТОВ «Агентство «Телепресінформ», 2014

TABLE OF CONTENTS

THEORETICAL ISSUES OF ECOLOGY AND NOOSPHEROLOGY

<i>Prazukin A. V.</i> Hierarchy and parametric representation of bio-inert phytosystems	5
---	---

BIOGEOCENOLOGY, PHYTOCENOLOGY AND GEOBOTANY

<i>Glibovytska N. I., Parpan V. I.</i> The metabolic characteristics of small-leaved linden (<i>Tilia cordata</i> Mill.) adaptation under urbanized environment conditions	19
<i>Orlova L. D.</i> Downfall of meadow plants communities on the Left Bank Forest-Steppe Boundary in Ukraine	26
<i>Savosko V. M.</i> The dynamics of the dendroflora ecomorphic and biomorphic spectra at the former Botanic garden of the Kryvyi Rih state educational institute	37
<i>Krokhmal I. I.</i> Ecological and functional leaf morphology of species of the genus <i>Aquilegia</i> L.	46

ZOOCENOSES AS A COMPONENT OF BIOGEOCENOSIS

<i>Monchenko V. I., Gaponova L. P., Alekseev V. R.</i> Identification of sibling species in the genus <i>Eucyclops</i> from water-bodies of Ukraine and Russia using crossbreeding studies	61
<i>Kharchenko L. P., Lykova I. A.</i> Littoral invertebrates in waders' nutrition at migratory stopover sites in the Azov and Black Sea region	69
<i>Babálová M., Štrbová E.</i> Influence of grasslands management on diversity of the diurnal butterflies of Vlkolínec Village (Central Slovakia)	83

FOREST BIOGEOCENOLOGY

<i>Bujanov P. M.</i> Ecological problems of sandy area afforestation in the south of Ukraine	92
<i>Tarakhkalo I. A.</i> Seasonal dynamics of climatic indices as one of the manifestation factors of pyrogenic phenomena on the territory of Lugansk region	101

ECOLOGICAL SOIL SCIENCE

<i>Nikorych V. A., Szymański W.</i> Fe-Mn pedofeatures in soils and their geochemical role (analytical review)	108
--	-----

THE EFFECT OF ALLELOPATHICALLY ACTIVE AGENTS ON PLANTS

<i>Grakhov V. P., Dzjuba O. I., Ellanska N. E., Zaimenko N. V., Pavliuchenko N. A., Kharytonova I. P.</i> Current world achievements in allelopathy researches	121
--	-----

DISCUSSIONS

<i>Gryb I. V.</i> The concept of local explosion in freshwater ecosystems	136
---	-----

REVIEWS

<i>Travleyev A. P., Bilova N. A.</i> The book dedicated to the populations of rare plant species – Zlobin Yu. A., Sklyar V. G., Klimenko A. A. Populations of rare species of plants, theoretical principles and methods of the study. – Sumy : University Book, 2013. – 440 p.	149
--	-----

TO AUTHORS' ATTENTION	156
------------------------------------	-----

З М І С Т

ТЕОРЕТИЧНІ ПИТАННЯ ЕКОЛОГІЇ ТА НООСФЕРОЛОГІЇ

<i>Празукин А. В.</i> Иерархическая соподчиненность биокосных фитосистем и их параметрическое описание	5
--	---

БИОГЕОЦЕНОЛОГІЯ, ФІТОЦЕНОЛОГІЯ ТА ГЕОБОТАНІКА

<i>Глібовицька Н. І., Парпан В. І.</i> Метаболічні особливості адаптації липи серцелистої (<i>Tilia cordata</i> Mill.) в умовах урбосередовища	19
<i>Орлова Л. Д.</i> Опад лучних фітоценозів Лівобережного Лісостепу України	26
<i>Савосько В. М.</i> Динаміка екоморфічного та біоморфічного спектрів дендрофлори колишнього Ботанічного саду Криворізького державного педагогічного інституту	37
<i>Крохмаль И. И.</i> Эколого-функциональная морфология листа видов рода <i>Aquilegia</i> L.	46

ЗООЦЕНОЗ ЯК КОМПОНЕНТ БІОГЕОЦЕНОЗУ

<i>Monchenko V. I., Gaponova L. P., Alekseev V. R.</i> Identification of sibling species in the genus <i>Eucyclops</i> from water-bodies of Ukraine and Russia using crossbreeding studies	61
<i>Харченко Л. П., Лыкова И. А.</i> Литоральные беспозвоночные в питании куликов на миграционных остановках в Азово-Черноморском регионе	69
<i>Babálová M., Štrbová E.</i> Influence of grasslands management on diversity of the diurnal butterflies of Vlkolínec Village (Central Slovakia)	83

ЛІСОВА БІОГЕОЦЕНОЛОГІЯ

<i>Буянов П. М.</i> Экологические проблемы облесения песчаных территорий юга Украины	92
<i>Tarakhkalo I. A.</i> Seasonal dynamics of climatic indices as one of the manifestation factors of pyrogenic phenomena on the territory of Lugansk region	101

ЕКОЛОГІЧНЕ ҐРУНТОЗНАВСТВО

<i>Нікорич В. А., Шиманський В.</i> Fe-Mn новоутворення в ґрунтах та їх геохімічна роль (аналітичний огляд)	108
---	-----

ВПЛИВ АЛЕЛОПАТИЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН НА РОСЛИНИ

<i>Грахов В. П., Дзюба О. І., Елланська Н. Е., Заїменко Н. В., Павлюченко Н. А., Харитонов І. П.</i> Сучасні світові досягнення в дослідженнях з алелопатії ...	121
---	-----

ДИСКУСІЇ

<i>Гриб И. В.</i> Концепция локального взрыва в пресноводных экосистемах	136
--	-----

РЕЦЕНЗІЇ

<i>Травлев А. П., Белова Н. А.</i> Книга, посвященная популяциям редких видов растений – Злобин Ю. А., Скляр В. Г., Клименко А. А. Популяции редких видов растений, теоретические основы и методика изучения. – Сумы : Университетская книга, 2013. – 440 с.	149
---	-----

ДО УВАГИ АВТОРІВ	157
-------------------------------	-----

THEORETICAL ISSUES OF ECOLOGY AND NOOSPHEROLOGY



A. V. Prazukin ✉ Dr. Sci. (Biol.), Sen. Res. Sci.

UDK 574.4+574.58

A. O. Kovalevskij Institute of Southern Sea Biology,
National Academy of Sciences, Nakhimov ave, 2,
99011, Sevastopol, Ukraine

HIERARCHY AND PARAMETRIC REPRESENTATION OF BIO-INERT PHYTOSYSTEMS

Abstract. The paper outlines methods that can be successfully used to describe, in universally accepted terms, the structures and functions of bio-inert phytosystems widely differing in organization and origin. It offers an integrative comprehensive model of the biosphere's autotrophic block where the autotrophic function of the phytosphere cannot be satisfactorily exercised except through the unity of the inert (Geo) and the living (Bio) components. Also, it represents the types and physico-geometrical axiomatics of hierarchically structured bio-inert phytosystems.

The paper suggests that all bio-inert phytosystems, for the purpose of discussion, should be divided into two groups: corporeal and supra-corporeal with the latter being further classed into biogenic, geogenic and anthropogenic (technogenic).

The corporeal systems embrace plants as viewed in terms of their bodily shape. Physico-geometrically, any plant body represents a certain volume of space (V_n) which incorporates a living mass (W) with a specific gravity of ρ . The quantity V_n is known in biology as *biovolume* while its numerical value is calculated with the formula: $V_n = W/\rho$. Spatially, the plant body (G_n) contains the plant tissue *per se* (V_T) and large-sized cavities filled either with water (V_{WAT}) or gases (V_{GAS}): $V_n = V_T + V_{WAT} + V_{GAS}$.

Due to its arrangement, any plant body protrudes partially into the surrounding space (V_{COS} , COS – the closest operating space) with the outer boundary (G_{n+1}) following the ultimate outlines of the plant's structural elements. This is the space where an organism's impact on the flows of matter, energy and information exceeds that of other organisms or is superior to external flows of substance and energy. That's how the biogenic supra-corporeal system works. Just like corporeal systems do, it holds a certain volume of space (V_{n+1} , *ecovolume*), the limits of which (G_{n+1}) house the plant's bodily mass (W_n) with an appropriate volume (V_n) and, if the object in question is aquatic, it is water – with all dissolved and suspended substances in it – which occupies the entire volume of the surrounding space: $V_{n+1} = V_n + V_{COS}$.

The living space of anthropogenic phytosystems is organized by man who predetermines the proportion between the area to be colonized and the living area. Having colonized artificial underwater reef structures, the plants designate the frontiers in the surrounding space (V_{n+2}) within which (G_{n+2}) plant bodies (ΣV_n), bearing parts of reef structures (V_{BP}) and water (V_{WAT}) are located including dissolved and suspended substances. In other words, these reef structures is precisely the

✉ Tel.: +38068-472-25-90. E-mail: prazukin@mail.ru

DOI: 10.15421/031401

ISSN 1726-1112. Ecology and noospherology. 2014. Vol. 25, no. 1–2

place where the canopy is developed thus determining the external borders of the phytosystem and its volume: $V_{n+2} = \Sigma V_n + V_{BP} + V_{WAT}$.

The living space of geogenic phytosystems is dictated by the geomorphology of the Earth. The plants colonize the Earth's waters (V_{n+3} , V_{n+4}), from small puddles to the oceans, including the Earth's recesses and wrinkles ($V_{n+k} = \Sigma V_n + V_{WAT}$, $V_{n+k} = \Sigma V_n + V_{GAS}$).

The hierarchical sequence of bio-inert systems, from organism-level organization up to the bio-inert system of a reservoir or island, can be represented by a multitude of living spaces varying in size and enclosed consecutively into one another: $V_n \subset V_{n+1} \subset V_{n+2} \subset V_{n+3} \subset V_{n+4} \subset V_{n+5}$. "Habitable" means colonized (captured) by the living substance. The density of the living substance filling the space ($W/V = C_w$) correlates with the density of local free energy flows. The amount of the living substance (W) contained in any volume of space (V) is just as great as the power of the flow of free energy admits of. The living substance, of necessity, keeps the substance flows permanently renewed and increases their yield by accelerating their stock turnover.

Key words: *Phytosystems, phytohierarchy, parametric description.*

УДК 574.4+574.58

О. В. Празукін

д-р біол. наук, стар. наук. співр.

*Інститут біології південних морів ім. О. О. Ковалевського НАН України,
просп. Нахімова, 2, 99011, м. Севастополь, Україна,
тел.: +38068-472-25-90, e-mail: prazukin@mail.ru*

ІЄРАРХІЧНА ПІДПОРЯДКОВАНІСТЬ БІОКОСНИХ ФІТОСИСТЕМ ТА ЇХ ПАРАМЕТРИЧНИЙ ОПИС

У статті представлена методологія, придатна для опису в загальнонаукових термінах структур і функцій біокосних фітосистем різного рівня організації та походження. Запропонована інтегративна, повночленна модель автотрофного блоку біосфери, в якій автотрофна функція фітосфери реалізується тільки в єдності косного (Гео) і живого (Біо). Розглянута типізація та фізико-геометрична аксіоматика ієрархічно супідрядних біокосних фітосистем.

Ключові слова: *фітосистеми, фітоієрархія, параметричний опис.*

УДК 574.4+574.58

А. В. Празукин

д-р биол. наук, стар. науч. сотр.

*Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского НАН Украины,
просп. Нахимов, 2, 99011, г. Севастополь, Украина,
тел.: +38068-472-25-90, e-mail: prazukin@mail.ru*

ИЄРАРХИЧЕСКАЯ СОПОДЧИНЕННОСТЬ БИОКОСНЫХ ФИТОСИСТЕМ И ИХ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ

В статье представлена методология, пригодная для описания в общенаучных терминах структур и функций биокосных фитосистем разного уровня организации и происхождения. Предложена интегративная, полночленная модель автотрофного блока биосферы, в которой автотрофная функция фитосферы реализуется только в единстве косного (Гео) и живого (Био). Рассмотрена типизация и физико-геометрическая аксиоматика иерархически соподчиненных биокосных фитосистем.

Ключевые слова: *фитосистемы, фитоиєрархия, параметрическое описание.*

Понятие «фитоиєрархия» отражает существование и жизнь системного автотрофного блока биосферы. В масштабе биосферы это ряд от фотосинтезирующих молекул до фитосферы Земли. Только в полночленной фитоиєрархии, включающей как организмы и их сообщества, так и экосистемы с водными и наземными растениями и фотосинтезирующими бактериями, реализуется вся совокупность идущих в биосфере автотрофных процессов. Сюда включены и процессы, протекающие на суборганизменных уровнях организации: в клетках, в органеллах, в мембранах и на молекулярном уровне.

Что может быть названо *фитосистемой*? С позиций классической биологии – это растения в их телесной форме (включая и их внутреннюю иерархию), это их генетические и экологические популяции, а также многовидовые сообщества. Иными словами, это организмы (только Био) без всяких косных (из состава Гео) добавок, объединяемых понятием «косная среда обитания». В науках о Земле, имеющих интерес к фитомииру, считается, что, укрепившись корнями в почве и заняв определенную часть косного вещества (а в водоемах – заняв определенный объем окружающей воды), растение вышло из компетенции биологии. С этого момента становится необходимым понятие «надтелесная биокосная (Био-Гео) фитосистема», она же – «надорганизменная». С точки зрения биогеохимии, растение в его телесной форме тоже является объектом биокосным, поскольку большую часть живой массы растения составляет вода.

Фитосистемы экологического ранга внедрены одновременно в три основные природные среды – почвенную, воздушную и водную. Размерный ряд фитосистем телесного типа охватывает примерно 22 порядка величин по индивидуальной массе объекта. Размерный ряд фитосистем экологического ранга охватывает 40 порядков. Автотрофная функция биосферы реализуется только в единстве с Гео и Био (Sukachev, 1972; Sukachev and Dylis, 1964; Byallovich, 1960), причем Гео первично и более мощно во всех аспектах – по веществу, по энергии и по информации (Gorshkov, 1990, 1995; Khailov et al., 2009).

Название основного объекта нашего рассмотрения складывается из двух терминов – «фитосистема» и «биокосная», применение которых требует однозначного понимания их смысла.

Системой в нашем случае называется объект, который: 1) состоит из нескольких частей, соотношения между которыми (структурные пропорции) в каждый данный момент не случайны, т.е. имеют определенные численные значения и 2) по мере роста и развития объекта его пропорции изменяются закономерным образом. Одним из элементов системы является (Био) растение (фито) со всеми уровнями ее иерархии (начиная с фотосинтезирующих единиц и заканчивая сообществами видов растений). Биокосная – значит, что Био (Фито) функционально реализуется только в тесном взаимодействии с Гео и вместе они образуют биокосную фитосистему.

Исходя из ранее опубликованной параметрической схемы описания фитосистем (Khailov et al., 1992), определимся в обозначении выделяемых нами уровней организаций биокосных фитосистем (рис. 1). Будем придерживаться следующего формального обозначения. Подстрочным символом n будем обозначать параметры телесных систем (организменный уровень), а подстрочным символом $n+k$ – надтелесные (надорганизменные) системы (Khailov, 2001; Khailov et al., 2005b; Prazukin, 2000, 2005a, 2005b). От организма масштабные ранги природы спускаются «вниз»: орган, ткань, клетка и до молекулярных уровней организации. Кавычки поставлены потому, что в иерархии масштабных уровней «верх» и «низ» совершенно условны (Khailov et al., 1992). Поскольку мы подробно не рассматриваем системы ниже уровня организма, специальных обозначений для них вводить не будем.

Остановимся на типизации и физико-геометрической аксиоматике иерархически соподчиненных биокосных фитосистем.

Фитосфера, включенная в биосферу состоит из множества биокосных фитосистем разного уровня организации и происхождения. Все биокосные фитосистемы условно разделим на две группы: телесные и надтелесные. В свою очередь, надтелесные – на биогенные, геогенные и техногенные (рис. 2).

Биогенные системы в границах тела растения. При формировании биогенных систем «живое вещество» самостоятельно выделяет из общего пространства обитаемое пространство. В ботанике традиционно рассматриваются растения в их телесном (corporeal) облике (рис. 3, а–г). Для тела растений характерно ветвление с образованием крон (рис. 3, в). С физико-геометрической точки зрения, тело растения

представляет собой некоторый объем пространства (V_n), в котором находится некоторая живая масса (W) с удельным весом (ρ).

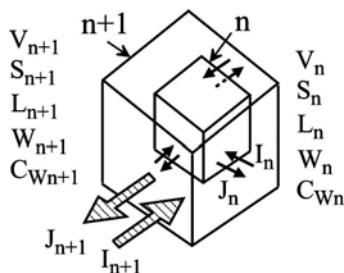


Рис. 1. Модель биокосной фитосистемы (БФ), отражающая два уровня организации, телесный (n) и надтелесный (n+1), по (Khailov et al., 1992) с изменениями.

Условные обозначения: Масса (W_n), объем (V_n), поверхность (S_n), внешняя граница (G_n), длина метаболического пути (L_n) и объемная концентрация сухой массы (C_{Wn}) тела растения.

W_{n+1} , V_{n+1} , G_{n+1} , S_{n+1} , L_{n+1} , C_{Wn+1} , – параметры надтелесного уровня организации.

Объяснение остальных обозначений в тексте.

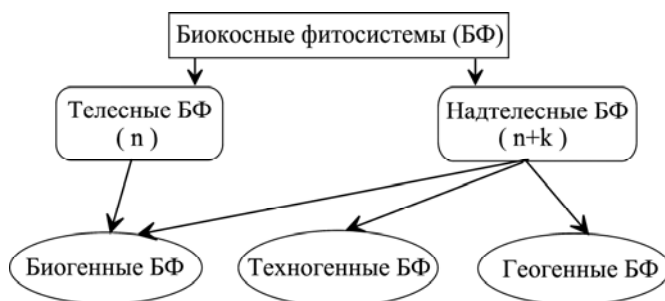


Рис. 2. Условное деление биокосных фитосистем в соответствии с их происхождением и уровнем организации

Величина V имеет в биологии название *biovolume* и его численное значение равно: $V_n = W/\rho$.

Пространство тела растения ограничено его физической поверхностью (S_n , рис. 3, а, б). В границах тела растения (G_n) пространственно вычлняется собственно растительная ткань (V_T , живые клетки и неживое вещество в межклеточных пространствах) и крупные полости, заполненные либо водой ($V_{\text{вод}}$), либо газами ($V_{\text{газ}}$).

Следовательно:

$$\begin{aligned} V_n &= V_T + V_{\text{вод}}, \\ V_n &= V_T + V_{\text{газ}}, \\ V_n &= V_T + V_{\text{вод}} + V_{\text{газ}}. \end{aligned} \quad (1)$$

В растениеводстве, лесоводстве, плантационной аквакультуре морских донных водорослей, при конструировании подводных искусственных рифов объектом изучения и технологического преобразования являются растения не только в телесном составе, а в составе с его окружающим пространством, заполненным минеральным веществом.

Биогенные надтелесные фитосистемы. Тело растения своим расположением «захватывает» часть внешнего пространства (ближайшее функциональное пространство, БФП, $V_{\text{БФП}}$), внешняя граница (G_{n+1}) которого проходит по контуру окончаний структурных элементов растения (рис. 3, д–ж.). Это пространство, в котором влияние данного организма на материальные, энергетические и информационные потоки превосходит влияние других организмов или превосходит

внешние потоки вещества и энергии (Gorshkov, 1990). Сложно-разветвленные растения формируют кроновые и субкроновые пространства (рис. 3, ж). В отличие от ботанического, корпорального образа кроны ее экологический образ включает в себя прежде всего занимаемый ею объем (V_{n+1} , *ecovolume*) с индивидуальной массой растения, W_n . Другими словами, в границах кронового пространства (V_{n+1}), например, водного растения размещается его телесная масса (W_n), занимающая соответствующий объем (V_n) и вода ($V_{\text{вод}}$), а у наземного растения телесная масса и воздух ($V_{\text{газ}}$).

$$V_{n+1} = V_n + V_{\text{вод}}, \quad (2)$$

$$V_{n+1} = V_n + V_{\text{газ}}. \quad (3)$$

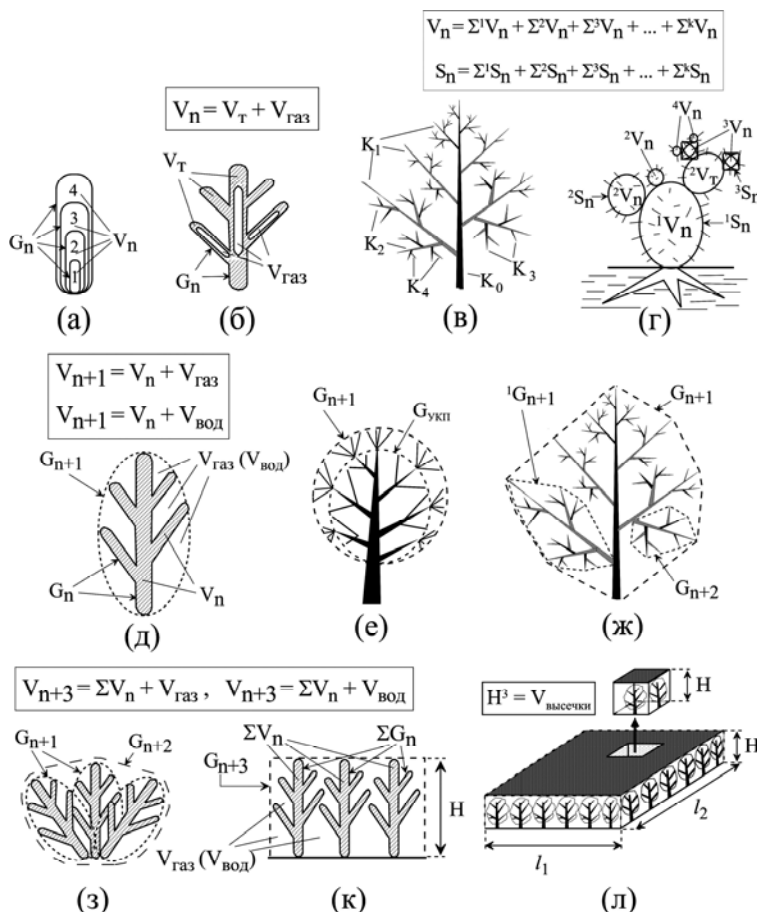


Рис. 3. Биогенные фитосистемы.

Модели телесной (а–г) и надтелесных (крона отдельного растения (д–ж), когорта растений (з), растительный полог (к, л)) биокосных фитосистем.

G_n – граница телесного пространства; G_{n+1} , $^1G_{n+1}$, $^2G_{n+1}$, G_{n+2} – геометрические границы кронового пространства целого растения и субкроновых пространств ветвей первого и второго порядка, и обитаемого пространства когорты растений соответственно;

G_{n+3} – геометрические границы полога популяции вида растения или фитоценоза;

H – высота растительного полога. Остальные обозначения в тексте.

Все выше сказанное справедливо и для любой пространственной совокупности растений и, в частности, для когорты из нескольких растений ($n+2$, рис. 3, з), и для растительного полога ($n+3$) популяции отдельного вида и фитоценоза (рис. 3, к, л). В пределах границ когорты растений либо растительного полога размещается вся телесная

масса растений (ΣW), занимающая определенный объем пространства (ΣV_n), и вода ($V_{\text{вод}}$) или воздух ($V_{\text{газ}}$) в зависимости от того водные это или наземные объекты:

$$V_{n+k} = \Sigma V_n + V_{\text{вод}}, \quad (4)$$

$$V_{n+k} = \Sigma V_n + V_{\text{газ}}. \quad (5)$$

Таким образом, иерархия БФ биогенного происхождения представляет собой систему из множества разномасштабных обитаемых пространств, вложенных друг в друга, начиная с объектов телесного уровня организации и заканчивая растительным пологом ($V_n \subset V_{n+1} \subset V_{n+2} \subset V_{n+3}$). Растительный полог может формироваться как популяцией растений одного вида, так и сообществом популяций видов.

Техногенные фитосистемы. Обитаемые пространства техногенных фитосистем изначально организуются человеком (рис. 4). Задаются определенные соотношения

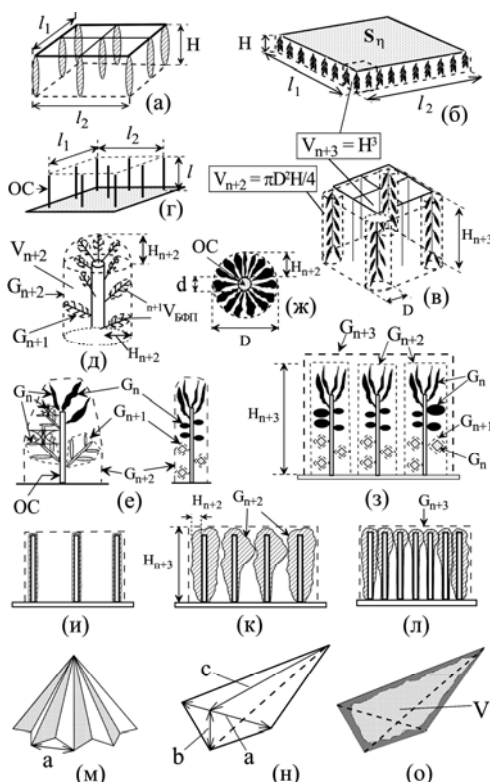


Рис. 4. Схемы искусственной рифовой конструкции (ИРК) и биокосных фитосистем техногенного происхождения:

(а, б, в) – плантационная система с вертикально спускающимися веревками, обрастающими многоклеточными водорослями; (г) – ИРК с цилиндрическими опорными структурами (ОС) вертикально жестко закрепленными на поверхности четырехугольной пластиковой пластины; (д–ж) – отдельно стоящие опорные структуры, обросшие многоклеточными водорослями; опорные структуры в структуре ИРК, обросшие многоклеточными (з) и одноклеточными (и–л) водоросли при разной плотности их расположения на горизонтальной поверхности; опорная конструкция типа «конус» (м) и отдельно ее межрёберное пространство до (н) и после (о) заселения диатомовыми водорослями. l_1 , l_2 и l – линейные параметры ИРК; V_{n+2} , V_{n+3} – объем обитаемого пространства растений на отдельной опорной структуре и растений ИРК или плантации; H – высота растительного полога, формируемого как на отдельно взятой опорной структуре, так и в целом на ИРК; G_n , G_{n+1} , G_{n+2} , G_{n+3} – соответственно, граница поверхности тела, граница кронового пространства, обитаемого пространства растений отдельной опорной структуры и в целом на ИРК; d , D – соответственно диаметр опорной структуры и растительного полога на ней

между заселяемой поверхностью и обитаемым пространством. Растения, поселяясь, например, на искусственных рифовых конструкциях, погруженных в воду, вычлениют часть пространства (V_{n+3}), в границах (G_{n+3}) которого располагаются тела растений (ΣV_n), опорные элементы рифовых конструкций (V_{OC}) и вода ($V_{ВОД}$), с растворенными и взвешенными в ней веществами (рис. 4, б, в, д–л, о). Другими словами, на рифовых конструкциях формируется растительный полог, определяющий внешние границы системы и ее объем:

$$V_{n+3} = \Sigma V_n + V_{OC} + V_{ВОД}. \quad (6)$$

Парники, оранжереи – это примеры техногенных фитосистем и в этом случае:

$$V_{n+4} = \Sigma V_n + V_{ТО} + V_{ГАЗ}, \quad (7)$$

где $V_{ТО}$ – объем, пространство, занятое техническим оборудованием парника, оранжереи.

Геогенные фитосистемы. Обитаемые пространства геогенных фитосистем определяются геоморфологией Земли (рис. 5). Растения осваивают пространство водоемов Земли (V_{n+4} , V_{n+5}), например, начиная с небольших дождевых луж и заканчивая океанами. Осваивают растения также и различные углубления и складки наземной поверхности Земли. По понятным причинам, глубоководные водоемы и высокогорные участки суши не могут быть полностью заполнены растениями, растения осваивают только определенную часть пространства (V_{n+4} , рис. 5, д).

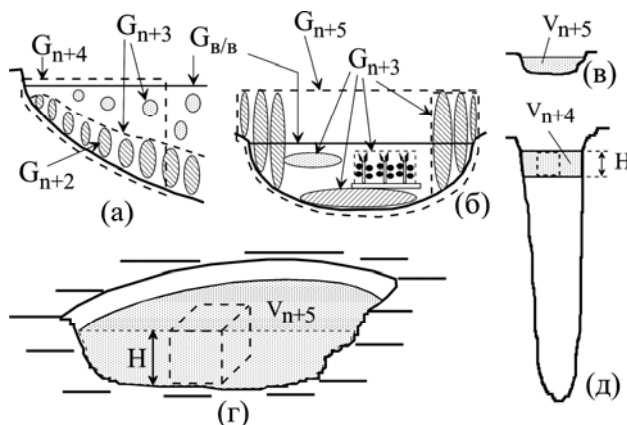


Рис. 5. Геогенные фитосистемы.

Обитаемые пространства в границах водоема (G_{n+5} , б, в, г) и в границах его участков (прибрежный участок (G_{n+4} , а), фотический слой глубоководного водоема (д)).

V_{n+5} , V_{n+4} – соответственно объемы водоема и фотической зоны.

$G_{B/B}$ – граница «вода – воздух». Остальные обозначения на рис. 4.

Применительно к биокосным системам геогенного происхождения справедливы уравнения 4 и 5.

Таким образом, в нашем случае, иерархический ряд биокосных систем, начинающийся с организменного уровня организации и заканчивающийся биокосной системой целого водоема, можно представить множеством последовательно включенных друг в друга обитаемых пространств разного размера: $V_n \subset V_{n+1} \subset V_{n+2} \subset V_{n+3} \subset V_{n+4} \subset V_{n+5}$. «Обитаемы», значит, заселены (охвачены) живым веществом. Плотность заполнения пространства живым веществом ($W/V = C_W$) коррелирует с плотностью локальных потоков свободной энергии. Другими словами, количество живого вещества (W) в том или ином объеме пространства (V) равно настолько, насколько позволяет мощность потока свободной энергии («потоки вещества живое вещество при необходимости «замыкает» и увеличивает их мощности путем увеличения скорости оборачиваемости фондов» (Gorshkov, 1995)).

Пространство геометрически организовано живым веществом (рис. 1) и описывается на языке евклидовой геометрии: линейный размер (l_n, l_{n+k}), поверхность (S_n, S_{n+k}), объем (V_n, V_{n+k}). Через граничные поверхности систем поступают свободная энергия и вещество (I_n, I_{n+k}). В пределах этих границ осуществляется работа и, в первую очередь, направленная на поддержание структуры систем ($W_n, W_{n+1}, C_{Wn}, C_{Wn+1}$). И после совершения работы, энергия в виде тепла, а вещество в виде продуктов метаболизма (J_n, J_{n+k}) удаляются за их пределы. Выделяемые метаболиты могут быть связующими элементами на следующих, более высоких уровнях организации фитосистем (Khailov, 1971).

Как можно видеть, внешне совершенно разные биокосные объекты (например, отдельное растение с его сложной морфологической структурой, посев пшеницы, смешанный лес и водоем с их многочисленными обитателями) системно подобны по определенному набору структурных и функциональных характеристик и по ним они могут сравниваться между собой (Khailov et al., 2001, 2005, 2009; Prazukin, 2000, 2003, 2005a, 2005b, 2007; Prazukin et al. 2003).

Но, при сравнении объектов разного уровня организации и происхождения, важно соблюдать принцип эмерджентности: «несводимость свойств целого к сумме свойств его частей». Например (рис. 3, δ, κ), площадь поверхности кронового пространства (S_{n+1}) не равна поверхности тела растения (S_n), а площадь граничной поверхности полога (S_{n+3}) не может быть сведена к сумме поверхностей кроновых пространств (ΣS_{n+1} , рис. 3, λ) и тем более к сумме площадей поверхностей тел всех растений полога (ΣS_n , рис. 3, κ).

Физико-геометрические и функциональные параметры биокосных фитосистем. Чтобы увидеть единообразие в описании фитосистем разного уровня организации, все рассматриваемые нами параметры систем, объединим в 9 групп и их прокомментируем.

В первую группу входят параметры, отражающие линейные и весовые характеристики телесных и надтелесных биокосных фитосистем (длина – l_n, l_{n+k} , ширина – m_n, m_{n+k} , высота – h_n, h_{n+k} , диаметр – d_n, d_{n+k} , сырая ($W_{\text{сыр}}$) и сухая ($W_{\text{сух}}$) масса растения и растений в объеме обитаемого пространства), значения которых в дальнейшем используются для расчетов объема, поверхности и длины метаболического пути объектов с разной формой и дискретностью обитаемого пространства, а также объемной концентрации сухой массы растений в нем.

Во вторую группу вошли объем ($V_n, V_{n+k}, \text{см}^3$) и внешняя поверхность ($S_n, S_{n+k}, \text{см}^2$) обитаемого пространства БФ. Внешняя поверхность любой БФ – это поверхность «входа» ($S_{\text{вх}}$), через которую поступает вещество и энергия к «живому веществу» в обитаемом пространстве. Для телесных систем, как уже это говорилось выше, их внешняя поверхность (S_n) – это поверхность тела растения, а обитаемое пространство (*biovolume*, V_n) – это пространство в границах тела растения (рис. 3, a).

Численные значения эковольюма (*ecovolume*) и его внешней поверхности для крон (V_{n+1}, S_{n+1}) разных видов и экологических групп (V_{n+2}, S_{n+2}) растений (травянистых, древесных, наземных, водных) вычисляются на основе расчета по их типовым геометрическим формам – шара, полушария, эллипса, конуса и других фигур. Численные значения эковольюма для растительного полога (V_{n+3}) вычисляются как произведение, занятой пологом площади поверхности, S_o на среднюю высоту растений в пологе H : $V_{n+3} = S_o H$, а площадь внешней поверхности (S_{n+3}) полога приравнивается нами к площади земной поверхности, занятой им (S_o), ($S_{n+3} = S_o$). Однако, для аналитических целей гораздо важнее знать приведенные значения эковольюмов ($V_{n+3} = H^3$, рис. 3, λ) и приведенной площади внешней поверхности ($S_{n+3} = S_{\text{вх}} = H^2$). Приведенные значения эковольюмов отражают как характерную видоспецифическую высоту растений, так и их реальную высоту в данном местообитании. Приведенные значения объемов эковольюма и приведенной поверхности метаболического «входа» ($S_{\text{вх}}$) используется нами и при рассмотрении

геогенных фитосистем и, в частности, в расчетах структурных (W/S_0 , C_w) и функциональных ($\mu_v^{\text{рост}}$) характеристик фитопланктонных сообществ в фотическом слое глубоководного озера или моря (рис. 5 з, д).

Третья группа. Параметры дискретности обитаемого пространства. Телесное пространство сложноразветвленного слоевища подразделяется на множество пространств его элементарных единиц (осевых структур разного порядка ветвления), характеризующихся соответствующими индивидуальными параметрами, а также на множество пространств ветвей разного порядка ветвления, также характеризующихся собственными параметрами (Khailov et al., 1993). Другими словами, тело растения рассматривается как популятивное множество элементарных структур, характеризующееся распределениями: численности (n_i), суммарного объема (ΣV_i), суммарной массы (ΣW_i) и суммарной поверхности (ΣS_i) структурных элементов i -го размерного класса в размерных рядах объектов (V_i , W_i) (Khailov et al., 1992, 1993).

В свою очередь, обитаемое пространство надтелесных систем, например, кроновое пространство (V_{n+k}), расчленяется на множество субкроновых пространств ($^kV_{n+k}$) ветвей разного порядка (рис. 2.3 ж, Khailov et al., 2001; Prazukin, 2000, 2003, 2005a, 2005b; Prazukin et al., 2003). Субкроновые пространства могут частично перекрывать друг друга, а их суммарный объем ($\Sigma^k V_{n+k}$) может превышать объем кронового пространства ($\Sigma^k V_{n+k}/V_{n+k} > 1$) (Prazukin, 2005a, 2005b;). Пространство растительного полога биогенного происхождения расчленяется на множество пространств кроновых систем (V_{n+k}), а в растительных пологах, формируемых на искусственных конструкциях, к этому добавляются обитаемые пространства, определяемые структурой конструкции (рис. 4).

Иерархически организованы и биокосные фитосистемы геогенного происхождения. У водоемов, вследствие изрезанности береговой линии (бухты разного размера, искусственные выгороды, например межбунные пространства (Kovardakov et al., 2009)) и неровностью дна (гrotы, кулуары дна, пространства между валунами и камнями разного размера) (Rybnikov, 2002) существует множество относительно изолированных эковольюмов, заселенных растениями.

Четвертая группа. Параметры, характеризующие архитектуру ветвящегося растения (Khailov et al., 1992; Prazukin, 2007) и иерархию его субкроновых пространств (n_{0k+1}/l_{0k} , K_{ss}). Закономерность построения любой ветвящейся системы и, в частности, ветвящихся слоевищ многоклеточных водорослей однотипна – обязательная соподчиненность последующих порядков предыдущими. Это делает возможным, в моделях и реально, проследить изменения размеров поглощающей поверхности и массы растения в процессе его роста или разрушения и оценить значимость каждого класса структур в структурных и обменных процессах (Kovardakov et al., 1985; Prazukin, 2000; Firsov, 1978, 1984; Khailov et al., 1992; Khailov and Firsov, 1985).

Иерархия субкроновых пространств ветвящегося растения следует иерархии его ветвей (Prazukin, 2000, 2005a, 2005b; Khailov et al., 2009).

Пятая группа. Показатели формы. Удельная поверхность и длина метаболического пути. Все разнообразие внешнего строения слоевищ многоклеточных водорослей (Vinogradova, 1977; Zinova, 1967) можно свести к комбинации трех геометрических фигур (Kovardakov et al., 1992): цилиндра, пластины и шара. Различными комбинациями из этих же фигур можно представить все разнообразие форм обитаемых пространств надтелесных систем биогенного, техногенного и геогенного происхождения (Kovardakov et al., 1996, 2002; Khailov, 2001; Prazukin, 2000, 2003, 2005a; Prazukin et al., 2003).

Отношение внешней поверхности системы к ее геометрическому объему (S_n / V_n , S_{n+k} / V_{n+k} , $\text{см}^2/\text{см}^3$) – это показатель обеспеченности обитаемого пространства внешними границами, через которые поступает вещество и энергия и удаляются продукты метаболизма (Khailov and Parchevsky, 1983; Khailov et al., 2004;

Kovardakov et al., 1985, 2005; Minicheva, 1989; Prazukin, 2000). А обратное их соотношение ($V_n/S_n = L_n$, $V_{n+k}/S_{n+k} = L_{n+k}$) интерпретируется как длина пути, которую проходят атомы и молекулы питательных веществ на пути от всех точек на внешней поверхности (S_n , S_{n+k}) системы ко всем точкам внутри ее объема (V_n , V_{n+k}) (Khailov, 2001; Khailov et al., 2001, 2002, 2005a; Prazukin, 2000, 2005a, 2005b; Prazukin et al., 2003).

Относительная длина метаболического пути ($U_n = L_n/L_{\text{шар}}$, $U_{n+k} = L_{n+k}/L_{\text{шар}}$) может рассматриваться и как показатель формы, показывающий меру отличия от формы шара (Prazukin, 2007). Чем значения U меньше единицы, тем больше форма, например, слоевища водоросли или форма кронового пространства отличаются от формы шара. Это справедливо и для геогенных систем. Для разветвленных структур (ветвей, «побегов» и целого слоевища) этот показатель может рассматриваться и как показатель разветвленности («рассеченности»).

Показатель отношения длины к диаметру (l_{0k}/d_{0k}) у осевых структур цилиндрической формы отражает их удлинённость (относительную длину) и не является в данном случае показателем формы, как это часто и удачно интерпретируется для объектов, имеющих форму, близкую к сферической, например, для шишек хвойных растений (Мамаев, 1972).

Шестая группа. Параметры объемной концентрации. Структурированное в виде клеток и тканей биоорганическое вещество (сухая масса, $W_{\text{сух}}$) размещается в объеме тела растения (V_n , рис. 3, б), одновременно эта же масса растения ($W_{\text{сух}}$) распределяется в объеме пространства надтелесной системы (V_{n+1} , рис. 3, д). Отношение сухой массы растения к объему, в котором она находится ($W_{\text{сух}}/V_n = C_{Wn}$, $W_{\text{сух}} / V_{n+1} = C_{Wn+1}$, мг (сух. массы) / см^3), рассматривается как объемная, физическая концентрация сухого вещества, то есть плотность заполнения обитаемого пространства сухим веществом (Khailov et al., 1992, 1999, 2002, 2005a; Khailov, 2001; Prazukin, 2005a, 2005b). Соответственно, для растительного полога: $C_{W(n+3)} = \Sigma W_{\text{сух}}/V_{n+3}$. Аналогичным образом рассчитывается и объемная концентрация поверхности растения в границах кронового пространства ($C_{S n+1} = S_n/V_{n+1}$, см^{-1}) и в границах растительного полога ($C_{S n+3} = S_n/V_{n+3}$) (Ross, 1975; Tooming, 1977; Bikhele et al., 1980; Tammets et al., 1989; Prazukin, 2000). Сказанное справедливо и для надтелесных систем техногенного (рис. 4) и геогенного (рис. 5) происхождения. C_W и C_S могут рассчитываться как для всего объема обитаемого пространства системы, так и для отдельной ее части, например, слоя растительного полога (Tooming, 1977; Prazukin and Khailov, 1998; Prazukin, 2005b) или кроны растения, или для целого водоема или для его отдельной части (например, для фитопланктонных сообществ в фотическом слое).

В седьмую группу входят две характеристики. Это отношение массы растений, находящейся в границах БФ к площади поверхности ее внешней границы (W/S , $\text{мг}/\text{см}^2$) и это отношение той же массы растений к площади поверхности ее горизонтальной проекции (W/S_0 , $\text{мг}/\text{см}^2$). Как мы видим, названные параметры характеризуют разные уровни организации биокосных фитосистем, но несут сходную смысловую нагрузку.

Восьмая группа. Поточные характеристики систем (Lightfoot, 1977). Через внешнюю поверхность (S_n , S_{n+k}) БФ любого уровня организации и происхождения осуществляется обмен веществ, поступление веществ в объем обитаемого пространства и удаление из него продуктов метаболизма.

Общий входной поток (P , мкг ч^{-1}) поступающих веществ в систему определяется, с одной стороны, размерами поглощающей поверхности (S , см^2), а с другой – величиной интенсивности переноса веществ через единицу поверхности ($\mu_s = dW/(S dt)$, $\text{мкг см}^{-2} \text{ч}^{-1}$): $P = \mu_s S$.

Следующей важной характеристикой потока веществ являются: интенсивность переноса веществ в расчете на единицу объема (V) системы ($\mu_v = dW/(V dt)$, $\text{мкгС см}^{-3} \text{ч}^{-1}$) и на единицу массы «живого вещества» в границах БФ ($\mu_w = dW/(W dt)$, $\text{мкгС мг}^{-1} \text{ч}^{-1}$) (Хайлов, 1984), последняя является мерой «оборачиваемости»

($\tau = 1/\mu_w$), а также на единицу длины пути переноса веществ (линейная плотность потока, $\mu_L = dW/(L dt)$, $mg\ cm^{-1}\ s^{-1}$ (Khailov et al., 2009; Prazukin et al., 2003; Khailov et al., 2005a).

Интенсивность продуктивности в расчете на единицу объема биокосной системы (μ_v) вычисляется для телесных фитосистем по уравнению ($\mu_{v,n} = \mu_w C_{w,n}$) как произведение $C_{w,n}$ на интенсивность продукционного процесса ($\mu_w = P/Wt$, где P – масса сухого вещества, синтезированная телом с сухой массой W за время t), а для надтелесных фитосистем – по ($\mu_{v,n+k} = \mu_w C_{w,n+k}$), как произведение той же интенсивности продукционного процесса на концентрацию вещества в соответствующей надтелесной фитосистеме (Khailov et al., 1993).

Девятая группа. Соотношение между параметрами разных уровней иерархически организованных БФ. Это соотношение объемов (V_{n+1}/V_n), поверхностей (S_{n+1}/S_n), длин метаболического пути (L_n/L_{n+1}) и других параметров (Khailov et al., 2001, 2002, 2009; Prazukin, 2000).

Фитосистемы разного уровня организации и их структурные и функциональные параметры

Объекты разного уровня организации		Параметры	
		Структурные	Функциональные
Телесные системы (biolume)	Целое растение	$W_n, V_n, S_n, (S/W)_n, (S/V)_n, L_n = V_n/S_n, C_{w,n}, C_{s,n}$	$\mu_{w,n}, \mu_{v,n}, \mu_{s,n}, \mu_{L,n}, P_n$
	Ветви k - го порядка	${}^k W_n, {}^k V_n, {}^k S_n, {}^k (S/W)_n, {}^k (S/V)_n, {}^k L_n = {}^k V_n/{}^k S_n, {}^k C_{w,n}, {}^k C_{s,n}$	${}^k \mu_{w,n}, {}^k \mu_{v,n}, {}^k \mu_{s,n}, {}^k \mu_{L,n}, {}^k P_n$
	Осевые структуры 0k - го порядка	${}^{0k} W_n, {}^{0k} V_n, {}^{0k} S_n, {}^{0k} (S/W)_n, {}^{0k} (S/V)_n, {}^{0k} L_n = {}^{0k} V_n/{}^{0k} S_n, {}^{0k} C_{w,n}, {}^{0k} C_{s,n}$	${}^{0k} \mu_{w,n}, {}^{0k} \mu_{v,n}, {}^{0k} \mu_{s,n}, {}^{0k} \mu_{L,n}, {}^{0k} P_n$
Надтелесные системы (ecovolume)	Кроновые системы	$W_{n+1}, V_{n+1}, S_{n+1}, (S/W)_{n+1}, (S/V)_{n+1}, L_{n+1} = V_{n+1}/S_{n+1}, C_{w,n+1}, C_{s,n+1}$	$\mu_{w,n+1}, \mu_{v,n+1}, \mu_{s,n+1}, \mu_{L,n+1}, P_{n+1}$
	Субкроновые системы	${}^k W_{n+1}, {}^k V_{n+1}, {}^k S_{n+1}, {}^k (S/W)_{n+1}, {}^k (S/V)_{n+1}, {}^k L_{n+1} = {}^k V_{n+1}/{}^k S_{n+1}, {}^k C_{w,n+1}, {}^k C_{s,n+1}$	${}^k \mu_{w,n+1}, {}^k \mu_{v,n+1}, {}^k \mu_{s,n+1}, {}^k \mu_{L,n+1}, {}^k P_{n+1}$
	Растительные пологи	$W_{n+3}, V_{n+3}, S_{n+3}, (S/W)_{n+3}, (S/V)_{n+3}, L_{n+3} = V_{n+3}/S_{n+3}, C_{w,n+3}, C_{s,n+3}$	$\mu_{w,n+3}, \mu_{v,n+3}, \mu_{s,n+3}, \mu_{L,n+3}, P_{n+3}$
	Фитосистемы отдельно взятых водоемов	$W_{n+5}, V_{n+5}, S_{n+5}, (S/W)_{n+5}, (S/V)_{n+5}, L_{n+5} = V_{n+5}/S_{n+5}, C_{w,n+5}, C_{s,n+5}$	$\mu_{w,n+5}, \mu_{v,n+5}, \mu_{s,n+5}, \mu_{L,n+5}, P_{n+5}$

Заключая статью, обратим внимание, что из большого числа параметров, рассмотренных нами, может быть отобран ограниченный набор, позволяющий однотипно описывать и сравнивать фитосистемы разного уровня организации и происхождения. В эту группу входят следующие параметры: масса (W_n, W_{n+k}), объём (V_n, V_{n+k}), площадь поверхности (S_n, S_{n+k}), длина метаболического пути (L_n, L_{n+k}), концентрация вещества ($C_{w,n}, C_{w,n+k}$) и площади поверхности ($C_{s,n}, C_{s,n+k}$), интенсивность процесса, рассчитанная на единицу массы ($\mu_{w,n}, \mu_{w,n+k}$), объёма ($\mu_{v,n}, \mu_{v,n+k}$) и площади поверхности ($\mu_{s,n}, \mu_{s,n+k}$), скорости процессов (P_n, P_{n+k}).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Bikhele, Z. N., Moldau, A. H., Ross, J. K., 1980. Mathematicheskoe modelirovanie transpiracii i fotosinteza i rasteni pri nedostatke pochvennoi vlagi [Mathematical

modeling of transpiration and photosynthesis in plants with a lack of soil moisture]. Gidrometeoizdat, Leningrad (in Russian).

Byallovich, J. P., 1960. Biogeocenoticheskie horizonty [Biogeocenotical horizons]. Proc. Moscow Society of Naturalists. Dep. biol. 3, 43–60 (in Russian).

Firsov, Yu. K., 1978. Svaz fiziologicheskikh funktsiy morfologicheskikh elementov cistoziri s ikh vozrastom i stukturoy [Communication physiological functions morphological elements Cystoseira thalli with their age and structure]. Biologia mora 44, 68–74 (in Russian).

Firsov, Yu. K., 1984. Ierarkhicheskiy strukturno-funktsionalniy analiz morskoy mnogokletochnoy vodorosli cistozira barbata. [Hierarchical structural and functional analysis of multicellular marine algae Cystoseira Barbat: Author. diss. ... Candidate. Science] avtoreph. diss. kand. biol. nauk, Sevastopol (in Russian).

Gorshkov, V. G., 1990. Energetika biosferi i ustoychivost sostoaniya okrugayshei sredi [Energy biosphere and environmental sustainability]. Itogi nauki. Teoricheskoe i obshche voprosi geografii. VINITI, Moscow. 7, 237–240 (in Russian).

Gorshkov, V. G., 1995. Fizicheskie i biologicheskie osnovy ustoychivosti biosferi [Physical and biological bases of stability of the biosphere]. VINITI, Moscow (in Russian).

Kovardakov, S. A., Mordashev, V. I., Prazukin, A. V. 2005. Matematicheskie usrednenie velichini kak strukturno-funktsionalnie pokazateli populativnih obektov v vodnih ekosistemah [Mathematical averaged values as structural and functional indicators populyativnykh objects in aquatic ecosystems]. Proceedings of the 13 International Conference. Sevastopol. 139–140 (in Russian).

Kovardakov, S. A., Prazukin, A. V., Firsov, J. K., 2009. Sravnenie mnogoletnikh izmeneniy strukturnikh i funktsionalnikh sostoaniy pribreznikh chernomorskiikh phitosistem s razlichnoy antropogennoy nagruzko [Comparing long-term changes of structural and functional states of the Black Sea coastal phytocenoses different anthropogenic load]. Control Systems Environment: Tools, information technology and monitoring: Sat scientific. tr. NAS Marine Hydrophysical Inst. Sevastopol. 377–384 (in Russian).

Kovardakov, S. A., Prazukin, A. V., Firsov, F. K., Popov, A. E., 1985. Kompleksnaya adaptatsiya cistosiri k gradientnim usloviyam [Cystoseira complex adaptation to the gradient conditions]. Naukova Dumka, Kiev (in Russian).

Khailov, K. M., 1971. Ekologicheskiiy metabolism in more [The environmental

metabolism in the sea]. Naukova Dumka, Kyiv (in Russian).

Khailov, K. M., 1984. Dva sposoba virageniya intensivnosti fotosinteza u morskikh makrofitov v svazi ikh funktsionalnoy morfologii [Two ways of expressing the intensity of photosynthesis in marine macrophytes in relation to their functional morphology]. Biologia mora. 6, 36–39 (in Russian).

Khailov, K. M., 2001. Chto takoe jizn na Zemle? [What is life on Earth?] Druk, Odessa (in Russian).

Khailov, K. M., Firsov, J. K., 1985. Raschet velichini assimilatsionnoy poverkhnosti na raznikh urovnakh organizatsii [Calculation of assimilation surface Sargassum at different levels of organization]. Botanicheskiiy jurnal. 70(2), 215–221 (in Russian).

Khailov, K. M., Kovardakov, S. A., Prazukin, A. V., 2004. Biologicheskie poverkhnosti mnogourovnevnikh phitosistem i raschet ikh chislennikh kharakteristik [Biological phytosystems multilevel surface and calculation of their numerical characteristics]. Marine ecological journal. 3(3), 61–77 (in Russian).

Khailov, K. M., Kovardakov, S. A., Prazukin, A. V., 2005a. Balansovye uslovia podderjaniya kachestva morskoy sredi v rekreacionnikh akvatoriakh [Balance conditions to maintain the quality of the marine environment in recreational waters]. Geopolitika i ekoedynamika regionov: nauchniy jurnal. 1(2), 75–82 (in Russian).

Khailov, K. M., Kovardakov, S. A., Prazukin, A. V., Rabinovich, M. A., 1993. Ocenka produktivnosti vodorosley v biokosnikh phitosistemakh na osnove obobschennogo uravneniya intensivnosti rosta [Evaluation of the productivity of algae in biokosnykh phytosystems generalized equation based on the intensity of growth]. Fiziologiya rasteniy. 40(6), 856–862 (in Russian).

Khailov, K. M., Kovardakov, S. A., Shoshina, E. V., 2002. Svaz obyemnoy koncentracii donnikh vodorosley s geometricheskimi parametrami obitaemikh prostranstv [Communication volume concentration of benthic algae with geometric parameters inhabited spaces]. Oceanologia. 42(3), 402–407 (in Russian).

Khailov, K. M., Parchevsky, V. P., 1983. Ierarkhicheskaya regulatsiya struktury i funktsii morskikh rasteniy [Hierarchical regulation of the structure and function of marine plants]. Dumka, Kyiv (in Russian).

Khailov, K. M., Prazukin, A. V., 2008. Spivvidnoshennaya voda, povitra i bioorganichnoi rehovini v phitosistemakh raznogo rivena organizatsii [The ratio of water, air and

bioorganic matter phytosystems in different levels of the organization]. *Agrarniy visnik Prichornomora: zbornik nauk. prac.* Odesa. 46, 65–76 (in Ukrainian).

Khailov, K. M., Prazukin, A. V., Kovardakov, S. A., Rygalov, V. E., 1992. Funkcionalnaa morfologiya morskikh mbogokletochnikh vodorosly [Functional morphology of marine multicellular algae]. Naukova Dumka, Kyiv (in Russian).

Khailov, K. M., Prazukin, A. V., Gubarov, V. V. 1996a. Sravnitelnaa oценка koncentracii phitomassi v obinaemom prostranstve nazemnykh i vodnykh phitosistem [Comparative evaluation of concentration in the biomass of the inhabited space of terrestrial and aquatic biokosnyh phytosystems]. *Ecologia*. 1, 243–248 (in Russian).

Khailov, K. M., Prazukin, A. V., Gubarov, V. V. 1996b. Comparative estimation of phytomass concentration in the inhabited space of terrestrial and aquatic bio–abiotic phytosystems. *Russian Journal of Ecology*. 27(4), 235–240.

Khailov, K. M., Prazukin, A. V., Minin, N. I., Pavlova, E. V., 1999. Concentraciia i funkcionalnaa aktivnosty jivogo veshchestva v sgscheniakh raznogo urovna organizacii [Concentration and functional activity of living matter in the condensations of different levels of organization]. *Uspekhi sovremennoi biologii*. 119(1), 3–14 (in Russian).

Khailov, K. M., Prazukin, A. V., Smolev, D. M., Yurchenko, Yu. Yu., 2009. Shkola biogeoeologii [The school of biogeoeology]. ECOS–Hydrophysics, Sevastopol (in Russian).

Khailov, K. M., Rygalov, V. E., Kovardakov, S. A., Prazukin, A. V., 1995. Svaz koncentracii phitomfssi i obyom bligayshego funktsionalnogo prostranstva v vodnykh biokosnykh sistemakh [Communication phytomass concentration and volume of functional space in the nearest water biokosnyh systems]. *Vodnye resursy*. 22(6), 738–745 (in Russian).

Khailov, K., Prazukin, A., Yurchenko, Yu., 2009. Ecologichna kriza v naseleniyi chastini Zemli ta narodna osvita [Ecological crisis in the populated part of the Earth and public education]. *Svitoglad*. 4, 28–34 (in Ukrainian).

Khailov, K. M., Yurchenko, Yu. Yu., Shoshina, E. E., 2001. O svazi geometricheskikh, biologicheskikh i trofodinamicheskikh kharakteristik vodnykh biokosnykh phitosistem [On the connection geometry, and biological characteristics of water trophodynamic biokosnyh phytosystems]. *Oceanologia*. 41(3), 400–407 (in Russian).

Khailov, K. M., Yurchenko, Yu. Yu., Snigiryov, S. M., 2005b. Ot rasteniia k biosphere: Antiuchebnik [From plant to biosphere: Antiuchebnik]. Druk, Odessa (in Russian).

Lightfoot, E., 1977. Iavleniia perenosy v jivikh sistemakh [Transport phenomena in living systems]. Mir, Moscow (in Russian).

Mamaev, S. A., 1972. Phormy vnutrividovoy izmenchivosti drevesnykh rasteniy (na primere semeistva Pinaceae na Urale) [Forms intraspecific variation of woody plants (for example, family Pinaceae in the Urals)]. Nauka, Moscow (in Russian).

Minicheva, G. G., 1989. Pokazateli poverkhnosti vodorosley v strukturno-funktsionalnoy ocenke makrofitobentosa [Indicators surface algae in the structural and functional assessment makrofitobentosa] Author. dis. ... Cand. Science, Sevastopol (in Russian).

Prazukin, A. V., 2000. Struktura kronovogo prostranstva sloevisha chernomorskoy bury vodorosli cistoziri (*Cystoseira crinita* (Desf.) Bory) (Phaeophyta) [Structure of the crown space thalli Black Sea brown alga *Cystoseira* (*Systoseira crinita* (Desf.) Bory) (Phaeophyta)]. *Algologia*. 10(2), 119–130 (in Russian).

Prazukin, A. V., 2003. Vodnye biocosny phytosistemy prirodnoy i antropogennoy proiskhozhniia (strukturnoe sopostavlenie) [Water bioinert phytosystems natural and anthropogenic origin (structural comparison)]. *Marine ecological journal*. 2(2), 16–28 (in Russian).

Prazukin, A. V., 2005a. Ierarkhicheskoe chlenenie obitaemogo prostranstva i ego zapolnenie bioorganicheskim veshchestvom na primere chernomorskoy vodorosli cistoziri (*Cystoseira crinita* (Desf.) Bory) [Hierarchical division of habitable space and filling it with bio–organic substance as an example of the Black Sea algae *Cystoseira* (*Cystoseira crinita* (Desf.) Bory)]. *Marine ecological journal*. 4(3), 15–36 (in Russian).

Prazukin, A. V., 2005b. Biocosny phytosistemy v metrike phytogidrosferi [Bioinert phytosystems metric phytogidrosphere]. *Environmental Control Systems: collection of scientific papers*, Marine Hydrophysical Institute National Academy of Sciences of Ukraine. Sevastopol. 288–292 (in Russian).

Prazukin, A. V., 2007. Razlichnye primeri opisaniia phitosistem raznogo urovna organizacii na primere zelenoy vodorosli briopsis (*Bryopsis Lamouroux*) Chernoe more [Various techniques phytosystems describe various levels of organization as an example of green algae briopsis (*Bryopsis Lamouroux*) Black Sea]. *Marine ecological journal*. 6(1), 66–87 (in Russian).

- Prazukin, A. V., Khailov, K. M., 1998.** Prostranstvennaya organizatsiya pologa diatomovogo obrastaniya na eksperimentalnykh konstruktsiyakh v sravnenii s drugimi fitosistemami [Spatial organization canopy diatom fouling on experimental designs in comparison with other phytosystems]. *Hydrobiologicheskii Zhurnal*. 34(5), 38–48 (in Russian).
- Prazukin, A. V., Khailov, K. M., 2000.** The spatial organization of diatomaceous fouling on experimental constructions (Compared to other phytosystems). *Hydrobiological Journal*. 36, 24–33 (in Russian).
- Prazukin, A. V., Khailov, K. M., Kovardakov, S. A., 2003.** Sravnenie strukturno-funktsionalnykh sootnosheniy v morskikh fitosistemakh raznogo urovnya organizatsii na osnove ikh unipitsirovannogo opisanija [Comparison of structure–function relationships in marine phytosystems various levels of organization based on their unified description]. *Marine ecological journal*. 2(3), 51–62 (in Russian).
- Ross, J. K., 1975.** Radiatsionnyy regim i arkhitektonika rastitel'nogo pokrova [Radiation regime and architectonics vegetation]. *Gidrometeoizdat, Leningrad* (in Russian).
- Rybnikov, P. V., 2002.** Prostranstvennaya organizatsiya soobshchestva zoobiontov phyllophori rebristoy (Phyllophora nervosa) na skalisto-y sublitrali Chernogo morya. *Biologiya chernomorskiykh makrofitov* [Spatial organization of community zoobionts of Phyllophora ribbed (Phyllophora nervosa) on the rocky subtidal zone of the Black Sea. *Biology Black Sea macrophytes*]. Moscow, Russian Academy of Sciences, Institute of Oceanology. 122–133 (in Russian).
- Sukachev, V. I., 1972.** Izbrannye trudy v trekh tomakh. Tom I Osnovy lesnoy tipologii i biogeotsenologii [Selected works in three volumes. Volume I Fundamentals of forest typology and biogeocenology]. Nauka, Leningrad (in Russian).
- Sukachev, V. N., Dylis, N. V., 1964.** Biogeotsenoz kak vyrazheniye vzaimodeystviya zhivoy i nejivoy prirody na poverkhnosti Zemli: sootnosheniye ponyatiy "biogeotsenoz", "ekosistema", "geograficheskoye landshaft" i "fazitsiya" [Biogeocenosis as an expression of the interaction of animate and inanimate nature on the surface of the Earth: relationship between the concepts "biogeocenosis", "ecosystem", "geographical landscape" and "facies"]. *Principles of Forest biogeocenology*. Nauka, Moscow (in Russian).
- Tammets, T. H., Tooming, H. G., Myaetalu, H. I., 1989.** Proekt metodiki opredeleniya ploshchdi listev poseva kortophela [Project methodology for determining AREA leaf planting potatoes]. *Gidrometeoizdat, Leningrad* (in Russian).
- Tooming, H. G., 1977.** Solnechnaya radiatsiya i formirovaniye urozhaya [Solar radiation and yield formation]. *Gidrometeoizdat, Leningrad* (in Russian).
- Vinogradova, K. L., 1977.** Klass siphonovyy (Siphonophyceae) [Class siphon (Siphonophyceae)]. *Gizn rasteni. Vodorosli*. Lishaniki. 3, 297–308. Prosvescheniye, Moscow (in Russian).
- Zinova, A. D., 1967.** Opredeliteli zelenykh, burikh i krasnykh vodorosley uzhnykh morey SSSR [Determinant of green, brown and red algae of the southern seas of the USSR]. Nauka, Leningrad (in Russian).

Стаття надійшла в редакцію: 13.01.2014

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

BIOGEOCENOLOGY, PHYTOCENOLOGY AND GEOBOTANY



N. I. Glibovytska 
V. I. Parpan

Dr. Sci. (Biol.), Professor

UDK 504.054:581.52

*Vasyl Stefanyk Precarpathian National University,
Shevchenko str., 57, 76018, Ivano-Frankivsk, Ukraine*

THE METABOLIC CHARACTERISTICS OF SMALL-LEAVED LINDEN (*TILIA CORDATA* MILL.) ADAPTATION UNDER URBANIZED ENVIRONMENT CONDITIONS

Abstract. The increase of anthropogenic pollution in urboecosystem leads to degradation of woody vegetation that adversely affects the functioning of the protective green space. The impact of anthropogenic loading is shown by change of a series of physiological and biochemical processes and the formation of adaptive mechanisms in plants. The ability of plants to respond appropriately to external stimuli is a necessary condition of their existence and adaptation to environmental conditions. Metabolic reorganization in plant cells that occur in response to exogenous pollutants plays a major role in determining their resistance to adverse factors. As the body adapts within genetically inherited norms reactions, its ability to withstand fluctuations in environmental factors is determined by individual ecological potency.

One of the most sensitive species to anthropogenic pollution is small-leaved linden (*Tilia cordata* Mill.), which is widely presented in dendroflora of Ukraine cities. Analysis of the species metabolic characteristics in terms of urbanized environment and the assessment of the prospects of identified changes using in practice bioindication research is the goal of this work.

One of the central components of plant metabolism is protein metabolism. In terms of all local ecotypes of the studied urboecosystem a statistically significant change in the content of total nitrogen and protein in small-leaved linden leaf plates to control was observed. Reducing the concentration of total nitrogen and protein in species leaves is in accordance with the degree of urbotechnogenic pressure enhancement in the next different-functional landscape city zones: the area of the integrated landscaping → the area of the house-building complex → the area of transport routes → the area of industrial complexes.

Carbohydrate metabolism in plants under stressful conditions changes towards accumulation of soluble sugars, which takes place in local ecotypes of Ivano-Frankivsk urboecosystem. The content of the above-mentioned substances in lime leaves increases from 4.6 % in the area of integrated landscaping to 23.8 % in the area of industrial complexes, compared to the background territory. The content of mineral elements in *Tilia cordata* leaves within the city ranges from 119 mg/g in the area of the integrated landscaping up to 159 mg/g in the area of industrial complexes, respectively, 1.5–2 times higher than the figure on the background area.

Fall of starch concentration in the small-leaved leaves is in accordance with the level of anthropogenic impact intensification in the local city ecotypes, ranging from 1.2 times in the area of integrated landscaping to 1.6 times in the area of industrial complexes. Reducing the polysaccharide

 Corresponding author. Tel.: +38097-985-94-88. E-mail: nataly.glibovytska@gmail.com

DOI: 10.15421/031402

amount in plant's assimilation organs is caused by inhibition of photosynthesis and the activity of enzymes that control its metabolism.

In terms of urboecosystem the close correlation relationships were set between the vast majority of the analyzed organic and mineral components of small-leaved linden leaves. The presence of water-soluble carbohydrates in leaves significantly correlated directly proportional with the content of mineral elements and inversely proportional to the number of nitrogenous compounds and polysaccharides. Accumulation of ash by lime leaves adversely affects the synthesis of proteins, starch and cellulose accumulation and stimulates the formation of lipids, which clearly reflects environmental urbotecnogenic pressure and formation of defensive reactions in plants. Nitrogenous compounds are formed in close direct connection with polysaccharides and at the same time have an inverse correlation with the parameters of the fat-like substances content in the species leaf plates. Positive dependence was found between the cellulose and starch content in assimilative organs, accurate feedback was established between the synthesis of starch and lipids. Fat-like compounds metabolism is associated by weak positive relationship with the content of water soluble carbohydrates in leaves, but is not correlated with cellulose tissues content.

Given the informative content of the main parameters of mineral and organic components of *Tilia cordata* leaves and species sensitivity to anthropogenic pollution, it is rational to use it as bioindicator in assessing the ecological condition of urbanized territories.

Keywords: *Tilia cordata* Mill., metabolic characteristics, adaptation, urbanized environment, bioindication.

УДК 504.054:581.52

Н. И. Глибовицкая

В. И. Парпан

д-р биол. наук, проф.

*Прикарпатский национальный университет им. В. Стефаника,
ул. Шевченка, 57, 76018, г. Ивано-Франковск, Украина,
тел.: +38097-985-94-88, e-mail: nataly.glibovytska@gmail.com*

МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АДАПТАЦИИ ЛИПЫ СЕРДЦЕЛИСТНОЙ (*TILIA CORDATA* MILL.) В УСЛОВИЯХ УРБОСРЕДЫ

Исследованы метаболические особенности адаптации липы сердцелистной к условиям урбанизированной среды. Установлено влияние антропогенного загрязнения на содержание основных органических и минеральных компонентов ассимиляционного аппарата растения. Выявлены связи между исследуемыми параметрами обмена веществ вида. Обоснована перспективность использования *Tilia cordata* как биоиндикатора в мониторинговых исследованиях для оценки состояния окружающей среды в условиях урботехногенной нагрузки.

Ключевые слова: *Tilia cordata* Mill., метаболические особенности, адаптация, урбосреда, биоиндикация.

УДК 504.054:581.52

Н. І. Глібовицька

В. І. Парпан

д-р біол. наук, проф.

*Прикарпатський національний університет ім. В. Стефаника,
вул. Шевченка, 57, 76018, м. Івано-Франківськ, Україна,
тел.: +38097-985-94-88, e-mail: nataly.glibovytska@gmail.com*

МЕТАБОЛІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ АДАПТАЦІЇ ЛИПИ СЕРДЦЕЛИСТОЇ (*TILIA CORDATA* MILL.) В УМОВАХ УРБОСЕРЕДОВИЩА

Досліджено метаболічні особливості адаптації липи серцелистої до умов урбанізованого середовища. Встановлено вплив антропогенного забруднення на вміст основних органічних та мінеральних компонентів асиміляційного апарату рослини. Виявлено зв'язки між досліджуваними параметрами обміну речовин виду. Обґрунтовано перспективність використання *Tilia cordata* як біоіндикатора в моніторингових дослідженнях для оцінки стану довкілля в умовах урботехногенного навантаження.

Ключові слова: *Tilia cordata* Mill., метаболічні особливості, адаптація, урбосередовище, біоіндикація.

ВСТУП

Зростання антропогенного забруднення довкілля в урбоекосистемах призводить до погіршення стану деревної рослинності, що негативно відображається на функціонуванні захисних зелених насаджень (Bessonova and Yusyryva, 2001; Yusyryva and Koval, 2012). Вплив техногенного навантаження проявляється зміною низки фізіолого-біохімічних процесів та формуванням пристосувально-захисних механізмів у рослин (Parpan and Mylen'ka, 2009; Piskova and Grishko, 2010). Здатність рослин реагувати відповідним чином на зовнішні впливи є необхідною умовою їхнього існування та адаптації до умов довкілля (Zaitseva and Dolgova, 2012).

Метаболічні перебудови в рослинних клітинах, які виникають у відповідь на дію екзогенних полутантів, відіграють головну роль у визначенні їх стійкості до несприятливих чинників (Ivanchenko, 2006; Sakalo and Marchenko, 2009). Оскільки організм адаптується в межах генетично успадкованих норм реакцій, його здатність витримувати коливання факторів зовнішнього середовища визначена індивідуальною екологічною потенцією (Gnativ, 2003).

Одним із найбільш чутливих до антропогенного забруднення видів є липа серцелиста (*Tilia cordata* Mill.), яка широко представлена у дендрофлорі міст України (Sovakova, 2013). Аналіз метаболічних особливостей виду в умовах урбанізованого середовища та оцінка перспективи використання виявлених змін у практиці біоіндикаційних досліджень є метою даної роботи.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводились в Івано-Франківській урбоекосистемі, яка розташована у межах річки Бистриці Солотвинської та Бистриці Надвірнянської на межі Західного Лісостепу і Прикарпаття.

За принципом ландшафтно-функціонального зонування території (Parpan and Mylen'ka, 2010), для досліджуваної урбоекосистеми розроблено моніторингову мережу, згідно з якою виділено дослідні ділянки, що належать до зони транспортних шляхів, зони промислових комплексів, зони житлової забудови та зони комплексного озеленення. Як фонову обрано умовно екологічно чисту територію – урочище Дем'янів Лаз, розташовану за межами міста.

На зазначених моніторингових ділянках здійснено оцінку впливу урботехногенних чинників на вміст основних органічних та мінеральних компонентів у листках липи серцелистої.

Зразки рослинного матеріалу відбирали з підвітряного боку дерева в ярусах за одного порядку галушення у період завершення повного розвитку (серпень-вересень) асиміляційної системи (Parpan and Mylen'ka, 2009).

Концентрацію загального нітрогену та білків в листових пластинках визначали прискореним мікрометодом К'ельдаля (State Standard 13496.4-93, 1996). Кількісне визначення вмісту водорозчинних вуглеводів здійснювали методом Дюбуа (Turkyna and Sokolova, 1971). Зольність сухої речовини листків визначали за методом Х. М. Починок (Pochupok, 1976). Дослідження вмісту целюлози в листках виконували методом Геннеберг і Штомана (State Standard 13496.2-91, 1996), крохмалю – колориметричним методом (Panova and Schogolev, 2010). Вміст ліпідів визначали відповідно до апробованих методик (State Standard 13496.15-97, 1996).

На одну дослідну ділянку проводили визначення кожного параметра у трикратній повторності, при цьому аналізували 3–5 дерев виду.

Математичну обробку результатів проводили варіаційно-статистичним методом. Достовірність відмінності одержаних експериментальних даних із контрольними оцінювали за допомогою t-критерію Стюдента. Нульову гіпотезу відкидали при $P \leq 0,05$. Всі розрахунки проводили за допомогою редактора MS Excel 2007 та програмного пакета Statistica 6,0.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Однією з центральних ланок метаболізму рослин є білковий обмін (Tyshchenko, 2012). Різноманітні несприятливі фактори довкілля призводять до пригнічення синтезу білків, які є в нормі, та утворення специфічних стресових білків, характерних для відповіді на дію конкретного чинника (Kosakivska and Holov'yanko, 2007).

В умовах досліджених локальних екотопів Івано-Франківської урбоєкосистеми спостерігається статистично достовірна зміна вмісту загального нітрогену та білків у листових пластинках липи серцелистої щодо контролю (табл. 1). Зменшення концентрації загального нітрогену та білків у листках виду відбувається відповідно до посилення ступеня урботехногенного пресингу в наступному ряді ландшафтно-функціональних зон міста: зона комплексного озеленення → зона житлової забудови → зона транспортних шляхів → зона промислових комплексів.

Таблиця 1

Вміст основних органічних і мінеральних компонентів у листках *Tilia cordata* Mill. в умовах різнофункціональних зон Івано-Франківської урбоєкосистеми (мг/г сухої маси)

Досліджувані параметри	Зона дослідження				
	Фонові територія	Зона промислових комплексів	Зона житлової забудови	Зона транспортних шляхів	Зона комплексного озеленення
Зола	79±0,6	159±13,3*	139±13,7*	138±14,8*	119±8,1*
Загальний нітроген	30,8±0,8	22,8±1,5*	25,6±1,7*	23,5±2,1*	27,3±1,3*
Білки	192,7±1,1	142,2±9,1*	159,7±10,4*	147,1±12,9*	170,5±7,8*
Водорозчинні вуглеводи	1,358±0,02	1,681±0,03*	1,669±0,01*	1,676±0,02*	1,420±0,14
Крохмаль	19,7±0,12	12,69±1,93*	15,38±1,15*	15,03±0,79*	16,03±1,99
Целюлоза	135,0±2,0	116,7±6,1*	98,0±3,3*	115,4±5,7*	131,2±4,1
Ліпіди	79,0±2,0	119±4,2*	85,1±4,0	93,2±1,8*	104,8±5,7*

Примітка: * – відмінності з контролем достовірні при $P \leq 0,05$.

За умови антропогенного забруднення довкілля велике значення у формуванні адаптивного потенціалу рослин належить водорозчинним вуглеводам, функції яких пов'язані з нейтралізацією вільних радикалів, метаболічною детоксикацією, захистом білково-ліпідних комплексів клітин у разі зневоднення (Molotkovskyy and Zhestova, 1964; Kulagin, 1974; Pharr, 1995; Sakalo and Marchenko, 2009; Chernikova, 2009). Вуглеводний обмін рослин у стресових умовах змінюється в бік накопичення водорозчинних цукрів (Brown, 1972; Bessonova and Pryumak, 2006), що має місце в умовах різнофункціональних зон урбоєкосистеми Івано-Франківська. Вміст вище зазначених речовин у листках липи зростає від 4,6 % у зоні комплексного озеленення до 23,8 % у зоні промислових комплексів, порівняно з фоновією територією. Результати свідчать про чутливість вуглеводного обміну до мінерального живлення виду, оскільки спостерігається тенденція до нагромадження цукрів у листовому апараті відповідно до підвищення частки золи у ньому. Вміст зольних елементів у листках *Tilia cordata* в межах міста коливається від 119 мг/г у зоні комплексного озеленення до 159 мг/г у зоні промислових комплексів, що, відповідно, у 1,5–2 рази перевищує даний показник на фоновій території.

Згідно з літературними даними (Kucheryavui, 2001), липа належить до дерев жирового типу, в яких восени крохмаль у вегетативних органах перетворюється переважно на жирові масла. В умовах усіх ландшафтно-функціональних зон Івано-Франківської урбоєкосистеми на фоні зниження вмісту крохмалю у листових пластинках липи серцелистої спостерігається зростання вмісту ліпідів. Падіння

концентрації полісахариду в листках виду відбувається відповідно до посилення рівня антропогенного навантаження в локальних екотопах міста і становить від 1,2 разів у зоні комплексного озеленення до 1,6 разів у зоні промислових комплексів. Зниження кількості крохмалю в асиміляційних органах рослин викликане інгібуванням процесів фотосинтезу та активності ферментів, що контролюють його метаболізм (Bessonova, 2011).

Формування менш целюлозомістких листків *Tilia cordata* і зростання вмісту в них ліпідів свідчить про вплив ксерофітних умов середовища міста і адаптацію виду шляхом додаткової кутизації покривних тканин листків (Gnativ, 2003).

В умовах урбоєкосистеми встановлено наявність тісних кореляційних взаємозв'язків між переважною більшістю проаналізованих органічних та мінеральних компонентів листків *Tilia cordata* (табл. 2).

Таблиця 2

Кореляційні залежності між окремими метаболічними показниками *Tilia cordata* Mill. в умовах урбоєкосистеми Івано-Франківська

Параметри	Коефіцієнт кореляції, r					
	Зола	Загальний нітроген	Білки	Крохмаль	Целюлоза	Ліпіди
Загальний нітроген	-0,97	–	X	X	X	X
Білки	-0,97	1,00	–	X	X	X
Водорозчинні вуглеводи	0,90	-0,92	-0,92	-0,83	-0,85	0,34
Крохмаль	-0,99	0,95	0,96	–	X	X
Целюлоза	-0,69	0,62	0,62	0,56	–	X
Ліпіди	0,68	-0,64	-0,65	-0,80	0,02	–

Присутність у листках виду водорозчинних вуглеводів достовірно прямо пропорційно корелює з вмістом зольних елементів та обернено пропорційно з кількістю азотистих сполук і полісахаридів. Нагромадження золи листками липи негативно впливає на синтез білків, акумуляцію крохмалю і целюлози та стимулює утворення ліпідів, що яскраво відображає урботехногенний тиск довкілля та формування пристосувально-захисних реакцій у рослин. Азотисті сполуки утворюються у тісному прямому зв'язку із полісахаридами і водночас мають обернену кореляцію з параметрами вмісту жироподібних речовин у листових пластинках липи. Позитивна залежність виявлена між вмістом у асиміляційних органах виду целюлози і крохмалю, достовірний зворотний зв'язок встановлено між синтезом крохмалю та ліпідів. Метаболізм жироподібних сполук пов'язаний слабким позитивним зв'язком з вмістом у листках водорозчинних вуглеводів, проте не корелює із целюлозомісткістю тканин.

ВИСНОВКИ

1. В умовах урбанізованого середовища в листовому апараті *Tilia cordata* спостерігається посилення процесів гідролізу азотистих сполук та полісахаридів, що відбувається прямо пропорційно до зростання градієнту антропогенного навантаження на екотопи.

2. Компенсаторні метаболічні перебудови в організмі липи серцелистої, зокрема активація процесу синтезу водорозчинних вуглеводів та ліпідів у листових пластинках рослин, є адаптивною відповіддю досліджуваного виду на трансформовані умови середовища існування. Урботехногенне забруднення довкілля мобілізує можливості рослин, підвищуючи їх стійкість та пристосування до навколишнього середовища.

3. Враховуючи інформативність параметрів вмісту основних мінеральних та органічних компонентів листків *Tilia cordata* і чутливість виду до антропогенного забруднення, доцільним є його використання в якості біоіндикатора при здійсненні оцінки екологічного стану урбанізованих територій.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Bessonova, V. P., 2011.** Rosliny ta urbani-zatsiia [Plant and urbanization]. 'Materialy II Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferencii'. Dnipropetrovsk, 48–52 (in Ukrainian).
- Bessonova, V. P., Pryymak, O. P., 2006.** Vplyv vykydiv avtotransportu na vuhlevodnyi obmin u lystkah dekoratyvnykh kvitnykovykh roslyn [The impact of motor vehicles emissions on carbohydrate metabolism in leaves of ornamental flower plants]. Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Biol. Ekol. 14(1), 12–21 (in Ukrainian).
- Bessonova, V. P., Yusyypiva, T. I., 2001.** Semenne vozobnovlenie drevesnykh rastenij i promyshlennye polliutanty (SO₂ и NO₂) [Woody plants seed regeneration and industrial pollutants (SO₂ and NO₂)]. ZSU, Zaporozh'e (in Russian).
- Brown, A., Simpson, J., 1972.** Water relations of sugar tolerant yeasts: the role of intracellular polyols. J. Gen. Microbiol. 589–591.
- Chernikova, O. V., 2009.** Ekolo-ho-biolo-hichni pokaznyky stii-kosti roslyn rodu Spiraea L. v tekhnohennykh umovah Stepovoho Prydniprovia (v mezhah mista Dnipropetrovska) [Ecological and biological indicators of the genus Spiraea L. sustainability in man-made conditions of Steppe Dnieper (within the Dnipropetrovsk city)]. Thesis for obtaining candidate degree of biol. sciences, speciality 03.00.16 Ecology. Dnipropetrovsk (in Ukrainian).
- Gnativ, P. S., 2003.** Metabolichni pokaznyky adaptatsii buka lisovoho v urbotekhnogennomu seredovyshchi [Metabolic adaptation of European beech in urbotechnogenic environment]. Bulletin of Lviv University. Biology Series. 32, 92–99 (in Ukrainian).
- Ivanchenko, O. E., 2006.** Ekolo-ho-fiziolo-hichni osoblyvosti azotnoho obminu dekoratyvnykh odnorichnykh roslyn yak indykatora zabrudnennia promyslovykh terytorii zalizom ta khromom [Ecological and physiological characteristics of decorative annual plants nitrogen metabolism as indicator of industrial areas pollution by iron and chromium]. Thesis for obtaining candidate degree of biol. sciences, speciality 03.00.16 Ecology. Dnipropetrovsk (in Ukrainian).
- Kosakivska, I. V., Holov'yanko, I. V., 2007.** Rol bilkiv teplovoho shoku v adaptatsii roslyn do stresiv [The role of heat shock proteins in plant adaptation to stress]. Physiology and biochemistry of crops. 39(3), 187–192 (in Ukrainian).
- Kucheryavii, V. P., 2001.** Ekolohiia [Ecology]. Svit, Lviv (in Ukrainian).
- Kulagin, Yu. Z., 1974.** Drevesnye rasteniia i promyshlennaia sreda [Woody plants and industrial environment]. Nauka, Moscow (in Russian).
- Molotkovskyy, G. O., Zhestova, I. M., 1964.** O mekhanizme zashchitnoho dejstva sakharov k vysokoy temperature [On the mechanism of the protective action of sugars to high temperature]. Physiology of plants. 2(2), 301–307 (in Russian).
- Panova, T. M., Schogolev, A. A., 2010.** Tekhnolohiia i oborudovanie dlia pererabotki rastitelnoho syria [Technology and equipment for processing of vegetable raw materials]. Guidelines for the implementation of laboratory training for full-time students and part-time modes of study 240100 Chemical Technology and Biotechnology. Yekaterinburg (in Russian).
- Parpan, V. I., Mylen'ka, M. M., 2009.** Morfofiziolo-hichni osoblyvosti Populus pyramidalis Roz. v umovah urbotekhnogennoho zabrudnennia seredovyshcha [Morphological features of Populus pyramidalis Roz. in terms of urbotechnogenic environmental pollution]. Ecology and Noospherology. 20(3–4), 84–90 (in Ukrainian).
- Parpan, V. I., Mylen'ka, M. M., 2010.** Metodolo-hichni aspekty otsinky ekolo-hichnoho stanu urbanizovanykh i tekhnogenno-zminenykh terytorii [Methodological aspects of assessing the ecological status of urban and man-modified areas]. Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Biol. Ekol. 2(18), 61–68 (in Ukrainian).
- Pharr, D. M., Stoop, J. M. H., 1995.** The dual role of mannitol as osmoprotectant and protoassimilate in celery. Hortscience. 30, 1182–1188.
- Piskova, O. M., Grishko V. M., 2010.** Osoblyvosti akumulatsii vazhkykh metaliv ta intensyvni-st peroksydnoho okyslennia lipidiv u lystkah derevnykh roslyn pid vplyvom promyslovykh vykydiv [Features of the accumulation of heavy metals and intensity of lipid peroxidation in leaves of woody plants under the influence of industrial emissions]. Journal of Kharkov National Agrarian University. Series Biology. 3(21), 54–62 (in Ukrainian).
- Pochynok, H. N., 1976.** Metody biokhimicheskoho analiza rastenij [Methods of biochemical analysis of plants]. Naukova Dumka, Kyiv (in Russian).
- Sakalo, V. D., Marchenko, K. A., 2009.** Syntez i metabolism sakharozy v lystkakh

kukurudzy za umov vodnoho defitsytu [Synthesis and metabolism of sucrose in leaves of maize seedlings under water deficit conditions]. Physiology and biochemistry of crops. 41(4), 305–313 (in Ukrainian).

Sovakova, M. O., 2013. Vydy rodu *Tilia* L. u nasadzhenniah riznoho funktsionalnoho pryznachennia mista Kyieva (taksonomiia, zhyttevyi stan, reaktsii na stress-factory) [Species of the genus *Tilia* L. of stands of different functions in Kyiv (taxonomy, life status, response to stress factors)]. Thesis for obtaining candidate degree of biol. sciences, speciality 06.03.01 Forest Culture and phytomelioration. Kyiv (in Ukrainian).

State Standard 13496.15-97, 1996. Metody opredeleniia soderzhaniia syrogo zhyra [Methods for determination the raw fat content]. Hosstandart of Ukraine, Kyiv (in Russian).

State Standard 13496.2-91, 1996. Metod opredeleniia syroj kletchatki [Method for determination of raw cellular tissue]. Hosstandart of Ukraine, Kyiv (in Russian).

State Standard 13496.4-93, 1996. Metody opredeleniia soderzhaniia azota i syroho proteina [Methods of nitrogen and crude protein determination]. Hosstandart of Ukraine, Kyiv (in Russian).

Turkyna, M. V., Sokolova, S. V., 1971. Metody opredeleniia monosakharidov i

oligosakharidov [Methods for determination of monosaccharides and oligosaccharides]. Biochemical methods in the physiology of plants. Kolos, Moscow (in Russian).

Tyshchenko, D. D., 2012. Vplyv avtotransportnoho zabrudnennia na nakopychennia rozchynnykh bilkiv vehetatyvnymy organamy kyzylnykh [Effect of motor pollution on the accumulation of soluble proteins in cotoneaster vegetative organs]. Problems of bioindication and ecology. ZNU, Zaporozhzhia. 17(1), 131–139 (in Ukrainian).

Yusypiva, T. I., Koval, Yu. P., 2012. Dynamika nestrukturnykh vuhlevodiv v odnorichnykh pahonakh predstavnykh rodu *Tilia* L. v umovakh koksokhimichnoho vyrobnytstva [Dynamics of no structural carbohydrates in annual shoots of the genus *Tilia* L. under conditions of coke production]. Problems of bioindication and ecology. ZNU, Zaporozhzhia. 17(1), 147–159 (in Ukrainian).

Zaitseva, I. O., Dolgova, L. G., 2012. Osmotychno aktyvni rehovyny v lystkakh roslyn-introdutsentiv rodu *Chaenomeles* Lindl. [Osmotically active substances in the leaves of introduced plant of genus *Chaenomeles* Lindl.]. Introduction of plants. 2, 91–96 (in Ukrainian).

Стаття надійшла в редакцію: 13.03.2014

Рекомендує до друку: чл.-к. НАНУ, д-р біол. наук, проф. О. З. Глухов

BIOGEOCENOLOGY, PHYTOCENOLOGY AND GEOBOTANY



L. D. Orlova 

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

UDK 581.526.45(292.485)
(477.5)

*Poltava Korolenko National Pedagogical University,
Ostohradskii str., 2, 36000, Poltava, Ukraine*

DOWNFALL OF MEADOW PLANTS COMMUNITIES ON THE LEFT BANK FOREST-STEPPE BOUNDARY IN UKRAINE

Abstract. The research was carried out on the different types of grassland plant communities on the left-bank forest boundary in Ukraine. It was established that the supplies of downfall on the floodplaine meadows were within 37,3–1973,7 g/m², upland meadows – 21,8–627,3 g/m², lowland meadows – 70,0–1363,0 g/m². The results of the research made it possible to identify three groups of indicators on the amount of downfalls. The first group consists of the areas with such amount of dawnfall as – 80.0 g/m², the second one – 80,0–160,0 g/m², and the third one – more than 160.0 g/m².

The change rate which depends on the part of the floodplain meadows was considered. In the riverine area it was defined in the range of 31,8–663,6 g/m², in the central area – 41,8–1973,7 g/m², in the pre-terrace area – 37,3–1654,6 g/m². The difference among minimal parameters is small but among maximum is significant. It is generally accepted that the results of the research are mainly supported by specific differences of floristic composition. The larger number of indicators (within the second group) are in the central parts of the investigated floodplains and rivers. In the central areas in general, there was a higher level of dry matter content. Combined with the increasing amount of downfall, to some extent, it is considered to be an indicator of higher crop level in this area.

It was figured out that in some areas the upland meadows have got different number of the investigated indicators. The most important factors for this issue are the lower parts of the area but the minimum are the tops of the slopes. The difference can be quite significant. The comparison between the formation of downfall in the upland grasslands and the steppe area showed a certain regularity. In steppe areas the accumulation of the indicator was nearly one third less than the average one in the investigated meadows. The number of dry matter varied in the range of 31,8–95,7 %. The lower indicators as well as the upper ones differed in general not more than 10,0 %. In general the amount of dry matter content was the highest on the top of the slopes and the lowest amount was on the bottom.

In the overwhelming majority of surveyed lowland there was an increasing level of accumulation in the second and third groups. The comparison of the results about the accumulation of the downfall in the lowland meadows in the studied forest-steppe and steppe regions of Ukraine, which borders on the South, showed that its accumulation in the steppe regions was much less comparatively to the surveyed regions. Dry matter content of the downfall of this grassland areas was in the range of 31,9–94,4 %.

We found that the energy storage of downfall meadow plant communities of the region is in the range of $0,4 \times 10^6$ – $37,1 \times 10^6$ Dzh/m². Each type of meadows has its own specific characteristics of the index and indicators. Thus, energy storage on the floodplaine was within $0,6 \times 10^6$ – $37,1 \times 10^6$ Dzh/m²,

 Tel.: +38099-956-00-58. E-mail: orlova-ld@rambler.ru

DOI: 10.15421/031403

upland $0,4 \times 10^6$ – $12,1 \times 10^6$ Dzh/m², lowland meadows – $1,3 \times 10^6$ – $25,7 \times 10^6$ Dzh/m². Indicators of lowland meadows occupy an intermediate position between floodplain and upland areas. The comparison of borderline indicators allows us to see that they vary greatly both upper and lower. Minimal indicators are differ for $0,2 \times 10^6$ – $0,7 \times 10^6$ Dzh/m² and maximum $7,3 \times 10^6$ – $16,1 \times 10^6$ Dzh /m².

The reduction of economic activity, in particular, the implementation of conservation as for all investigated meadow plant communities of the region leads to increasing amount of downfall in average.

Weather conditions influences greatly the accumulation of the downfall. The analysis of climat map which was presented, shows us more favourable weather conditions during particular years. That is why the maximum storage of downfall was observed during this period.

Key words: downfall, storage, meadow plant communities, forest-steppe boundary of the Left Bank of Ukraine.

УДК 581.526.45(292.485) Л. Д. Орлова
(477.5)

д-р биол. наук, доц.

*Полтавський національний педагогічний університет ім. В. Г. Короленка,
ул. Остроградського, 2, 36000, г. Полтава, Україна,
тел.: +38099-956-00-58, e-mail: orlova-ld@rambler.ru*

ОПАД ЛУГОВЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ ЛЕВОБЕРЕЖНОЙ ЛЕСОСТЕПИ УКРАИНЫ

Установлено запасы опада на различных типах лугов Левобережной Лесостепи Украины: пойменных – в пределах $37,3$ – $1973,7$ г/м², суходольных – $21,8$ – $627,3$ г/м², низменных – $70,0$ – $1363,0$ г/м². Полученные результаты позволили выявить три группы показателей по накоплению опада. В среднем наибольшее количество опада установлено на центральных участках поймы, на нижних участках суходолов и на средних частях низинных травостоев. Уменьшение хозяйственной нагрузки, в том числе введение режима заповедника, в отношении луговых фитоценозов приводит в среднем к увеличению количества опада.

Ключевые слова: опад, запас, луговые фитоценозы, Левобережная Лесостепь Украины.

УДК 581.526.45(292.485) Л. Д. Орлова
(477.5)

д-р біол. наук, доц.

*Полтавський національний педагогічний університет ім. В. Г. Короленка,
вул. Остроградського, 2, 36000, м. Полтава, Україна,
тел.: +38099-956-00-58, e-mail: orlova-ld@rambler.ru*

ОПАД ЛУЧНИХ ФІТОЦЕНОЗІВ ЛІВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Установлено запаси опаду на різних типах лук Лівобережного Лісостепу України: заплавлених – в межах $37,3$ – $1973,7$ г/м², суходільних – $21,8$ – $627,3$ г/м², низинних – $70,0$ – $1363,0$ г/м². Отримані результати дали можливість виявити три групи показників за накопиченням опаду. У середньому найбільша кількість опаду виявляється на центральних ділянках заплави, на нижніх ділянках суходолів та на середніх частинах низинних травостоїв. Зменшення господарського навантаження, зокрема введення режиму заповідання, у відношенні до лучних фітоценозів спричиняє в середньому збільшення кількості опаду.

Ключові слова: опад, запас, лучні фітоценози, Лівобережний Лісостеп України.

ВСТУП

Досліди з виявлення біологічного колообігу лучних рослин показали, що майже вся надземна частина травостою надходить у опад. До опаду трав'янистих угруповань входять такі групи рослин:

а) однорічні рослини, уся надземна частина й коріння яких щорічно відмирають і надходять, таким чином, в опад;

б) дворічні трав'янисті рослини, уся надземна частина яких у кінці вегетаційного сезону відмирає й надходить в опад, а коріння зберігає життєздатність упродовж зимового періоду; з утворенням генеративного пагону й після дозрівання насіння відмирає вся рослина і в опад, отже, надходить уся надземна й підземна частина;

в) багаторічні трав'янисті рослини, уся надземна частина яких щорічно відмирає й надходить в опад, а коріння зберігає тривалу життєздатність і щорічно відмирає лише частина, тонкі корінці, що всмоктують;

г) багаторічні рослини, у яких щорічно відмирає й надходить в опад лише частина надземних органів (листки, генеративні пагони), тоді як деяка частина листків зберігається до весни. У багатьох випадках поруч із вузлом кушіння, що відмирає, виникає новий молодий вузол;

д) багаторічні рослини, у яких повністю відмирає надземна частина й надходить в опад, а підземні частини у вигляді цибулин, бульб і кореневищ зберігаються тривалий час, і в опад надходять лише тонкі всмоктувальні корінці й деяка частка цибулин або кореневищ;

е) багаторічні рослини — монокарпічні, у яких щорічно відмирають вегетативні пагони (листки) і деяка частина тонких корінців, а з утворенням генеративного пагону й після дозрівання насіння відмирає вся рослина і в опад, отже, надходить уся надземна й підземна частина (Rodin and Remezov, 1967).

Виходячи із сказаного, визначення загальної суми річного опадку надземних частин рослин і їх підземних органів у лучних угруповань представлено в достатньому ступені складним завданням, що вимагає уваги й точного знання морфології, біологічних особливостей і віку едификаторів і інших рослин (Bazylevych and Rodin, 1964; *Biologichna produktyvnist.*, 1974).

На величину опадку впливає низка факторів: ґрунтово-кліматичні, флористичний склад, ступінь впливу гетеротрофних організмів та ін. (Belgard, 1950, 1971; Tsvetkova, 1992).

Маса рослинних залишків, яка надійшла на поверхню ґрунту, безперервно розкладається та зменшується, водночас відбувається її безперервне поповнення й утворення підстилкового шару за рахунок відмирання частин або органів рослин (Tsvetkova and Jacuba, 2008).

Результатів дослідження запасів опадку трав'янистих екосистем небагато. До них, в першу чергу, потрібно віднести роботи А. М. Семенової-Тян-Шанської (Semenov-Tian-Shanskaya, 1960, 1977). Вона внесла великий вклад у вивчення підстилки, опадку, загальної продуктивності як окремих рослин, так і степових і лучних угруповань, наводить результати робіт на ділянках із звичайним використанням і на заповідних територіях. У першому випадку запас мертвих залишків восени становить 10–26 ц/га, в другому – 54–101 ц/га. А. А. Титлянова (Tytlyanova, 1971), А. А. Титлянова із співавтор. (*Biologicheskaya produktivnost.*, 1988) наводять середні запаси повсті у лучному біогеоценозі на рівні $1,99 \pm 0,65$ т/га, степовому і болотному – $1,80 \pm 0,6$ та $1,8 \pm 1,5$ т/га відповідно. В умовах лучних біогеоценозів Карпат запас мертвої фітомаси складав до 795,0 кг/га (*Biologichna produktyvnist.*, 1974). На прикладі дрібнозлаково-різнотравних угруповань В. Д. Друзіна (Druzyna, 1978) вказує, що загальний запас мертвої маси надземних частин травостою не перевищував 350 г/м². Фундаментальне видання по біологічній продуктивності лучних угруповань наводить результати накопичення повсті при звичайному використанні 110,4–236,6 г/м² (*Produktivnost luhovyh soobshchestv*, 1978), при заповідному режимі – 148,8–462,2 г/м². А. В. Ронгінська (Ronhynskaya, 1988) наводить запаси повсті на сінокісних луках 9,0–34,9 г/м², пасовищного використання – 3,8–16,4 г/м². На суходільних луках (*Sukhodolnij luh.*, 1978) показник наводиться до 200 г/м², на заплавлених – до 100 г/м² (Shuynshalyev, 1981).

Значний внесок у вивчення підстилки, опадку, кругообігу речовин зробили вчені Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара. Серед них

потрібно назвати О. Л. Бельгарда, А. П. Травлєєва, Н. М. Цветкову, А. О. Дубину, М. М. Носовську, А. Ф. Кулік та ін. (Belova and Travleev, 1999; Travleev and Belova, 2004; Tsvetkova and Jacuba, 2008). Вони, в основному, вивчали біологічний кругообіг у лісових насадженнях степової зони. Особливості накопичення і розкладу мортмаси у біогеоценозах субальпійського, а для порівняння – альпійського і верхнього лісового поясів Карпат з'ясував Й. В. Царик (Tsaryk, 1977).

Для території лівобережної України запаси опаду лучних фітоценозів практично не визначалися. Саме тому основною метою нашого дослідження було визначення запасів опаду різних типів лучних фітоценозів, з'ясування їх динаміки та впливу умов середовища в умовах Лівобережного Лісостепу України.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Загальні запаси опаду вивчали за методикою Л. Є. Родіна та Н. І. Базилевич (Rodin, 1965). При відборі зразків підстилки використовувався метод «шаблону». Проби відбиралися в типових місцях у 10–20-ти кратній повторності в чотирьох напрямках: на захід, схід, північ і південь від центру ділянки. Потім визначалася початкова вага та після висушування. Розраховувалася кількість сухої речовини і вміст вологи підстилки.

Енергетичний потенціал біомаси розраховували за формулою:

$$E_b = 4,5 \text{ ккал/г} \cdot M,$$

де E_b – енергія біомаси, 4,5 ккал – енергія 1 г сухої речовини, M – біомаса.

Формула, запропонована Ю. Одумом (Odum, 1975), використовувалася з урахуванням робіт Я. П. Дідуха (Didukh, 2005).

З метою інтерпретації продуктивності лучних рослин в різних умовах існування побудовані кліматодіаграми з використанням кліматодіаграм Вальтера (Walter, 1964) та даних обсерваторії м. Полтава, яка розташована в районі проведення досліджень (рис. 1).

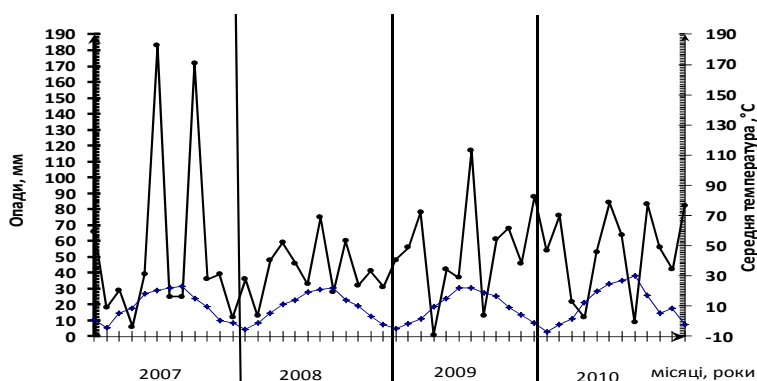


Рис. 1. Кліматодіаграма співвідношення температури та опадів у 2007–2010 рр. за даними метеостанції м. Полтави

Результати досліджень оброблялися за Б. А. Доспеховим (Dosphehov, 1979) та з використанням прикладної програми «Statistica» (Kompiuterni metody..., 2001).

Полювні дослідження проводились на пробних ділянках різних типів лучних територій Лівобережного Лісостепу України (рис. 2).

Заплавні луки. У Полтавській обл. обстежені околиці таких населених пунктів: Велико-Багачанський р-н – с. Білоцерківка (1), Бірки (2), Затон (3), Красногородка (4), Остап'є (5); Гадяцький р-н – с. Вельбівка (6), Веприк (7), Рашівка (8); Глобинський р-н – с. Землянки (9), Погреби (10), Попівка (11), Яроші (12); Диканський р-н – с. Писаревщина (13); Зіньківський р-н – смт Опішня (14); Карлівський р-н – смт Карлівка (15), с. Варварівка (16), Климівка (17); Кобеляцький

р-н – смт Кобеляки (18), с. Білики (19), Лучки (20), Канави (21); Котелевський р-н – с. Матвіївка (22), Млинки (23); Лохвицький р-н – смт Лохвиця (24), с. Яхники (25); Лубенський р-н – с. Засулля (26), Мгарь (27); Машівський р-н – с. Селещина (28); Миргородський р-н – с. В. Обухівка (29), Попівка (30); Новосанжарський р-н – смт Нові Санжари (31); Оржицький р-н – с. Чутівка (32), Велико-Селецьке (33); Пирятинський р-н – с. Шкурати (34), Дейманівка (35); Полтавський р-н – с. Василівка (36), Ковалівка (37), Кованьківка (38), Нижні Млини (39), Параскавеська (40); Решетилівський р-н – смт Решетилівка (41), с. Жовтнєве (42); Семенівський р-н – смт Семенівка (43), с. Горошино (44), Калкай (45), Ново-Александрівка (46), Худоліївка (47); Хорольський р-н – с. Бутівці (48), Мусіївка (49); Чорнухінський р-н – с. Бубни (50), Скибинці (51); Чутівський р-н – с. Зеленківка (52), смт Чутове (53); Шишацький р-н – с. Ковалівка (54); у Київській обл.: Яготинський р-н – с. Богданівка (55), с. Олексіївка (56), с. Панфіли (57); у Сумській обл.: Роменський р-н – с. Андріяшівка (58); Липоводолинський р-н – с. Липова долина (59); у Харківській обл.: Краснокутський р-н – с. Комарівка (60); Красноградський р-н – м. Красноград (61); у Черкаській обл.: Чернобаївський р-н – с. Мохначі (62); у Чернігівській обл.: Ічнянський р-н – с. Дорогінка (63), Заудайка (64), Хаснки (65).

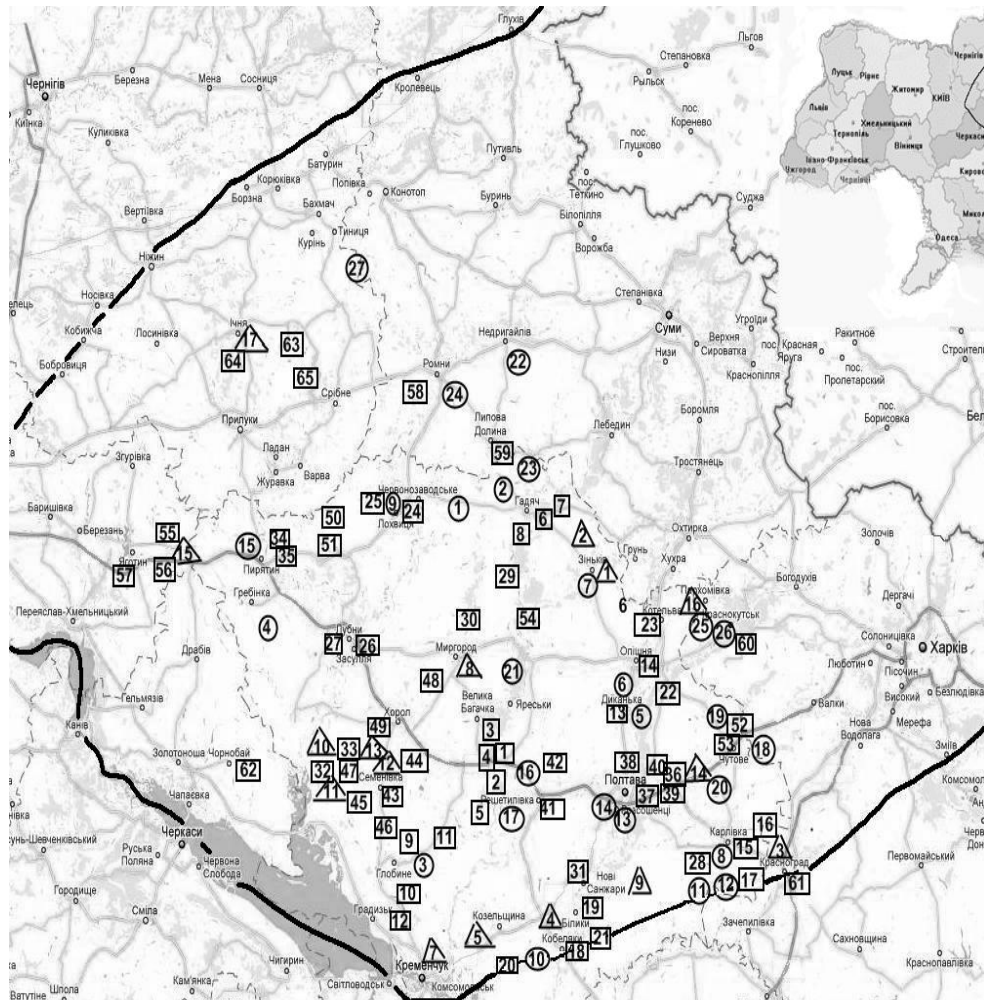


Рис. 2. Схематична карта місць дослідження у вивченому регіоні:

○ – суходільні, □ – заплавні, Δ – низинні луки; розшифровка цифрових позначень в тексті

Суходільні луки. У Полтавській обл. досліджені околиці таких населених пунктів: Гадяцький р-н – с. Долинка (1), Глибока долина (2); Глобинський р-н – с. Зубані (3); Гребінківський р-н – с. Овсюки (4); Диканський р-н – смт Диканька (5), с. В. Будища (6); Зіньківський р-н – с. Пишненки (7); Карлівський р-н – с. Максимівка (8); Лохвицький р-н – смт Лохвиця (9); Кобеляцький р-н – с. Світлогірське (10); Машівський р-н – с. Латишівка (11), с. Кошманівка (12); Полтавський р-н – с. Розсошенці (13), с. Горбанівка (14); Пирятинський р-н – с. Прихидьки (15); Решетилівський р-н – с. Крохмільці (16), Новодиканька (17); Чутівський р-н – с. Артемівка (18), Іскрівка (19), Черняхівка (20); Шишацький р-н – с. Чернишівка (21); у Сумській обл.: Лебединський р-н – с. Великі Луки (22); Липоводолинський р-н – с. Кимличівка (23); Роменський р-н – с. Андріяшівка (24); у Харківській обл.: Краснокутський р-н – с. Колонтаїв (25), м. Краснокутськ (26); у Чернігівській обл.: Бахмацький р-н – с. Дмитрівка (27).

Низинні луки. У Полтавській обл. вивчені околиці таких населених пунктів: Зіньківський р-н – смт Зіньків (1), с. Пеленківщина (2); Карлівський р-н – с. Коржиха (3); Кобеляцький р-н – с. Іванівка (4); Козельщинський р-н – с. Солониця (5); Котелевський р-н – с. Більськ (6); Кременчуцький р-н – с. Потоки (7); Миргородський р-н – с. Рибальське (8); Новосанжарський р-н – с. Богданівка (9); Оржицький р-н – с. Нижній Іржавець (10), Плехів (11); Семенівський р-н – смт Семенівка (12), с. Веселий Поділ (13); Чутівський р-н – с. Смородщина (14); у Київській обл.: Яготинський р-н – с. Чорняхівка (15); у Харківській обл.: Краснокутський р-н – с. Колонтаїв (16); у Чернігівській обл.: Ічнянський р-н – смт Ічня (17).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Заплавні луки. На вивчених заплавних луках встановлені запаси опаду в межах 37,3–1973,7 г/м². Найменші кількості встановлені на р. Коломак поблизу с. Ковалівка Полтавського р-ну Полтавської обл., а найбільші – р. Сула на території гідрологічного заказника поблизу с. Чутівка Оржицького р-ну Полтавської обл. За роками спостерігали такі показники: 2008 р. – 31,8–342,7 г/м², 2009 р. – 37,3–627,3 г/м², 2010 р. – 41,3–1973,7 г/м². Як і у випадку з підстилкою, мінімальні крайні показники відрізнялися за роками невеликими цифрами 4,0–5,5 г/м², а максимальні – майже в п'ять разів.

На накопичення опаду прямо впливають погодні умови. Аналіз кліматограми 2007–2010 рр. (рис. 1) показує більш сприятливі погодні умови 2010 р. Власне тому максимальні запаси опаду спостерігали в цьому році.

Виявлено зміну показника в залежності від частини заплави. У прирусловій ділянці він знаходився в інтервалі 31,8–663,6 г/м², центральній – 41,8–1973,7 г/м², притерасній – 37,3–1654,6 г/м². Межі коливань мінімальних показників невеликі, максимальних – значні. Зрозуміло, що отримані значення обумовлюються, як і запаси підстилки, в основному, різним флористичним складом.

Загальні запаси опаду мають досить великий інтервал значень. Коли їх проаналізувати, то можна умовно поділити на три групи. У першу групу входять ділянки з кількістю опаду до 80,0 г/м², другу – 80,0–160,0 г/м², третю – більше 160,0 г/м². У 2009 р. у прируслових ділянках ці групи мали такий вигляд: 32:41:27 %, центральній – 32:50:18 %, притерасній – 27:41:32 %. У 2010 році на всіх ділянках переважаюча кількість усіх частин заплави мала показники третьої групи. На рис. 3–5 показані конкретні приклади формування запасів опаду в заплавах річок Псел, Ворскла, Сула.

Аналіз наведених діаграм показує, що, в основному, більші запаси опаду виявляються на центральних частинах досліджених заплав річок. По роках, як і в цілому за регіоном, максимальні кількості показника спостерігаються частіше всього за частинами заплави у 2010 р.

Вміст повітряно-сухої речовини у опаді був у межах: 32,2–96,9 % у 2008 р., 27,3–93,4 % у 2009 р., 46,9–90,3 % у 2010 р. По частинах заплави виявилася така кількість: прируслова – 27,3–93,4 %, центральна – 35,7–96,8 %, притерасна – 33,6–93,1 %. На центральних ділянках, в цілому, спостерігався більший вміст сухої речовини. У поєднанні з більшим накопиченням опадів, певною мірою це буде показником вищої врожайності вказаних ділянок.

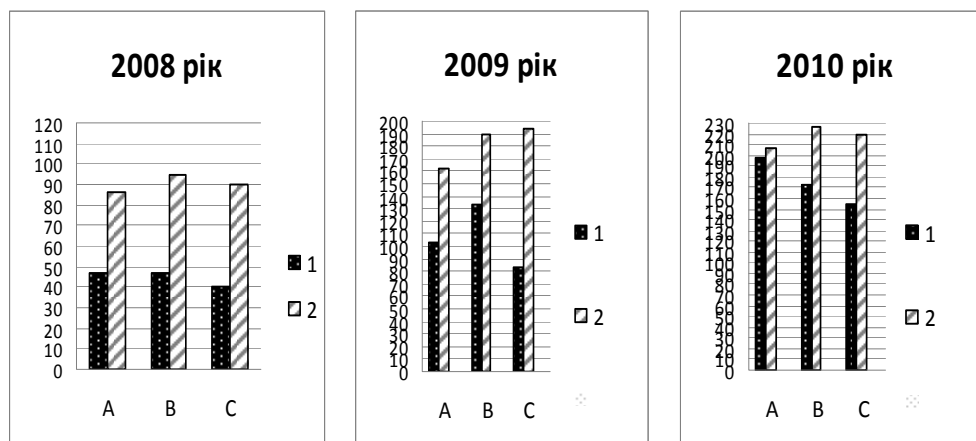


Рис. 3. Динаміка накопичення опадів на заплавах р. Псел в Полтавській обл.:
1 – околиці с. Остап'є; 2 – околиці с. Затін Великобагачанського р-ну;
А – прируслова, В – центральна, С – притерасна частина заплави

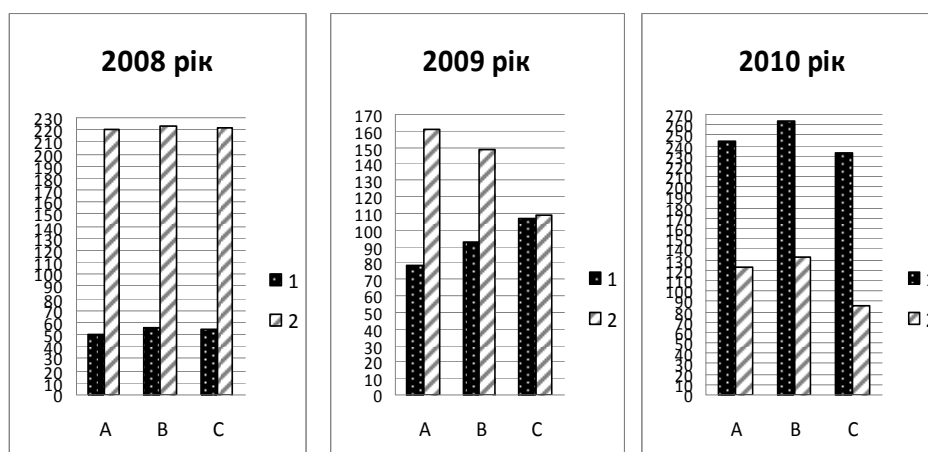


Рис. 4. Динаміка накопичення опадів на заплавах р. Вороскла та її притоки р. Котелевки в Полтавській обл.:
1 – околиці с. Матвіївка; 2 – околиці с. Млинки Котелевського р-ну;
А – прируслова, В – центральна, С – притерасна

Утворення опадів, окрім всіх інших факторів, залежить від ступеня господарського навантаження на фітоценози. Як раніше було вказано, при зменшенні господарського впливу на фітоценози спостерігається стабілізація системи та підвищується її здатність протистояти впливу негативних факторів. Нами з'ясовано, що у таких умовах збільшується накопичення опадів (табл. 1).

Аналіз отриманих результатів на луках із звичайним господарським навантаженням та охоронюваних показав більші кількості опадів на останніх. На представлених прикладах їх можна віднести усі до третьої групи накопичення опадів.

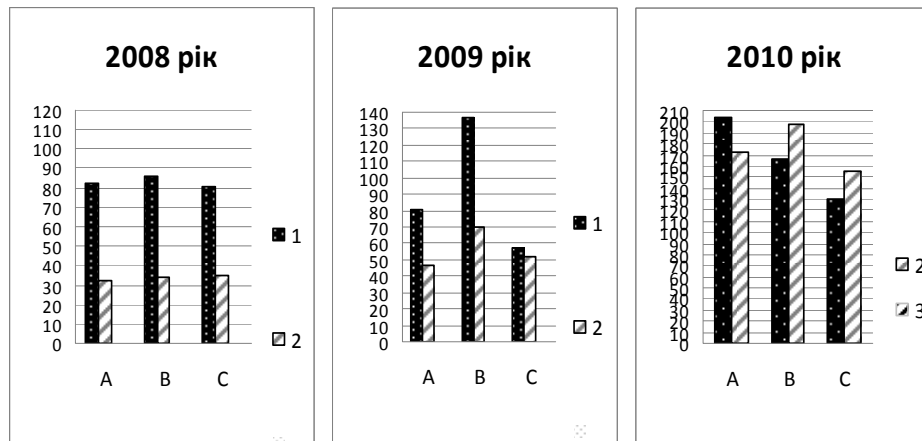


Рис. 5. Динаміка накопичення опуд на заплавних луках р. Сула:
 1 – околиці с. Мгарь Лубенського р-ну; 2 – околиці с. Мусіївка Хорольського р-ну в Полтавській обл.; 3 – с. Андріяшівка Роменського р-ну в Сумській обл.;
 А – прируслова, В – центральна, С – притерасна

Таблиця 1

Запаси опадів на охоронюваних заплавних луках Лівобережного Лісостепу України				
№ п/п	Місцерозташування, вид охорони	Запаси опадів в заплаві		
		Прируслова частина	Центральна частина	Притерасна частина
Полтавська обл.				
1	с. Чутівка, Оржицький р-н, гідрологічний заказник «Чутівський»	181,2±8,5	252,7±5,5	1654,6±2,4
2	с. Горошине, Семенівський р-н, ландшафтний заказник «Сулимський»	204,6±0,7	240,9±1,4	229,1±0,6
Харківська обл.				
3	с. Капранське – с. Колонтаїв, Краснокутський р-н, проектований ботанічний заказник «Капранівський»	200±0,2,0	209,1±0,3	200±0,3

Суходільні луки. При дослідженні запасів опадів на суходільних луках в регіоні виявлено, що вони коливаються в інтервалі 21,8–627,3 г/м². На прикладі окремих років виявили такі кількості: 2008 р. – 39,1–326,4 г/м², 2009 р. – 49,1–475,5 г/м², 2010 р. – 21,8–627,3 г/м². За роками вивчення отримали такі показники: 2008 р. – 32,7–126,4 г/м², 2009 р. – 9,1–103,0 г/м², 2010 р. – 30,9–190,1 г/м². Середні значення, відповідно, були такими – 73,1±6,9 г/м², 50,0±1,1 г/м², 93,1±4,5 г/м².

Запаси опадів на цих луках, як і на заплаві, ми умовно поділили на три групи. У 2008 р. половина обстежених травостоїв їх мала в межах третьої групи, 2009 – другої, 2010 – третьої. На рис. 6 на конкретних прикладах наведена динаміка запасів опадів на обстежених суходільних луках.

Встановлено, що окремі ділянки схилу досліджених травостоїв мають неоднакову кількість показника. Найбільші значення мають нижні частини, мінімальні – верхівки схилів. Різниця між ними може бути досить суттєва.

Наприклад, запас опаду травостоїв околиць смт Артемівки Чутівського р-ну Полтавської обл. в нижній частині схилу перевищував верхню майже в два рази.

Порівняння утворення опаду на суходільних луках району дослідження із степовими ділянками показало певну закономірність. Так, на ділянках лучного степу ботанічного заказника «Олегова балка» в Карлівському р-ні Полтавської обл. її запаси були на рівні $51,8 \pm 5,6 \text{ г/м}^2$. Тобто, вони виявилися на 29,1 % меншими, ніж у середньому на вивчених луках у 2008 р.

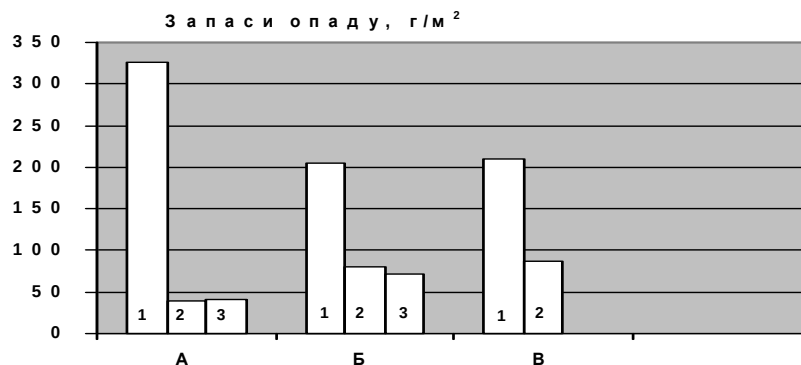


Рис. 6. Динаміка накопичення опаду на суходільних луках Полтавської обл.:

А – 2008 р.; Б – 2009 р.; В – 2010 р.;

1 – околиці смт Диканька; 2 – околиці с. Кошманівка Машівського р-ну;

3 – околиці с. Чернішівка Шишацького р-ну

Кількість сухої речовини у опаді коливалась в інтервалі 31,8–95,7 %. Як нижні, так і верхні показники відрізнялись на всіх обстежених луках не більше, ніж на 10,0 %. В цілому найбільше сухої речовини було на верхівках схилу, а найменше – на нижніх ділянках.

Виявилось, що як і у випадку з опадом заплав, на суходільних луках обмеження господарського навантаження сприяє формуванню більшої кількості рослинної маси і, відповідно, мертвих рослинних решток. Так, на території заповідного урочища «Плисів Яр» (Полтавська обл.) були запаси його тільки другої і третьої груп.

Низинні луки. Запаси опаду на низинних травостоях були в інтервалі 70,0–1363,0 г/м². На прикладі окремих років виявили такі показники: 2008 р. – 70,0–327,3 г/м², 2009 р. – 70,9–581,8 г/м², 2010 р. – 120,0–1363,0 г/м². Як свідчать наведені цифри, максимальні запаси опаду утворились у 2010 р. По кліматодіграмі 2007–2010 рр. (див. рис. 1) видно, що в цей рік спостерігались кращі із наведених показники температури і опадів.

Запаси опаду на луках конкретних місць показують подібну картину (рис. 7). Так, на луках с. Богданівка Новосанжарського р-ну, с. Потоки Кременчуцького р-ну Полтавської обл. було виявлено більші запаси підстилки у 2010 р. (у 3–5 разів), порівняно з 2008 та 2009 рр.

Три групи запасів опаду можна виявити і на низинних, як і на заплавних та суходільних луках. У переважаючій більшості обстежених травостоїв у 2008 р. було накопичення його в межах другої і третьої груп (2009 р. – другої, 2010 р. – третьої).

Аналіз результатів за запасами опаду в досліджених лісостепових і степових районах України, які межують з вивченим на півдні, показав, що накопичення його в умовах Дніпропетровської обл., в середньому, було на порядок менше, порівняно з дослідженим регіоном.

Сухої речовини в опаді було в інтервалі 31,9–94,4 %. Цікаво те, що в 2010 р. був найменший інтервал значень – 39,8–71,8 %. У 2009 р. були найвищі показники вмісту сухої речовини, що можна пояснити несприятливими погодними умовами цього року.



Рис. 5. Динаміка запасів опаду на низинних луках Полтавської обл.:

А – 2008 р.; Б – 2009 р.; В – 2010 р.;

1 – с. Солоніця Козельщинського р-ну; 2 – с. Богданівка Ново-Санжарського р-ну;

3 – с. Потоки Кременчуцького р-ну

На охоронюваних обстежених луках виявили накопичення опаду тільки другої або третьої груп. Наприклад, на території гідрологічного заказника «Ситникове» поблизу с. Іванівка Кобеляцького району Полтавської обл. опаду було 289,1–472,7 г/м².

Нами виявлено, що запаси енергії опаду лучних фітоценозів регіону знаходяться в інтервалі $0,4 \times 10^6$ – $37,1 \times 10^6$ Дж/м². Кожен тип лук має свої конкретні характеристики показника. Так, на заплаві накопичення енергії було в межах $0,6 \times 10^6$ – $37,1 \times 10^6$ Дж/м², суходільних $0,4 \times 10^6$ – $12,1 \times 10^6$ Дж/м², низинних луках – $1,3 \times 10^6$ – $25,7 \times 10^6$ Дж/м². Показники низинних лук займають проміжне положення між заплавами і суходільними. Порівняння крайніх показників дозволяє побачити, що, на відміну від таких по підстилці, вони значно варіюють як верхні, так і нижні. Мінімальні значення різняться на $0,2 \times 10^6$ – $0,7 \times 10^6$ Дж/м², а максимальні $7,3 \times 10^6$ – $16,1 \times 10^6$ Дж/м².

ВИСНОВКИ

Установлені запаси опаду на заплавах луках в межах 37,3–1973,7 г/м², на суходільних – 21,8–627,3 г/м², на низинних – 70,0–1363,0 г/м². Показано залежність накопичення показника в залежності від частини лук. Отримані результати дали можливість виявити три групи показників по накопиченню опаду. У середньому найбільша кількість опаду виявляється на центральних ділянках заплави, на нижніх ділянках суходолів та на середніх частинах низинних травостоїв. Зменшення господарського навантаження, зокрема введення режиму заповідання, на лучні фітоценози спричиняє в середньому збільшення кількості опаду

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

Bazylevych, N. I., Rodin, L. E., 1964. Tipy biolohicheskoho kruhovorota zolnikh elementov i azota v osnovnykh prirodnykh zonakh Severnoho polushariia [Types of biological cycle of cinder elements and nitrogen in the areas of major natural areas of the Northern Hemisphere]. Genesis, soil classification and cartography USSR. Moscow. 134–145 (in Russian).

Belgard, A. L., 1950. Lesnaia rastitelnost yuhovostoka USSR [Forest vegetation of the south-eastern part of the USSR]. Kiev University Press, Kiev (in Russian).

Belgard, A. L., 1971. Stepnoe lesovedenie [Steppe and forest study]. Forest Industries, Moscow (in Russian).

Belova, N. A., Travleev, A. P., 1999. Estestvennye lesa i stepnye pochvy [Natural the forest and steppe soil]. Dnepropetrovsk University Press, Dnepropetrovsk (in Russian).

Biolohicheskaia produktivnost travianykh ekosistem [Biological productivity of grass ecosystems. Geographic regularity and environmental features], 1988. Nauka, Sib. Department, Novosibirsk (in Russian).

Biolohichna produktyvnist лучnykh bioheotsenoziv subalpiiskoho poiasu Karpat

[Biological productivity of meadow biocenosis in the subAlps zone of the Carpathians], 1974. Ed. K. A. Malinowski. Naukova dumka, Kiev (in Ukrainian).

Didukh, J. P., 2005. Ekolohe-enerhetychni aspekty u spivvidnoshenni lisovykh i stepovykh ecosystem [Environmental and energy aspects in the ratio of forest and grassland ecosystems]. Ukrainian Botanical Magazine. 62(4), 445–467 (in Ukrainian).

Dospehov, B. A., 1979. Metodika polevoho opyta (S osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniia) [Methodology of the field Experience (On the basic statistic data processing of the results of the study)]. Kolos, Moscow (in Russian).

Druzyna, V. D., 1977. Dinamika zolnikh elementov i azota v luhovykh bioheotsenozakh (na primere melkozlakovo-raznotravnykh soobshchestv) [Dynamics of the cinder elements and nitrogen in meadows Biogeocenoses (for Example cernel and herb types)]. The dissertation abstracts on competition of a scientific degree of cand. biol. sci.: special 03.00.05 Botany. Leningrad (in Russian).

Kompiuterni metody v silskomu hospodarstvi ta biolohii [Computer methods in agriculture and biology], 2000. University Book, Sumi (in Russian).

Odum, J., 1975. Osnovy ekolohii [Fundamentals of Ecology]. Mir, Moscow (in Russian).

Produktivnost luhovykh soobshchestv [Productivity of meadow units], 1978. Ed. V. M. Ponyatkovskaya. Nauka, Leningrad (in Russian).

Rodin, L. E., 1965. Dinamika orhanicheskoho veshchestva i biolohicheskij kruhovorot v osnovnykh tipakh rastitelnosti [Dynamic of organic substance and biological cycle of major vegetation types]. Nauka, Moscow, Leningrad (in Russian).

Rodin, L. E., Remezov, N. P., 1967. Metodicheskie ukazaniia k izucheniiu dinamiki i biolohicheskoho kruhovorota v fitotsenozakh [Methodological instruction as for the research of the dynamics and biological cycle in phytocenosis]. Nauka, Leningrad (in Russian).

Ronhynskaya, A. V., 1988. Dinamicheskie protsessy v luhovykh fitotsenozakh (na primere luhov Salairskoho kriazha) [Dynamic processes in meadow phytocenosis (for Example Salayskiy meadow ridge)]. Nauka, Novosibirsk (in Russian).

Semenova-Tian-Shanskaya, A. M., 1977. Nakoplenie i rol podstilki v travianykh soobshchestvakh [Accumulation and role of

underlay of grass unit family]. Nauka, Leningrad (in Russian).

Semenov-Tian-Shanskaya, A. M., 1960. Dinamika nakopleniia i razlozheniia mertvykh rastitelnykh ostatkov v luhovo-stepnykh i luhovykh tsenozakh [Dynamics of Accumulation and decomposition of vegetable remnants in meadow and steppe coenoses]. Botan. Journal. 45(9), 1342–1350 (in Russian).

Shuynshalyev, T. T., 1981. Biolohicheskij kruhovorot enerhii, zolnikh elementov i azota v osnovnykh assotsiatsiakh pojmenykh luhov r. Ural [Biological cycle of energy, cinder elements and nitrogen in the association of major meadows of the Ural river]. The dissertation abstract on competition of a scientific degree of cand. biol. sci. Alma-Ata (in Russian).

Sukhodolnij luh kak bioheotsenoz [Dry meadow lowlands as biogeocenoses], 1978. Ed. T. A. Rabotnov. Nauka, Moscow (in Russian).

Travleev, A. P., Belova, N. A., 2004. Tipolohiia stepnykh lesov i lesnoe pochvoobrazovanie (k 50-letiiu Kompleksnoj ekspeditsii DNU) [Typology of forest steppe zones and soil formation (to 50 anniversary of Integrated expedition DNU)]. Problems of Forestry and forest steppe land reclamation. 8, 4–13 (in Russian).

Tsaryk, I. V., 1977. Nakoplenie i razlozhenie podstilki v bioheotsenozakh subalpijskoho poiasa Karpat [Accumulation and decomposition of underlayer in Biogeocenoses in subalpine belt of the Carpathians]. The dissertation abstract on competition of a scientific degree of cand. biol. sci.: special 03.00.16 Biogeocoecology and ecology. Dnepropetrovsk (in Ukrainian).

Tsvetkova, N. N., 1992. Osobennosti mihratsii orhano-mineralnykh veshchestv i mikroelementov v lesnykh bioheotsenozakh stepnoj Ukrainy [Features of migration of mineral organic substances and microelements in forest biogeocenoses of steppe area in Ukraine]. Dnepropetrovsk (in Russian).

Tsvetkova, N. N., Jacuba, M. S., 2008. Biokruhoobih rechovyn u bioheotsenozakh Prysamaria Dniprovskoho [Biocycle of substances in biogeocenoses of Prysamar'ya Dnieper region]. Dnepropetrovsk (in Ukrainian).

Tytlanova, A. A., 1971. Izuchenie biolohicheskoho kruhovorota v bioheotsenozakh [The study of biological cycle in biogeocenoses]. Nauka, Novosibirsk (in Russian).

Walter, H., 1964. Die Vegetation der Endre. In oko-physiologischer Betrachtung. Fischer, Jena. Dd 1, 592 s.

Стаття надійшла в редакцію: 11.04.2013

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

BIOGEOCENOLOGY, PHYTOCENOLOGY AND GEOBOTANY



V. M. Savosko

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

UDK 58.006:581.522.5+
581.412 (477.63)

*Kryvyi Rih Educational Institute
SHEI «Kryvyi Rih National University»,
Gagarin ave, 54, 50086, Kryvyi Rih,
Dnipropetrovsk Region, Ukraine*

THE DYNAMICS OF THE DENDROFLORA ECOMORPHIC AND BIOMORPHIC SPECTRA AT THE FORMER BOTANIC GARDEN OF THE KRYVYI RIH STATE EDUCATIONAL INSTITUTE

Abstract. The aim of the work is to identify the features of the temporal dynamics of the ecomorphic and biomorphic spectra at the former Botanic Garden of the Kryvyi Rih State Educational Institute.

It was found that on 01.10. 2011 in the plantations of the former Botanical Garden 47 species of trees, shrubs and lianas had grown. In the composition of the dendroflora only five species of gymnosperms and 42 species of angiosperms had been revealed. Leading families were *Rosaceae*, *Fabaceae* and *Salicaceae* and *Aceraceae*. The dominant genera were *Acer* and *Populus*. For the last 40 years, 99 species, 46 genera and 10 families from the collection had been dropped out. At the same time, the Botanical Garden was the only habitat of unique species such as *Metasequoia glyptostroboides*, *Celtis australis*, *Securinega suffruticosa*, *Cercis siliquastrum*, *Indigofera gerardiana*, *Kerria japonica*, *Koelreuteria paniculata*, *Xanthoceras sorbifolium*, *Schisandra chinensis*. At present the scientific collections in our region are lacking in these species.

Since that time, the dendroflora's trofomorphic spectrum of the former Botanical Garden had undergone some changes. The first thing to note is an increase in the proportion of mehatrophes: from 15.5 % in 1966 – up to 25.5 % in 2006 (1.6 times). At the same time the total proportion of olihotrophes and olihomezotrophes had been reduced: from 26.4 % in 1966 to 14.9 % in 2006 (1.8 times). Despite the lack of a clear trend towards changing the proportion of mezotrophes, they are consistently the most common woody plants of the Botanic Gardens.

Age-related changes of the dendroflora's hygromorphic spectrum of the former Botanical Garden have such directions: the proportion of xerophytes decreased in 1.9 times and mezohygrophites in 2.4 times. However, there has been an increase in the relative number of mezophytes (1.1 times), mezosxerophytes (1.2 times) and hygromezophytes (1.6 times).

Over the time the dendroflora's heliomorphic spectrum had the following changes from the former Botanical Garden: despite the decrease in the proportion of heliophytes (from 58.8 % in 1966 to 53.2 % in 2006), they remained the largest group of the spectrum. At the same time it was revealed

✉ Tel.: +38067-985-25-70. E-mail: savosko@list.ru

DOI: 10.15421/031404

ISSN 1726-1112. Ecology and noospherology. 2014. Vol. 25, no. 1–2

37

an increase of scioheliophytes in 1.4 times, and overall reduction of heliosciophytes and sciophytes in the number and proportion.

In the plantations of the Botanic Gardens it has been established a tendency of the introduced species reduction and of the native species increase. However, this has not changed the overall pattern – the dominance of the introduced species, both trees and shrubs.

On the whole the conditions of the region are the most adapted for megatrophes plants, mesophytes and heliophytes and trees. The basis of the collection consists of introduced species from the Atlantic-North American, East Asian and Tsimkumboreal floristic regions.

Keywords: dendroflora, ecomorphic spectrum, Kryvyi Rih region.

УДК 58.006:581.522.5
+581.412 (477.63)

В. Н. Савосько

канд. биол. наук, доц.

*Криворожский педагогический институт
ГВУЗ «Криворожский национальный университет»,
просп. Гагарина, 72, 50086, Кривой Рог, Днепропетровская обл., Украина,
тел.: +38067-985-25-70, e-mail: savosko@list.ru*

ДИНАМИКА ЕКОМОРФИЧЕСКОГО И БИОМОРФИЧЕСКОГО СПЕКТРОВ ДЕНДРОФЛОРЫ БЫВШЕГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА КРИВОРОЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ПЕДАГОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

В насаждениях бывшего Ботанического сада Криворожского государственного педагогического института осталось 47 видов деревьев, кустарников и лиан. Среди экоморф к условиям региона наиболее приспособленными оказались: мегатрофы, мезофиты и гелиофиты, а среди биморф – деревья. Основу коллекции составляют интродуцированные виды из Атлантико-Североамериканской, Цимкумбореальной и Восточноазиатской флористических областей.

Ключевые слова: дендрофлора, экоморфический спектр, Криворожский регион.

УДК 58.006:581.522.5
+581.412 (477.63)

В. М. Савосько

канд. біол. наук, доц.

*Криворізький педагогічний інститут
ДВНЗ «Криворізький національний університет»,
просп. Гагаріна, 72, 50086, м. Кривий Ріг, Дніпропетровська обл., Україна,
тел.: +38067-985-25-70, e-mail: savosko@list.ru*

ДИНАМІКА ЕКОМОРФІЧНОГО ТА БІОМОРФІЧНОГО СПЕКТРІВ ДЕНДРОФЛОРИ КОЛИШНЬОГО БОТАНІЧНОГО САДУ КРИВОРІЗЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ПЕДАГОГІЧНОГО ІНСТИТУТУ

В насадженнях колишнього Ботанічного саду Криворізького державного педагогічного інституту залишилося 47 видів дерев, кущів та ліан. Серед екоморф найбільш пристосованими до умов регіону виявилися: мегатрофи, мезофіти та геліофіти, а серед біоморф – дерева. Основу сучасної колекції складають інтродуковані види з Атлантико-Північноамериканської, Цимкумбореальної та Східноазійської флористичних областей.

Ключові слова: дендрофлора, екоморфічний спектр, Криворізький регіон.

ВСТУП

Створені наукові колекції дерев'янистих рослин відіграють важливу роль у розробці стратегії і тактики озеленення великих промислових міст (Dobrovolsky, 1968; Gluhov et al., 2011). Однак, такі насадження являють собою штучні фітоценози, які потребують постійних агротехнічних заходів догляду. Тому, залишившись без дотаційної уваги ці колекції зазнають закономірних деградаційних змін (Porova, 2006; Orlovsky, 2010).

Яскравим прикладом наведеного вище є колишній Ботанічний сад Криворізького державного педагогічного інституту (КДПІ). Цей сад був створений у заплаві р. Саксагань на початку 30-х років минулого століття як база проведення наукових досліджень та педагогічних заходів (Dobrovolsky, 1967). Піку свого розвитку він досяг в середині 60-х років. Однак у зв'язку з переїздом у 1967 р. педагогічного інституту в новий навчальний корпус поступово зменшувалася увага до колекцій ботанічного саду. В подальшому, наприкінці 70-х років насадження саду взагалі були передані на баланс Зеленого господарства міста, що зумовило закономірне зменшення агротехнічної уваги до деревних насаджень.

Серед методик оцінки успішності та перспективи подальшого розвитку культурфітоценозів на особливу увагу заслуговує концепція біоморф, а також, запропонована та обґрунтована О. Л. Бельгардом, концепція екоморф (Belgard, 1956, 1980). В наш час екоморфічний аналіз рослинних угруповань зазнав певних творчих доробок та з успіхом використовується в дослідженні рослинного покриву різноманітних територій (Matveev and Filippova, 1995; Zverkovsky, 1997; Matveev, 2003; Zhukov, 2010). Однак, в більшості випадків цей підхід застосовується при вивченні трав'янистих рослин. В той час як екоморфічний аналіз менш поширений при дослідженні деревних насаджень.

Ботанічні та екологічні особливості деревних насаджень колишнього Ботанічного саду Криворізького державного педагогічного інституту знайшли своє відображення в наукових публікаціях 60–70-х років минулого століття (Dobrovolsky, 1967, 1968). В подальшому з'являлися лише окремі публікації, які мали а-системний та епізодичний характер (Savosko and Yuvchenko, 2007). Тому так актуально з'ясування особливостей часової динаміки екоморфічного та біоморфічного спектрів дендрофлори колишнього ботанічного саду Криворізького державного педагогічного університету. Розгляд цієї проблеми і був обраний за мету нашої роботи.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження були проведені в межах колишнього Ботанічного саду Криворізького державного педагогічного інституту, який розташований в центральній історичній частині м. Кривий Ріг (Дніпропетровська обл.).

В польових умовах протягом 2006–2011 років маршрутним методом визначали флористичний склад дерев, чагарників та ліан Ботанічного саду, який в камеральних умовах уточнювали за визначниками та посібниками (Определитель высших растений Украины, 1987; Щепотьев, 1990). Отримані результати порівнювали з видовим складом за 1966 рік (данні І. А. Добровольського (Dobrovolsky, 1967)) та за 1986 рік (результати інвентаризації насаджень саду Зеленим господарством).

У роботі було прийнято номенклатуру таксонів та їх систематичну приналежність за Черепановим (Czerepanov, 1995). Біоморфологічний аналіз видів проводили за Серебряковим (Serebrjakov, 1962), екоморфічний аналіз – за Бельгардом (Belgard, 1950, 1980), з урахуванням доповнень та рекомендацій А. П. Травлєєва, Н. А. Білової, Н. М. Матвєєва та В. В. Тарасова (Belova and Travleev, 2002; Matveev and Filippova, 1995; Matveev, 2003; Tarasov, 2005).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

При обстеженні території колишнього Ботанічного саду Криворізького державного педагогічного інституту (КДПІ) було встановлено, що в ньому станом на 01.10.2011 р. зростає 47 видів дерев, кущів та ліан (табл. 1). В складі дендрофлори виявлено лише п'ять видів (10,6 %) голонасінних та 42 види покритонасінних (89,4 %). Провідними родинami є *Rosaceae* (11 видів), *Fabaceae* та *Salicaceae* (по п'ять видів), а також *Aceraceae* (4 види). Панівними родами є *Acer* та *Populus* – по чотири види.

Порівнюючи сучасний таксономічний склад деревних насаджень з минулими роками, слід відзначити чітку тенденцію до зменшення його кількісних показників (табл. 1). Так, за даними професора І. А. Добровольського (Dobrovolsky, 1967) в 1966 році на території саду зростало 148 видів деревних рослин, які належали до 80 родів та 41 родини. При цьому слід відзначити, що на той час Ботанічний сад КДПІ був єдиним місцем зростання таких видів як *Metasequoia glyptostroboides*, *Celtis australis*, *Securinega suffruticosa*, *Cercis siliquastrum*, *Indigofera gerardiana*, *Kerria japonica*, *Koelreuteria paniculata*, *Xanthoceras sorbifolium*, *Schisandra chinensis*. В подальшому ці види випали зі складу насаджень Ботанічного саду.

Вікова динаміка видового складу деревних насаджень Ботанічного саду КДПІ знайшла своє закономірне відображення на певних змінах біоморфічного спектру (рис. 1). Так, в 1966 році в колекції мало місце незначне домінування дерев – 76 видів (51,4 %), чагарників було дещо менше – 64 види (43,3 %), ліан – лише вісім видів (5,4 %). В подальшому відзначається чітка тенденція до зменшення в біоморфічному спектрі питомої ваги чагарників та ліан.

Таблиця 1

Динаміка таксономічного складу дендрофлори колишнього Ботанічного саду КДПІ				
№	Таксон	Кількість, шт.		
		1966 р.	1986 р.	2006 р.
1	Родина	41	33	31
2	Рід	81	60	35
3	Вид	148	76	47

Проаналізувавши ставлення видів дендрофлори колишнього Ботанічного саду до ґрунтового багатства, нами виділено п'ять груп трофоморф: оліготрофи, олігомезотрофи, мезотрофи, мезомегатрофи та мегатрофи (рис. 2).

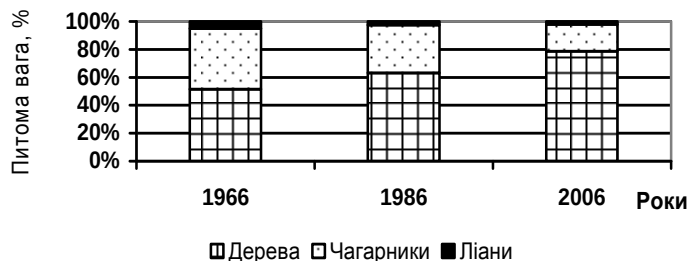


Рис. 1. Динаміка біоморфічного спектру дендрофлори колишнього Ботанічного саду КДПІ

Станом на 1966 рік серед трофоморф переважали мезотрофи (73 види – 49,3 %) та олігомезотрофи (31 вид – 21,0 %), дещо менше було мегатрофів (23 види – 15,5 %). Найменш чисельними виявилися мезомегатрофи – 13 видів (8,8 %) та оліготрофи – 8 видів (5,4 %). З часом трофоморфний спектр дендрофлори зазнав певних змін (рис. 2). В першу чергу слід відзначити збільшення питомої ваги мегатрофів: з 15,5 % у 1966 році – до 25,5 % у 2006 році (в 1,6 рази). Водночас відбулося зменшення сумарної питомої ваги оліготрофів та олігомезотрофів: з 26,4 % в 1966 році до 14,9 % в 2006 році (в 1,8 разів). Не дивлячись на відсутність чіткої тенденції до зміни питомої ваги мезотрофів, вони стабільно складають найбільш поширену частину деревних насаджень Ботанічного саду.

В екологічному спектрі за відношенням видів дендрофлори колишнього Ботанічного саду КДПІ до рівня зволоження ґрунтів простежується тенденція до мезофітизації (рис. 3). Так, станом на 1966 рік, мезофільна група містить 48 видів (32,4 %) і є найчисельнішою. Ксеромезофільна та мезоксерофільна групи дещо менші та налічують відповідно 39 (26,4 %) та 26 (17,6 %) видів. Значно менша група мезогігрофітів (15 видів – 10,1 %) та гігромезофітів (8 видів 5,4 %). Ксерофіти та гігрофіти мають найменшу кількість видів по 6 (4,1 %). Вікові зміни гігоморфного спектру деревних насаджень Ботанічного саду мають такі напрямлення: відбулося зменшення питомої ваги ксерофітів у 1,9 разів, та мезогігрофітів у 2,4 рази. Водночас мало місце збільшення відносної кількості мезофітів (в 1,1 рази), мезоксерофітів (в 1,2 рази) та гігромезофітів (в 1,6 разів).

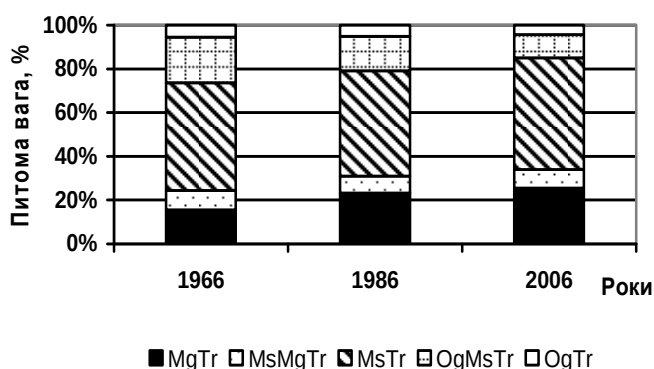


Рис. 2. Динаміка трофоморфного спектру дендрофлори колишнього Ботанічного саду КДПІ

Проведені розрахунки (рис. 4) показали, що станом на 1966 р. в дендрофлорі колишнього ботанічного саду КДПІ серед геліоморф домінували геліофіти (87 видів – 58,8 %), сціогеліофітів було у 2,1 рази менше (43 види – 29,1 %), геліосціофітів у 6,7 рази менше (13 видів – 8,8 %). Сціофіти мали найменшу кількість видів – 5 (3,4 %), що у 17,4 разів менше за кількість геліофітів. З часом геліоморфний спектр зазнає наступних змін: не дивлячись на зменшення питомої ваги геліофітів (з 58,8 % у 1966 р. до 53,2 % у 2006 р.), вони залишаються найбільш чисельною групою цього спектру. Водночас виявлено збільшення у 1,4 рази сціогеліофітів, та загальне зменшення кількості та питомої ваги геліосціофітів та сціофітів.

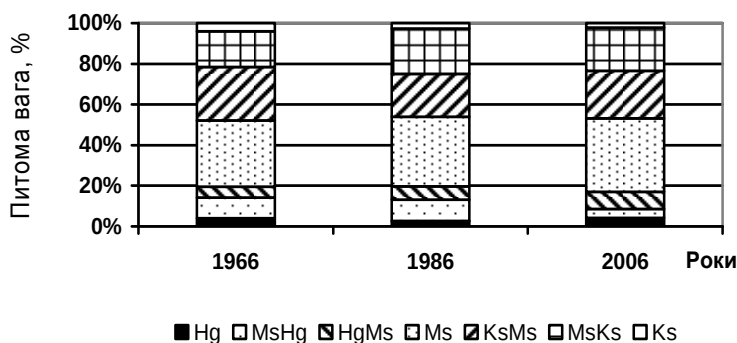


Рис. 3. Динаміка гігоморфного спектру дендрофлори колишнього Ботанічного саду КДПІ

У віковій динаміці розподілу видів за походженням дендрофлори колишнього Ботанічного саду КДПІ були виявлені певні закономірності (рис. 5). Так, станом на 1966 рік в складі деревних насаджень інтродуковані види (115 видів – 77,70 %) значно переважають над аборигенними (33 види – 22,30 %).

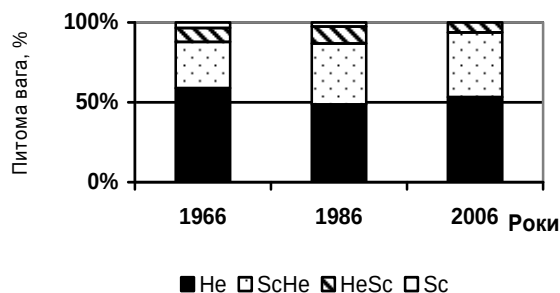


Рис. 4. Динаміка геліоморфного спектру дендрофлори Ботанічного саду КДПІ

Слід зазначити, що разом з провідними ботаніками (Belgard, 1950; Dobrovolsky, 1968; Shchepotev, 1990) під аборигенними видами ми розуміємо лише ті види, які поширені в природній флорі регіону. В нашому випадку це флора Дніпропетровської та Запорізької областей (Tarasov, 2005), а також флора Правобережного степового Придніпров'я (Kucherevsky, 2004).

З часом в насадженнях виявлена тенденція до зменшення питомої ваги інтродуцентів та збільшення аборигенів. Однак це не змінило загальну закономірність – домінування інтродуцентів, як у дерев так і у чагарників (рис. 5).

Аналіз розподілу дерев'янистих видів колишнього Ботанічного саду КДПІ за флористичними областями походження (Taktadzhn, 1978) показав, що вони природно поширені у Бореальному, Давньосередземноморському, Мадреанському підцарствах Голарктичного царства (табл. 2).

Станом на 1966 р. ареали 54 видів (36,5 %) знаходяться в межах однієї флористичної області, ще 63 види (42,6 %) – двох областей, 27 видів (18,2 %) – трьох областей та 3 види (2,0 %) – чотирьох та більше областей. Один вид, як гібрид, характеризується не визначеним походженням. Слід зазначити, що серед видів, ареали яких знаходяться в межах однієї флористичної області, Східноазійська, Антантико-Північноамериканська та Цимкумбореальна області мають найбільше представництво, відповідно 22 види (14,7 %), 12 видів (8,1 %) та 11 видів (7,4 %).

Серед видів, природне поширення яких знаходиться в межах двох флористичних областей, Цимкумбореальна – Антантико-Північноамериканська та Цимкумбореальна – Східноазійська області характеризуються максимальною

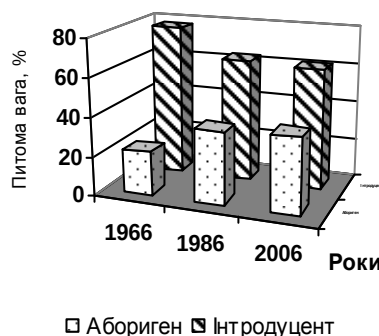


Рис. 5. Динаміка розподілу видів за походженням деревних насаджень колишнього Ботанічного саду КДПІ

кількістю видів: по 16 (10,8 %). Також досить поширені Цимкумбореальна – Середземноморська та Східноазійська – Середземноморська області, відповідно, 15 (10,1 %) та 10 (6,8 %) видів. Встановлено, що Циркумбореальна, Атлантико-Північноамериканська, Східноазійська, Середземноморська та Ірано-Туранська області найчастіше трапляються в ареалі видів, які поширені в межах трьох та чотирьох флористичних областей.

Таблиця 2

**Розподіл за флористичними областями
видів дендрофлори колишнього Ботанічного саду КДНІ**

№	Флористична область	Розподіл видів					
		1966 р.		1986 р.		2006 р.	
		шт.	%	шт.	%	шт.	%
1	Цимкумбореальна	11	7,4	9	11,8	9	19,2
2	Східноазійська	22	14,9	8	10,5	1	2,13
3	Атлантико-Північноамериканська	12	8,1	9	11,8	8	17,0
4	Середземноморська	8	5,4	1	1,32	1	2,13
5	Мадреанська	1	0,68	0	0,00	1	2,13
7	Цимкумбореальна – Східноазійська	1	0,68	2	2,63	0	0,00
8	Цимкумбореальна – Атлантико-Північноамериканська	16	10,8	4	5,26	1	2,13
10	Цимкумбореальна – Середземноморська	15	10,1	12	15,8	6	12,7
11	Цимкумбореальна – Східноазійська	16	10,8	9	11,8	8	17,0
12	Східноазійська – Середземноморська	10	6,76	1	1,32	1	2,13
13	Атлантико-Північноамериканська – Мадреанська	1	0,68	0	0,00	0	0,00
14	Область скелястих гір – Мадреанська	2	1,35	1	1,32	0	0,00
15	Середземноморська – Ірано-Туранська	2	1,35	0	0,00	0	0,00
16	Види, природно поширені в трьох флористичних областях	27	18,2	17	22,4	9	19,2
17	Види, природно поширені в чотирьох та більше флористичних областях	3	2,0	2	2,6	2	4,3
18	Гібриди	1	0,68	1	1,32	0	0,00
19	РАЗОМ	148	100	76	100,0	47	100,0

З часом відбувається збільшення питомої ваги видів, які природно поширені в одній флористичній області (з 36,5 % у 1966 р. до 42,6 % у 2006 р.). Водночас відбувається зменшення питомої ваги видів, природно поширених в двох флористичних областях (з 42,57 у 1966 р. до 34,04 %). Види Цимкумбореальної та Атлантико-Північноамериканської областей виявилися найбільш пристосованими до природно-кліматичних умов Криворіжжя.

ВИСНОВКИ

1. Таксономічний склад дендрофлори колишнього Ботанічного саду Криворізького державного педагогічного інституту за останні 40 років зазнав значних деградаційних змін. З колекції випали 99 видів, 46 родів та 10 родин. Станом на 2011 р. в ньому залишилося 47 видів дерев, кущів та ліан.

2. Вікова динаміка екоморфічного спектру дендрофлори виявила більш пристосованими до умов регіону: серед трофоморф – мегатрофів, серед гігроморф – мезофітів, серед геліоморф – геліофітів.

3. У біоморфічному спектрі дендрофлори зросла питома вага дерев, які, у порівнянні з чагарниками та ліанами, виявилися більш стійкими до зміни заходів агротехніки та більш довговічними.

4. Інтродуковані види, не зважаючи на зменшення їх питомої ваги, становлять основу колекції дендрофлори Ботанічного саду. Серед них домінують види, які природно поширені у Атлантико-Північноамериканській, Цимкумбореальній та Східноазійській флористичних областях.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Belgard, A. L., 1950.** Lesnaia rastitelnost yugo-vostoka USSR [Forest vegetation south-east of the USSR]. Publishing House of the of KSU, Kiev (in Russian).
- Belgard, A. L., 1980.** K voprosu ob ekolohicheskom analize I strukture fititsenozov v stepi [On the question of the environmental analysis and the structure of plant communities in the steppe]. Questions of biological diagnosis of forest ecosystems Prisma. Publishing House of the DSU, Dnepropetrovsk. 11–42 (in Russian).
- Belova, N. A., Travleev, A. P., 2002.** Puti k obektivnoj otsenke zhiznennosti lesnogo bioheotsenozu (K 100-letiu so dnia rozhdeniia A. L. Belgarda) [The paths to an objective assessment of the viability of the forest ecosystem (the 100th anniversary birthday of A. L. Belgard)]. Ecology and Noospherology. 12(3-4), 4–7 (in Russian).
- Czerepanov, S. K., 1995.** "Vascular plants of Russia and adjacent states (the former USSR)", Cambridge, Cambridge university press, 560 p.
- Dobrovolsky, I. A., 1967.** Dendrarij Krivorozhskogo pedagogicheskogo instituta [Arboretum of the Kryvyi Rih Educational Institute]. Bulletin of GBS. 65, 8–13 (in Russian).
- Dobrovolsky, I. A., 1968.** Rezultaty introduktsii ta aklimatyzatsii dekoratyvnykh derev ta chagarnykovykh porid u Kryvorizkomu baseini za roky Radianskoi vlady [Results of introduction and acclimatization of ornamental trees and shrub species in Kryvyi Rih basin during the years of Soviet power]. Republican interdepartmental book "Introduction and acclimatization of plants in Ukraine". Naukova Dumka, Kyiv. 3, 8–27 (in Ukrainian).
- Gluhov, A. Z., Harhota, A. I., 2011.** Ekomorficheskij analiz rannetsvetushchikh vidov rastenij v tekhnogennykh ekotopakh yugo-vostoka Ukrainy [Ecomorphological analysis of early-flowering plant species in the man-made ecotopes south-east of Ukraine]. Ecology and Noospherology. 22(3-4), 48–56 (in Russian).
- Kucherevsky, V. V., 2004.** Konspekt flory Pravoberezhnogo stepovoho Prydniprov'ia [Synopsis of the flora at Right Bank steppe Dnieper region]. Prospect, Dnepropetrovsk (in Ukrainian).
- Matveev, N. M., 2003.** Optimizatsiia sistemy ekomorf rastenij A. L. Belgarda v tseliakh fitoindikatsii ekotopa I biotopa [Optimization of system isomorphs plants A. L. Belgard for phytoindication of the ecotope and habitat]. Bulletin of Dnepropetrovsk University, Series Biology and Ecology. 2(11), 105–113 (in Russian).
- Matveev, N. M., Filippova, K. N., 1995.** Sistemacheskij I ekomorfnyj analiz flory Krasnosamarskogo lesnogo massiva v zone nastoiashchikh stepej [The systematic and ecomorphic analysis of flora at Krasnosamarsky forest in true steppe zone]. Questions of ecology and conservation in forest-steppe and steppe zones, Samara Publishing House of the "Samara University". 41–71 (in Russian).
- Opredelitel vysshikh rastenij Ukrainy** [Key to higher plants in Ukraine], 1985. Ed. D. N. Dobrochaeva, M. I. Kotov, J. N. Prokudin etc. Naukova Dumka, Kiev (in Russian).
- Orlovsky, V. K., 2010.** Stan ta perspektyvy vykorystannia dendroloichnykh kolektsii dendroparku "Veseli Bokovenky" [Status and prospects of dendrological collection arboretum "Veseli Bokovenky"]. Proceedings of "Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. 1–5 (in Ukrainian).
- Popova, O. M., 2006.** Suchasnyi stan dendroflory Hetmanivskoho dendroparku [Current status of the dendroflora in Hetmanivsky park]. Bulletin of the Odessa National University, Biology. 11(9), 85–92 (in Ukrainian).
- Savosko, V. M., Yuvchenko, K. M., 2007.** Dynamika vydovoho skladu dendroflory kolyshnogo botanichnogo sadu Kryvorizkoho derzhavnoho pedahohichnogo universytetu [The dynamics of the dendroflora species composition in former Botanic Garden of the Kryvyi Rih Educational University]. Proceedings of VI International Scientific and Practical Conference "Problems of ecology and environmental education". Publishing House, Kryvyi Rih. 105–107 (in Ukrainian).

Serebrjakov, I. G., 1962. Ekologicheskaia morfologiya rastenij. Zhiznennye formy pokrytosemennykh i khvoinykh [The ecological morphology of plants. Life forms of angiosperms and conifers]. High School, Moscow (in Russian).

Shchepot'ev, F. L., 1990. Dendrologiya [Dendrology]. High School, Kiev (in Russian).

Taktadzhani, A. L., 1978. Floristicheskie oblasti Zemli [Floristic regions of the Earth]. Nauka, Leningrad (in Russian).

Tarasov, V. V., 2005. Flora Dnipropetrovskoi ta Zaporizkoi oblastei. Sudynni roslyny. Bioloho-ekolohichna kharakteristika vydiv [Flora

Dnipropetrovsk and Zaporizhzhya regions. Vascular plants. Biology and ecological characteristics of the species]. Dnepropetrovsk publishing house of DNU (in Ukrainian).

Zhukov, O. V., 2010. Ekomorfy Belharda – Akimova ta ekolohichni matrytsi [The Ecomorphs Bellegarde-Akimov and environmental matrix]. Ecology and Noospherology. 21(3-4), 109–111 (in Ukrainian).

Zverkovsky, V. M., 1997. Fitomelioratsiia shchakhtnykh vidvaliv v Zakhidnomu Donbasi [The phytomelioration of mine dumps in the Western Donbass]. Ukrainian Botanical Journal. 54(5), 474–481 (in Ukrainian).

Стаття надійшла в редакцію: 27.08.2012

Рекомендує до друку: д-р біол. наук, проф. В. М. Зверковський

BIOGEOCENOLOGY, PHYTOCENOLOGY AND GEOBOTANY



I. I. Krokhamal 

Cand. Sci. (Biol.),
Senior Staff Scientist

UDK 581.45:581.522.4
(477.60)

Donetsk botanical garden
of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Illich ave, 83059, Donetsk, Ukraine

ECOLOGICAL AND FUNCTIONAL LEAF MORPHOLOGY OF SPECIES OF THE GENUS *AQUILEGIA* L.

Abstract. The functional leaf morphology of 13 species and one subspecies of the genus *Aquilegia* L. was studied in the steppe zone of Ukraine: *A. oxysepala* Trautv. & C. A. Mey. var. *kansuensis* Brune, *A. buergeriana* Sieb. et Zucc., *A. flabellata* Sieb. et Zucc., *A. aurea* Janka, *A. nigricans* Baumg., *A. pyrenaica* DC., *A. canadensis* L., *A. skinneri* Hook., *A. chaplinii* Standley ex Paysch., *A. alpina* L., *A. einseleana* F.W. Schultz, *A. sibirica* Lam., *A. olympica* Boiss.

There are some common features in all investigated species of this genus introduced in the steppe of Ukraine: 1) a higher leaf indentation (I_z) and correlation of fresh weight to leaf area (m/S) related to increase in the total solar radiation in June, annual precipitation (I_s), the sum of temperatures above 10 °C and the duration of period with temperature above 5 °C; 2) higher correlation of fresh and dry weight (m_2/m) in the species from dry habitats; 3) higher correlation of fresh leaf weight to petiole length (m/L_p) in the species from warmer habitats; 4) higher correlation of leaf area to petiole length (S/L_p) related to decrease in the total solar radiation in June; 5) higher correlation of leaf petiole length to its diameter (L_p/d_p) related to the increase of annual precipitation variation and duration of the period with temperature above 15 °C in their natural habitats. The correlation of dry leaf weight to its area (m_2/S) is characterized by the same correspondences as m/S , except for solar radiation.

There are significant differences in some parameters in North-American alpine forest species as the steppe climate of Ukraine is much more dry and cold than that of their natural habitats. This causes the adaptive morphologic modification of the leaf. We observe a higher leaf indentation, correlation of fresh weight (m/S) and dry weight (m_2/S) to leaf area, correlation of fresh leaf weight to petiole length (m/L_p) in North-American alpine forest species in comparison to highland sub-alpine and lowland forest species of Eurasian origin.

The correlation of the leaf area to petiole length (S/L_p) and correlation of fresh and dry weight (m_2/m) is higher in the group of subalpine species. The correlation of leaf area to petiole length (S/L_p) is higher in alpine forest species. Highland and lowland forest species are characterized by increase of leaf blade indentation (I_z), a smaller leaf area (S) related to increase in the total solar radiation in June in their natural habitats. They are also characterized by increase in a length of petiole (L_p) and a lower m_2/m , related to increase of the difference in annual precipitation and evaporation. Sub-alpine and alpine forest species are characterized in a region of introduction by increase of leaf blade indentation (I_z) and the correlation of fresh weight to leaf area (m/S) related to increased annual precipitation evaporation. Such parameters as I_z , m/S and m_2/S are higher in subalpine and alpine forest species from warmer habitats.

 Tel.: +38095-401-99-78. E-mail: dies_irae78@mail.ru

DOI: 10.15421/031405

We have identified the following morphological leaf features which provide its normal functioning in the changing growth conditions: indented edge of the leaf blade, a sufficient accumulation of plastic substances (m_2/S) – it is higher in the species from warmer regions with high evaporation. Leaves of the species from warmer regions accumulate more water. The species from warmer regions and warm regions with high evaporation are the most adapted to steppe conditions of Ukraine.

Key words: functional leaf morphology, *Aquilegia* L. species, introduction, the steppe zone of Ukraine, climatic factors of natural habitats.

УДК 581.45:581.522.4
(477.60)

І. І. Крохмаль

канд. біол. наук,
стар. наук. спів.

*Донецький ботанічний сад НАН України,
просп. Ілліча, 110, 83059, м. Донецьк, Україна,
тел.: +38095-401-99-78, e-mail: dies_irae78@mail.ru*

ЕКОЛОГО-ФУНКЦІОНАЛЬНА МОРФОЛОГІЯ ЛИСТКА ВИДІВ РОДА *AQUILEGIA* L.

Вивчена функціональна морфологія листка 13 видів 1 різновиду роду *Aquilegia* L. в степовій зоні України. Горні і рівнинні лісні види характеризуються збільшенням розсіченості листка (I_z), зменшенням площі листка (S) при збільшенні сумарної сонячної радіації червня в природних місцезростаннях; збільшенням довжини черешка листка (L_p) і зменшенням m_2/m – при зростанні різниці річних опадів і випаровування. В регіоні інтродукції у субальпійських та високогірних лісних видів при зростанні річного випаровування опадів збільшуються розсіченість листка (I_z) та відношення свіжої ваги до площі листка (m/S). У субальпійських і високогірних лісних видів з більш теплих місць зростання зростають I_z , m/S і m_2/S . Виділені наступні морфологічні ознаки листка, які забезпечують ефективне його функціонування в змінених умовах: розсіченість краю листкової пластинки, достатнє накопичення пластичних речовин (m_2/S) – більше у видів з більш теплих регіонів з високим випаровуванням. Листки видів з більш теплих регіонів накопичують більшу кількість води.

Ключові слова: функціональна морфологія листка, види роду *Aquilegia* L., інтродукція, степова зона України, кліматичні фактори природних місцезростань.

УДК 581.45:581.522.4
(477.60)

І. І. Крохмаль

канд. биол. наук,
стар. науч. сотр.

*Донецкий ботанический сад НАН Украины,
просп. Ильича, 110, 83000, г. Донецк, Украина,
тел.: +38095-401-99-78, e-mail: dies_irae78@mail.ru*

ЕКОЛОГО-ФУНКЦІОНАЛЬНАЯ МОРФОЛОГИЯ ЛИСТА ВИДОВ РОДА *AQUILEGIA* L.

Изучена функциональная морфология листа 13 видов 1 разновидности рода *Aquilegia* L. в степной зоне Украины. Горные и равнинные лесные виды характеризуются увеличением изрезанности листа (I_z), уменьшением площади листа (S) при возрастании суммарной солнечной радиации июня в природных местообитаниях; увеличением длины черешка листа (L_p) и уменьшением m_2/m – при возрастании разницы годовых осадков и испарения. В регионе интродукции у субальпийских и высокогорных лесных видов при возрастании годового испарения осадков увеличиваются изрезанность листа (I_z) и отношение свежего веса к площади листа (m/S). У субальпийских и высокогорных лесных видов из более теплых мест произрастания возрастают I_z , m/S и m_2/S . Выделены следующие морфологические признаки листа, которые обеспечивают эффективность его функционирования в изменившихся условиях произрастания: изрезанность края листовой пластинки, достаточное накопление пластических веществ (m_2/S) – больше у видов из более теплых регионов с высокой испаряемостью. Листья видов из более теплых регионов накапливают большее количество воды.

Ключевые слова: функциональная морфология листа, виды рода *Aquilegia* L., интродукция, степная зона Украины, климатические факторы природных местообитаний.

ВВЕДЕНИЕ

Род *Aquilegia* L. возник 6,18–6,57 миллионов лет назад. Известно 60–70 видов рода, произрастающих в Северном полушарии, из них 35 введено в культуру. Видовое разнообразие рода – результат двух независимых путей эволюции: первый включает в себя азиатские и североамериканские виды, второй – азиатские и европейские виды (Bastida, Alcantara, Rey, Vargas, Herrera, 2010). Предполагают, что предок двух линий произрастал в горах юга Центральной Сибири. Эволюция евразийской линии видов рода *Aquilegia* была связана с изменением среды обитания, в то время как азиатско-североамериканской – с разнообразием опылителей. Аллопатрическое видообразование рода преобладает в Европе, симпатрическое – в Северной Америке. Лист видов рода дважды-тройчато-сложный. В различных условиях обитания листочки листа характеризуются различной рассеченностью: имеют лопасти, доли или сегменты. Морфологические особенности листа свидетельствуют о характере его функциональной деятельности, что позволяет выяснить уровень адаптации видов, обосновать научные основы выращивания и размножения их для включения в ассортимент растений для зеленого строительства в степной зоне Украины.

Цель работы – выявление особенностей функциональной морфологии листа видов рода *Aquilegia* в степной зоне Украины для определения степени их адаптации.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В настоящее время в коллекции Донецкого ботанического сада насчитывается 20 видов, 3 разновидности, 2 сорта рода *Aquilegia*. Изучены морфологические особенности, водный баланс розеточных листьев 13 видов 1 разновидности рода *Aquilegia* в степной зоне Украины: *A. oxysepala* Trautv. & C. A. Mey. var. *kansuensis* Brune, *A. buergeriana* Sieb. et Zucc., *A. flabellata* Sieb. et Zucc., *A. aurea* Janka, *A. nigricans* Baumg., *A. pyrenaica* DC., *A. canadensis* L., *A. skinneri* Hook., *A. chaplinii* Standley ex Paysch., *A. alpina* L., *A. einseleana* F.W. Schultz, *A. sibirica* Lam., *A. olympica* Boiss. Ценотическая приуроченность и климатические факторы в местообитаниях видов приведены в таблице 1. Определены размер листа, длина черешка, размер верхнего и бокового листочков, периметр, площадь, свежий и сухой

Таблица 1

Ценотическая приуроченность видов рода *Aquilegia* L. и климатические факторы в природных местообитаниях

Климатический фактор	Лесные равнинные (группа 1)	Высокогорные лесные (группа 2)	Субальпийские, альпийские (группа 3)	В регионе интродукции
	<i>A. oxysepala</i> var. <i>kansuensis</i> , <i>A. buergeriana</i> , <i>A. flabellata</i>	<i>A. canadensis</i> , <i>A. skinneri</i> , <i>A. chaplinii</i>	<i>A. alpina</i> , <i>A. einseleana</i> , <i>A. sibirica</i> , <i>A. olympica</i> , <i>A. aurea</i> , <i>A. nigricans</i> , <i>A. pyrenaica</i>	
	в естественных местообитаниях			
1	2	3	4	5
солнечная радиация июня (Rs), ккал / см ²	11,3	10,7	3,8	17,0
количество годовых осадков (Os), мм	1000	1166	1062	375
количество годового испарения (Is), мм	800	1233	867	1625
коэффициент увлажнения	1,25	0,93	1,39	0,23

1	2	3	4	5
разница годовых осадков и испарения ($O_s - I_s$), мм	433	667	33	– 300
сумма температур ($\sum t$) за период выше 10 °C	2750	5833	2916	3500
температура воздуха самого теплого месяца (T_{mt}), °C	20,3	23,0	16,7	20,0
длительность периода с температурой выше 10 °C ($L_{per} > 10$ °C), дни	160	287,5	162,5	150
длительность периода выше 5 °C ($L_{per} > 5$ °C), дни	190	298	155	210
длительность периода выше 15 °C ($L_{per} > 15$ °C), дни	110	263	128	150

вес листовой пластинки. Вычислены следующие параметры: изрезанность листа (I_z) – отношение периметра листа к его площади; отношение веса свежей листовой пластинки к ее площади (m/S); отношение веса свежей листовой пластинки к длине черешка листа (m/L_p); отношение площади листовой пластинки к длине черешка (S/L_p); отношение веса сухой листовой пластинки к ее площади (m_2/S); отношение веса сухой листовой пластинки к весу свежей (m_2/m). Климатические факторы мест естественного произрастания видов определены по Агроклиматическому атласу мира (Agroklimaticheskij atlas mira, 1972).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

I. Морфология и аллометрия. Среди лесных равнинных видов (1) у *A. buergeriana* изрезанность листа больше в 1,1–2,0 раза, m/S – 3,6–5,5, m/L_p – 1,5–6,0, m_2/S – в 1,7–2,3 раза, m_2/m – меньше в 2,4–2,6 раза по сравнению с другими лесными видами. *A. oxysipala* var. *kansuensis* характеризуется большими значениями S/L_p и m_2/L_p (рис. 1 с, d).

В группе (2) высокогорных лесных видов накопление свежего веса на единицу площади листа имеет разный характер, сухого вещества – похожий (рис. 2): больший свежий вес у *A. chaplinii*, сухой – *A. skinneri*.

Среди субальпийских видов (3) у *A. olympica* изрезанность листа больше в 1,5–2,0 раза, m/S – в 2,6–4,0 раза, m_2/S – в 1,4–3,5 раза по сравнению с другими субальпийскими видами (рис. 1 а, b). У *A. aurea* образование сухого веса к свежему (m_2/m) больше в 1,3–2,1 раза, S/L_p – в 1,5–2,0 раза, m_2/L_p в 1,5–3,0 раза по сравнению с другими видами. Большие значения S/L_p и m_2/L_p характерны также для *A. alpina*. Отношение свежего веса листа к длине черешка листа (m/L_p) больше у *A. alpina* в 1,4–1,9 раза по сравнению с другими видами. Большие значения m/L_p характерны для *A. olympica* и *A. aurea*.

Изрезанность листа (I_z), отношение свежего (m/S) и сухого веса (m_2/S) к площади листа, отношение свежего веса листа к длине черешка (m/L_p) у североамериканских высокогорных лесных видов (2) выше по сравнению с горными субальпийскими (3) и равнинными лесными (1) видами европейско-азиатского происхождения. Отношение площади листа к длине черешка (S/L_p) меньше в группе (2). Отношение площади листа к длине черешка S/L_p и отношение сухого веса к свежему (m_2/m) выше в группе (3) субальпийских и альпийских видов.

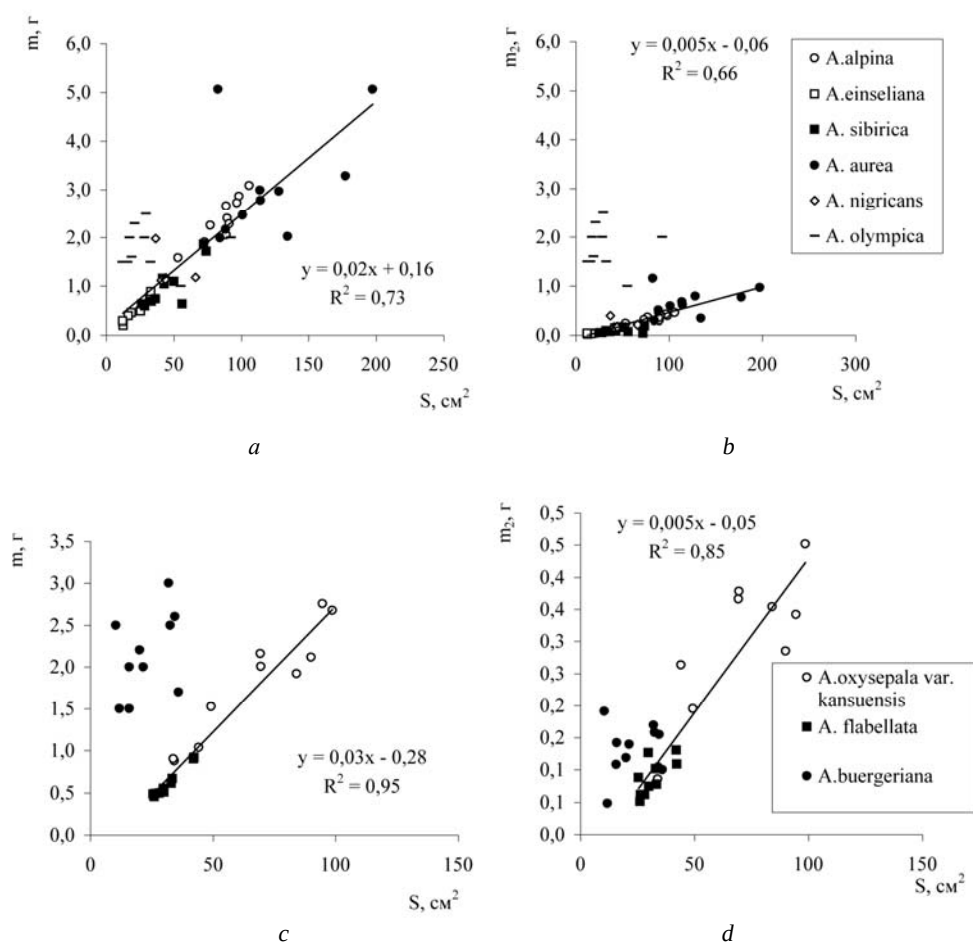


Рис. 1. Зависимость веса от площади листовой пластинки видов рода *Aquilegia* L.:

a, c – свежей, *b, d* – сухой; *a, b* – субальпийские, альпийские виды;

c, d – равнинные лесные виды

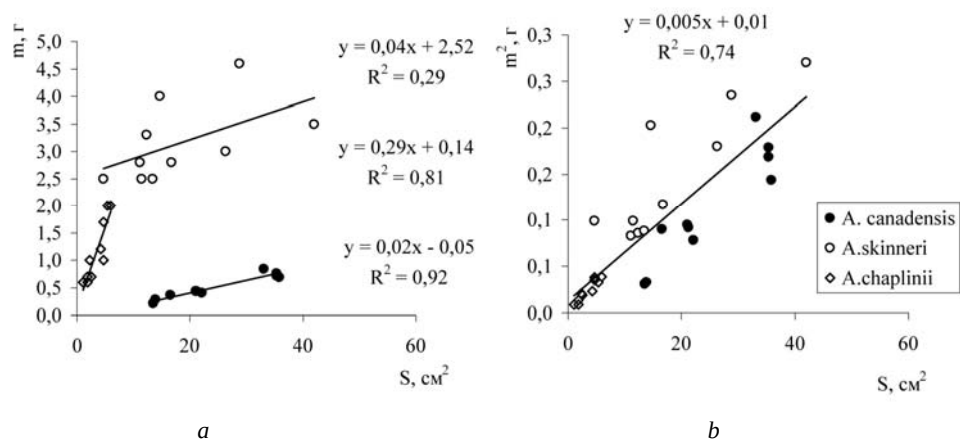


Рис. 2. Зависимость веса от площади листовой пластинки высокогорных лесных видов рода *Aquilegia* L.:

a – свежей; *b* – сухой

II. Связь морфологических показателей листа растений в регионе интродукции с климатическими факторами в местах естественного произрастания.

При анализе общего пула данных выявлено, что в степной зоне Украины изрезанность листа (I_z) и отношение свежего веса к площади листа (m/S) увеличивается при возрастании суммарной солнечной радиации июня, годового испарения осадков (I_s), суммы температур выше 10°C , длительности периода с температурой выше 5°C (рис. 3). Накопление сухого веса листа на единицу его площади (m_2/S) характеризуется такими же зависимостями, как и m/S , за исключением солнечной радиации (рис. 4, $b-d$). Отношение сухого веса листа к свежему увеличивается у видов из более сухих мест произрастания (рис. 4, a). Отношение свежего веса листа к длине черешка (m/L_p) выше у видов из более теплых мест произрастания (рис. 4, $g-h$). Отношение площади листа к длине черешка листа (S/L_p) увеличивается со снижением суммарной солнечной радиации июня (рис. 4, e), а отношение длины черешка к его диаметру (L_p/d_p) – с возрастанием вариации количества годовых осадков и длительности периода с температурой выше 15°C в местах естественного произрастания (рис. 4, f).

В группе (1) видов лесов равнин выявляются следующие закономерности. У видов из более влажных местообитаний меньшие значения линейных характеристик, периметра (P), площади (S) листовой пластинки, отношения ее сухого веса к свежему (m_2/m); большие – изрезанности края листа (I_z), отношения свежего веса к площади листа (m/S) (табл. 2). Свежий вес листовой пластинки (m) снижается при уменьшении испарения осадков в местах естественного произрастания видов. Длина черешка листа (L_p) больше у видов из холодных и влажных мест обитания. Отношение свежего веса к площади листовой пластинки (m/S) увеличивается при возрастании суммы температур выше 10°C , температуры самого теплого месяца и длительности периода выше 5°C . Накопление сухого веса листа на единицу площади (m_2/S) выше у видов из регионов с более длительными периодами с температурой выше 10°C и 15°C . Отношение сухого веса к свежему m_2/m уменьшается у видов из более теплых мест произрастания. При увеличении июньской суммарной солнечной радиации уменьшаются площадь листа (S), отношение площади листа к длине черешка (S/L_p), сухой вес листовой пластинки (m_2), отношение сухого веса листовой пластинки к длине черешка (m_2/L_p) и увеличивается изрезанность листа (I_z).

У высокогорных североамериканских видов (группа 2) размер листа и верхней доли листа, площадь листа (S), отношение площади листа к длине черешка (S/L_p), сухого веса листа к длине черешка (m_2/L_p), сухого веса листа к свежему (m_2/m) уменьшаются, изрезанность листа (I_z), отношение свежего веса к площади листа (m/S), отношение свежего веса листа к длине черешка (m/L_p) увеличиваются при возрастании суммарной солнечной радиации июня в местах природного произрастания видов (табл. 3). В регионе интродукции площадь листа (S) уменьшается при увеличении температуры воздуха самого теплого месяца в природных местообитаниях видов. Свежий вес листа больше у видов из более влажных и теплых мест. Изрезанность листа (I_z) и отношение m/S увеличивается у видов из мест с большим годовым испарением осадков, более высокой температурой самого теплого месяца. Длина черешка листа больше у видов из мест с большим количеством годовых осадков. Отношение свежего веса листа к длине черешка листа (m/L_p) увеличивается у видов из более влажных и теплых мест происхождения. Отношение площади листа к длине черешка (S/L_p) уменьшается у видов из мест с большим годовым испарением осадков, с большей суммой температур выше 10°C и температуры самого теплого месяца, с более длительным периодом с температурой больше 5°C . Накопление сухого веса на единицу площади листа (m_2/S) увеличивается у растений из более влажных и теплых мест. Отношение сухого веса листа к свежему (m_2/m) увеличивается у видов из более холодных мест произрастания, с меньшей разницей осадков и испарения. Отношение сухого веса листа к длине черешка листа (m_2/L_p) увеличивается при уменьшении количества годового испарения осадков и температуры самого теплого месяца.

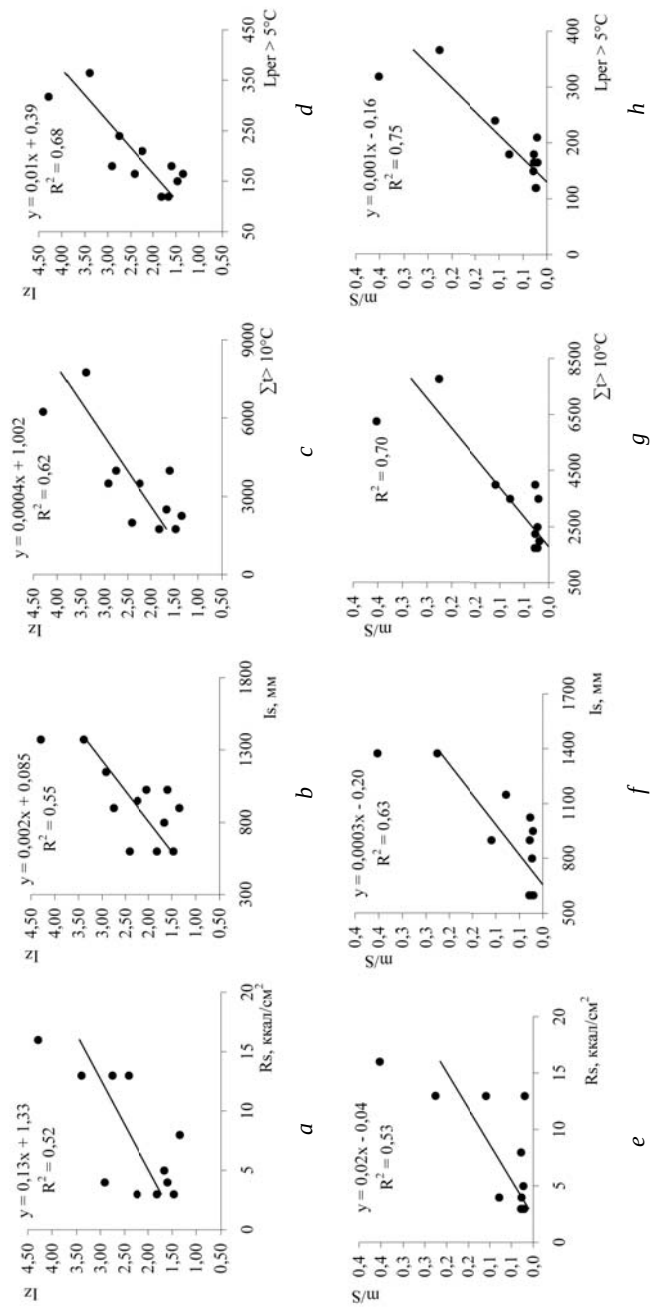


Рис. 3. Зависимость изрезанности листа ($a-d$) и отношения свежего веса листа к площади листа ($e-h$) видов рода *Aquilegia* L. от климатических факторов в природных местообитаниях:

I_z – изрезанность листовых пластинок; p/S – свежий вес / площадь листа; Rs – суммарная солнечная радиация июня, ккал/см²; $L_{per} > 5^\circ C$ – длительность периода выше $5^\circ C$; ls – количество годового испарения, мм; $\sum t$ – сумма температур выше $10^\circ C$

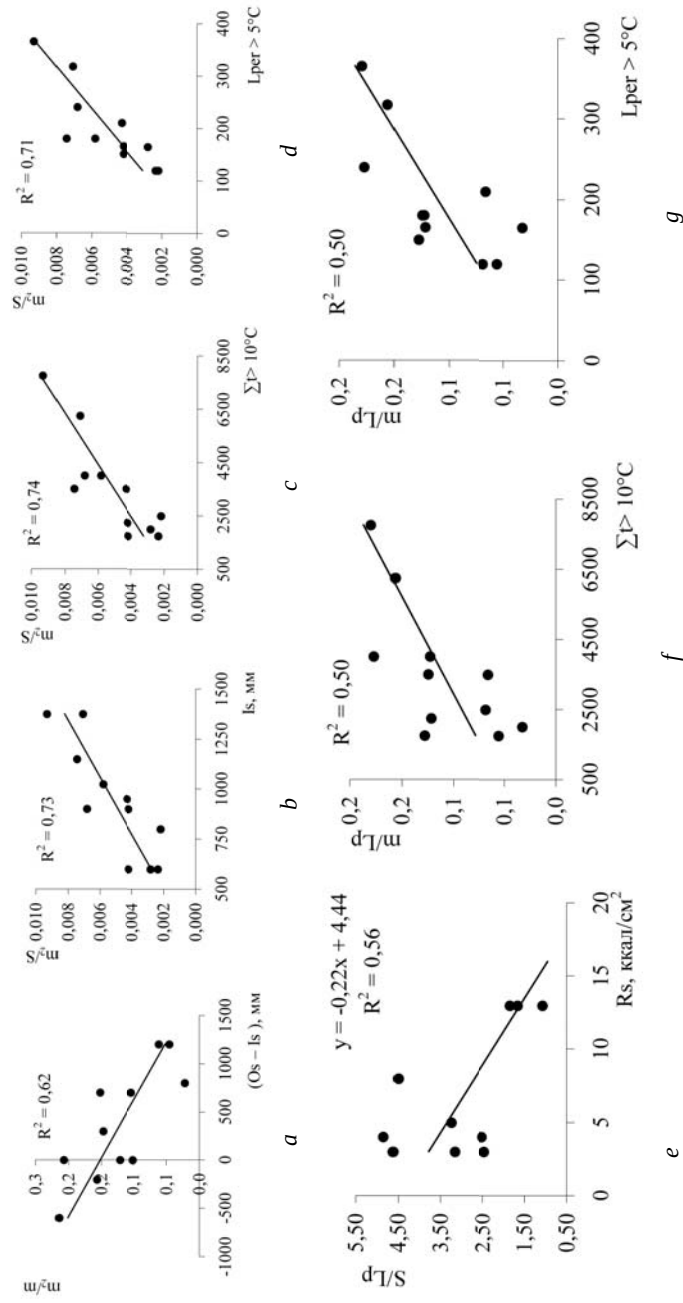


Рис. 4. Зависимость отношения веса сухого листа к его площади (а-д), площади листа к длине черешка листа (е), веса свежего листа к длине черешка листа (f-g) видов рода *Aquilegia L.* от климатических факторов в природных местообитаниях:

R_s – суммарная солнечная радиация июня, $kcal/cm^2$; I_s – годовая испаряемость, mm ; $\sum t > 10^\circ C$ – сумма температур выше $10^\circ C$; $L_{per} > 5^\circ C$ – длительность периода выше $5^\circ C$; $O_s - I_s$ – разница годовых осадков и испарения, mm ; m^2/S – сухой вес / площадь листа; S/L_p – площадь листа / длина черешка листа; m/L_p – свежий вес листа / длина черешка листа

Таблица 2

**Результаты регрессионного анализа зависимости параметров листа
равнинных лесных видов рода *Aquilegia* L. от климатических факторов
в их природных местообитаниях**

Зависимость	Параметры уравнения		Коэффициент детерминации, R ²
	угловой коэффициент, a	свободный член, b	
m (Is)	0,005	-2,1	0,95
Lp (Is)	-0,02	32,1	0,96
L (Os- Is)	-0,002	8,96	0,99
M (Os- Is)	-0,002	10,6	0,77
P (Os- Is)	-0,02	81,7	0,99
S (Os- Is)	-0,03	52,9	0,77
S (Rs)	-7,9	129,8	0,97
S/Lp (Rs)	-0,55	8,9	0,99
m ₂ (Rs)	-0,03	0,56	0,95
m ₂ /Lp (Rs)	-0,002	0,04	0,79
Iz (Rs)	0,24	-0,65	0,95
Iz (Os- Is)	0,001	1,8	0,81
Lp (Lper >15 °C)	-0,13	30,9	0,76
m/S (Os)	0,0001	-0,06	0,99
m/S (Os- Is)	6x10 ⁻⁵	0,02	0,81
m/S (Σt)	5x10 ⁻⁵	-0,07	0,99
m/S (Tmt)	0,015	-0,25	0,95
m/S (Lper >5 °C)	0,001	-0,16	0,99
m ₂ /S (Os)	4x10 ⁻⁶	0,0002	0,88
m ₂ /S (Lper >10 °C)	4x10 ⁻⁵	-0,03	0,99
m ₂ /S (Lper >15 °C)	9x10 ⁻⁵	-0,05	0,99
m ₂ /m (Os- Is)	-7x10 ⁻⁵	0,15	0,93
m ₂ /m (Σt)	-5x10 ⁻⁵	0,25	0,96
m ₂ /m (Tmt)	-0,02	0,45	0,99
m ₂ /m (Lper >5 °C)	-0,001	0,29	0,83
m ₂ /m (Lper >10 °C)	-0,001	0,35	0,99
m ₂ /m (Lper >15 °C)	-0,002	0,35	0,83

Примечания: m – вес свежего листа, г; L – длина листовой пластинки, мм; M – ширина листовой пластинки, мм; P – периметр листовой пластинки, см; S – площадь листовой пластинки, см²; Lp – длина черешка листа, см; S/Lp – площадь листовой пластинки / длина черешка листа; m₂/Lp – вес сухой листовой пластинки / длина черешка; m/S – свежий вес / площадь листовой пластинки; Iz – изрезанность листовой пластинки (P/S); m₂/S – вес сухой листовой пластинки / площадь листовой пластинки; m₂/m – сухой вес / свежий вес листовой пластинки; Is – количество испарения, мм; Rs – суммарная солнечная радиация в июне, ккал/см²; Lper > 15 °C – длительность периода выше 15 °C; Os – Is – разница осадков и испарения, мм; Σt – сумма температур выше 10 °C; Tmt – температура самого теплого месяца, °C; Lper > 5 °C – длительность периода выше 5 °C; Os – количество годовых осадков, мм; Lper > 10 °C – длительность периода выше 10 °C.

У субальпийских и альпийских видов рода *Aquilegia* (группа 3) изрезанность листа (Iz) и отношение свежего веса к площади листа (m/S) возрастает при увеличении испарения, длительности периода выше 5 °C в местах их природного произрастания (табл. 4). Накопление сухого веса на единицу площади листа (m₂/S) увеличивается при возрастании длительности периода с температурой выше 5 °C. Отношение сухого веса к свежему (m₂/m) увеличивается при возрастании длительности периода выше 15 °C. При более длительном периоде с оптимальными температурами в вегетационный период происходит большее накопление пластических веществ (сухой массы).

Таблица 3

**Результаты регрессионного анализа зависимости параметров листа
североамериканских высокогорных лесных видов рода *Aquilegia* L.
от климатических факторов в их природных местообитаниях**

Зависимость	Параметры уравнения		Коэффициент детерминации, R ²
	угловой коэффициент, а	свободный член, b	
L (Rs)	-0,32	8,9	0,78
M (Rs)	-0,36	10,5	0,71
S (Rs)	-1,39	30,3	0,76
S/Lp (Rs)	-0,21	3,8	0,99
m ₂ /Lp (Rs)	-0,001	0,02	0,94
m ₂ /m (Rs)	-0,015	0,25	0,98
Iz (Rs)	0,15	1,7	0,95
m/S (Rs)	0,02	-0,06	0,97
m/Lp (Rs)	0,008	0,05	0,84
Lp (Os)	0,008	1,79	0,99
m (Os)	0,002	-0,56	0,95
m (Os - Is)	0,002	0,27	0,79
m (Σt)	0,001	-1,74	0,80
m (Lper > 10 °C)	0,014	-2,55	0,81
m (Lper > 5 °C)	0,015	-2,89	0,76
m (Lper > 15 °C)	0,012	-1,54	0,87
S (Tmt)	-10,66	260,6	0,95
Iz (Is)	0,004	-1,36	0,81
Iz (Tmt)	1,03	-20,3	0,99
m/S (Is)	0,001	-0,58	0,86
m/S (Tmt)	0,17	-3,61	0,98
m/Lp (Os - Is)	1x10 ⁻⁴	0,07	0,98
m/Lp (Σt)	3x10 ⁻⁵	-0,03	0,97
m/Lp (Lper > 5 °C)	0,001	-0,09	0,99
S/Lp (Is)	-0,006	8,5	0,96
S/Lp (Σt)	-0,001	4,79	0,72
S/Lp (Tmt)	-1,34	32,42	0,90
S/Lp (Lper > 5 °C)	-0,016	6,17	0,77
m ₂ /S (Os - Is)	4x10 ⁻⁶	0,004	0,98
m ₂ /S (Σt)	1x10 ⁻⁶	0,0001	0,99
m ₂ /S (Lper > 10 °C)	3x10 ⁻⁵	-0,002	0,99
m ₂ /m (Os - Is)	-0,0001	0,19	0,81
m ₂ /m (Σt)	-4x10 ⁻⁵	0,33	0,79
m ₂ /m (Tmt)	-0,09	2,23	0,84
m ₂ /m (Lper > 5 °C)	-0,0012	0,43	0,83
m ₂ /Lp (Is)	-2x10 ⁻⁵	0,03	0,79
m ₂ /Lp (Tmt)	-0,006	0,14	0,99

Примечания: L – длина листовой пластинки, мм; M – ширина листовой пластинки, мм; Lp – длина черешка листа, см; S – площадь листовой пластинки, см²; m – вес свежего листа, г; m/S – свежий вес / площадь листовой пластинки; m₂/S – вес сухой листовой пластинки / площадь листовой пластинки; S/Lp – площадь листовой пластинки / длина черешка листа; m/Lp – вес свежей листовой пластинки / длина черешка листа; m₂/Lp – вес сухой листовой пластинки / длина черешка; m₂/m – сухой вес / свежий вес листовой пластинки; Iz – изрезанность листовой пластинки (P/S); Rs – суммарная солнечная радиация июня, ккал/см²; Os – количество годовых осадков, мм; (Os – Is) – разница годовых осадков и испарения, мм; Lper > 5 °C – длительность периода выше 5 °C; Lper > 10 °C – длительность периода выше 10 °C; Lper > 15 °C – длительность периода выше 15 °C; Tmt – температура самого теплого месяца, °C; Is – количество годового испарения, мм; Σt – сумма температур выше 10 °C.

Таблица 4

Результаты регрессионного анализа зависимости параметров листа субальпийских и альпийских видов рода *Aquilegia* L. от климатических факторов в пунктах их природного произрастания

Зависимость	Параметры уравнения		Коэффициент детерминации, R ²
	угловой коэффициент, a	свободный член, b	
Iz (Is)	0,002	0,16	0,84
Iz (Σt)	0,001	0,31	0,79
m/S (Is)	9×10^{-5}	-0,04	0,82
m/S (Σt)	3×10^{-5}	-0,03	0,77
m/S (Lper > 5 °C)	0,001	-0,08	0,83
m ₂ /S (Is)	7×10^{-6}	-0,002	0,65
m ₂ /S (Lper > 5 °C)	6×10^{-5}	-0,005	0,84
m/Lp (Lper > 15 °C)	0,002	-0,08	0,89
m ₂ /m (Lper > 15 °C)	0,001	0,008	0,69

Примечания: Iz – изрезанность листовой пластинки (P/S); m/S – вес свежей листовой пластинки / площадь листовой пластинки; m₂/S – вес сухой листовой пластинки / площадь листовой пластинки; m/Lp – вес свежей листовой пластинки / длина черешка листа; m₂/m – сухой вес / свежий вес листовой пластинки; Is – количество годового испарения, мм; Σt – сумма температур выше 10 °C; Lper > 5 °C – длительность периода выше 5 °C; Lper > 15 °C – длительность периода с температурой выше 15 °C.

При сравнении видов разных экологических групп выявлено, что в регионе интродукции свежий (m) и сухой (m₂) вес листа увеличивается при уменьшении суммарной солнечной радиации июня и не зависит от других климатических параметров (табл. 5). Площадь листа (S) и сухой вес листа (m₂) уменьшаются при возрастании разницы годовых осадков и испарения, суммы температур, температуры самого теплого месяца и длительности периода выше 5 °C в местах естественного произрастания видов. Изрезанность листа (Iz) больше у видов из более теплых и влажных мест, характеризующихся высоким годовым испарением осадков. Накопление свежего (m/S) и сухого веса (m₂/S) на единицу площади листа выше у видов из более теплых мест, с высоким испарением осадков, кроме того m/S увеличивается при возрастании разницы годовых осадков и испарения. Образование сухого веса к свежему (m₂/m), S/Lp и m₂/Lp увеличиваются, а m/Lp уменьшается у видов из более засушливых и холодных мест обитаний. В степной зоне Украины у видов из регионов с меньшим значением коэффициента увлажнения увеличиваются изрезанность листа (Iz), накопление свежего и сухого веса на единицу площади листа (m/S, m₂/S) и m/Lp, уменьшаются линейные размеры, периметр, площадь, длина черешка, сухой вес листа, S/Lp, m₂/m и m₂/Lp.

Таблица 5

Результаты регрессионного анализа зависимости параметров листа видов рода *Aquilegia* L. по экологическим группам от климатических факторов в природных местообитаниях

Зависимость	Параметры уравнения		Коэффициент детерминации, R ²
	угловой коэффициент, a	свободный член, b	
1	2	3	4
m (Rs)	-0,02	1,8	0,79
m ₂ (Rs)	-0,02	0,33	0,74
m ₂ (Os-Is)	-0,0003	0,28	0,99
m ₂ (Σt)	-1×10^{-5}	0,33	0,64
m ₂ (Tmt)	-0,03	0,71	0,99
m ₂ (Lper > 5 °C)	-0,001	0,40	0,88

1	2	3	4
S (Os-Is)	-0,07	63,4	0,95
S (Σt)	-0,01	81,1	0,78
S (Tmt)	-6,8	173,8	0,97
S (Lper > 5 °C)	-0,29	100,14	0,96
Iz (Is)	0,003	-0,48	0,90
Iz (Os-Is)	0,002	1,69	0,77
Iz (Σt)	0,0004	0,86	0,95
Iz (Tmt)	0,21	-1,76	0,82
Iz (Lper > 5 °C)	0,01	0,32	0,99
m/S (Is)	0,0004	-0,27	0,94
m/S (Os-Is)	0,0002	0,006	0,70
m/S (Σt)	5x10 ⁻⁵	-0,10	0,98
m/S (Tmt)	0,02	-0,40	0,75
m/S (Lper > 5 °C)	0,001	-0,16	0,98
m ₂ /S (Is)	6x10 ⁻⁶	-0,0002	0,97
m ₂ /S (Σt)	8x10 ⁻⁷	0,002	0,99
m ₂ /S (Tmt)	0,0004	-0,002	0,71
m ₂ /S (Lper > 10 °C)	2x10 ⁻⁵	0,002	0,99
m ₂ /m (Os-Is)	-8x10 ⁻⁵	0,15	0,93
m ₂ /m (Σt)	-1x10 ⁻⁵	0,17	0,81
m ₂ /m (Tmt)	-0,008	0,27	0,95
m ₂ /m (Lper > 5 °C)	-0,0003	0,19	0,97
S/Lp (Os-Is)	-0,03	3,66	0,95
S/Lp (Σt)	-0,0005	4,43	0,78
S/Lp (Tmt)	-0,30	8,48	0,97
S/Lp (Lper > 5 °C)	-0,013	5,26	0,96
m ₂ /Lp (Os-Is)	-9x10 ⁻⁶	0,01	0,97
m ₂ /Lp (Σt)	-1x10 ⁻⁶	0,02	0,72
m ₂ /Lp (Tmt)	-0,0009	0,03	0,99
m ₂ /Lp (Lper > 5 °C)	-4x10 ⁻⁵	0,02	0,93
m/Lp (Os-Is)	5x10 ⁻⁵	0,09	0,90
m/Lp (Σt)	-1x10 ⁻⁵	0,08	0,85
m/Lp (Tmt)	0,006	0,003	0,93
m/Lp (Lper > 5 °C)	0,0002	0,06	0,99
Lp (Ky)	11,79	0,58	0,94
P (Ky)	109,89	-56,76	0,95
S (Ky)	91,87	-70,99	0,98
m ₂ (Ky)	0,34	-0,23	0,92
m ₂ /m (Ky)	0,11	-0,009	0,99
S/Lp (Ky)	4,01	-2,2	0,98
m ₂ /Lp (Ky)	0,11	-0,003	0,96
Iz (Ky)	-3,12	6,17	0,98
m/S (Ky)	-0,38	0,54	0,96
m ₂ /S (Ky)	-0,006	0,01	0,93
m/Lp (Ky)	-0,08	0,21	0,99

Примечания: m – вес свежего листа, г; m₂ – вес сухого листа, г; P – периметр листовой пластинки, см; S – площадь листовой пластинки, см²; m/S – свежий вес / площадь листовой пластинки; m₂/S – сухой вес / площадь листовой пластинки; m₂/m – сухой вес / свежий вес листовой пластинки; S/Lp – площадь листовой пластинки / длина черешка листа; m₂/Lp – вес сухой листовой пластинки / длина черешка; m/Lp – вес свежей листовой пластинки / длина черешка листа; (Os – Is) – разница годовых осадков и испарения, мм; Σt – сумма температур выше 10 °C; Tmt – температура самого теплого месяца, °C; Lper > 5 °C – длительность периода выше 5 °C; Ky – коэффициент увлажнения (годовое количество осадков / годовая испаряемость).

Можно выделить следующие морфологические признаки листа, которые обеспечивают нормальное его функционирование в изменившихся условиях произрастания: изрезанность края листовой пластинки – больше у видов из регионов с высокими значениями годовой испаряемости, суммарной солнечной радиации июня, суммы температур более 10 °С; достаточное накопление пластических веществ (m_2/S) – больше у видов из регионов с высокими испарением, суммой температур выше 10 °С и длительностью периода больше 10 °С. Накопление свежего веса на единицу площади листа (m/S) больше у видов из регионов с высокими значениями суммы температур выше 10 °С, температурой самого теплого месяца и длительностью периода более 5 °С. Следовательно, в условиях степной зоны Украины листья видов рода *Aquilegia* из более теплых регионов с высокой испаряемостью функционально более эффективны. Листья видов из более теплых регионов накапливают большее количество воды.

В степной зоне Украины свежий и сухой вес листа видов рода *Aquilegia* выше у растений из регионов с меньшей суммарной солнечной радиацией июня, так как в новых условиях произрастания происходит значительное возрастание солнечной радиации (см. табл. 1). Необходимым условием нормальной жизнедеятельности листа является оптимальная насыщенность тканей водой. Содержание воды влияет на структуру протоплазмы, интенсивность фотосинтеза, дыхания, роста и других процессов, поддержание оптимальной температуры растения и прежде всего листа, что особенно важно при изменении условий произрастания. Развитие механических тканей листа обеспечивает оптимальное его положение для улавливания солнечной радиации и повышения интенсивности фотосинтеза. Жилкование листа также имеет важное физиологическое значение, так как густота сети жилок обуславливает степень снабжения листа водой и минеральными веществами, его способность обеспечивать отток ассимилянтов. Для оптимального фотосинтеза растение должно иметь максимальную листовую поверхность в конце июня (Galstone et al., 1983). Количество света, поглощаемое листом, различно в зависимости от содержания в нем хлорофилла, но обычно составляет около 90 % от падающего излучения. В процессе эволюции выработались оптимальные значения толщины (150–200 мкм) и массы (130–180 мг/см²) листовой пластинки, содержания воды (80–84 %) в ней, характерные для большинства видов и позволяющие максимально поглощать лучистую энергию (Shulgin et al., 1960).

В засушливых условиях виды рода *Aquilegia* из более теплых и влажных местообитаний проявляют следующие типичные для мезофитов адаптационные изменения в морфологии листа: уменьшение линейных размеров и площади, увеличение накопления воды на единицу площади листа, увеличение изрезанности края, обеспечивающие функциональность фотосинтезирующего органа в изменившихся условиях обитания. Большая изрезанность листа обеспечивает его охлаждение в засушливых условиях произрастания (Vogel, 2009). Интенсивное испарение горячего влажного воздуха может сильно повредить цельный лист. В случае изрезанной листовой пластинки конвекционные потоки проходят между лопастями, долями или сегментами листа, в результате он быстрее и равномернее остывает.

Для листьев двудольных растений характерен равномерный рост по всей поверхности листа с близкой для его частей скоростью. В почке листок приобретает характерную форму и является миниатюрной копией взрослого листа. В процессе роста увеличивается его размер и происходит дифференцировка анатомического строения. Общая продолжительность роста листа составляет 15–20 дней, она неодинакова у разных видов растений. Поэтому размеры листьев, которые формируются за короткий промежуток времени, обусловлены количеством ассимилянтов и корневых метаболитов, которые поступают в листья в течение их роста (Terek, 2007). Для растущей листовой пластинки характерно наличие не одной,

а нескольких точек роста, благодаря деятельности которых возникают разные зубцы, лопасти и другие образования. Формирование долей листа начинается очень рано в онтогенезе листа благодаря появлению зон активного роста на боковых поверхностях. Форму листа определяют три показателя: форма примордиальных листьев, число и ориентация делений клеток, сумма и распределение клеточного растяжения (Sytnik et al., 1978).

Определяющими факторами в формировании геометрической структуры листьев являются солнечная радиация, термический режим приземного слоя воздуха, соотношение между транспирацией и запасами влаги в почве. Для растений открытой местности в южных широтах характерна сильная изрезанность листовой пластинки, в основном это свойственно видам степных предгорных районов с высокой инсоляцией. Доказано, что при возрастании температуры у некоторых видов растений формируются листья менее изрезанные, или более короткие и широкие с менее развитым черешком (Sytnik et al., 1978).

У североамериканских высокогорных лесных видов изрезанность листа, m/S и m_2/S , m/Lp больше, S/Lp меньше по сравнению с другими исследованными видами, так как климат степной зоны Украины суше и холоднее, чем климат их природных местообитаний, солнечная радиация в июне выше. Большие отличия в климатических условиях приводят к адаптивной функциональной морфологической перестройке листа, которая выражается в большем накоплении воды и развитии механических тканей.

Высокогорья характеризуются максимальными из всех известных на Земле биомов показателями интенсивности солнечной радиации, скорости ветра, минимальным атмосферным давлением (Revyakina, 1996; Golubchikov, 1996; Modina, 1997; Kötner, 1999 и др.). Основным экологическим фактором, лимитирующим жизнь растений в высокогорьях, является температурный режим их местообитаний, который вызывает различные функциональные нарушения органов растений, физиологическую сухость. На жизнедеятельности растений негативно сказываются особенности радиационного режима высокогорий, обуславливающие снижение интенсивности фотосинтеза, разреженная атмосфера, создающая предпосылки для повышенного испарения с поверхности растений и субстрата, что наряду с физиологической сухостью определяет периодический недостаток влаги даже в гумидных горных системах (Volkov, 2002, 2007). Так как субальпийские и альпийские виды произрастают в одинаково экстремальных условиях, количество связей параметров листа в регионе интродукции с условиями природной среды обитания минимальное.

У субальпийских и альпийских видов рода *Aquilegia* изрезанность листа, отношение m/S возрастает при увеличении испарения, длительности периода выше 5°C в местах их природного произрастания. У видов этой группы в регионе интродукции при более длительном периоде с оптимальными температурами в вегетационный период происходит большее накопление пластических веществ, так как климат степной зоны Украины теплее, чем климат их природных местообитаний, годовое испарение и суммарная солнечная радиация в июне выше.

ВЫВОДЫ

Таким образом, в степной зоне Украины изрезанность листа, отношение свежего веса (m/S) и сухого веса к площади листа (m_2/S), отношение свежего веса листа к длине черешка листа (m/Lp) выше у североамериканских высокогорных лесных видов по сравнению с горными субальпийскими и равнинными лесными видами европейско-азиатского происхождения. Отношение площади листа к длине черешка (S/Lp) и отношение сухого веса к свежему (m_2/m) выше в группе субальпийских видов.

В регионе интродукции горные и равнинные лесные виды характеризуются увеличением изрезанности листа (Iz), уменьшением площади листа (S), отношения

площади листа к длине черешка (S/L_p) и сухого веса листовой пластинки к длине черешка (m_2/L_p) при возрастании суммарной солнечной радиации июня в природных местообитаниях; увеличением длины черешка листа (L_p) и уменьшением m_2/m – при возрастании разницы годовых осадков и испарения. У субальпийских и высокогорных лесных видов увеличиваются изрезанность листа (I_z) и отношение свежего веса к площади листа (m/S) при увеличении годового испарения осадков. У субальпийских и высокогорных лесных видов из более теплых мест произрастания выше I_z , m/S и m_2/S .

Эффективность функционирования листа *Aquilegia* в степной зоне связана со следующими морфологическими характеристиками: изрезанность края листовой пластинки, достаточное накопление пластических веществ. Наиболее адаптированными к условиям степной зоны Украины являются виды из более теплых регионов и теплых регионов с высокой испаряемостью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Agroklimaticheskij atlas mira [Agroclimatic Atlas of the World], 1972. Moscow, Leningrad (in Russian).
- Bastida, J. M., Alcantara, J. M., Rey, P. J., Vargas, P., Herrera, C. M., 2010.** Extended phylogeny of *Aquilegia*: the biogeographical and ecological patterns of two simultaneous but contrasting radiations. *Plant Systematics and Evolution*. 284, 171–185.
- Galstone, A., Davis, P., Setter, R., 1983.** Zhizn zelenoho rasteniia [Green plant life]. Mir, Moscow (in Russian).
- Golubchikov, Yu. N., 1996.** Geografiia hornyh i poliarnyh stran [Geography of mountain and polar states]. Moscow State University Publ., Moscow (in Russian).
- Körner, C., 2003.** Alpine plant life: functional plant ecology of high mountain ecosystems. Springer–Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Modina, T. D., 1997.** Klimaty Respubliki Altaj [Climates of Altay Republic]. Novosibirsk Teachers Training University Publ., Novosibirsk (in Russian).
- Revyakina, N. V., 1996.** Sovremennaiia prilednikovaia flora Altae-Saianskoj hornoj oblasti (proiskhozhdenie, stanovlenie, adaptatsii [A contemporary periglacial flora of Altay-Sayany Mountains (origin, development, adaptation)]. Barnaul (in Russian).
- Shulgin, I. A., Kleshnin, A. F., Verbolova, M. I., 1960.** O korreliatsii mezhdru opticheskimi svojstvami i strukturnimi priznakami listiev rastenij [Correlation of optical properties and structural features in plant leaves]. *Proceedings of the High School. Biology*. 1, 132–135 (in Russian).
- Sytnik, K. M., Musatenko, L. I., Bogdanova, T. L., 1978.** Fiziologhiia lista [Leaf physiology]. Naukova dumka, Kiev (in Russian).
- Terek, O. I., 2007.** Rist roslyn [Plant growth]. Ivan Franko Lviv National University Publ., Lviv (in Ukrainian).
- Vogel, S., 2009.** Leaves in the lowest and highest winds: temperature, force and shape. *New Phytologist*. 183, 13–26.
- Volkov, I. V., 2002.** Vvedenie v ekologiiu vysokohornyh rastenij [An introduction to highland plants' ecology]. TGPU Publ., Tomsk (in Russian).
- Volkov, I. V., 2007.** Biomorfologicheskie adaptatsii vysokohornyh rastenij [Biomorphologic adaptations of highland plants]. TGPU Publ., Tomsk (in Russian).

Стаття надійшла в редакцію: 28.05.2013

Рекомендує до друку: д-р біол. наук, проф. В. І. Парпан

ZOOCENOSSES AS A COMPONENT OF BIOGEOCENOSIS



V. I. Monchenko^{1,2}✉

Academician of NAS
of Ukraine,
Dr. Sci. (Biol.), Professor
Cand. Sci. (Biol.), Res. Sci.
Dr. Sci. (Biol.), Sen. Res. Sci.

L. P. Gaponova²

V. R. Alekseev³

UDK 595.34

¹*Institute of Zoology of the National Academy
of Sciences of Ukraine, B. Khmel'nitskogo str., 15,
01601, Kyiv, Ukraine*

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

³*Zoological Institute of the Russian Academy of Science,
Universitetskaia naberezhnaia, 1,
199034, Sankt-Peterburg, Russia*

IDENTIFICATION OF SIBLING SPECIES IN THE GENUS *EUCYCLOPS* FROM WATER-BODIES OF UKRAINE AND RUSSIA USING CROSSBREEDING STUDIES

Crossbreeding experiments were used to estimate cryptic species in water bodies of Ukraine and Russia because the most useful criterion in species independence is reproductive isolation. The problem of cryptic species in the genus *Eucyclops* was examined using interpopulation crosses of populations collected from Baltic Sea basin (pond of Strelka river basin) and Black Sea basin (water-reservoirs of Dnieper, Dniester and Danube rivers basins).

The results of reciprocal crosses in *Eucyclops serrulatus*-group are shown that *E. serrulatus* from different populations but from water bodies belonging to the same river basin crossed each others successfully. The interpopulation crosses of *E. serrulatus* populations collected from different river basins (Dnipro, Danube and Dniester river basins) were sterile. In this group of experiments we assigned evidence of sterility to four categories: 1) incomplete copulation or absence of copulation; 2) nonviable eggs; 3) absence of egg membranes or egg sacs 4) empty egg membranes. These crossbreeding studies suggest the presence of cryptic species in the *E. serrulatus* inhabiting ecologically different populations in many parts of its range.

The same crossbreeding experiments were carried out between *Eucyclops serrulatus* and morphological similar species – *Eucyclops macruioides* from Baltic and Black Sea basins. The reciprocal crossings between these two species were sterile. Thus taxonomic heterogeneity among species of genus *Eucyclops* lower in *E. macruioides* than in *E. serrulatus*.

The interpopulation crosses of *E. macruioides* populations collected from distant part of range were fertile. These crossbreeding studies suggest that *E. macruioides* species complex was evaluated as more stable than *E. serrulatus* species complex.

Key words: crossbreeding, reproductive isolation, *Eucyclops*, cryptic species.

✉ Tel.: + 38044-235-10-21. E-mail: vmon@izan.kiev.ua

DOI: 10.15421/031406

УДК 595.34

В. И. Монченко^{1,2}

акад. НАН Украины,
д-р биол. наук, проф.
канд. биол. наук, науч. сотр.
д-р биол. наук, глав. науч. сотр.

Л. П. Гапонова²

В. Р. Алексеев³

¹Институт зоологии НАН Украины им. И. И. Шмальгаузена,
ул. Б. Хмельницкого, 15, 01601, г. Киев, Украина,
тел.: +38044-235-10-21, e-mail: vmon@izan.kiev.ua

²Институт эволюционной экологии НАН Украины,
ул. Лебедева, 37, 03143, г. Киев, Украина

³Зоологический институт Российской академии наук,
Университетская набережная, 1, 199034, г. Санкт-Петербург, Россия

ОБНАРУЖЕНИЕ ВИДОВ-ДВОЙНИКОВ В РОДУ *EUSYCLOPS* ИЗ ВОДОЕМОВ УКРАИНЫ И РОССИИ ПУТЕМ ГИБРИДОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Для выявления видов-двойников из водоемов Украины и России использовался метод реципрокных скрещиваний. Реципрокные скрещивания между географически удаленными популяциями *Eusyclops serrulatus* из водоемов, которые принадлежат к одному речному бассейну, были успешными, в то время как при скрещивании популяций из водоемов бассейна Днестра с популяциями из бассейна Дуная были выявлены свидетельства стерильности отношений у этих видов. Этот факт, возможно, указывает на наличие криптических видов в группе *Eusyclops serrulatus* в этом регионе. Скрещивания *E. serrulatus* и *E. macruioides* оказались стерильными. Скрещивания между одноименными популяциями *E. macruioides*, но происходящими из отдаленных участков ареала, были успешными. В результате *E. macruioides* оценивается как более стабильный комплекс, чем *E. serrulatus* комплекс.

Ключевые слова: скрещивание, репродуктивная изоляция, *Eusyclops*, криптические виды.

УДК 595.34

В. І. Монченко^{1,2}

акад. НАН України,
д-р біол. наук, проф.
канд. біол. наук, наук. співр.
д-р біол. наук, голов. наук. співр.

Л. П. Гапонова²

В. Р. Алексєєв³

¹Інститут зоології НАН України ім. І. І. Шмальгаузена,
вул. Б. Хмельницького, 15, 01601, м. Київ, Україна
тел.: +38044-235-10-21, e-mail: vmon@izan.kiev.ua

²Інститут еволюційної екології НАН України,
вул. Лебедева, 37, 03143, м. Київ, Україна

³Зоологічний інститут Російської академії наук,
Університетська набережна, 1, 199034, м. Санкт-Петербург, Росія

ВИЯВЛЕННЯ ВИДІВ-ДВІЙНИКІВ В РОДІ *EUSYCLOPS* ІЗ ВОДОЙМ УКРАЇНИ ТА РОСІЇ ШЛЯХОМ ГІБРИДОЛОГІЧНОГО АНАЛІЗУ

Для виявлення морфологічно схожих видів (криптичних, видів-двійників) із водойм України та Росії використовували метод реципрокних схрещувань, оскільки найбільш важливим критерієм для оцінки видової самостійності є репродуктивна ізоляція. Для виявлення криптичних видів роду *Eusyclops* проводили реципрокні схрещування між географічно віддаленими популяціями із басейнів Балтійського (ставок в басейні річки Стрілка) та Чорного морів (водойми в басейнах річок Дніпра, Дністра та Дунаю).

Результати реципрокних схрещувань в групі *Eusyclops serrulatus* вказують, що особини цього виду із різних популяцій, але із водойм, що належать до одного річкового басейну схрещувалися успішно. Схрещування між особинами *E. serrulatus* із водойм, що належать до різних річкових басейнів були стерильними. В цій групі схрещувань спостерігались наступні докази стерильності: 1) відсутність копуляції, 2) розвиток слабо розвинених яйцевих мішків із нежиттєздатними яйцями, 3) виділення гомогенної яйцевої маси, 4) формування пустих

яйцевих мембран. Виявлені риси стерильності відносин експериментальних пар при схрещуванні особин із різних річкових басейнів України дають підстави передбачати наявність криптичних видів в межах таксону *E. serrulatus*.

Аналогічні досліді по схрещуванню були проведені для пари морфологічно близьких видів роду *Eucyclops* – *E. serrulatus* та *E. macruioides*. Реципрокні схрещування між цими видами виявилися стерильними. Таким чином, серед видів роду *Eucyclops*, що мешкають у водоймах України та Росії, таксономічна неоднорідність *E. macruioides* значно нижча, ніж *Eucyclops serrulatus*.

Результати реципрокних схрещувань в групі *E. macruioides* вказують, схрещування між однойменними популяціями цього виду, що походять із віддалених частин ареалу, були фертильними. Ці результати вказують на те, що комплекс *E. macruioides* більш стійкий ніж комплекс *E. serrulatus*.

Ключові слова: схрещування, репродуктивна ізоляція, *Eucyclops*, криптичні види.

INTRODUCTION

Eucyclops serrulatus Fischer, 1853 is a widespread species of cyclopids. The detailed description of the species with criteria for distinguishing from similar in morphology species is presented in publications (Monchenko, 1974; Alekseev, 1995; Alekseev *et al.*, 2006; Alekseev & Defaye, 2011).

There is supposition, that cosmopolitan species to which *E. serrulatus* belongs in different part of range are represented by sibling species (Alekseev & Defaye, 2011). This fact follows also from established before distinction in susceptibility of *Eucyclops* s. lat. local population to helminthes invasions (Monchenko, 2003).

The presence of cryptic species among the cyclopids was revealed in species groups *Acanthocyclops vernalis*, *A. americanus*, *Diacyclops bicuspidatus* (Kochina, 1987; Monchenko, 2000; Monchenko, 2003). The studies on presence of cryptic species among *Eucyclops* are incomplete (Monchenko, 2003; Alekseev & Defaye, 2011). Inasmuch as the biological species concept is not realized the issue of monotypic species *Eucyclops serrulatus* remains open.

In the present study, we use interbreeding studies to look for cryptic species in *Eucyclops serrulatus* s. lat. The crossbreeding experiments utilized seven populations of *E. serrulatus* belonging to the same water basin and different river basins (the Dnipro, Dniester and Danube river basins). Additionally the question of intraspecific heterogeneity of other species of genus *Eucyclops* – *E. macruioides* from water-bodies belonging to Basins of the Baltic and Black Seas was studied.

MATERIAL AND METHODS

According to contemporary notions the most useful criterion in species independence is reproductive isolation. The problem of cryptic species in the genus *Eucyclops* was examined using interpopulation crosses of population collected from Baltic Sea basin (pond of Strelka river basin) and Black Sea basin (water-reservoirs of Dnieper, Dniester and Danube rivers basins). The sites from which specimens of the genus *Eucyclops* were obtained are shown in Table 1.

The samples containing living specimens of cyclopids were taken at a depth 0,1–1 m into plastic vessels (0,5–1) and brought to the laboratory without preliminary fixation. This samples examined under dissecting microscope (MBS-9). The living specimens of *Eucyclops* identified under light microscope (Olympus BX51 and MBI-11). The females of *Eucyclops* with egg sacs were isolated for monocultures. The males of *Eucyclops* and IV–V stage copepodids were isolated and reared for following reciprocal crosses. The samples containing living specimens of cyclopids from different sites were used for mass cultures. All parental population produced normal offspring during the 5–6 months following the experiments. Adult males and copepodid IV–V stage females were removed from the monocultures and mass cultures for following reciprocal crosses.

The mass cultures reared in beakers (200–300 ml containing living specimens of cyclopids) filled by aged tap water. For rearing monocultures we used small dishes (10–15 ml). The males and IV–V stage copepodids were reared on object-plates (without covered glass).

Table 1

The sites from which specimens of the genus *Eucyclops* were obtained

№	River basin	Sites
The Black Sea basin		
1	The Dnipro river basin	Dnipro River (Kyiv, Ukraine), Psel River (Sumy, Ukraine), Sluch River (the Khmelnytsky region, Ukraine), Sula River (the Sumy region, Ukraine), pond in Pushcha-Voditsa (Kyiv, Ukraine), pond near village Khotov (vicinity of Kyiv, Ukraine)
2	The Dniester river basin	Dniester River (Odessa region, Ukraine); ponds in national preserve "Roztocze" (Lviv region, Ukraine)
3	The Danube river basin	Pond (Transcarpathian region, Ukraine)
The Baltic Sea Basin		
1	The Strelka river basin	Pond (village Ropsha, Leningrad region, Russia)

The method of individual cultivation of cyclopids was developed for identification of sibling species in *Diacyclops bicuspidatus* (Monchenko, 2000). It base on rearing separate specimens on IV-V copepod stages in drop of water on object-plates which is situated in moist chamber (Petri dish with moist cotton).

For crossbreeding experiments to virgin females after confirming species identification added male from other population.

Copepods were fed from the infusoria laboratory culture three times a week composed of *Paramecium* sp. and wild caught heterotrophic flagellates. Simultaneously, half of the water volume of the vessel was replaced with aged tap water.

All interbreeding crosses were performed at room temperature (15–20 °C). We observed animals daily for maturity and then performed the cross immediately. The experimental designs of these crossbreedings are shown in Table 1–3. When referring to crosses, the female of the pair is always listed first. The lack of synchronous development among the different population and unequal sex ratio resulted in small numbers of replicates for pairings. A total 32 mature females were paired in the interpopulation crosses.

We assigned evidence of sterility to four categories: 1. Females produced one or two weakly developed egg sacs which contained 1–5 eggs per sac. This reduced clutch size contrasts with the typical size of 50–100 eggs per clutch in the parental (control) lines. Eggs were nonviable and after 10–12 days they were covered by fungi. It is considered the most common evidence of sterility; 2. Empty egg membranes; 3. Absence of egg membranes or egg sacs; 4. Incomplete copulation or absence of copulation.

RESULTS

The results of the crosses are shown in Table 2–4. Cultures of all individual parental populations lived and reproduced for 5–6 months following the crosses which resulted in the F_1 and F_2 hybrids.

The results of reciprocal crosses between geographic remote populations of *E. serrulatus* are shown in Table 2. Four interpopulation crosses between populations of *E. serrulatus* from the same river basin demonstrated reproductive fertility: 1. pond in Pushcha-Voditsa × Psel River, and its reciprocal cross, 2. Sluch River and Sula River, and its reciprocal cross, 3. Sluch River × pond in Pushcha-Voditsa and its reciprocal cross, 4. pond in national preserve "Roztocze" × Dniester River and its reciprocal cross. In these cases the females produced 3–6 pair of egg sacs. The time of appearance of egg sacs on female was 1–7 days. The eggs were viable and hatched into nauplii. Embryonal development of F_1 hybrids lasted 2–3 days.

Seven interpopulation crosses between populations of *E. serrulatus* from different river basins demonstrated sterility (Table 2): 1. Sula River × Dniester River, and its reciprocal cross, 2. Psel River × pond in national preserve "Roztocze", and its reciprocal cross, 3. pond in Pushcha-Voditsa × Dniester River and its reciprocal cross, 4. Sluch River × pond in national preserve "Roztocze", and its reciprocal cross, 5. Dniester River × Psel River and its reciprocal cross, 6. pond in national preserve "Roztocze" × Sula River and its reciprocal cross, 7. pond (the Danube river basin) × Dnipro river and its reciprocal cross. In these cases adult males and females kept together 10–30 days but more often there are no couplings. Copulations were observed in 23 % pairs from 13 investigated pairs. In these cases females produced: 1) one or two weakly developed egg sacs which contained 1–4 eggs per sacs. Eggs were nonviable and did not hatch into nauplii; or 2) homogenous egg mass or 3) empty egg membranes.

Table 2

Experimental design and data on fertility of crossbreeding pairs from populations of *Eucyclops serrulatus* from rivers belonging to Dnipro, Dniester and Danube river basins

Female Male		The Dnipro river basin				The Dniester river basin	
		Psel River	Sula River	pond in Pushcha-Voditsa	Dnipro River	Dniester River	ponds in national preserve "Roztocze"
The Dnipro river basin	Psel River						Sterile 1 pairs
	Sula River					Sterile 2 pairs	
	pond in Pushcha-Voditsa	fertile 1 pair				Sterile Empty egg membranes 1 pairs	
	Sluch River		fertile 1 pair	fertile 2 pairs			Sterile 1 pairs
The Dniester river basin	Dniester River	Sterile homogenous egg mass 3 pairs	Sterile 1 pairs	Sterile nonviable eggs 2 pairs			
	ponds in national preserve "Roztocze"		Sterile nonviable eggs 1 pairs			fertile 2 pairs	
The Danube river basin	pond				Sterile 1 pairs		

The same crossbreeding experiments were carried out between allied species *E. serrulatus* and *E. macruroides* from Baltic and Black Sea basins. The results of the crosses are shown in Table 3. Five crosses demonstrated sterility: 1. Psel River × Sula River and its reciprocal cross, 2. Dnipro River × Sula River and its reciprocal cross, 3. Sula River × pond in national preserve "Roztocze" and its reciprocal cross, 4. pond in national preserve "Roztocze" × pond (the Strelka river basin) and its reciprocal cross, 5. Psel River × pond (the Strelka river basin) and its reciprocal cross. Males of *Eucyclops macruroides* in general do not seem to purposefully choose their mate for copulation and sometimes attempt to copulate with females of *Eucyclops serrulatus*. But the crosses were sterile. Thus the reciprocal crossings between *Eucyclops serrulatus* and morphological similar species – *Eucyclops macruroides* demonstrated sterility that was recorded in previous publications (Lowndes, 1932).

Table 3

Experimental design and results of the crosses of crossbreeding pairs from populations *E. serrulatus* and *E. macruroides* from Baltic and Black Sea basins

Female Male			<i>E. serrulatus</i>		<i>E. macruroides</i>	
			The Dnipro river basin	The Dniester river basin	The Dnipro river basin	The Strelka river basin
			Psel River	ponds in national preserve "Roztocze"	Sula River	pond
<i>E. serrulatus</i>	The Dnipro river basin	Psel River			Sterile no copulation 1 pairs	Sterile no copulation 1 pairs
		Dnipro River			Sterile no copulation 1 pairs	
	The Dniester river basin	ponds in national preserve "Roztocze"				Sterile no copulation 1 pairs
<i>E. macruroides</i>	The Dnipro river basin	Sula River	Sterile 2 pairs	Sterile no copulation 1 pairs		

The problem of cryptic species in *Eucyclops macruroides* was examined using interpopulation crosses of three populations collected from a: 1) Sula River (the Dnipro river basin), 2) pond (the Strelka river basin), pond (the Danube river basin). The results of reciprocal crosses between geographic remote populations of *E. macruroides* are shown in Table 4.

Table 4

**Experimental design and data on fertility of crossbreeding pairs
from populations of *Eucyclops serrulatus* from rivers
belonging to Dnipro, Dniester and Danube river basins**

Female Male	The Dnipro river basin, Sula River	The Danube river basin, pond
The Strelka river basin, pond	fertile 5 pairs	
F ₁ (♂ The Strelka river basin × ♀ Sula River)		fertile 1 pairs

All interpopulation crosses demonstrated reproductive fertility. Five pairings of the Sula River (the Dnipro river basin) × pond (the Strelka river basin) produced viable eggs which hatched into nauplii. Copulations were observed during 1–60 min after male was added to female. After 1–3 days females produced well-developed egg sacs. The females produced 2–5 pair of egg sacs. The time of appearance of new egg sacs on female was 2–9 days. Embryonal development of F₁ hybrids lasted 2–3 days. To obtain F₁ hybrids (the nauplii of pond (the Strelka river basin) × Sula River cross), were reared to adult and used for following experiments. Pairings of one F₁ hybrids (the nauplii of pond (the Strelka river basin) × Sula River cross) × pond (the Danube river basin) produced viable eggs which hatched into nauplii.

CONCLUSION

1. The results of reciprocal crosses in *Eucyclops serrulatus*-group are shown that *E. serrulatus* from different populations but from water bodies belonging to the same river basin crossed each others successfully. The interpopulation crosses of *E. serrulatus* populations collected from different river basins (Dnipro, Danube and Dniester river basins) were sterile, as evidenced by either nonviable eggs, empty egg membranes or incomplete copulations. These crossbreeding studies suggest the presence of cryptic species in the *E. serrulatus* inhabiting ecologically different populations in many parts of its range.

2. The reciprocal crosses between *E. serrulatus* and morphological similar species *E. macruioides* were sterile. Thus taxonomic heterogeneity among species of genus *Eucyclops* lower in *E. macruioides* than in *E. serrulatus*.

3. The interpopulation crosses of *E. macruioides* populations collected from distant part of range were fertile. These crossbreeding studies suggest that *E. macruioides* species complex was evaluated as more stable than *E. serrulatus* species complex.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by Bilateral Russian–Ukrainian Grant of RFBR–NASU № 0110U006644.

REFERENCES

- | | |
|---|--|
| <p>Alekseev, V. R., 1995. Suborder Cyclopoida. Key to freshwater invertebrates of Russia and adjacent territories. Saint-Petersburg. 2, 109–119.</p> | <p>Alekseev, V. and Defaye, D., 2011. Taxonomic differentiation and world geographical distribution of the <i>Eucyclops serrulatus</i> group (Copepoda, Cyclopidae,</p> |
|---|--|

Eucyclopinae) Studies on Freshwater Copepoda / Crustaceana. Separate volume. 41–72.

Alekseev, V., Dumont, H., Pensaert, J., Baribwegure, D. & Vanfleteren, J., 2006. A redescription of *Eucyclops serrulatus* (Fischer, 1851) (Crustacea: Copepoda: Cyclopoida) and some related taxa, with a phylogeny of the *E. serrulatus*-group. Zoologica Scripta. 35(2), 123–147.

Kochina, E. M., 1987. Cytotaxonomic study of species group *Acanthocyclops «americanus – vernalis»* (Crustacea, Copepoda). Vestnik Zoologii. 3, 7–11.

Lowndes, A., 1932. The results of further breeding experiments on four species of Cyclops. Ann. Mag. Nat. Hist. 10, 265–297

Monchenko, V. I., 1974. Cyclopoida Gnathostoma. Cyclopidae Fauna of Ukraine, 27(3). Nauk. Dumka, Kiev. (in Ukrainian).

Monchenko, V. I., 2003. Freelifving Cyclopoida Copepoda in Ponto-Caspian basin. Naukova Dumka, Kiev. (in Russian)

Monchenko, V. I., 2000. Cryptic species in *Diacyclops bicuspidatus* (Copepoda: Cyclopoida): evidence from crossbreeding studies. Hydrobiologia. 417, 101–107.

Стаття надійшла в редакцію: 20.02.2014

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

ZOOCENOSES AS A COMPONENT OF BIOGEOCENOSIS



L. P. Kharchenko  Dr. Sci. (Biol.), Professor
I. A. Lykova

UDK 598.243:
[592+577.115.3](477.7)

G. S. Scovoroda National Pedagogical University
of Kharkov, Bliukher str., 2, 61168, Kharkov, Ukraine

LITTORAL INVERTEBRATES IN WADERS' NUTRITION AT MIGRATORY STOPOVER SITES IN THE AZOV AND BLACK SEA REGION

Abstract. Seasonal migration for birds – distant migrants are the most energy intensive. Fat reserves accumulated in the bird's body before migration and during migratory stopovers determine success of the long-distance flight. Lipids play a vital role both as a source of energy and as structural components of cell membranes. For most migrants to the speed and quality processes fat accumulation affects the feed ration in the field of migration stops. Fodder saturation with essential polyunsaturated fatty acids (PUFAs) is of great importance. Being paramount for physiological processes, these acids cannot be synthesized in the bird's body. The proposed article is dedicated to the study of waders' trophic relationships with their prey items, and the use of PUFAs as biochemical markers. This approach is based on the specificity of the fatty acids contained in the lipids of invertebrate to be used as food bird species studied. Significant amount NPZHK waders obtained from forage that can be considered PUFAs as biochemical markers to determine the range and diversity of food producing birds PUFAs ways, and also to study the food chain in ecosystems.

A fatty acid spectrum (FAS) of the lipids common for nine littoral invertebrate species (*Gammarus aequicauda*, *Idotea balthica*, *Artemia salina*, *Nereis* sp., *Nereis zonata*, *Theodoxces astrachanicus*, *Hydrobia acuta*, *Chironomus salinarius*, *Chironomus plumosus*), which constitute the main component of waders' diet at the migratory stopover sites in the Azov and Black Sea region, has been studied.

Found that the largest amount of total lipids contained in *Nereis zonata* (4,6 %) and *Artemia salina* (4,4 %), the lowest amount of total lipids was observed in *Chironomus* (1,5–1,8 %), which implies that polychaete worms and *Artemia salina*, as a source of fat, are the most productive for waders.

Our research has found that mollusks, polychaete worms, and *Artemia salina* are the most effective waders' fodder in the PUFAs content. Mollusks contain the largest amount of PUFAs, their spectrum is $\omega 3$ and $\omega 6$ PUFAs, especially arachidonic acid C20:4. Polychaete worms are also characterized by a high PUFAs level; they serve for birds as a source of linolenic and linoleic acid groups. *Artemia salina* contains a large amount of eicosapentaenoic C20:5 $\omega 3$ and docosahexaenoic C22:6 $\omega 3$ acids, which getting to an organism of birds, participating in the formation of cell membranes, act as thermal stabilizer lipid bilayers, enhance stamina during long-distance flight. A high abundance of *Artemia salina* in the feeding areas permit tundra waders to use them as a prey item, which can fulfill the bird's body with a required amount of fatty acids in a short time.

We have established an influence of some environmental factors, as water temperature and salinity, on the lipids FAS of littoral invertebrates. Spectrum analysis of polyene fatty acids in the lipids closely related species of invertebrates living in different salinity water showed that the content

 Corresponding author. Tel.: +38050-935-22-13. E-mail: harchenko.lp@yandex.ua

DOI: 10.15421/031407

of PUFAs in the lipid depend on their food spectrum, and the environmental conditions. Therefore, anthropogenic pressure and changes of water hydrological regime may affect PUFAs content in the lipids of littoral invertebrates. In its turn, this factor may change alimentary behavior and migratory strategy of the birds, which use migratory stopover sites in the region in question.

Shallow waters of the Azov-Black Sea region are characterized by different climatic characteristics and a large reserve of phytoplankton. This explains the mass character species studied of invertebrates to feeding areas and their use as basic prey items, many species of waders.

Key words: littoral invertebrates, migratory stopovers, waders, fatty acid composition of lipids, essential fatty acids.

УДК 598.243:

[592+577.115.3](477.7)

Л. П. Харченко

д-р биол. наук, проф.

И. А. Лыкова

*Харьковский национальный педагогический университет им. Г. С. Сковороды,
ул. Блюхера, 2, 61168, г. Харьков, Украина,
тел.: +38050-935-22-13, e-mail: harchenko.lp@yandex.ua*

ЛИТОРАЛЬНЫЕ БЕСПОЗВОНОЧНЫЕ В ПИТАНИИ КУЛИКОВ НА МИГРАЦИОННЫХ ОСТАНОВКАХ В АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОМ РЕГИОНЕ

Исследован жирнокислотный состав общих липидов 9 видов литоральных беспозвоночных, которые входят в состав основных кормов куликов на миграционных остановках в Азово-Черноморском регионе. Установлено, что в качестве источника незаменимых жирных кислот, наиболее эффективным кормом для куликов являются моллюски, полихеты и *Artemia salina*, в липидах которых определен высокий уровень содержания незаменимых жирных кислот. В липидах данных групп литоральных беспозвоночных содержатся незаменимые жирные кислоты как линолевого (линолевая, арахидоновая) так и линоленового (линоленовая, эйкозапентаеновая, докозагексаеновая) ряда.

Ключевые слова: литоральные беспозвоночные, миграционные остановки, кулики, жирнокислотный состав липидов, незаменимые жирные кислоты.

УДК 598.243:

[592+577.115.3](477.7)

Л. П. Харченко

д-р біол. наук, проф.

І. О. Ликова

*Харківський національний педагогічний університет ім. Г. С. Сковороди,
вул. Блюхера, 2, 61168, м. Харків, Україна,
тел.: +38050-935-22-13, e-mail: harchenko.lp@yandex.ua*

ЛИТОРАЛЬНІ БЕЗХРЕБЕТНІ В ЖИВЛЕННІ КУЛІКІВ НА МІГРАЦІЙНИХ ЗУПИНКАХ В АЗОВО-ЧОРНОМОРСЬКОМУ РЕГІОНІ

Досліджено жирнокислотний склад загальних ліпідів 9 видів літоральних безхребетних, які входять до складу основних кормів куликів під час міграційних зупинок в Азово-Чорноморському регіоні. Встановлено, що в якості джерела незамінних жирних кислот, найбільш ефективним кормом для куликів є моллюски, поліхети і *Artemia salina*, в ліпідах яких міститься значна частка незамінних жирних кислот. До складу ліпідів цих груп літоральних безхребетних входять незамінні жирні кислоти як лінолевого (лінолева, арахідонова) так і ліноленового (ліноленова, ейкозапентаєнова, докозагексаєнова) ряду.

Ключові слова: літоральні безхребетні, міграційні зупинки, кулики, жирнокислотний склад ліпідів, незамінні жирні кислоти.

ВВЕДЕНИЕ

Ключевые характеристики, определяющие жизнедеятельность птиц — это питание, перемещение в пространстве, размножение, миграции и отдых.

Большинство энергетических запасов, получаемых птицами из пищи, используется на физиологические потребности, избыток энергии запасается в виде жировых отложений (Plyichev et al., 1982).

Для птиц – дальних мигрантов самыми энергозатратными являются сезонные миграции. Процесс накопления птицами жировых запасов в премиграционный период и их использование во время перелетов остается актуальным при изучении биологии дальних мигрантов (Piersma et al., 2003). Модельной группой для изучения этой проблемы являются кулики, большинство которых – трансконтинентальные мигранты.

Жировые запасы, накапливающиеся в организме птиц перед миграцией и на местах миграционных остановок, определяют успешность дальних перелетов и размножения на местах гнездования (Guy et al., 2007; Yohannes et al., 2010). Для большинства мигрантов на скорость и качество процессов жиронакопления влияет кормовой рацион на местах миграционных остановок (Battley et al., 2005).

Вместе с кормом в организм птиц поступают все необходимые для жизнедеятельности вещества, из которых в печени и жировой ткани синтезируются липиды. Энергия, которая освобождается при расщеплении липидов, обеспечивает жизнедеятельность клеток. Липиды играют жизненно важную роль как источник энергии и структурный компонент клеточных мембран (Bishop and Kenrick, 1980).

Огромное значение имеет насыщенность кормов незаменимыми полиненасыщенными жирными кислотами (НПЖК), которые не синтезируются в организме птиц, но имеют первостепенное значение в физиологических процессах. НПЖК необходимы для поддержания жидкостности клеточных мембран, они участвуют в адаптации организма к окружающей среде, являются эссенциальными факторами пищи животных, обладают разнообразной биологической активностью (Plyichev et al., 1982; Bishop and Kenrick, 1980; McWilliams et al., 2004; Maillet and Weber, 2006, 2009).

В результате ряда исследований было установлено, что за период миграционных остановок происходит изменение жирнокислотного состава в жировой и мышечной тканях птиц путем увеличения коэффициента ненасыщенности ЖК, что приводит к увеличению окислительных процессов в мышечной ткани и повышению ее выносливости (Maillet and Weber, 2006, 2009). По данным этих исследований следует, что некоторые виды дальних мигрантов во время миграционных остановок переключаются на специальную монодиету, используя в пищу определенные виды амфипод, которые содержат необычайно высокий уровень ω -3 полиненасыщенных ЖК, что и приводит к увеличению коэффициента ненасыщенности ЖК.

Ранее нами был изучен жирнокислотный спектр липидов тканей куликов и его изменение за период миграционных остановок в Азово-Черноморском регионе, мелководья которого являются оптимальной кормовой базой для многих видов куликов. Установлено, что за период миграционных остановок в тканях исследуемых птиц повышается коэффициент ненасыщенности ЖК путем увеличения количества ω -3 полиненасыщенных ЖК (Lykova and Kharchenko, 2011; Lykova, 2012; Kharchenko and Lykova, 2012).

Предлагаемая статья посвящена изучению трофических связей куликов с объектами питания с применением метода биохимических маркеров, в качестве которых используются ЖК (Suschik, 2006). Этот подход основан на специфичности ЖК, содержащихся в липидах беспозвоночных, используемых в качестве пищи изучаемыми видами птиц. Значительное количество НПЖК кулики получают из добываемого корма, что позволяет рассматривать НПЖК в качестве биохимических маркеров для определения пищевого спектра и разнообразия путей получения птицами НПЖК, а также для исследования пищевых цепей в экосистемах (Dalsgaard et al., 2003; McWilliams et al., 2004).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материал для данных исследований был собран в мае-июне 2012–2013 г. на территории Азово-Черноморского региона в местах массовых скоплений куликов. Данный регион используется как место миграционных остановок многими видами куликов (*Charadrius hiaticula* (Linnaeus, 1758); *Tringa glareola* (Linnaeus, 1758); *Tringa ochropus* (Linnaeus, 1758); *Tringa nebularia* (Gunnerus, 1767); *Tringa erythropus* (Pallas, 1764); *Tringa stagnatilis* (Bechstein, 1803); *Tringa totanus* (Linnaeus, 1758); *Philomachus pugnax* (Linnaeus, 1758); *Calidris minuta* (Leisler, 1812); *Calidris temminckii* (Leisler, 1812); *Calidris ferruginea* (Pontoppidan, 1763); *Calidris alpina* (Linnaeus, 1758); *Limicola falcinellus* (Pontoppidan, 1763).

Кормовой рацион данных видов куликов на кормовых полях лиманов и лагун Азово-Черноморского региона во время миграционных остановок был изучен на основе литературных данных (Chernichko and Kirikova, 1999, 2002; Kirikova, 2000; 2003; Kirikova and Antonovsky, 2007, 2011; Khomenko, 2003; Chernichko, 2010). Кормовыми объектами куликов являются 29 видов литоральных беспозвоночных, среди которых преобладают брюхоногие моллюски (*Gastropoda*) – 48,3 %, ракообразные (*Crustacea*) – 24,1 %, многощетинковые черви (*Polychaeta*) – 17,2 %, и личинки насекомых (*Insecta*) – 10,4 % (Kirikova and Antonovsky, 2011).

Для исследований было отобрано 9 видов беспозвоночных, являющихся наиболее массовыми для литорали данного региона и используются куликами в качестве основного корма. Исследовали 3 вида ракообразных (*Crustacea*) – *Gammarus aequicauda* (Martynov, 1931), *Idotea balthica* (Pallas, 1772), *Artemia salina* (Linnaeus, 1758); 2 вида многощетинковых червей (*Polychaeta*) – *Hediste diversicolor* (Müller, 1776), *Nereis zonata* (Malmgren, 1867), 2 вида моллюсков (*Mollusca*) – *Hydrobia acuta* (Draparnaud, 1805), *Theodoxes astrachanicus* (Starobogatov in Starobogatov, Filchakov, Antonova et Pirogov, 1994); 2 вида личинок насекомых (*Insecta*) – *Chironomus salinarius* (Kieffer, 1915), *Chironomus plumosus* (Linnaeus, 1758).

Собранных беспозвоночных одного вида промывали, просушивали с помощью фильтровальной бумаги, отбирали навеску массой 5 г и фиксировали в 90 % этаноле. Пробы до анализа помещали на хранение при температуре 4 °С.

Определение жирнокислотного состава липидов исследуемых беспозвоночных проводили на базе экспериментальной лаборатории инструментальных исследований УкрНИИМЖ НААН (г. Харьков) методом газовой хроматографии на газовом хроматографе GC-14B, фирмы «SHIMADZY» с пламенно-ионизационным детектором, программированием температуры и вычислением данных на интеграторе G-6.

Общие липиды экстрагировали смесью хлороформа и метанола в соотношении 2:1 (Folch, 1957). Приготовление метиловых эфиров жирных кислот (ЖК) проводили методом переэтерификации. Полученные метиловые эфиры высших жирных кислот (ВЖК) общих липидов и фракции ненасыщенных ЖК разделяли методом газожидкостной хроматографии (Rivis et al., 1997). Исследования проводились на капиллярной колонке DB-23 60 m × 0,25 mm id, 0.25µm 122-2362 при температуре термостата колонок от 175 °С до 230 °С с программированным повышением температуры на 3 °С/мин. Температура инжектора – 240 °С, система split с коэффициентом распределения (split ratio) -1:70, температура печи детектора – 250 °С, объем пробы – 1 мл раствора метиловых эфиров.

Полученные цифровые данные обрабатывали статистически с помощью стандартного пакета статистических программ Microsoft EXCEL.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Беспозвоночные, как и другие консументы, могут синтезировать лишь некоторые насыщенные ЖК, а для синтеза ненасыщенных ЖК нужны специальные ферменты – десатуразы и элонгазы, набор которых различен у разных организмов. У

большинства животных ферменты не способны вставлять двойную связь в положения $\omega 3$ и $\omega 6$. Продуцентами ненасыщенных ЖК в данной пищевой цепочке являются фото- или хемотрофные микроорганизмы и микроскопические водоросли, которые в ходе эволюции приобрели способность осуществлять синтез этих ЖК с достаточно высокой эффективностью и служат пищей для исследуемых видов беспозвоночных (Suschik, 2008; Zhukova, 2009).

Состав ЖК фитопланктонных организмов напрямую зависит от условий окружающей среды. При снижении температуры воды наблюдается увеличение степени ненасыщенности ЖК, при недостатке азота, фосфора или кремния, как правило, увеличивается содержание насыщенных ЖК, а количество ненасыщенных уменьшается. На состав ЖК также влияет освещенность и соленость воды (Suschik, 2008; Zhukova, 2009). Соответственно, все эти факторы влияют и на трансфер ЖК по пищевой цепи: фитопланктон – беспозвоночные – кулики.

Исходя из вышеизложенного, для сравнительного анализа нами были взяты образцы беспозвоночных. Пробы были собраны в водоемах с разной соленостью в местах массовых скоплений куликов, в один и тот же период года (май-июнь), при одинаковой температуре окружающей среды (25–27 °C) (табл. 1).

Установлено, что из всех исследуемых видов беспозвоночных достоверно наибольшее ($p < 0,01$) количество липидов содержится в *Nereis zonata* – 4,6 %, также относительно высокий уровень липидов отмечен в *Artemia salina* – 4,4 %, *Hediste diversicolor* – 4,0 %, *Idotea baltica* – 4,0 %. Достоверно наименьшее ($p < 0,01$) содержание липидов отмечено в *Chironomus plumosus* – 1,5 % и *Chironomus salinarius* – 1,8 %, то есть полихеты и артемия, как источник жиров, являются для куликов наиболее продуктивными (табл. 2).

Жирнокислотный спектр (ЖКС) липидов исследуемых беспозвоночных представлен насыщенными, моноеновыми и полиеновыми ненасыщенными ЖК. Общее содержание насыщенных ЖК составляет 22,17–39,35 % от общего содержания ЖК и является достоверно наибольшим ($p < 0,05$) у *Chironomus plumosus*. Спектр насыщенных ЖК представлен кислотами C14:0, C15:0, C16:0, C17:0, C18:0, среди которых доминируют C16:0 (14,67–25,07 %) и C18:0 (2,17–8,84 %) (табл. 2).

Наибольшую часть ЖКС липидов исследуемых беспозвоночных составляют моноеновые ЖК, их содержание в липидах составляет от 32,95 % у *Theodoxces astrachanicus* до 53,20 % у *Idotea baltica* (рис. 1). Спектр моноеновых ЖК представлен кислотами C16:1, C18:1, C20:1, C22:1, C24:1, среди которых доминируют пальмитоолеиновая C16:1 и олеиновая C18:1 кислоты. Достоверно наибольшее ($p < 0,01$) количество C16:1 отмечено у хирономусов (21,21–24,46 %) и *Gammarus aequicauda* – 24,75 %, что в 4,5 раза больше, чем количество C16:1 у моллюсков и полихет. Достоверно наибольшее ($p < 0,05$) содержание C18:1 отмечено у *Idotea baltica* – 43,1 % от суммы ЖК, что в 2,5–3,0 раза выше, чем количество C18:1 у хирономусов и в 2,0–2,5 раза выше содержания данной кислоты у моллюсков и *Gammarus aequicauda* (табл. 2). Вероятнее всего, это связано с отличиями в спектре питания исследуемых беспозвоночных, так как они обитают и питаются в разных слоях толщи воды.

Содержание эйкозеновой C20:1 кислоты у большинства исследуемых видов незначительно и составляет 0,41–1,83 % от общего содержания ЖК. Исключение составили моллюски, в ЖКС которых содержится достоверно наибольшее ($p < 0,01$) количество C20:1 кислоты (8,37–10,55 %). По литературным данным, это может быть связано с симбиотрофией, получением органического вещества за счет фото- или хемосинтеза внутриклеточными микроорганизмами, которая у моллюсков развита в большей степени (Zhukova, 2009).

Длинноцепочечные моноеновые кислоты C22:1, C24:1 у хирономид в ЖКС не определяются, а у других видов содержатся в незначительном количестве. Наибольшее содержание C22:1 отмечено у *Theodoxces astrachanicus* – 2,77 %, C24:1 – у *Hediste diversicolor* – 1,85 % от суммы ЖК (табл. 2).

Таблица 1

Видовой состав исследуемых водных беспозвоночных и характеристика места сбора

Класс	Insecta		Malacostraca		Branchiopoda	Gastropoda		Polychaeta	
	<i>Chironomus salinaris</i>	<i>Chironomus plumosus</i>	<i>Gammarus aequicauda</i>	<i>Idotea baltica</i>	<i>Artemia salina</i>	<i>Theodox-ces Astrachanicus</i>	<i>Hydrobia acuta</i>	<i>Nereis zonata</i>	<i>Hediste diversicolor</i>
Дата сбора	17.05.2013	15.05.2013	16.05.2013	16.05.2013	4.06.2012	5.06.2012	17.05.2013	16.05.2013	5.06.2012
Место сбора	Молочный лиман, с. Радионовка	Искусственные разливы, с. Рюмино Джанкойский р-н	Джанкойский сброс, Восточный Сиваш	Джанкойский сброс, Восточный Сиваш	Утлюкский лиман, Акимовский р-н	Утлюкский лиман, Акимовский р-н	Молочный лиман, с. Радионовка	Джанкойский сброс, Восточный Сиваш	Утлюкский лиман, Акимовский р-н
Соленость воды (‰)	86.8	3–5	21.2	21.2	50–60	50–60	86.8	21.2	50–60

Таблица 2

Содержание жирных кислот (% от суммы жирных кислот, М±м) в общих липидах исследованных беспозвоночных

Жирные кислоты	<i>Chironomus salinarius</i>	<i>Chironomus plumosus</i>	<i>Gammarus aequicauda</i>	<i>Idotea baltica</i>	<i>Artemia salina</i>	<i>Theodoxes astrachanicus</i>	<i>Hydrobia acuta</i>	<i>Nereis zonata</i>	<i>Hediste diversicolor</i>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Общие липиды, %	1,8±0,18	1,5±0,16*	3,0±0,12	4,0±0,21	4,4±0,18	3,6±0,16	3,1±0,16	4,6±0,12*	4,0±0,18
Насыщенные									
14:0 миристиновая	9,64±0,96	8,55±0,37	4,93±0,32	0,99±0,08	2,89±0,27	1,85±0,22	1,15±0,12	0,97±0,14	0,91±0,18
15:0 пентадекановая	1,16±0,13	1,85±0,19	0,85±0,04	0,41±0,05	–	0,44±0,05	0,35±0,02	–	–
16:0 пальмитиновая	20,00±2,40	21,24±0,54	18,13±1,37	19,27±1,53	17,72±1,85	14,67 ±1,38	16,23±1,72	25,07 ±2,08**	22,37±1,68
17:0 маргариновая	2,98±0,35	3,55±0,22	2,64±0,21	1,78±0,12	2,37±0,31	1,46±0,26	2,10±0,25	0,94±0,18	4,90±0,37
18:0 стеариновая	3,69±0,59	4,16±0,51	6,71±0,42	8,84 ±0,75**	5,38±0,60	3,75±0,42	4,31±0,35	5,80±0,57	2,17 ±0,35
Сумма насыщенных ЖК	37,47±2,57	39,35 ±2,36**	33,26±1,65	31,29±1,95	28,36±1,76	22,17±0,84	24,14±1,52	32,78±2,75	30,35±1,85
Моноеновые									
16:1 пальмитолеиновая	24,46±1,19*	21,21±1,61	24,75±1,54*	7,28±0,68	12,34±0,85	4,79±0,55	5,22±0,45	5,31±0,78	5,50±0,57
18:1 олеиновая	17,70±1,02	11,56±0,58	19,97±1,28	43,11±2,10*	31,18±1,65	13,33±0,86	18,56±1,68	31,23±2,55	28,14±1,48
20:1 эйкозеновая	0,83±0,12	0,41±0,08	1,10±0,15	0,53±0,08	1,09±0,22	10,55±1,12*	8,37±0,85*	0,92±0,15	1,83±0,44
22:1 эруковая	–	–	~	0,73±0,21	~	2,77±0,31	1,32±0,08	~	0,91±0,18
24:1 тетракозеновая	–	–	1,53±0,18	1,55±0,30	1,08±0,31	1,51±0,15	1,56±0,15	1,15±0,18	1,85±0,18

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сумма моноеновых ЖК	43,02±1,81	33,18±1,24	47,35±2,84	53,20 ±1,25**	45,69±2,15	32,95±1,91	35,03±1,77	38,61±3,12	38,23±2,15
Полиеновые									
18:3ω3 линоленовая	0,83±0,15*	8,87±0,67*	0,93±0,11	0,61±0,08*	2,17±0,34	6,93±0,75	4,97±0,75	2,52±0,22	3,88±0,28
20:5ω3 эйкозатриеновая	5,74±0,39	4,79±0,22	7,58±0,66	2,44±0,25	13,18±0,92*	8,21±0,72	9,85±0,82	11,15±1,25	9,23±0,85
22:6ω3 докозагексаеновая	~	~	1,70±0,35	1,80±0,25	2,26±0,20	2,62±0,18	2,41±0,15	1,75±0,45	2,06±0,12
Сумма ω3 кислот	6,57±0,35*	13,66±0,95	10,21±0,83	4,85±0,78	17,61±1,18	17,76±0,98*	17,23±1,32	15,42±1,33	15,17±0,95
18:2ω6 линолевая	7,58±0,72	7,90±0,61	3,85±0,32	4,47±0,35	3,13 ±0,21	7,44±0,55	8,12±0,75	8,65±0,78	9,24 ±0,87**
20:4ω6 арахидоновая	0,96±0,08*	0,66±0,07	1,42±0,21	4,06±0,45	3,35±0,45	10,53 ±0,75*	7,52±0,82	2,70±0,25	2,07±0,18
Сумма ω6 кислот	8,54±0,66	8,56±0,82	5,27±0,38*	8,53±0,87	6,48±0,76	17,97±1,24*	16,54±1,11	11,35±1,42	11,31±1,16
Σ ω3/ Σ ω6¹	0,769 ±0,05**	1,59 ±0,09**	1,94±0,11	0,568±0,05	2,72±0,32*	0,988±0,12	1,041±0,15	1,36±0,22	1,34±0,25
Сумма полиеновых ЖК	15,11 ±1,07**	22,22 ±1,15**	15,48±0,85	13,38±0,82	24,09±1,74	35,73±1,52*	32,87±1,72*	26,77±1,82	26,48±1,75
Σ полиеновых/ Σ насыщенных²	0,403 ±0,05	0,565±0,07	0,465±0,05	0,427±0,06	0,849±0,11	1,610±0,18**	1,361±0,21	0,816±0,08	0,872±0,10

Примечания: ¹~,^п – в следовых количествах;¹ сумма жирных кислот линоленового типа / сумма жирных кислот линолевого типа;² сумма полиненасыщенных жирных кислот / сумма насыщенных жирных кислот;

* – p<0,01 (по t-критерию Стьюдента);

** – p<0,05 (по t-критерию Стьюдента)

В целом, высокий уровень содержания моноеновых ЖК в липидах водных беспозвоночных дает возможность птицам быстро пополнить организм ненасыщенными ЖК, которые включаются в общий метаболизм жиров в организме, подвергаются окислению и служат основным источником энергии для большинства тканей птиц (особенно мышечной).

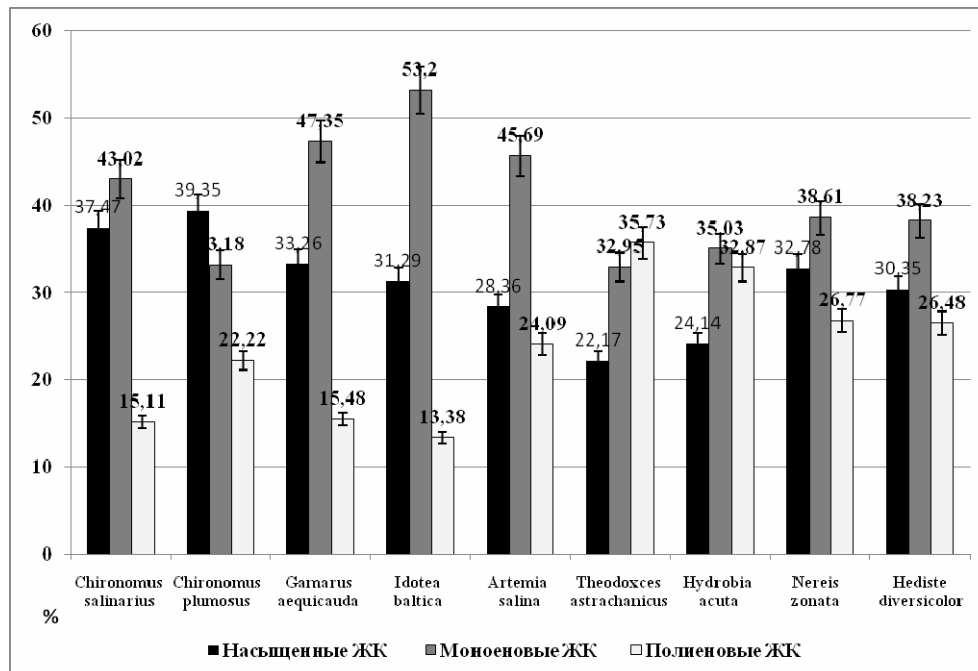


Рис. 1. Соотношение групп ЖК в липидах исследуемых видов беспозвоночных (%)

Наибольший интерес при анализе ЖКС липидов вызывает состав полиеновых ЖК и соотношение в нем $\omega 3$ и $\omega 6$ полиеновых ЖК. Большинство этих кислот являются незаменимыми и поступают в организм птиц только с кормом, поэтому очень важным является насыщенность основных кормов куликов именно этими ЖК. Достоверно наибольшее ($p < 0,01$) содержание полиеновых ЖК отмечено у моллюсков – 32,87–35,73 % от общей суммы ЖК, что в 2,0–2,7 раза выше, чем содержание полиеновых ЖК у других исследованных видов беспозвоночных (рис. 1).

Сравнивая количество полиеновых ЖК у близкородственных видов хирономусов, которые ведут сходный образ жизни, но обитают в водоемах с разной соленостью воды, установлены достоверные различия ($p < 0,05$) в содержании данных ЖК. Так у *Chironomus plumosus*, обитающего в слабосоленой воде (3–5 ‰), содержание полиеновых ЖК в 1,5 раза выше, чем у *Chironomus salinarius*, обитающий в сильносоленой воде (86,8 ‰). Соленость воды в водоемах влияет на качественный состав фитопланктона, а соответственно, и на количество полиеновых ЖК в липидах беспозвоночных, обитающих в водоемах с разной соленостью воды. Соответственно, питание куликов одними и теми же видами беспозвоночных, но на различных территориях, которые отличаются гидрологическим режимом, может по-разному влиять на скорость жиронакопления в организме птиц.

Уровень полиеновых кислот влияет на коэффициент ненасыщенности ЖКС липидов (Σ полиеновых / Σ насыщенных), высокий уровень которого свидетельствует о повышении жидкостности клеточных мембран и интенсификации окислительных процессов в организме животного (Krebs, 1981). Этот показатель был достоверно наиболее высоким ($p < 0,05$) у моллюсков (1,361–1,610), высокая степень

ненасыщенности ЖК отмечена у полихет – 0,816–0,872 и у *Artemia salina* – 0,849 (рис. 2). Данные показатели свидетельствуют о том, что именно эти виды беспозвоночных являются для куликов основным источником полиеновых ЖК, которые способствуют повышению коэффициента ненасыщенности липидов в тканях птиц и, тем самым, улучшают обменные процессы в организме птиц в предмиграционный период и во время самой миграции.

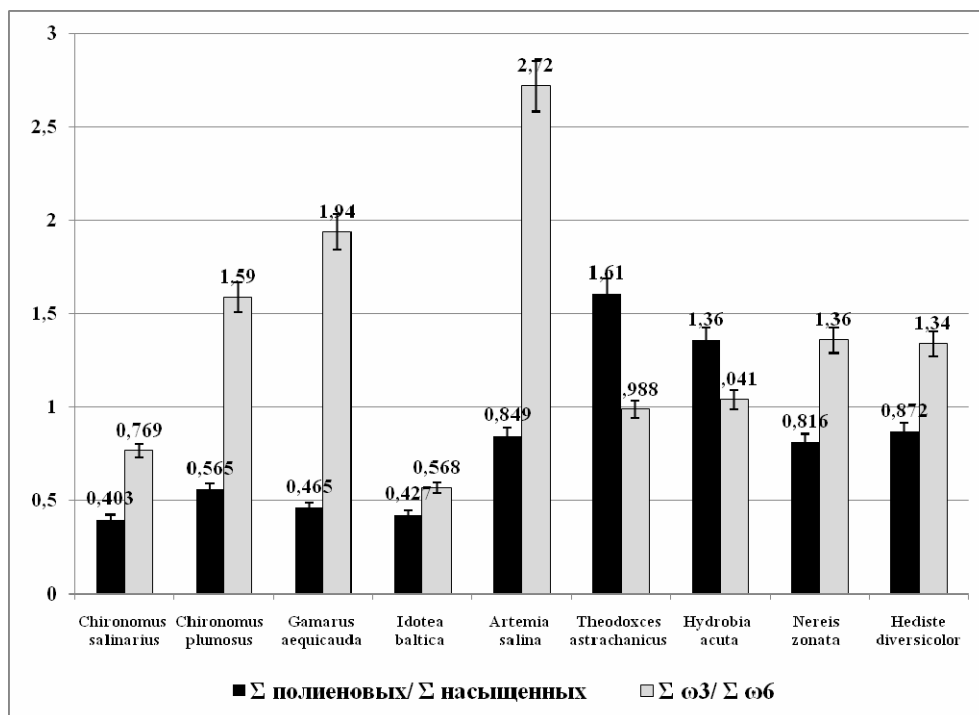


Рис. 2. Коэффициент ненасыщенности ЖК (Σ полиеновых / Σ насыщенных) и соотношение ЖК линолевого и линоленового типа (Σ ω3 / Σ ω6) в липидах исследуемых видов беспозвоночных

Полиеновые ЖК линоленового типа (ω3) имеют большое значение в энергетическом метаболизме клетки, влияют на состояние мембран и их проницаемость. Спектр ω3 полиеновых ЖК у исследуемых беспозвоночных представлен кислотами C18:3, C20:5 и C22:6. Линоленовая кислота C18:3 является предшественником эйкозапентаеновой C20:5 и докозагексаеновой 22:6ω3 кислот, степень ее трансформации зависит от содержания в организме животного ферментов-десатураз (Krebs, 1981). Наибольшее количество данной кислоты отмечено у *Chironomus plumosus* – 8,87 % и *Theodoxes astrachanicus* – 6,93 %, наименьшее – у *Idotea baltica* – 0,61 % от общего содержания ЖК. Достоверные отличия ($p < 0,01$) были отмечены в содержании данной кислоты у близкородственных видов хирономусов (*Ch. salinarius* – 0,83 %, *Ch. plumosus* – 8,87 %), что также подтверждает влияние солёности воды на ЖКС липидов беспозвоночных.

Среди всего спектра ω3 полиеновых ЖК отмечено наибольшее содержание эйкозапентаеновой C20:5 ЖК, отражающей количество растительной пищи в рационе водных беспозвоночных, ее содержание выше у фитофагов (Suschik, 2008). Достоверно наибольшее ($p < 0,01$) количество C20:5 зафиксировано у *Artemia salina* – 13,18 % от суммы ЖК, что в 2,3–2,7 раза выше, чем содержание C20:5 у хирономусов, и в 5,4 раза выше содержания данной ЖК у *Idotea baltica*. По результатам наших исследований *Artemia salina*, а также моллюски и полихеты,

являются основным источником ейкозапентаеновой кислоты для куликов. Эта ЖК в организме птиц принимает участие в формировании мембран клеток, образовании гормонов, регулирует транспорт липидов в крови, улучшает процессы всасывания жиров и жирорастворимых витаминов в желудочно-кишечном тракте, а также регулирует водный баланс в организме птиц (McWilliams, 2004). Интенсификация этих процессов в предмиграционный период обеспечивает повышение выносливости организма птиц во время миграций, а значит – и ее успешное завершение.

Важное значение в адаптивных реакциях организма животных принадлежит докозагексаеновой кислоте C22:6, которая благодаря особенностям структуры, обладает уникальными свойствами, позволяющими ей вместе с другими компонентами биомембран выполнять функции температурного стабилизатора липидных бислоев. Включение в мембраны C22:6 кислоты является одним из основных способов быстрого реагирования на любые изменения температуры окружающей среды и стабилизации липидного бислоя в течение непродолжительного периода (Krebs, 1981). В ЖКС липидов исследованных беспозвоночных данная кислота содержится у хирономусов в следовых количествах, у остальных видов ее содержание составляет 1,70–2,62 % от общего количества ЖК. Вероятнее всего, это связано с различными условиями обитания этих видов: хирономусы, которые обитают в воде, менее чувствительны к изменениям температуры, чем остальные виды. Следовательно, включение докозагексаеновой кислоты в состав биомембран снижает чувствительность литоральных беспозвоночных к колебаниям температуры, солености и другим экологическим факторам.

Моллюски и артемия являются для куликов источником докозагексаеновой кислоты, которая помогает тканям птиц – дальних мигрантов быстро реагировать на изменения температуры окружающей среды, так как за несколько часов перелета птицы выдерживают значительные колебания температур, попадая из одной климатической зоны в другую.

Кислоты линолевого типа ($\omega 6$) имеют не менее важное значение в метаболизме животных, чем кислоты линоленового типа. Спектр $\omega 6$ полиеновых ЖК у исследуемых беспозвоночных представлен линолевой C18:2 и арахидоновой C20:4 кислотами. Линолевая кислота является предшественником арахидоновой кислоты, которая, в свою очередь, является предшественником эйкозаноидов – сигнальных веществ, образующихся в клетках и обуславливающих ряд важнейших процессов в организме (Krebs, 1981).

Установлено, что содержание линолевой C18:2 кислоты в липидах исследуемых беспозвоночных было достоверно наибольшим ($p < 0,05$) у *Hediste diversicolor* – 9,24 % от суммы ЖК. Также установлены достоверные отличия ($p < 0,01$) в содержании арахидоновой C20:4 кислоты, наибольшее ее количество содержится в липидах *Theodoxes astrachanicus* – 10,53 %, что в 11–16 раз выше, чем содержание данной кислоты у хирономусов.

Следовательно, наиболее эффективным источником кислот линолевого типа ($\omega 6$) для куликов являются моллюски и полихеты. Поступая вместе с кормом в организм птиц, эти кислоты обеспечивают синтез простагландинов и тромбоксанов – веществ, которые улучшают процессы сокращения мышечной ткани и кровообращения в мышечных волокнах, а это, в свою очередь, повышает выносливость мышц и обеспечивает птицам успешное завершение миграции.

Известно, что температура плавления кислот линолевого ряда ($\omega 6$ типа) выше, чем кислот линоленового ряда ($\omega 3$ типа), отношение суммы $\omega 3$ кислот к сумме $\omega 6$ кислот ($\Sigma \omega 3 / \Sigma \omega 6$) является показателем вязкости мембранных липидов. Высокий показатель $\Sigma \omega 3 / \Sigma \omega 6$ свидетельствует о низкой вязкости мембран и высокой интенсивности обменных процессов, а также способности быстрого накопления биомассы (Zhukova, 2009). Достоверно наибольшее ($p < 0,01$) значение $\Sigma \omega 3 / \Sigma \omega 6$ нами отмечено у *Artemia salina* (рис. 2).

Из полученных данных также следует, что в липидах разных видов беспозвоночных соотношение $\Sigma \omega 3 / \Sigma \omega 6$ может существенно отличаться, на что влияет ряд факторов: спектр питания, температура и соленость воды. Так, у близкородственных видов хирономусов отмечены достоверные отличия ($p < 0,05$) по данным показателям. Соотношение $\Sigma \omega 3 / \Sigma \omega 6$ у *Chironomus plumosus* в 2 раза выше, чем данный показатель у *Chironomus salinarius*, что отражает различия в спектре питания при разной солености воды, но сходном образе жизни и типе питания.

В целом, анализ спектра полиеновых ЖК в липидах исследуемых беспозвоночных и соотношение в нем кислот линолевого и линоленового типа, может свидетельствовать о том, что содержание данных кислот в липидах водных беспозвоночных зависит от их спектра питания и условий окружающей среды. Мелководья Азово-Черноморского региона характеризуются разными климатическими характеристиками и большим запасом фитопланктона. Этим объясняется массовость исследуемых видов беспозвоночных на определенных кормовых полях и их использование, как основных кормовых объектов, многими видами куликов.

ВЫВОДЫ

Литоральные беспозвоночные являются незаменимым источником полиеновых ЖК для куликов во время миграционных остановок. Массовость и доступность этих видов дает возможность птицам за короткий промежуток времени пополнить свой организм НПЖК, которые оказывают существенное влияние на энергетический метаболизм через изменения в мембранных структурах и системных механизмах клетки. Поступая в организм дальних мигрантов с кормом, эти ЖК повышают окислительные способности и служат молекулярными сигналами важнейшим летным мышцам птиц при экстремальных нагрузках (Maillet and Weber, 2009).

По результатам наших исследований установлено, что наиболее значимым кормом для куликов по содержанию ПНЖК являются моллюски, полихеты и *Artemia salina*. Моллюски содержат наибольшее количество полиеновых ЖК, особенно арахидоновой C20:4. Полихеты также содержат высокий уровень полиеновых ЖК, которые служат для птиц источником как кислот линолевого, так и линоленового ряда. Содержание в *Artemia salina* большого количества эйкозапентаеновой C20:5 $\omega 3$ и докозагексаеновой C22:6 $\omega 3$ кислот и массовость этого вида на кормовых полях способствует тому, что кулики за короткий промежуток времени могут пополнить свой организм необходимым количеством этих НПЖК.

Установлено, что на ЖКС липидов литоральных беспозвоночных влияет ряд факторов окружающей среды, таких как температура и соленость воды, поэтому антропогенная нагрузка и смена гидрологического режима водоемов могут влиять на содержание ЖК в липидах литоральных беспозвоночных. Это обстоятельство, в свою очередь, может отражаться на кормовом поведении и миграционной стратегии птиц, останавливающихся на местах миграционных остановок в исследуемом регионе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Battley, P. P. et al., 2005.** How do red knots *Calidris canutus* leave Northwest Australia in May and reach the breeding grounds in June? Predictions of stopover times, fuelling rates and prey quality in the Yellow Sea. *J. Av. Biol.* 36(6), 494–500.
- Bishop, D. G., Kenrick, J. R., 1980.** Fatty acid composition of symbiotic zooxanthellae in relation to their host. *Lipids.* 15, 799–804.
- Chernichko, I. I., 2010.** Osobennosti polovozrastnogo sostava migrirujushhih na Sivashe *Calidris alpina* (Aves, Charadriiformes) [Characteristics of Sex and Age Composition of *Calidris alpina* (Aves, Charadriiformes) Migrating Across Sivash]. *Vestnic Zoologii.* 44(5), 433–444 (in Russian).
- Chernichko, I. I., Kirikova, T. A., 1999.** Makrozoobentos Sivasha i svjazannoe s nim razmeshhenie kulikov [Macrozoobenthos Syvash and associated accommodation waders]. Fauna, ecology and conservation of birds in the Azov-Black Sea region. Collection of scientific

papers, Ecocenter "Synthesis HT" Reskomprirody Crimea. Sonat, Simpheropol (in Russian).

Dalsgaard, J. et al., 2003. Fatty acid trophic markers in the pelagic marine environment. *Adv. Marine Biol.* 46, 227–340.

Folch, J., Less, M., Sloane-Stanley, A. G. H., 1957. A simple method for isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.* 226, 497–509.

Guy, M. R. I., Davidson, N. C., Wilson, J. R., 2007. Survival of the fattest: Body stores on migration and survival in red knots *Calidris canutus islandica*. *J. Avian Biol.* 38 (4), 479–487.

Ilyichev, V. D., Kartashev, N. N., Shilov I. A., 1982. *Obschaya ornitologiya* [General ornithology]. Vishaya shkola, Moscow (in Russian).

Kharchenko, L. P., Lykova, I. O., 2012. Izmeneniya zhirnokislotoznoho sostava lipidov v tkanyah samcov turuktana (*Philomachus pugnax* L.) na promezhutochnykh migratsionnykh ostanovkakh Azovo-Chernomorskogo regiona [Changes in fatty acid composition of lipids in the tissues of male Ruff (*Philomachus pugnax* L.) at intermediate stops migration of the Azov-Black Sea region]. *Vesn. Cherkas. Univ. Ser. Biol.* 39(252), 131–139 (in Russian).

Khomenko, S. V., 2003. Feeding ecology of curlew sandpiper, *Calidris ferruginea*, during spring stopover in the Sivash Bay (Ukraine). *Vestnik Zoologii.* 37(2), 97–99.

Kirikova, T. A., 2000. Znachenie kormovykh resursov vnutrennykh, ustevykh zalivov Tuzlovskoy gruppy limanov dlja migriruyushchikh kulikov [Value of forage resources internal estuarine bays Tuzlovskoy group estuaries for migratory shorebirds]. *Branta: collection of scientific works of the Azov-Black Sea Ornithological Station.* 3, 87–94 (in Russian).

Kirikova, T. A., 2003. Predvaritel'naya oценка roli limannykh i lagunnykh sistem juga Ukrainy kak mest migratsionnykh ostanovok kulikov-pesochnikov na kontinental'nom migratsionnom puti [Preliminary assessment of the role of the estuary and lagoon systems southern Ukraine as staging locations sandpiper sandpipers-continental migration route]. *Birds of the Azov-Black Sea region. Monitoring and protection: Proceedings of the II Congress and Conference Azov-Black Sea Ornithological Station, Mykolayiv: Mykolayiv State University,* 27–29 (in Russian).

Kirikova, T. A., Antonovsky, A. G., 2007. Ispolzovanie kulikami kormovogo makrozoobentosa Molochnogo limana v period migratsii [Use of feeding macrozoobenthos of Molochny Liman by waders during migration].

Branta: collection of scientific works of the Azov-Black Sea Ornithological Station. 10, 74–97 (in Russian).

Kirikova, T. A., Antonovsky, A. G., 2011. Rol limanov i lagun Azovo-Chernomorskogo poberezh'ya v obespechenii kormovoy bazy tundrovyykh kulikov [The role of lyman and lagoons of the Azov-Black Sea coast in supplying the feeding base of tundra waders]. *Branta: collection of scientific works of the Azov-Black Sea Ornithological Station.* 14, 73–93 (in Russian).

Kreps, E. M., 1981. Lipidy kletochnykh membran [Lipids of cell membranes]. Nauka, Leningrad (in Russian).

Lykova, I. O., 2012. Zminy zhirnokyslotoznoho skladu lipidiv u tkanyakh riznykh organiv kulykiv u peredmigratsiyniy period [Changes in fatty acid composition of lipids in tissues of different organs of waders in the pre-migration period]. *Branta: collection of scientific works of the Azov-Black Sea Ornithological Station.* 15, 94–101 (in Ukrainian).

Lykova, I. O., Kharchenko L. P., 2011. Sezonni kolyvannya zhirnokyslotoznoho skladu lipidiv m'jazovoi' tkany ny dejakykh vydiv kulykiv [Seasonal fluctuations of the lipid fatty acids composition of the muscle tissue of some species of the sandpipers]. *Biology and Valeology: collection of scientific works.* 13, Kharkiv, 38–43 (in Ukrainian).

Maillet, D., Weber, J. M., 2006. Performance enhancing role of dietary fatty acids in a long-distance migrant shorebird: The semipalmated sandpiper. *J. Exp. Biol.* 209(14), 2686–2695.

Maillet, D., Weber, J. M., 2009. Relationship between n-3 PUFA content and energy metabolism in the flight muscles of a migrating shorebird: Evidence for natural doping. *Adv. Integr. Anat. and Evol. Biol.* 292(11), 413–420.

McWilliams, S. R., Guglielmo, Ch., Pierce, B., Klaassen, M., 2004. Flying, fasting, and feeding in birds during migration: a nutritional and physiological ecology perspective. *J. Avian Biol.* 35, 377–393.

Piersma, T. et al., 2003. Cost-benefit analysis of mollusc-eating in a shorebird. I. Foraging and processing costs estimated by the doubly labelled water method. *J. Exp. Biol.* 206, 3361–3368.

Rivis, J. F., Skorohid, I. V., Danilik, B. B., Procik, J. M., 1997. Odnochasne gazohromatografichne vyznachennja okremykh eteryfikovanykh i neeteryfikovanykh vysokomolekuljarnykh kyslot u biologichnomu materiali [Simultaneous chromatographic

determination of some esterified and high nonetherified acids in biological material]. Ukrainian Biochemical Journal. 69 (2), 110–115 (in Ukrainian).

Suschik, N. N., 2008. Rol nezamenimyh zhirnyh kislot v trofometabolicheskikh vzaimodejstvijah v presnovodnyh jekosistemah (obzor) [The role of essential fatty acids in trofometabolicheskikh interactions in freshwater ecosystems (review)]. Journal of General Biology. 69 (4), 299–316 (in Russian).

Yohannes, E. Valcu, M., Lee, R., Kempenaers, B., 2010. Resource use for reproduction depends on spring arrival time and wintering area in an arctic breeding shorebird. J. Avian Biol. 41, 580–590.

Zhukova, N. V., 2009. Zhirnye kisloty morskih organizmov: taksonomicheskie i troficheskie markery [Fatty acids of marine organisms: taxonomic and trophic markers]. Thesis for obtaining doctor degree of biol. sciences, speciality 03.00.04 Biochemistry. Vladivostoc (in Russian).

Стаття надійшла в редакцію: 14.01.14

Рекомендує до друку: акад. НАНУ, д-р біол. наук В. І. Монченко

ZOOCENOSES AS A COMPONENT OF BIOGEOCENOSIS



M. Babálová¹

E. Štrbová²✉

PhD., Assoc. Prof.

UDK 633.2.03:595.78
(497.12)

¹*Institute of Landscape Ecology, Slovak Academy of Sciences, Štefánikova 3, Bratislava, Slovak Republic*

²*Matej Bel University, Tajovského 55, 974 01, Banská Bystrica, Slovak Republic*

INFLUENCE OF GRASSLANDS MANAGEMENT ON DIVERSITY OF THE DIURNAL BUTTERFLIES IN THE VICINITY OF VLKOLÍNEC VILLAGE (CENTRAL SLOVAKIA)

Abstract. During 2011–2012, the research of diurnal butterfly communities in ten study sites under different management measures in the vicinity of the village of Vlkolíneč was performed. The village of Vlkolíneč is located in the northern part of Central Slovakia in the buffer zone of the Veľká Fatra National Park. Abandoned meadows and fallows are prevailing in the study area, thus, traditional management is gradually disappearing, which results in ecosystems changing and decline of biodiversity. Adults were recorded by the modified transect method (Erhardt, 1985) in the following types of habitats: extensive and intensive pasture, old fallow lands of various successional stages and fallow lands exploited by mulching. Shannon-Weaver index of diversity (H) and equitability (e) were used for estimation of the quantitative and qualitative structure of the butterfly assemblages. To study the impact of anthropogenic factor (mulching, pasture and abandonment) on the butterfly diversity multivariable statistical methods (CANOCO 4.5 software) were used. Summarily, 2314 individuals of 63 species were sampled. The most of species were classified into the *Nymphalidae* family. During two-year research the highest values for number of species and diversity indices were recorded in the grasslands of late successional stages and extensive pastures. The highest number of grassland indicators and protected species, such as *Limenitis populi*, *Melitaea aurelia*, *M. diamina*, *Polyommatus bellargus*, *P. daphnis*, *P. thersites*, *Thymelicus acteon* and two European important species *Phengaris arion* and *P. rebeli*, were recorded in those habitats.

Intensification of landscape leads to sterile grasslands, which are the unsuitable habitats for butterflies, and the main reason of negative effect of intensive grazing is a change of vegetation structure, which is the factor most of stenotopic butterflies are negatively correlated with. Extensive management has a positive impact on the assemblages of diurnal butterflies and landscape biodiversity, as the RDA analysis has shown for some of the localities studied where we found positive correlation of many specialized and indicator species (such as *Pyrgus malvae*, *Polyommatus dorylas*, *P. thersites*, *P. bellargus*, *Melitaea aurelia*). The RDA analysis has also indicated positive impact of succession on the butterfly diversity.

Our results prove that intensive management, such as long-term mulching and intensive pasture, has negative impact on the abundance and structure of butterfly assemblages. Extensive pastures and old fallow lands represent important habitats of the country, however, their importance is often overlooked.

Key words: grassland management, diurnal butterflies, Central Slovakia, extensive pasture, biodiversity.

✉ Corresponding author. Tel.: +42194-817-92-05. E-mail: eva.strbova@umb.sk

DOI: 10.15421/031408

ISSN 1726-1112. Ecology and noospherology. 2014. Vol. 25, no. 1–2

83

АГРОГЕННИЙ ВПЛИВ НА БІОЛОГІЧНЕ РІЗНОМАНІТТЯ ДЕННИХ МЕТЕЛИКІВ В ОКОЛИЦЯХ ВЛКОЛІНЦЯ (ЦЕНТРАЛЬНА СЛОВАЧЧИНА)

Протягом 2011–2012 років проводилися дослідження популяцій денних метеликів на десяти пробних ділянках з різними умовами землекористування в околицях села Влколінець, розташованого у північній частині Центральної Словаччини в буферній зоні Національного парку «Великі Фатри». Регіон досліджень представлений здебільшого покинутими полями та занедбаними луками, тобто зміненими екосистемами зі збідненим біорізноманіттям. Підрахунок дорослих особин трансектним методом (Erhardt, 1985) проводився у наступних біотопах: екстенсивних та інтенсивних пасовищах, перелогових землях на різних стадіях сукцесії і мульчованих землях. Для кількісної та якісної оцінки популяцій метеликів використовувалися індекси різноманітності Шеннона-Вівера (H) і рівномірності розподілу (e). Вивчення впливу агрогенного чинника (мульчування, використання під пасовища або відмова від використання) на біорізноманіття проводилося за допомогою багатофакторної оцінки статистичними методами (комп'ютерна програма CANOCO 4.5).

Разом зафіксовано 2314 особини 63 видів. Велика кількість видів належить до родини *Nymphalidae*. Протягом двох років досліджень максимальна кількість видів і індекс різноманітності зафіксовано на пасовищах пізніх стадій сукцесії й екстенсивних пасовищ. Тут було відзначено найбільше число індикаторних і охоронюваних видів, таких як *Limenitis populi*, *Melitaea aurelia*, *M. diamina*, *Polyommatus bellargus*, *P. daphnis*, *P. thersites*, *Thymelicus acteon* і два рідкісних європейських види *Phengaris arion* і *P. rebeli*. Результати досліджень підтвердили, що інтенсивне землекористування, зокрема, тривале мульчування й інтенсивне використання пасовищ негативно впливають на чисельність і склад популяцій метеликів. Екстенсивні пасовища і перелогові землі складають велику частину угідь країни, значущість яких часто недооцінюють.

На думку багатьох авторів (Dandová, 2007; Weibull et al., 2000; Balmer and Erhardt, 2000; Swaay and Warren, 1999; Sway et al., 2010) інтенсивна експлуатація ландшафту призводить до формування стерильних луків, які є непридатними для проживання метеликів. Головна причина негативного впливу інтенсивного випасу є зміна структурно-функціональної організації автотрофного блоку лучного біогеоценозу. За даними Šlancarová зі співавторами (2010) інтенсивний випас овець призводить до однорідної структури рослинності і домінування родів *Fabaceae*, які є трофічним попередником для представників *Lycaenidae*. Інтенсивний випас може викликати деградацію фауністичних комплексів денних метеликів, характерних для зооценозів занедбаних полів (Růžicková and Kalivoda, 2007).

Чисельність більшості стенотопних метеликів негативно корелює з названими факторами. Навпаки, науково обґрунтована експлуатація, яка передбачає екстенсивний випас, має позитивний вплив на угруповання денних метеликів та зооценотичне біорізноманіття (Kaliyoda and Grendár, 2001; Bartušová and Panigaj, 2004; Růžicková and Kaliyoda, 2007; Kořínková, 2009; Konvička, 2010 та ін.). Це було доведено у результаті використання багатофакторного аналізу для декількох локалітетів, де нами виявлено позитивну кореляцію багатьох спеціалізованих та індикаторних видів (таких, як *Pyrgus malvae*, *Polyommatus dorylas*, *P. thersites*, *P. bellargus*, *Melitaea aurelia*). Досліджені біотопи представляють собою дуже важливу екологічну нішу для метеликів з конкретними мікрокліматичними умовами і гетерогенним рослинним покривом. Вони є джерелом біологічного різноманіття, від якого популяційний ареал метелика може поширюватися у навколишньому середовищі.

Біогеоценози, сформовані на застарілих перелогових землях, характеризуються значно вищим видовим багатством, у тому числі раритетним α -різноманіттям: серед виявлених видів майже половина належить до Червоного списку (Balmer and Erhardt, 2000), у тому числі *Phengaris rebeli*, *P. arion*, *Polyommatus daphnis*, *P. thersites*, *Thymelicus acteon*, *Limenitis populi*, *Melitaea diamina*. До фітоценозів на старих перелогових землях, занедбаних протягом останніх 30–40 років, тягнуться лісові види денних метеликів: *Erebia aethiops*, *E. ligea*, *Celastrina argiolus* і *Argynnis paphia*. Проте, важливість таких місць проживання для підтримки різноманітності метеликів в ландшафті часто упускається з виду (Balmer and Erhardt, 2000; Cremene et al., 2005).

Коли ці амфіценози замінюються лісом унаслідок сукцесійних процесів, угруповання метеликів змінюють якісний і кількісний склад (Thust and Thiele, 1999). Типові види пасовищ поступово зникають і, зрештою, видова різноманітність метеликів збіднюється (Balmer and Erhardt, 2000).

Таким чином, доведено, що регіон наших досліджень являє собою середовище з високою біологічною цінністю. У степових біотопах зареєстровано 63 види денних метеликів. З них 11 представляють охоронювані види. У той же час, ці види є хорошими індикаторами пасовищних ценозів. Результати оригінальних досліджень показали, що головною загрозою для дросельних фауністичних комплексів лускокрилих комах є тривале мульчування ґрунтів, яке веде до гомогенізації ландшафту і загального зниження локального біорізноманіття. Друга загроза – відмова від луків і пасовищ, що викликає сукцесійну зміну пасовищних фітоценозів на лісові. Тому задля збереження високої локальної біорізноманітності необхідно повернутися до традиційних форм господарювання, таких як хаотичний розпорошений випас і мозаїчне скошування.

Ключові слова: агрогенні луки, землекористування, денні метелики, екстенсивне пасовище, біорізноманіття, Центральна Словаччина.

УДК 633.2.03:595.78(497.12) М. Бабалова¹

Э. Штрбова²

канд. биол. наук, доц.

¹Институт ландшафтной экологии, Академия наук Словакии, Братислава, Словакия

²Университет Матея Бела, ул. Таевского, 55, 97401, Банска Быстрица, Словакия

тел.: +4219-817-92-05, e-mail: eva.strbova@umb.sk

АГРОГЕННОЕ ВЛИЯНИЕ НА БИОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ДНЕВНЫХ БАБОЧЕК В ОКРЕСТНОСТЯХ ВЛКОЛИНЕЦ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ СЛОВАКИЯ)

На протяжении 2011–2012 годов проводились исследования популяций дневных бабочек на десяти пробных площадях с разными условиями землепользования в окрестностях с. Влколинец, расположенного в северной части Центральной Словакии в буферной зоне Национального парка «Большие Фатры». Регион исследований представлен, главным образом, заброшенными лугами и необрабатываемыми полями – трансформированными биогеоценозами с низким биоразнообразием. Подсчет взрослых особей трансектным методом (Erhardt, 1985) проводился в следующих биотопах: экстенсивных и интенсивных пастбищах, залежных землях на разных стадиях сукцессии и мульчированных землях. Для количественной и качественной оценки популяций бабочек использовались индексы разнообразия Шеннона-Уивера (H) и равномерности распределения (e). Изучение влияния агрогенного фактора (мульчирование, использование под пастбища или отказ от использования) на биоразнообразие проводилось с помощью многофакторной оценки статистическими методами (CANOCO 4.5). Всего было зафиксировано 2314 особей 63 видов. Большая часть видов относится к семейству *Nymphalidae*. За два года исследований максимальное число видов и индекс разнообразия были зафиксированы на пастбищах поздних стадий сукцессии и экстенсивно эксплуатируемых пастбищах. Здесь были отмечены наибольшее число индикаторных и охраняемых видов, таких как *Limenitis populi*, *Melitaea aurelia*, *M. diamina*, *Polyommatus bellargus*, *P. daphnis*, *P. thersites*, *Thymelicus acteon* и два редких европейских вида *Phengaris arion* и *P. rebeli*. Результаты исследований подтвердили, что интенсивное землепользование, в частности, длительное мульчирование, и интенсивная эксплуатация пастбищ негативно влияют на численность и состав популяций бабочек. Экстенсивные пастбища и залежные земли составляют значительную часть угодий страны, значимость которых часто недооценивают.

Ключевые слова: антропогенные луга, землепользование, дневные бабочки, экстенсивное пастбище, биоразнообразие, Центральная Словакия.

INTRODUCTION

Butterfly species declined rapidly throughout much of Europe during 20th century, especially over last 50 years (Warren, 1992; New, 1997b; Maes and Van Dyck, 2001). The loss and fragmentation of suitable habitats due to the intensification of agriculture and

changes in land use are considered to be the major responsible factors. Many butterfly species are sensitive to changes in habitat quality and they respond faster to the environmental changes than do other organisms, for example plants (Erhardt and Thomas, 1991). Butterflies are also relatively easy to monitor, therefore, they are used as indicators or umbrella species when looking at local habitat status, environment conditions, biodiversity and climate changes (Oostermeijer and Van Swaay, 1998; Blair, 1999; Swaay et al., 2006).

The aim of our study was to evaluate the impact of different types of management on butterfly species richness and abundance using the line transect method.

MATERIAL AND METHODS

Study area and selection of study sites

The study area belongs to the province of Western Carpathians, subprovince Inner Western Carpathians and into the Fatra – Tatra region (Mazúr and Lukniš, 1986). Vlkolínec is situated in Central Slovakia (DFS 6981d, 49° 02' 21,25" N, 19° 16' 41,86" E, altitude 718 a. s. l.) in the north-eastern part of the Veľká Fatra orographic unit (code of orographic unit 150) in the part of Šiprúň (Mazúr and Lukniš, 1986). Slate, quartzite, triassic and cretaceous limestones represent geological bedrock. Of the soils, various Cambisols prevail. Territory belongs to the cold climate areas. From the phyto-geographical point of view, it falls within Western Carpathian flora, the unit of High (Internal) Carpathians, the district of Fatra, Veľká Fatra and sub-districts of inner-perimeter basins (Vestnický and Vološčuk, 1986). The grasslands are dominated by mesophilous meadows of *Molinio-Arrhenatheretea* (Tüxen 1937) class. South-exposed slopes are covered by xerothermic grasslands of *Festuco-Brometea* (Br.-Bl. et Tüxen ex Soó 1947) class. The study sites were located at altitudes ranging from 718 to 860 a. s. l. They comprise following habitats: (1) extensive pasture (2) intensive pasture, (3) old fallow land in various successional stages, (4) meadows managed by mulching.

Study site 1 is a south-exposed dry and sunny extensive pasture with xerothermic vegetation. During research it was extensively grazed by sheep. Its vegetation can be classified into the *Cirsio-Brachypodium pinnati* (Hadač et Klika ex Klika 1951) alliance dominated by *Bromus erectus*, *Salvia pratensis*, *Dianthus carthusianorum*, *Primula veris*, *Alchemilla* sp., *Anthyllis vulneraria*, *Arrhenatherum elatius*, *Briza media* and *Campanula trachelium*.

Study site 2 represents the uppermost site (860 a. s. l.). In the past it was used as an extensive meadow mown once a year. Nowadays, it is grazed by sheep. Its vegetation belongs to the *Cynosurion cristati* (Tüxen 1947) alliance. Following species are common here: *Anthoxanthum odoratum*, *Plantago lanceolata*, *Achillea millefolium*, *Alchemilla* sp., *Cruciata glabra*, *Cynosurus cristatus*, *Leontodon hispidus*, *Ranunculus bulbosus*.

Study site 3 represents an old fallow land. The site is close to the forest. There is also small wetland here (spring) with vegetation of *Caricion davalliane* (Klika 1934) alliance from *Scheuchzerio-Caricetea fuscae* (R. Tx. 1937) class with plants as *Eriophorum latifolium*, *Carex davalliana*, *Equisetum palustre*, *Carex flacca*, *Colchicum autumnale*, *Juncus inflexus*, *Ranunculus acris*, *Achillea millefolium* etc.

Study site 4 represents an old fallow land. The site is close to the forest. *Cirsio-Brachypodium pinnati* (Hadač et Klika ex Klika 1951) alliance is a major vegetation type here dominated by *Bromus erectus*, *Acetosa pratensis*, *Carex tomentosa*, *Rhinanthus pulcher*, *Brachypodium pinnatum*, *Leontodon hispidus*, *Lotus corniculatus* etc.

Study site 5 represents an old fallow land, evenly covered by *Prunus spinosa* (height 50–90 cm). It is dominated mainly by *Brachypodium pinnati*, *Bromus erectus*, *Carex tomentosa*, *Colchicum autumnale*, *Galium mollugo*, *Lotus corniculatus*, *Rhinanthus pulcher*.

Study site 6 is a regularly managed meadow, which is mulched once a year in the long-term. Various nitrophytes prevail here such as *Chaerophyllum aromaticum*, *Poa trivialis*, *Geranium phaeum*, *Geranium pratense*, *Anthriscus sylvestris*, *Vicia sepium*, *Acetosa pratensis* and *Achillea millefolium*.

Study site 7 is a former meadow, which was later recultivated. Nowadays, it is used as an intensive pasture grazed by sheep and it is mulched once a year. Vegetation is formed mainly by nitrophytes as *Anthriscus sylvestris*, *Dactylis glomerata*, *Trifolium pratense*, *Trifolium repens*, *Trisetum flavescens*, *Carum carvi*, *Crepis biennis* and *Leontodon hispidus*.

Study site 8 represents an old and unused fallow (former meadow) in advanced succession stage with some trees and shrubs (spruce and hazel). Vegetation has ecotone character. It is dominated by *Carex flacca*, *C. montana*, *C. tomentosa*, *Laserpitium latifolium*, *Brachypodium pinnatum*, *Briza media*, *Crataegus monogyna* and *Cruciata glabra*.

Study site 9 includes a ruderal habitat. The site is mulched once a year in the long-term. Nitrophytes as *Chaerophyllum aromaticum*, *Poa trivialis*, *Trifolium pratense*, *Dactylis glomerata*, *Festuca pratensis*, *Jacea phrygia*, *Ranunculus repens* and *Trisetum flavescens* are the most common species here.

Study site 10 represents old fallow abandoned long time ago. Vegetation is heterogeneous here (mosaic of meadow-like vegetation, ecotones, group of trees and shrubs). *Bromus erectus*, *Trifolium montanum*, *Helianthemum grandiflorum*, *Leontodon incanus*, *Acinos arvensis*, *Anthyllis vulneraria*, *Briza media*, *Carlina vulgaris* are some of typical species here.

The study sites were sampled from May to August at approximately two-week intervals in 2011 and 2012. Research was carried out using the modified transect method described by Erhardt (1985). Research was performed during the sunny, warm and windless days.

Shannon-Weaver index of diversity and equitability were used for estimation of quantitative and qualitative structure. To identify impact of anthropogenic factors (mulching, pasture, absence of management up to 30 years and over 30 years) on the butterfly diversity, multivariable statistical methods have been used. To evaluate impact of management grasslands on the recorded butterfly assemblages, a DCA analyse was performed to get the length of gradient which was 1.731. Based on this, redundancy analyse (RDA) was chosen. It was performed in CANOCO 4.5 software (Ter Braak and Šmilauer, 2002).

RESULTS

In this study, 2314 butterfly individuals were observed, which included of 63 species. 1063 individuals and 51 species were recorded in 2011, while 1251 individuals and 57 species in 2012. We recorded following threatened butterfly species included in the Red List of Butterflies of Slovakia (Kulfan and Kulfan, 2001): *Limenitis populi*, *Melitaea aurelia*, *M. diamina*, *Polyommatus bellargus*, *P. daphnis*, *P. thersites*, *Thymelicus acteon* and two European important species, namely *Phengaris arion* and *P. rebeli*, included in the Habitat Directive and Bern Convention. Following species represent indicators of grasslands – *Ochlodes sylvanus*, *Antiocharis cardamines*, *Polyommatus icarus*, *Coenonympha pamphilus* and *Maniola jurtina* are widespread species while those of *Erynnis tages*, *Thymelicus acteon*, *Cupido minimus*, *Phengaris arion*, *P. alcon*, *Polyommatus bellargus*, *P. coridon*, *Cyaniris semiargus* are treated as specialist grassland butterflies. Of the most numerous specialist species *Polyommatus coridon* should be mentioned. The highest values of abundance were found for species *Melanargia galathea* (282 individuals) *Aphantopus hyperanthus* (217 individuals) and *Maniola jurtina* (160 individuals). *Melanargia galathea* (23.27 %) was found to be eudominant species in 2011 and 2012 (11.55 %). In 2001, *Colias hyale/alfacariensis* (8.05 %), *Aphantopus hyperanthus* (7.54 %), *Pieris rapae* (7.17 %) and *Maniola jurtina* (5.82 %) prevailed while in 2012 also *Polyommatus coridon* (6.30 %) and *Polyommatus icarus* (5.07 %).

Based on the calculation of the diversity indices (Table), the lowest value was reached by the communities recorded in the habitats that were under the strongest anthropic pressure. The following conclusions can be stated on the base of diversity indices (Tab. 1): the lowest values were found for biotopes, which have been under the strongest anthropic pressure.

In 2011, they were mulched fallows (s. s. 9) and recultivated meadow, which is grazed and mulched (s. s. 7). Relatively poor assemblages (index 2.16) were found for

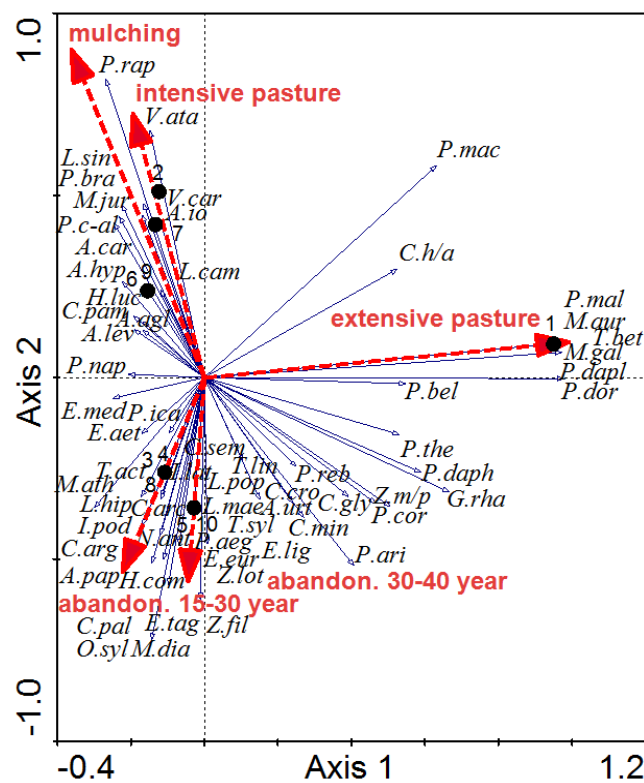
intensive sheep pasture land (s. s. 2). Contrary, the highest values (3.39) were observed for fallows in more advanced succession stage (s. s. 10). Relatively high values were reached for extensive sheep grazing land (s. s. 1).

The values of diversity (H) and equitability (e) indices for 2011-2012 at study sites (SS)

	SS1	SS2	SS3	SS4	SS5	SS6	SS7	SS8	SS9	SS10
H 2011	2.93	2.16	2.87	2.82	2.52	2.66	2.13	2.23	1.93	3.39
H 2012	3.12	2.19	2.51	2.77	2.23	2.78	2.19	2.53	2.28	3.18
e 2011	0.90	0.94	0.93	0.94	0.91	0.89	0.89	0.84	0.88	0.92
e 2012	0.86	0.85	0.85	0.84	0.84	0.87	0.85	0.91	0.80	0.86

The highest values (0.94) of equitability index were found for intensive sheep grazing land (s. s. 2) and fallow in more advanced succession stage (s. s. 4). However, it is not same for next year (2012). Mulched fallows (s. s. 9) show much lower values (0.8 compared to 0.88) as well as fallow in more advanced succession stage (s. s. 4) (0.84 compared to 0.84). Old fallow land (s. s. 8) shows another distinct difference – in the first year (2011) it reached the lowest value (0.84), while it was increased up to 0.91 in 2012 (the highest value in 2012 year).

RDA graph (Figure) shows that butterfly assemblages have been impacted significantly by mulching. Study sites 9 and 6 are positively correlated with this factor. Mobile species such as *P. rapae*, *P. brassicae*, *Maniola jurtina* and *Colias hyale/alfacariensis* are positively correlated with this. There was found high correlation



Redundancy analysis of the influence anthropological factors on the butterfly species

between intensive grazing and mulching (0.5976). Species such as *Vanessa atalanta*, *Vanessa cardui*, *Aglais io* are correlated positively with intensive grazing. On the other hand, there is negative correlation with both factors by sensitive species, which represent sedentary populations (*Thymelicus acteon*, *Phengaris rebeli*, *Polyommatus thersites*, *Polyommatus dorylas*, *P. daphnis*, *Cupido minimus*). Grassland species such as *Pyrgus malvae*, *Melitaea aurelia*, *Polyommatus bellargus*, *P. dorylas*, *P. thersites*, *P. daphnis*, *P. rebeli*, *P. coridon*, *P. arion*, *Zygaena minos/purpuralis* were positively associated with extensive grazing (p - value 0.1027) at study site 1. Hence, the analyse shows that absence of management had positive impact on the most of species. The fallows abandoned up to 30 years were preferred by species such as *Melitaea athalia*, *Coenonympha arcania*, *Thymelicus acteon*, *Lycaena hippothoe*, *Celastrina argiolus*, *Iphiclides podalirius*. Old fallow land (abandonment over 30 years) preferred forest species such as *Cyaniris semiargus*, *Lasiommata maera*, *Pararge aegeria*, *Erebia euryale*, *Melitaea diamina* and *Nymphalis antiopa*.

DISCUSSION

Our results reveal that the intensive form of management as long-term mulching and intensive grazing have a negative impact on the butterfly species richness, abundance and diversity indices. Negative impact of long-term mulching was found for study site 9 and 6, while intensive grazing negatively impacted sites 2 and 7. These sites showed the lowest butterfly diversity. According to many authors (Dandová, 2007; Weibull et al., 2000; Balmer and Erhardt, 2000; Swaay and Warren, 1999; Swaay et al., 2010) intensification of landscape leads to sterile grasslands, which are the unsuitable habitats for butterflies. The main reason of negative effect of intensive grazing is a change of vegetation structure. According to Šlancarová et al., (2010) intensive grazing by sheep leads to homogenous vegetation structure and overgrazing of *Fabaceae* family plants, which are host plants for *Lycaenidae* family butterflies. Intensive grazing can cause that butterfly assemblages degrade to the level of abandoned fields (Ružicková and Kalivoda, 2007). The most of stenotopic butterflies were negatively correlated with the above mentioned factors. On the contrary, extensive management such as extensive grazing has a positive impact on the assemblages of daily butterflies and biodiversity of landscape Kalivoda and Grendár (2001); Bartušová and Panigaj (2004); Ružicková and Kalivoda (2007); Dandová (2007); Aviron et al., (2007); Balmer and Erhardt (2000); Kořínková (2009), Konvička et al., (2010). This was proved by RDA analyse (Fig. 1) for site 1. At this site, we found positive correlation of many specialists and indicator species (such as *Pyrgus malvae*, *Polyommatus dorylas*, *P. thersites*, *P. bellargus*, *Melitaea aurelia*) with extensive pasture. This study site represents a very important habitat for butterflies with specific microclimatic conditions and heterogeneous vegetation cover. It is a source of biodiversity, from which butterflies can spread into the surroundings.

The RDA analyse also showed positive impact of succession on the butterfly diversity – the highest diversity values were found for this type of habitats. They are partly covered by shrubs and trees, which serve as shelter against adverse weather conditions (especially wind) (Dover, 1997). Old fallow land has significantly higher species richness and hosted more Red List species than the early succession stage habitats (Balmer and Erhardt, 2000) such as *Phengaris rebeli*, *P. arion*, *Polyommatus daphnis*, *P. thersites*, *Thymelicus acteon*, *Limenitis populi*, *Melitaea diamina*. Old fallow land abandoned for 30–40 years were preferred by forest species such as *Erebia aethiops*, *E. ligea*, *Celastrina argiolus* and *Argynnis paphia*. As stated by several authors the abandoned and unused habitats are very important for butterfly assemblages. However, importance of such habitats for maintaining of butterfly diversity in the landscape is often overlooked (Balmer and Erhardt, 2000; Cremene et al., 2005). When those habitats are replaced by forest due to the succession, butterfly assemblages change their qualitative and quantitative structure (Thust and Thiele, 1999). Typical grassland species are gradually disappearing and, in the end, all butterfly diversity is lost (Balmer and Erhardt, 2000).

CONCLUSION

Results of two-year research showed that study area represents the environment with a high biological value. In the grassland biotopes, we recorded 63 species of daily butterflies. Of them, 11 represent protected species. At the same time, these species are good grassland indicators. Our results revealed that the major threat for butterfly assemblages in the study area is long-term mulching, which is leading to homogenisation of landscape and to general decrease of local biodiversity. The second threat is an abandonment of the meadows and pastures, which caused change of grassland biotopes into the forests. To preserve a local high biological value it is necessary to return to traditional forms of management such as extensive pasture and mosaic mowing.

Acknowledgements

The study was supported by project 2/0158/14: "Diversity of the agricultural landscapes and ecosystem services".

REFERENCES

- Aviron, S., Jeanneret, P., Schupbach, B., Herzog, F., 2007.** Effects of agri-environmental measures, site and landscape conditions on butterfly diversity of Swiss grassland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 122, 295–304.
- Balmer, O., Erhardt, A., 2000.** Consequences of succession on extensively grazed grasslands for Central European butterfly communities: rethinking conservation practices. *Biology*. 1, 746–757.
- Bartušová, Z., Panigaj, L., 2004.** The impact of meadow management on the structure of the diurnal butterfly communities. *Protection Nature*. 23, 253–261.
- Blair, R. B., 1999.** Birds and butterflies along an urban gradient: surrogate taxa for assessing biodiversity? *Ecol. Appl.* 9, 164–170.
- Cremene, C., Groza, G., Rakosy, L., Schileiko, A.A., Baur, A., Erhardt, A., Baue, B., 2005.** Alternations of Steppe – Like grasslands in Eastern Europe: a Threat to Regional Biodiversity Hotspots. *Conservation Biology*. 19, 1606–1615.
- Dandová, J., 2007.** Influence of management and factors environments on the structure of communities of daily butterflies in Valašské pastures. Olomouc. 50 p.
- Dover, J. W., 1997.** Conservation headlands: effects on butterfly distribution and behaviour. *Agric. Ecosyst. Environ.* 63, 31–49.
- Erhardt, A., 1985.** Diurnal Lepidoptera: Sensitive indicators of cultivated and abandoned grassland. *Journal of Applied Ecology*. 22, 849–861.
- Erhardt, A., Thomas, J. A., 1991.** Lepidoptera as indicators of change in the seminatural grasslands of lowland and upland Europe. Collins N. M., Thomas J.A. (eds.). *The conservation of insects and their habitats*. Academic Press, London. 213–237.
- Kalivoda, H., Grendár, M., 2001.** Influence of anthropological factors on diversity of grasslands butterfly communities in the Morava river alluvium. *Ecologia*. 10, 217–225.
- Konvička, M., Beneš, J., Fric, Z., 2010.** Protection of daily butterflies in Czech Republic. Analyse of statue and long-term strategy. České Budejovice. University of South Bohemia in České Budejovice & Institute of Entomology BC AS CR, v. v. i., 151 p.
- Kořínková, S., 2009.** The effect of different mowing practices of meadows onto butterfly population. Graduation work. Olomouc, Palacký University Olomouc, 38 p.
- Kulfan, M., Kulfan, J., 2001.** Red (Ecosozological) List of Butterflies (Lepidoptera) of Slovakia. *Protection Nature*. 20, 48–81.
- Maes, D., Van Dyck, H., 2001.** Butterfly diversity loss in Flanders (north Belgium): Europe's worst case scenario? *Biological Conservation*. 99, 263–276.
- Mazúr, E., Lukniš, M., 1986.** Geomorfological units. 1:1000 000. Atlas of Landscape Slovak Republic. Bratislava, Ministry of Environment of the Slovak Republic, 86 p.
- New, T. R., 1997.** Are Lepidoptera an effective 'umbrella group' for biodiversity conservation? *Journal of Insect Conservation*. 1, 5–12.
- Oostermeijer, Jgb., Van Swaay, Cam., 1998.** The relationship between butterflies and environmental indicator values: a tool for conservation in changing landscapes. *Biological Conservation*. 86, 271–280.
- Ružicková, H., Kalivoda, H., 2007.** Wildflower meadows – natural heritage. Science, Slovak Academy of Sciences, Bratislava. 133 p.

Swaay, Cam Van., Warren, Ms., 1999. Red Data book of European butterflies (Rhopalocera). Nature and Environment. 99. Council of Europe Publishing, Strassbourg, 260 p.

Sway, Ch. V., Cuttelod, A., Collins, S., Maes, D., Munguira, M. L., Šašič, M., Settele, J., Verovnik, R., Verstrael, T., Warren, M., Wiemers, M., Wynhoff, I., 2010. European Red List of Butterflies. Publications Office of the European Union, Luxembourg. 47 p.

Šlancarová, J., Bednářová, B., Beneš, J., Konvič, M., 2010. How life history affects threat status: requirements of two *Onobrychis*-feeding Lycaenid butterflies, *Polyommatus damon* and *Polyommatus thersites*. Czech Republic (in review).

Ter Braak, C. J. F., Šmilauer, P., 2002. CANOCO Reference Manual and Cano Draw

for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Ithaca, NY, USA. (www.canoco.com): Microcomputer Power.

Thust, R., Thiele, A., 1999. Zu Problemen der Biotoppflege im Grünlandbereich. Landschaftspflege und Naturschutz in Thüringen. 36(1), 14–16.

Vestenický, K., Vološčuk, I., 1986. Veľká Fatra – Protected area. Nature, Bratislava. 375 p.

Warren, M. S., 1992. The conservation of British butterflies. In: Dennis RLH (eds.) The ecology of butterflies in Britain, Oxford University Press. New York. 246–274.

Weibull, A. C., Bengtsson, J., Nohlgren, E., 2000. Diversity of butterflies in the agricultural and habitat features in agricultural landscapes. Landscape Ecology. 18, 253–263.

Стаття надійшла в редакцію: 20.02.2014

Рекомендує до друку: д-р біол. наук, проф. В. В. Никифоров

FOREST BIOGEOCENOLOGY



P. M. Bujanov 

UDK 630:502

Kherson municipal organization of Ukrainian Environmental Association "Zelenyi Svit", Buchma str., 22/124, 73034, Kherson, Ukraine

ECOLOGICAL PROBLEMS OF SANDY AREA AFFORESTATION IN THE SOUTH OF UKRAINE

Abstract. The town of Oleshky, renamed as Tsiurupinsk in 1928, is located in the Kherson region of Ukraine, near the railway station Tsiurupinsk. The Nizhnyodniprovsky Research Station "Afforestation of sands and viticulture" is located here. The total area of forest fund in Kherson region is 221.7 thousand hectares. The percentage of forest land is 3.3 %. 45 thousand hectares of this area belong to Tsiurupinsk forest. The tree composition involves 74 % of coniferous and 26 % of deciduous breeds. 62 % of Cherson forests were created by man.

The pine forests on the Oleshkovsky (Nizhnyodniprovsky) sands were created in the middle of the XIX century. This was dictated by the urgent task of fixing the sands by the black storms, using the fertility of sands in forest management and agriculture.

Completely joining the authors of papers devoted Oleshkovsky sands, their afforestation, recreation, conservation and management of the southern pine forest complexes, we consider important to mention:

- in harsh growing conditions of pine trees it is extremely necessary to strive for a complex biogeocenological research, to a comprehensive in-depth knowledge of pine ecosystems, at which typological approach is obligatory not from the standpoint of common assessments of forest growth conditions, but using typological principles of Professor A. L. Belgard established for the conditions of geographical and often environmental inadequacy of forest to habitat conditions;
- the typology provides diversity of soil types of Oleshkovsky forest growth conditions where there are two variants of soils – with and without salinity, with different gradations of humidification – from very dry to wet soils;
- it is necessary to take into account the extent of the influence of planted forests on the environment, which depends primarily on the ecological forest structure, which refers to the light structure of the stands and the duration of their habitat transforming influence. Light structure, in its turn depends on the architectonics of the tree crowns forming part of the forest (Belgard, 1971);
- using the special equipment it is necessary to create or improve the network of hydrological monitoring wells covering all environmental profiles, catens and plots, to conduct large-scale monitoring studies of the cyclic and successional forms of dynamics of forest hydrology: groundwater level, the chemistry, radioecology, organic matter, biota and also flow direction of groundwater movement (hydraulically interconnected), their degree of contamination, sanitary toxicological and other features;
- to explore sandy soils for content and quality of humus to evaluate soil fertility (Orlov, 1981);
- to explore microclimatic regimes to identify critical data to the vitality of pine plantations;

 Tel.: + 38099-900-24-13. E-mail: buyanovzelensvit@ukr.net

DOI: 10.15421/031409

- with all indicators of systematic characteristics of a pine (*Pinus silvestris* L.), it has about 100 species. In the culture of Ukraine there are about 35 species. But, as foresters observe, not every pine (*Pinus silvestris* L.) gives a good effect of growth and development in every kind of environmental ecotope. It is necessary to consider the differences between hereditary traits of burned 350 years old samples of the eternal pinewood in Samarsky forest and artificial pine plantations grown from seed material taken from a completely different habitat conditions. Oak acorns, collected in the floodplain of River Dniester and planted in the watershed of Gynmetsovy forest in Moldavia, dieback at the age of 30 years, but oak acorns, collected in plakor conditions and landed next to the first, have high vitality, intensive growth and development. It is well known that the Scots pine (*Pinus silvestris*) and Cretaceous pine (*Pinus cretacea*) do not differ in systematics. But Scots pine planted on chalk mountains near Scots pine are different. The first pine does not give seed regeneration, and the second one has acquired the ability to reproduce itself easily on Cretaceous and to hold on barren rock outcrops (Milkov, 1959);

- in the study of sandy habitats it is necessary to establish consort links in biogeocenoses, their horizontal and vertical structures, ecomorphic features of the forest, its age population type, and as a result - to establish the viability and sustainability of pine plantations to the conditions;

- finally, it should be emphasized that only a comprehensive and integrated approach to the study of forest ecosystems in the steppe (horizontal and vertical structure) can give a reliable information about the successfully constructed plantation, its stability and durability.

Key words: *Oleshkovsky sands, afforestation, typology, rational use, restoration.*

УДК 630:520

П. М. Буянов

*Херсонська міська організація Української екологічної асоціації «Зелений світ»,
вул. Бучми, 22/1246 73034, м. Херсон, Україна,
тел.: + 38099-900-24-13, e-mail: buyanovzelensvit@ukr.net*

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЗАЛІСНЕННЯ ПІЩАНИХ ТЕРИТОРІЙ ПІВДНЯ УКРАЇНИ

Місто Олешки, перейменоване в місто Цюрупинськ у 1928 р., розташоване в Херсонській області України, поблизу залізничної станції Цюрупинськ. Тут розташована нижньодніпровська науково-дослідна станція «Заліснення пісків і виноградарства». Загальна площа лісового фонду Херсонської області становить 221,7 тис. га. Лісистість території – 3,3 %. Із цієї площі 45 тис. га належить Цюрупинському лісу. Деревний склад включає 74 % хвойних і 26 % листяних порід. 62 % лісів Херсонщини створено людиною.

Соснові ліси на Олешківських (Нижньодніпровських) пісках почали створювати в середині XIX століття. Це було викликано невідкладним завданням закріплення пісків від чорних бур, використання родючості пісків у лісовому та сільському господарствах.

Повністю приєднуючись до авторів робіт, присвячених Олешківським пісках, їх лісонасадженню, відтворенню, охороні та раціональному використанню південних борових комплексів вважаємо за необхідне зазначити про необхідність комплексних біогеоценологічних досліджень, всебічного поглибленого пізнання соснових екосистем, при якому обов'язковим є типологічний підхід не з позицій загальних оцінок лісорослинних умов, а з використанням типологічних принципів професора О. Л. Бельгарда, створених для умов географічної та часто екологічної невідповідності лісу умовам місцезростання.

В даний час перед дослідниками стоять такі завдання: дослідження масштабів впливу посадженого лісу на середовище; проведення широкомасштабних моніторингових досліджень циклічної і сукцесійної форм динаміки лісової гідрології; дослідження піщаних ґрунтів на вміст і якість гумусу з метою оцінки ґрунтової родючості; дослідження мікрокліматичних режимів для виявлення критичних даних про життєвість соснових насаджень; дослідження життєвості підросту сосен та інших деревних порід, отриманого з насіннєвого матеріалу, який взятий з різних екологічних умов (наприклад, заплава і вододіл); встановлення консортивних зв'язків у біогеоценозах, їх горизонтальної і вертикальної будови, екоморфічних особливостей бору, його віковий тип популяції і, як підсумок – встановлювати життєвості та стійкості соснового насадження до даних умов.

Таким чином, тільки всебічний комплексний підхід до дослідження лісових біогеоценозів у степу: горизонтальна (парцели, педони, поліпедони, тесери) і вертикальна

будова (радіалі, латералі, біогеомаси, ланки біологічного кругообігу) можуть дати надійні відомості про вдало сконструйоване насадження, про його стійкість і довговічність.

Ключові слова: Олешківські піски, заліснення, типологія, раціональне використання, відновлення.

УДК 630:520

П. М. Буянов

*Херсонская городская организация Украинской экологической ассоциации
«Зеленый свит», ул. Бучмы, 22/124, 73034, г. Херсон, Украина,
тел.: + 38099-900-24-13, e-mail: buyanovzelensvit@ukr.net*

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОБЛЕСЕНИЯ ПЕСЧАНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЮГА УКРАИНЫ

Город Алешки, переименован в город Цюрупинск в 1928 г., расположен в Херсонской области Украины, вблизи железнодорожной станции Цюрупинск. Здесь расположена нижнеднепровская научно-исследовательская станция «Облесения песков и виноградарства». Общая площадь лесного фонда Херсонской области составляет 221,7 тыс. га. Лесистость территории – 3,3 %. Из этой площади 45 тыс. га принадлежит Цюрупинскому лесу. Древесный состав включает 74 % хвойных и 26 % лиственных пород. 62 % лесов Херсонщины созданы человеком.

Сосновые леса на Алешковских (Нижнеднепровских) песках начали создавать в середине XIX столетия. Это было вызвано неотложной задачей закрепления песков от черных бурь, использования плодородия песков в лесном и сельском хозяйствах.

Полностью присоединяясь к авторам работ, посвященных Алешковским пескам, их облесению, воссозданию, охране и рациональному использованию южных боровых комплексов считаем необходимым отметить о необходимости комплексных биогеоэкологических исследований, всестороннем углубленном познании сосновых экосистем, при котором обязателен типологический подход не с позиций общих оценок лесорастительных условий, а с использованием типологических принципов профессора А. Л. Бельгарда, созданных для условий географического и часто экологического несоответствия леса условиям обитания.

В настоящее время перед исследователями стоят такие задачи: исследование масштабов влияния посаженного леса на среду; проведение широкомасштабных мониторинговых исследований циклической и сукцессионной форм динамики лесной гидрологии; исследование песчаных почв на содержание и качество гумуса с целью оценки почвенного плодородия; исследование микроклиматических режимов для выявления критических данных о жизнеспособности сосновых насаждений; исследование жизнеспособности подростов сосен и других древесных пород, полученного из семенного материала, который взят из различных экологических условий (например, пойма и водораздел); исследование консортивных связей в биогеоценозах, их горизонтального и вертикального строения, экоморфических особенностей бора, его возрастной тип популяции и, как итог – установление жизнеспособности и устойчивости соснового насаждения к данным условиям.

Таким образом, только всесторонний комплексный подход к исследованию лесных биогеоценозов в степи: горизонтальное (парцеллы, педоны, полипедоны, тессеры) и вертикальное строение (радиали, латерали, биогеомассы, звенья биологического круговорота) могут дать надежные сведения об удачно сконструированном насаждении, о его устойчивости и долговечности.

Ключевые слова: Алешковские пески, облесение, типология, рациональное использование, восстановление.

Город Алешки, переименован в город Цюрупинск в 1928 г., расположен в Херсонской области Украины, вблизи железнодорожной станции Цюрупинск.

Здесь расположена нижнеднепровская научно-исследовательская станция «Облесения песков и виноградарства». Общая площадь лесного фонда Херсонской области составляет 221,7 тыс. га. Лесистость территории – 3,3 %. Из этой площади

45 тыс. га принадлежит Цюрупинскому лесу. Древесный состав включает 74 % хвойных и 26 % лиственных пород. 62 % лесов Херсонщины созданы человеком.

Сосновые леса на Алешковских (Нижнеднепровских) песках начали создавать в середине XIX столетия. Это было вызвано неотложной задачей закрепления песков от черных бурь, использования плодородия песков в лесном и сельском хозяйствах.

С 1950 г. в Алешковские леса был переселен целый ряд животных, которые поселялись в искусственные лесные биогеоценозы, успешно произрастающие в жестких и неблагоприятных условиях среды.

Известно, что подвижность песков является грозным бичом для сельского и лесного хозяйства, жизни человека. Причины инфляции были раскрыты П. И. Капеном (Капен, 1841), П. А. Костычевым (Kostychev, 1888), В. К. Мякушко и др. (Myakushko et al., 1989) и многими другими. Е. М. Лавренко (Lavrenko, 1935) раскрыл процессы динамики при пастбищной дигрессии. Для закрепления песков И. Крокос (Krokos, 1926) предложил использование шелюги (*Salix acutifolia* L.). Практика показала, что этот прием не всегда себя оправдывает, так как рост и развитие шелюги не защищает пески от выдувания и образования дюнно-барханного всхолмления.

И. И. Гордиенко (Gordienko, 1969) приступил к исследованию песков с позиций комплексного биогеоценотического (БГЦ) подхода и на основе многолетних исследований предложил метод борьбы с дефляцией – созданием ракитниково-пырейного биогеоценоза, который формируется в злаково-разнотравную стадию развития травяного покрова. Последняя стадия переходит в злаково-полынную и полынную.

Проблема песчаных территорий тревожила ученых-лесоведов, геоботаников и почвоведов на протяжении многих столетий. Следует, однако, подчеркнуть, что ощутимыми действиями остановить движение Алешковских песков была работа губернских комиссий (1882–1885), направленная на радикальные методы борьбы с подвижными песками путем создания защитных лесных насаждений.

Институт леса АН УССР предложил создавать посадки из белой акации по древостою с кустарниковым подлеском из ракитника. Ракитник рекомендовалось сажать мечом Колесова с внесением в щель 50 г торфа, а белую акацию – в квадратные углубления 50×50 см, глубиной 50 см, с внесением 9–10 кг торфа.

Обе породы надо сажать с углублением корневой шейки на 7–10 см. Количество посадочных мест на 1 гектар белой акации – 500–700, ракитника – 4000–5000. Белая акация за 2 года достигала высоты 1 м.

Диагностику состояния безлесья в прошлые периоды некоторые исследователи связывали с климатом, растительностью, гидрологией, с историей происхождения или по остаткам археологических включений.

Исходя из данных о том, что речные наносы песка находятся под лессовой толщей, можно полагать, что во время последней межледниковой эпохи левобережная терраса Нижнего Днепра уже сформировалась, поскольку лесс был отложен в последний ледниковый период (вюрмское ледниковое время в постплейстоцене). Почвенная экспедиция Укргипровода (1926–1931 гг.) пришла к заключению, что песчаная терраса формировалась несколькими этапами в поствюрмское время (Pogrebniak, 1963).

И. А. Лепикаш (Lepikash, 1933) считает, что начало образования Алешковских песков относится к конечной стадии отложения верхнего яруса лесса (последледниковое время) в конце неолита.

С.С. Соболев (Sobolev, 1960) выделяет в районе Олешья три террасы.

П. К. Лобанов полагает, что песчаная терраса формировалась с конца плиоцена до конца вюрмского времени, в течение всего плейстоцена.

К. И. Маков (Makov, 1938) считает, что причиной аккумуляции отложений является не река Днепр, а другая более мощная река Пра-Днепр. Мощность

аллювиальных отложений в районе Олешковских песков колеблется от 3 м у Каховки и Днепряна до 86 м у Челбас. Нижняя граница их в северной части (Днепряны) поднимается на 12,4 м выше, а на юге (Челбасы) опускается на 50 м ниже уровня моря. Археологические находки дают возможность полагать, что некоторые части территории были покрыты лесом.

О косвенных доказательствах лесопокрытия (Pogrebniak, 1953; Gordienko, 1969) свидетельствуют археологические находки. Можно полагать, что лесные участки борового типа из сосны обыкновенной теснились по холмам песчаных образований.

Небезынтересно вспомнить и работы Геродота Турийца из Галикарнасса (484–425 гг. до н. э.), о его девяти книгах (Herodotus, 2006). Геродот 2400 лет тому назад посетил Ольвию – греческую колонию на правом берегу Бугского лимана. Четвертую книгу «Мельпомена» (с. 232–295) Геродот посвящает Скифии и скифам, которые населяли Северное Причерноморье от Днестра до Донца (или Дона). В этой книге он первый из древних упоминает о Гилее – стране лесов. «...Если перейти Борисфен, двигаясь от моря, то в начале будет Гилея, а если идти еще выше, там живут скифы – земледельцы, в которых эллины живут вдоль реки Гипании и их называют борисфенитами, а самих себя те эллины называют ольвиополитами».

Географию Скифии некоторые исследователи видели в Геродотовой Гилее – стране лесов – пески Олешья, другие Гилею помещали в пределах Днепровских плавней или допускали распространение лесных оазисов Гилеи за пределы плавней Днепра, в виде крупных отрогов Олешских песков (Vysotskij, 1911).

Далее Геродот подчеркивает, что «...во всей этой стране, которую я описываю, зима настолько суровая, что невыносимый мороз продолжается восемь месяцев, если воду прольешь, то от нее на земле не будет болота, а если разведешь огонь, то возникнет лужа. Море замерзает, а также и весь Киммерийский Босфор. Скифы, которые живут по эту сторону рва, переезжают по льду целыми поселениями на своих повозках через пролив к синдам» (Herodotus, т. IV, с. 232-243).

Известно, что защитное лесоразведение как средство для повышения урожайности сельскохозяйственных культур является нашим отечественным приоритетным достижением. По рекомендации лесной дирекции ФАО для мировой лесной статистики сейчас выделено два вида лесной собственности (Gordienko, 1960):

1. Леса общественные (public):
 - Государственные (State);
 - Другие общественные леса (other).
2. Леса частные:
 - Частных промышленных объединений и предпринимателей (industry);
 - Фермерские (farm);
 - Другие частные леса (other).

Небрежное отношение к лесам в дальнейшем обусловит периодически повторяющиеся засухи, с чем связано материальное состояние жителей степной зоны. Среди созданных полезащитных разнофункциональных лесных насаждений в Украине на площади свыше 2 млн. га, первое место занимает колыбель степного лесоразведения – Велико-Анадольский искусственный лесной массив, расположенный в Донецкой области Украины.

Значительную работу в области степного лесоразведения выполняет на протяжении 65 лет Комплексная экспедиция по исследованию лесов степной зоны Днепропетровского национального университета им. Олеся Гончара и Научно-учебный центр «Присамарский биогеоэкологический биосферный стационар» Комплексной экспедиции ДНУ, который является дальнейшим развитием научной школы В. В. Докучаева, Г. Н. Высоцкого, А. Л. Бельгарда. За период своего существования КЭДУ исследовала все естественные и искусственные лесостепной зоны Украины и Молдавии. Итогом этой работы было издание 35 монографий и, в

том числе, книга «Велико-Анадольский лес», в которой изложены результаты работы основоположника всего степного лесоразведения и создателя первого степного образцового лесничества Виктора Егоровича фон Графа – общепризнанного выдающегося деятеля степного отечественного лесоводства.

А. Л. Бельгардом издана, впервые в научной литературе, монография, посвященная теории степного лесоводства «Степное лесоведение», о которой выдающиеся лесоводы, министр лесного хозяйства СССР В. Я. Калданов и его заместитель по степному лесоразведению Н. Р. Письменный, отмечали: «...автор книги «Степное лесоведение» Александр Люцианович Бельгард – старейший советский геоботаник-лесовед, крупный знаток степного леса, профессор Днепропетровского университета, руководитель Комплексной экспедиции ДГУ по исследованию лесов степной зоны. А. Л. Бельгард завершил оформление степного лесоведения как особого научного направления по изучению качественно своеобразной сложной многогранной системы закономерностей, присущих степному лесу, сформированному в условиях географического, а нередко, и экологического несоответствия леса условиям местообитания. Книга А. Л. Бельгарда «Степное лесоведение» по праву может быть приравнена к классическим трудам. Без опоры на них нельзя двигаться дальше в изучении природы лесов» (Лесное хозяйство. 1972. № 9. С. 94-95).

А. Л. Бельгардом и его учениками создана типология естественных и искусственных лесов степной зоны, которая успешно используется в Китае (Дун Зан), в Болгарии (Дончев), в Испании (Нехай), России (Тимофеев, Матвеев, Галазий).

В 1967 г. ВАСХНИЛ отмечал, что для выполнения планов защитного лесоразведения включились Московский, Саратовский и Днепропетровский университеты. Член Президиума АН СССР, академик-секретарь Отделения общей биологии, академик Академии наук СССР Меркурий Сергеевич Гиляров (Gilyarov, 1965) отмечал, что комплексные исследования под руководством академика В. Н. Сукачева являются примером организации работ. В качестве удачных начинаний можно назвать кафедру географии Московского университета и работы Днепропетровского университета по исследованию искусственных лесов степной зоны (1969, с. 253).

Растительность песчаных островов Днепра, ныне затопленных песчаных островов, исследовал академик А. А. Гроссгейм в 1913 г. Ученый установил типы растительных группировок песчаных территорий:

А. Типы травянистой растительности:

- растительность сухих незакрепленных песков;
- растительность сухого песчаного луга;
- растительность влажного луга;
- болотная растительность.

Б. Кустарниковая растительность:

1. заросли шелюги (*Salix acutifolia*);
2. заросли кустарниковых форм осокоря (*Populus nigra*);
3. смешанные кустарниковые заросли шелюги и осокоря;
4. кустарниковые заросли из ивы белой (*Salix triandra*).

В. Древесная растительность:

1. ивняки (*Salix alba*);
2. осокорники (*Populus nigra*);
3. смешанный лес (осокорь и дуб);
4. дубняки (*Quercus robur*);
5. вариант с белолისტкой (*Populus alba*).

Далее А. А. Гроссгейм отмечает, что в итоге работы можно наметить три стадии сложения растительного покрова на песчаных островах Днепра.

Первая стадия – первичная, свойственная молодому аллювию, где все растительные группировки лишены дерна и представлены еще не сложившимися синузиями.

Вторая стадия – образование ассоциаций на более спокойных и более зрелых формах песчаного ландшафта.

Третья стадия – процесс деградации луговых ассоциаций и образование лесной растительности.

Что касается обширных пространств Алешкинских нижнеднепровских песков детально, то они резко отличаются от описанных нами процессов зарастания песков присутствием березы, ольхи, а также других кустарниковых и древесных пород.

Были ли леса на бугристых Алешковских песках и в Ольвии – прежней грецкой колонии?

П. С. Погребняк впервые подтвердил с помощью радиоактивного метода и пыльцевого анализа, что остатки углей в почвенных горизонтах являются соснового происхождения. Точка зрения о том, что здесь росли леса, подтверждается теорией В. Р. Вильямса, который отвергал теорию извечности безлесья степей. Ученый писал: «...факты таковы, что не извечность степей, ни схема пустыня–степь–лес не могут быть приняты. ...правильным будет следующий порядок развития растительности почв и климатов: тундра – лес – степь – пустыня».

Для Алешковских песков был предложен торфяно-гнездовой способ создания искусственных сосновых боров. Было доказано, что песчаные арены могут стать зелеными легкими планеты. В своих работах П. С. Погребняк подверг критике ошибочность теории о фатальной неизбежности подзолообразовательного процесса под пологом степных лесов.

А. Л. Бельгардом была создана типология естественных и искусственных лесов, которая включает и лесорастительные условия нижнеднепровских песков. Исходя из условий степной зоны А. Л. Бельгард ординату трофности заменил ординатой минерализованности почвенного раствора, имея в виду, что от этого фактора зависит плодородие, изменяющееся по правилам биологической кривой – минимум–оптимум–пессимум и предложил следующие группы типов аренных местообитаний:

- АВ – физически бедные пески;
- В – относительно физически бедные почвенно-грунтовые условия;
- ВС – относительно физически бедноватые почвенные условия;
- С – относительно богатые трофотопы;
- Д – примыкают к трофности;
- ДС – ультрамегатрофы;
- Дас – наиболее благоприятные лесорастительные условия;
- Дп – кальциефильно-нитрофильные местообитания;
- Де – липо-ильмовые дубравы солонцеватые;
- Е – ясные признаки засоления;
- Г и Г – кустарниковые ценозы.

В Постановлении Президиума Академии наук СССР от 21 февраля 1978 г. говорилось: «оказать содействие в развертывании экологических (биогеоценологических) работ в Воронежском, Днепропетровском, Ленинградском, Московском, Новосибирском университетах, укрепить существующие в их системе станции и стационары». В итоге в 1980 г. было сдано в эксплуатацию трехэтажное здание (площадью 1350 м²) Присамарского биосферного биогеоценологического стационара Комплексной экспедиции ДНУ по исследованию лесов степной зоны.

3–4 июня 1957 г. на Велико-Анадольском совещании по итогам работы экспедиции, проводившей обследования степных лесов Украины, были полностью приняты для искусственных лесов типологические принципы, разработанные А. Л. Бельгардом.

Значительную работу по алешкинским лесам выполнил А. С. Скородумов (Skorodumov, 1952).

Полностью присоединяясь к авторам работ, посвященных Алешковским пескам, их облесению, воссозданию, охране и рациональному использованию южных боровых комплексов считаем необходимым отметить:

- в жестких условиях произрастания сосны, крайне необходимо стремиться к комплексным биогеоэкологическим исследованиям, к всестороннему углубленному познанию сосновых экосистем, при котором обязателен типологический подход не с позиций общих оценок лесорастительных условий, а с использованием типологических принципов профессора А. Л. Бельгарда, созданных для условий географического и часто экологического несоответствия леса условиям обитания;

- типология предусматривает и пестроту почвенных типов Алешковских лесорастительных условий, где встречаются почвы в двух вариантах – с засолением и без засоления, с различными грациями увлажнения – от очень сухих до мокрых почв;

- необходимо учитывать масштабы влияния посаженного леса на среду, которое зависит, прежде всего, от экологической структуры леса, под которой понимают световую структуру насаждений и продолжительность их средопреобразующего влияния. Световая структура, в свою очередь, зависит от архитектуры крон деревьев, входящих в состав древостоя (Belgard, 1971);

- с помощью специального оборудования необходимо создать или усовершенствовать сеть гидрологических наблюдательных скважин с охватом всех экологических профилей, катен и пробных площадей, проводить широкомасштабное мониторинговые исследования циклической и сукцессионной форм динамики лесной гидрологии: уровня грунтовых вод, химизма, радиоэкологии, органических веществ, биоты, а также потоков направленности движения грунтовых вод (гидравлически связанных между собой), их степени загрязнения, санитарно-токсикологических особенностей и др.;

- исследовать песчаные почвы на содержание и качество гумуса с целью оценки почвенного плодородия (Orlov and Grishina, 1981).

- исследовать микроклиматические режимы для выявления критических данных о жизнеспособности сосновых насаждений;

- при всех показателях систематической характеристики сосны (*Pinus silvestris* L.), она имеет около 100 видов. В культуре Украины их около 35 видов. Но, как наблюдают практики-лесоводы, не всякая сосна (*Pinus silvestris* L.) дает хороший эффект роста и развития в каждом экологически своеобразном экотопе. Необходимо учитывать различия между наследственными признаками у сгоревших 350-летних экземпляров извечного соснового бора в Самарском лесу и теми искусственными посадками сосны, выращенными из семенного материала, взятого из совершенно других условий обитания. Желуди дуба, собранные в пойме р. Днестр и посаженные на водоразделе в Гырнецовых лесах Молдавии, в возрасте 30 лет суховершинят, но желуди дуба, собранные в плакорных условиях и высаженные рядом с первыми, обладают высокой жизнеспособностью, интенсивным ростом и развитием. Хорошо известно, что сосна обыкновенная (*Pinus silvestris*) и сосна меловая (*Pinus cretacea*) систематиками не различаются. Но высаженная сосна обыкновенная на меловых горах рядом с сосной обыкновенной отличается тем, что первая не дает семенного возобновления, а вторая приобрела способность легко размножаться на мелу и приучилась стойко удерживаться на бесплодных каменных обнажениях (Milkov, 1959);

- при исследовании песчаных местообитаний необходимо установление консортивных связей в биогеоценозах, их горизонтального и вертикального строения, экоморфических особенностей бора, его возрастной тип популяции и, как

итог – устанавливать жизненность и устойчивость соснового насаждения к данным условиям;

• в итоге необходимо еще раз подчеркнуть, что только всесторонний комплексный подход к исследованию лесных биогеоценозов в степи: горизонтальное (парцеллы, педоны, полипедоны, тессеры) и вертикальное строение (радиали, латерали, биогеомассы, звенья биологического круговорота) могут дать надежные сведения об удачно сконструированном насаждении, о его устойчивости и долговечности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Belgard, A. L., 1971.** Steпноe lesovedenie [Steppe Forestry]. Moscow (in Russian).
- Belova, N. A., 1997.** Ekologiya, mikromorfologiya, antropogenez lesnykh pochv stepnoj zony Ukrainy [Ecology, micromorphology, anthropogeny forest soils of the steppe zone of Ukraine]. Dnepropetrovsk (in Russian).
- Belova, N. A., Travleev, A. P., 1999.** Estestvennye lesa I stepnye pochvy [Natural forest and grassland soils]. Dnepropetrovsk (in Russian).
- Brief geographical encyclopedia, 1964.** Moscow. 4 (in Russian).
- Gilyarov, M. S., 1965.** Zoologicheskij metod diagnostiki pochv [Zoological method of soil diagnostic]. Moscow (in Russian).
- Gordienko, I. I., 1957.** Protsess estestvennogo zarastaniia Oleshkovskikh (nizhnedneprovskikh) peskov I printsipy ikh zakrepleniia [The process of natural overgrowing Oleshkovskaya (lower Dnieper) sands and principles of their attachment]. Questions to consolidate and afforestation of sands. Vilnius (in Russian).
- Gordienko, I. I., 1959.** Rastitelnye suksessii na Oleshkskikh peskakh v protsesse ikh estestvennogo zarastaniia [Plant succession on Oleshkskikh sands in their natural overgrowing]. Botanical Journal. 44(9) (in Russian).
- Gordienko, I. I., 1969.** Oleshskie peski I biogeotsenoticheskie svyazi v protsesse ikh zarastaniia [Oleshskie sands and biogeocenotic bond during their overgrowth]. Kiev (in Russian).
- Herodotus, 2006.** Kniga iz 9 tomov [Book of 9 volumes]. Kharkov (in Russian).
- Kapen, P. I., 1841.** Ob Aleshkovskikh peskakh [About Aleshkovsky volatile sands]. Forest Journal (in Russian).
- Kostychev, P. A., 1888.** Aleshkovskie peski [Aleshkovsky sands]. Forest Institute, St. Petersburg (in Russian).
- Krokos, I., 1926.** Naslidky heolohichnykh obsliduvan Nyzhnodniprovs'koho raionu [Effects of geological examinations Nyzhnedniprovs'koho area]. Materials for the study of soil Ukraine (in Ukrainian).
- Lavrenko, E. M., 1935.** Nekotorye nabludeniia nad kornevoj sistemoj psammofitov [Some observations on the root system psammophytes]. Problems in crop development sands (in Russian).
- Lepikash, I. A., 1933.** Protsessy mineralizatsii nadpochvennykh vod v svyazi s obshchimi gidrogeologicheskimi usloviiami rajona Nizhnedneprovskikh peschanykh massivov [Mineralization processes the aerial waters in connection with the general hydrogeological conditions of the region Low-Dnieper sand areas]. Water mineral wealth of the earth. Leningrad, Moscow (in Russian).
- Makov, K. I., 1938.** O Pra-Dnepre I svyazi ego s sovremennym Dneprom [About Proto-Dnieper and its connection with the modern Dnieper]. Nature. 7–8 (in Russian).
- Milkov, F. N., 1959.** Zagadka melovykh borov [Riddle of cretaceous coniferous forest]. Moscow (in Russian).
- Myakushko, V. K., Volvach, F. V., Pluta, P. G., 1989.** Ekologiya sosnovykh lesov [Ecology pine forests]. Kiev (in Russian).
- Orlov, D. S., Grishina, L. A., 1981.** Praktikum po khimii gumusa [Workshop on chemistry of humus]. Moscow (in Russian).
- Pogrebniak, P. S., 1953.** Osnovy lesnoj tipologii [Basics forest typology]. Kiev (in Russian).
- Skorodumov, A. S., 1952.** Lesorastitelnye usloviia Nizhnedneprovskikh peskov [Low-Dnieper sands forest conditions]. Afforestation of sands. Kiev (in Russian).
- Sobolev, S. S., 1960.** Priroda Nizhnedneprovskikh peskov [Nature Low-Dnieper sands]. Abstracts of the report (in Russian).
- Vysotskij, G. N., 1911.** Pochvoobrazovatelnye protsessy v peskakh [Formation processes in the sands]. Materials of Russian Geographical Society. 47(6) (in Russian).

Стаття надійшла в редакцію: 18.02.2014

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

FOREST BIOGEOCENOLOGY



I. A. Tarakhkalo 

UDK 63.502:528.7

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

SEASONAL DYNAMICS OF CLIMATIC INDICES AS ONE OF THE MANIFESTATION FACTORS OF PYROGENIC PHENOMENA ON THE TERRITORY OF LUGANSK REGION

Abstract. The analysis on the effects of pyrogenic Lugansk region for the period from 2001 to 2005 was conducted using the service «FIRMS». Established seasonal dynamics of pyrogenic phenomena and specific influence of climatic factors on the pyrogenic effects in the Luhansk region.

Keywords: *pyrogenic succession, local thermal anomalies.*

УДК 63.502:528.7

І. О. Таракхало

*Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара,
просп. Гагаріна, 72, 49010, м. Дніпропетровськ, Україна,
тел.: + 38050-614-41-50, e-mail: illia.tarakhkalo@gmail.com*

СЕЗОННА ДИНАМІКА КЛІМАТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯК ОДИН З ФАКТОРІВ ВИНИКНЕННЯ ПІРОГЕННИХ ЯВИЩ НА ТЕРИТОРІЇ ЛУГАНЩИНИ

Як відомо, щорічні пірогенні процеси завдають серйозних економічних збитків. На частоту їх виникнення, крім антропогенних, впливають кліматичні чинники, сила впливу яких розрізняється залежно від регіону, що зумовлено його зональними особливостями.

За весь період (2001–2005 рр.) проаналізовано 4163 теплових аномалій на території Луганської області, які безпосередньо пов'язані з кількістю пірогенних явищ та їх масштабом. Виділено два основних періоди пірогенної активності: з квітня по травень і з липня по вересень. За досліджуваний період в першому піку пірогенної активності кількість теплових аномалій становить у середньому 79, а в другому – 198.

Отримано коефіцієнт кореляції між змінними – температурою повітря і кількістю теплових аномалій, що говорить про середню позитивну залежність між цими двома змінними. Також отримано негативний коефіцієнт кореляції між змінними кількістю опадів і теплових аномалій, який найбільш слабо виражений в місяці з найменшою кількістю опадів.

Ключові слова: *пірогенні сукцесії, локальні теплові аномалії.*

 Tel.: +38050-614-41-50. E-mail: illia.tarakhkalo@gmail.com

DOI: 10.15421/031410

ISSN 1726-1112. Ecology and noospherology. 2014. Vol. 25, no. 1–2

101

*Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара,
просп. Гагарина, 72, 49010, г. Днепропетровск, Украина,
тел.: + 38050-614-41-50, e-mail: illia.tarakhkalo@gmail.com*

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА КЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАК ОДИН ИЗ ФАКТОРОВ ПРОЯВЛЕНИЯ ПИРОГЕННЫХ ЯВЛЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ЛУГАНЩИНЫ

Как известно, ежегодные пирогенные процессы наносят серьезный экономический ущерб. На частоту их возникновения, помимо антропогенных, оказывают влияние климатические факторы, сила влияния которых различается в зависимости от региона, что обусловлено его зональными особенностями.

За весь период (2001–2005 гг.) проанализировано 4163 тепловых аномалий на территории Луганской области, которые напрямую связаны с количеством пирогенных явлений и их масштабом. Выделено два основных периода пирогенной активности: с апреля по май и с июня по сентябрь. За исследуемый период в первом пике пирогенной активности количество тепловых аномалий составляет в среднем 79, а во втором – 198.

Получен коэффициент корреляции между переменными – температурой воздуха и количеством тепловых аномалий, что говорит о средней положительной зависимости между этими двумя переменными. А также получен отрицательный коэффициент корреляции между переменными количеством осадков и тепловых аномалий, который наиболее слабо выражен в месяцы с наименьшим количеством осадков.

Ключевые слова: пирогенные сукцессии, локальные тепловые аномалии.

INTRODUCTION

Annual pyrogenic processes cause severe economic damage (Goncharova, Kovalchik, 2013). Besides anthropogenic, climate indices affect the frequency of occurrence of this processes. The power of climate indices influence vary depending on region due to zonal features (Flannigan, Van Wagner, 1991; Houghton, 1991; Kasischke et al., 1995).

The purpose of the work is identification of the share of some leading factors participation, that are typical for South-Eastern Ukraine.

METHOD

For receiving information about pyrogenic processes we use service «The Fire Information for Resource Management System» (FIRMS) (NASA Earth Data), that is enable to get information about pyrogenic processes on all the territory of Lugansk region during the investigate period, as distinct from official sources, that register only subordinated territory data. We use hotspots archives of Lugansk region between 2001 and 2005 for investigation (NASA Earth Data). Archives were received using FIRMS.

To determine the dependence of occurrence of pyrogenic processes on climate factors we use the correlation analysis.

Hotspots means pyrogenic process presented in the form of pixel 1×1 km, received after processing of data from the MODIS radiometer on the Terra and Aqua satellites. Actually, it is a separate flashpoints.

DELIVERABLES

As a result of analysis we received the following data (Fig.1). We've analyzed it below in chronological order.

During 2001, were registered 851 thermal anomalies. The first anomaly was registered in February in a single number that is probably an erroneous decoding. Subsequent groups of hotspots were registered since March, 12. During the period from May till June there were recorded only 11 thermal anomalies. The largest number of thermal anomalies in 2001 were registered in August, their number were 587.

Another situation was in 2002. During 2002 there were registered 1120 local thermal anomalies. Peak activity fell on the period from March till April, during this time there were registered 83 hearths. The peak of the summer thermal anomalies occurred in the period from July till August. The largest number of local points was recorded in July – 555, in August – 397 and also in September – 60.

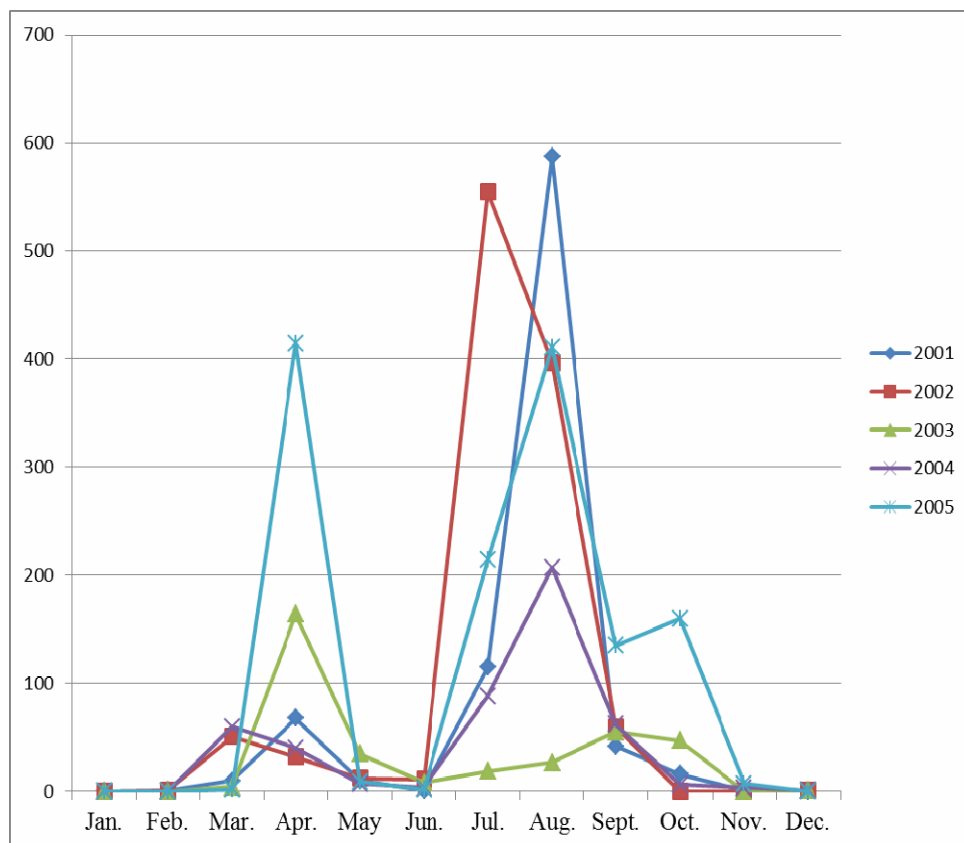


Fig. 1. Distribution of thermal anomalies during 2001-2005 (Lugansk region)

There were registered 360 flashpoints in 2003. Peak activity was observed in the period from April till May and from August till October. The greatest number of local thermal anomalies were registered in April – their total number amounted to 164 hearths, in September – 55 and in October – 47. The rest of the year the number of thermal anomalies ranged from 0 to 30. Analysis of the data for 2003 showed the least amount of local thermal anomalies during the study years.

For the whole of 2004 there were registered 477 thermal anomalies. The greatest number of flashpoints in 2004 during the period from March till April is 100, and from July till September – 357. Thermal anomalies peak was occurred in August, there were fixed 207 local points this month.

Year 2005 was the most rich in pyrogenic events. There were registered 1355 thermal anomalies. There were awarded two periods with the highest number of flashpoints. The first period was registered in April. There were posted 415 local thermal anomalies this month. The second peak activity fell on the period from July till October. Total number of flashpoints amounted to 920 during these months.

Thus, there were registered 4163 thermal anomalies over the analyzed period. On average, for each year we have 832,6 thermal anomalies. Registration of the first anomalies begins in February. The largest number of thermal anomalies falls on two peaks: the first is from

April till May and the second – from June till September, rarely – in October. On average for the period from March till May were registered 183,8 hotpots. And during the second peak period – 645,6. Starting from October, the number of thermal points is reduced. Their total amount in the period from October till December is from 1 to 16 hotspots.

Also in the study of local thermal anomalies, we used the data on temperature and precipitation, which were obtained from official sources. Such information summarized in table 1.

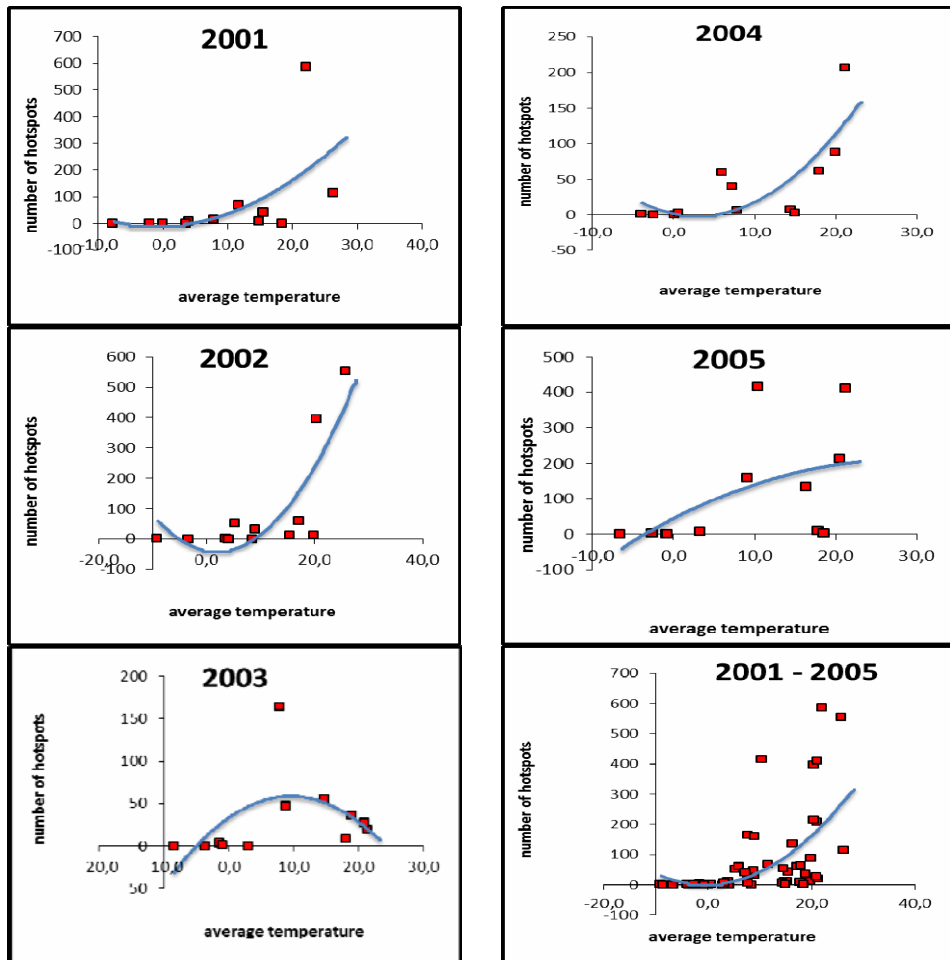


Fig. 2 a. The dependence of pyrogenic phenomena number from an average monthly temperature (a , °C) and the precipitation during one month (b , mm) in the period 2001–2005 (background climate indicators information – in Table 1)

Based on these data, correlation analysis was performed. The correlation coefficient between the air temperature and the frequency of pyrogenic phenomena occurrence by the data service FIRMS (NASA Earth Data; MODIS Active Fire), shows the positive relationship in periods with high temperatures, while in periods with low temperatures, this dependence is mild. Calculation of correlation between precipitation and the frequency of occurrence of thermal anomalies gave a negative coefficient, which indicates the opposite relationship between variables. This means, that the higher the value of one, the lower the value of another variable. At the same time we can see similar temperatures picture, periods of small amount of precipitation does not demonstrate the dependence unlike the months with the higher amount of precipitation.

Table 1

Climatic indicators in Luhansk region during 2001–2005

Year	2001			2002			2003			2004			2005		
Month	Average t, °C **	amount of precipitation, mm ***	number of points *	Average t, °C **	amount of precipitation, mm ***	number of points *	Average t, °C **	amount of precipitation, mm ***	number of points *	Average t, °C **	amount of precipitation, mm ***	number of points *	Average t, °C **	amount of precipitation, mm ***	number of points *
Jan.	0,00	41	0	-3,40	23,5	0	-3,70	92,5	0	0,07	122,7	0	-0,93	86	0
Feb.	-2,10	33	1	3,60	41,8	1	-8,60	48,7	0	-2,46	141,1	0	-6,62	56	0
Mar.	3,90	40	10	5,20	57,5	51	-1,50	23	4	6,00	25,7	60	-2,58	56	2
Apr.	11,60	87	68	9,00	21,2	32	7,80	31,1	164	7,14	20,2	40	10,39	27	415
May	14,80	114	10	15,40	27,4	12	18,90	9,4	35	14,38	61,3	7	17,80	17	9
Jun.	18,40	92	1	19,80	37,4	11	18,10	57,8	8	15,00	90,2	3	18,57	93	2
Jul.	26,30	34	115	25,80	39,2	555	21,30	79,6	19	19,94	63,4	88	20,48	57	214
Aug.	22,00	9	587	20,40	71,2	397	21,00	36,7	27	21,11	44,9	207	21,20	69	411
Sept.	15,50	82	42	17,20	76,3	60	14,70	28,3	55	17,90	40,6	62	16,31	12,4	135
Oct.	7,80	47	16	8,40	75,2	0	8,80	42,6	47	7,80	55,3	6	9,00	55	160
Nov.	3,50	124	1	4,00	75,6	0	3,00	52,2	0	0,60	54,5	3	3,17	63	7
Dec.	-7,80	82	0	-9,20	50,7	1	-1,00	44	1	-4,00	79,3	1	-0,78	82	0
correlation coefficient	0,51	-0,52		0,65	0,08		0,24	-0,36		0,66	-0,44		0,53	-0,28	

* The average monthly number of anomalous thermal points during the period 2001–2005

** The average air temperature during the study period;

*** The average amount of precipitation during the study period

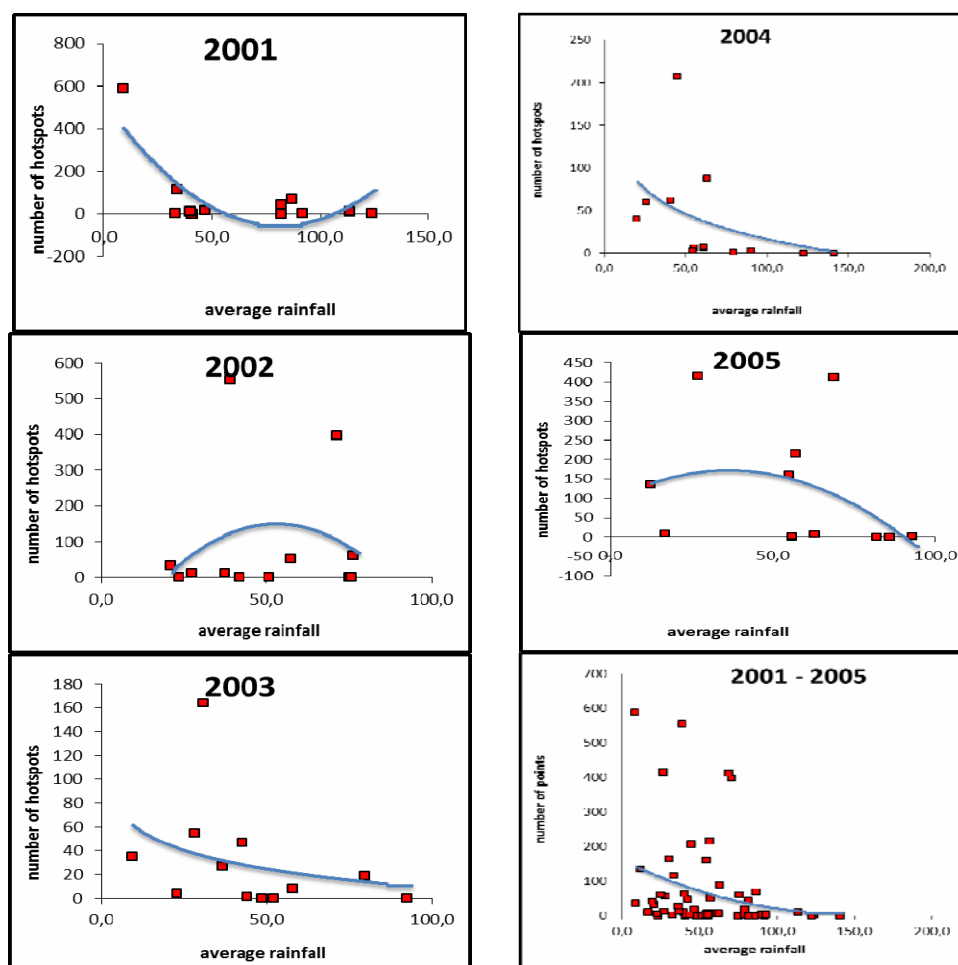


Fig. 2 b. The dependence of pyrogenic phenomena number from an average monthly temperature (a , °C) and the precipitation during one month (b , mm) in the period 2001–2005 (background climate indicators information – in Table 1)

There was also a non-random link in the number of anomalies over the years. We see in the schedule (Fig. 2) that the dependence of quantity of thermal anomalies from climatic factors in various from years, that is connected with the power and intensity of climatic factors. Also the main annual peaks of fire activity were allocated (table 2).

Table 2

The distribution of thermal anomalies number by years

Year	The amount of anomalies	The first peak	The second peak	The peak months
1	2	3	4	5
2001	851	68	587	April (68), August (587)
2002	1120	83	1012	March (51), April (32), July (555), August (397), September (60)
2003	360	164	102	April (164), September (55), October (47)

Ending of table 2

1	2	3	4	5
2004	477	100	357	March (60), April (40), July (88), August (207), September (62)
2005	1355	415	920	April (415), July (214), August (411), September (135), October (160)

CONCLUSIONS

1. For the entire study period (2001–2005) there was analyzed 4163 thermal anomalies on the territory of the Lugansk region (Fig. 1), which are directly related to the number of pyrogenic phenomena and their scale.

2. Two main periods of pyrogenic activity was found: from April till May and from July till September. During the study period in the first peak of pyrogenic activity the number of thermal anomalies is on average 79, and in the second peak – 198.

3. The correlation coefficient between two variables – temperature and quantity of thermal anomalies was obtained (table 1). It indicates the average positive correlation between these two variables. Also a negative correlation coefficient between variable amount of precipitation and thermal anomalies was received, that is most poorly expressed in months with the smallest amount of precipitation.

REFERENCES

- Flannigan, M. D., Van Wagner, C. E., 1991.** Climate change and wildfire in Canada. Can. J. For. Res. 21, 66–72.
- Giglio, L., Csiszar, I., Justice, C. O., 2006.** Global distribution and seasonality of active fires as observed with the Terra and Aqua MODIS sensors. Journal of Geophysical Research. Ser. Biogeosciences. 111, 12 p. DOI: 10.1029/2005JG000142.
- Giglio, L., Descloitres, J., Justice, C. O., Kaufman, Y., 2003.** An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS. Remote Sensing of Environment. 87, 273–282.
- Goncharova, A. V., Kovalchik, N. V., 2013.** Analiz raspredeleniya teplovykh anomalii na territorii Belarusi po dannym distantsionnogo zondirovaniya Zemli [GIS technology in geoscience: Submissions GIS projects and graduate students of universities of the Republic of Belarus]. BSU, Minsk. 16–20 (in Russian).
- Houghton, R. A., 1991.** Biomass burning from the perspective of the global carbon cycle. Global biomass burning: Atmospheric, climatic, and biospheric implications. The MIT Press, Cambridge University Press, Cambridge. 129 p.
- Kasischke, E. S., Christensen, N. L., Stocks, B. J., 1995.** Fire, global warming, and the carbon balance of boreal forests. Ecol. 5, 437–451.
- MODIS Active Fire** [Electronic resource]. Access mode: <http://modis-fire.umd.edu/Publications.html>
- NASA Earth Data** [Electronic resource]. Access mode: <https://earthdata.nasa.gov/data/near-real-time-data/firms>
- Travleev, A. P., 1988.** Monitoringovyie issledovaniya lesnyih ekosistem stepnoy zonyi, ih ohrana i ratsionalnoe ispolzovanie [Monitoring studies in forest ecosystems of the steppe zone, their protection and rational use]. DSU, Dnepropetrovsk (in Russian).

Стаття надійшла в редакцію: 18.02.2014

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

ECOLOGICAL SOIL SCIENCE



V. A. Nikorych¹ 
W. Szymański²

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

UDK 631.48

¹*Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University,
Kotsubinsky Str., 2, 58012, Chernivtsi, Ukraine*

²*Jagiellonian University,
Gronostajowa Str., 7, 30-387, Kraków, Poland*

Fe-Mn PEDOFEATURES IN SOILS AND THEIR GEOCHEMICAL ROLE (analytical review)

Abstract. Based on the analysis of literature data, the genesis, distribution, morphology, composition and properties of Fe-Mn pedofeatures (mainly nodules and concretions), taking into account their unique geochemical role, review of general scientific information was done.

Terminology and classification problems concerning pedofeatures of this type were shown. The need for difference of concepts between 'nodules' and 'concretion' was highlighted. The morphological and physical properties of Fe-Mn pedofeatures (shape, color, size, and consistence), depending on soil conditions, were discussed. Additionally, mineralogical composition of Fe-Mn pedofeatures including determination of mineral prevalence were shown. The role of nodules and concretions in accumulation of macro- and microelements was analyzed.

The possibility of using the enrichment factor (EF), which is calculated as the ratio of elements in pedofeatures to the elements in corresponding soil material for evaluation their geochemical role was studied. The possible manner and mechanisms of accumulation of elements in the discussed Fe-Mn pedofeatures were shown. Moreover, the possibility of the Fe-Mn pedofeatures to accumulation of heavy metals was discussed. The possibility allows us to consider them as the main natural material that is able to control the dynamics of pollutants in the soil environment.

Key words: *Fe-Mn pedofeatures, nodules, concretions, ortsteins.*

УДК 631.48

В. А. Никорич¹
В. Шыманський²

канд. биол. наук, доц.
канд. геогр. наук, доц.

¹*Черновицкий национальный университет им. Ю. Федьковича,
ул. Коцюбинского, 2, 58012, г. Черновцы, Украина,
тел.: +38037-258-47-40, e-mail: v.nikorych@chnu.edu.ua*

²*Ягеллонский университет, ул. Гроностаева, 7, 30387, г. Краков, Польша*

Fe-Mn НОВООБРАЗОВАНИЯ В ПОЧВАХ И ИХ ГЕОХИМИЧЕСКАЯ РОЛЬ (аналитический обзор)

На основе анализа литературных данных проведена оценка общих научных сведений о генезисе, распространении, морфологии, составе и свойствах Fe-Mn новообразований (в первую очередь, нодулей и конкреций) учитывая их уникальную геохимическую роль.

 Corresponding author. Tel.: +38037-258-47-40. E-mail: v.nikorych@chnu.edu.ua

DOI: 10.15421/031411

Озвученна термінологічна і класифікаційна проблема, касательно новообранованій такого тина. Показана целесообразность дифференциації понять: «нодуль», «конкреція». Проаналізовані морфологічні свойства Fe-Mn новообранованій, в частности форма, цвет, размер и консистенция, в зависимости от условий формирования. Проведен анализ научных сведений по минералогическому составу Fe-Mn новообранованій и определены минералы, которые чаще диагностируются.

Проаналізована роль нодулей и конкрецій в депонированні макро- и мікроелементов. Изучена возможность использования коэффициента обогащения (коэффициент накопления, enrichment factor (EF)), который рассчитывается как отношение содержания химического элемента в новообранованіи к его концентрации в почве вокруг новообранованія, для оценки их геохимической роли. Проаналізовані возможные пути попадания мікроелементов в конкреционные новообранованія и некоторые механизмы этого процесса. Определена возможность аккумуляции тяжелых металлов Fe-Mn новообранованіями, что позволяет рассматривать их как основной природный материал, который способен контролировать динамику поллютантов в почвенной системе.

Ключевые слова: Fe-Mn новообранованія, нодули, конкреції, ортштейны.

УДК 631.48

В. А. Нікорич¹

канд. біол. наук, доц.

В. Шиманський²

канд. геогр. наук, доц.

¹Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича,

вул. Коцюбинського, 2, 58012, м. Чернівці, Україна,

тел.: +38037-258-47-40, e-mail: v.nikorych@chnu.edu.ua

²Ягеллонський університет, вул. Гроностаєва, 7, 30387, м. Краків, Польща

Fe-Mn НОВОУТВОРЕННЯ В ҐРУНТАХ ТА ЇХ ГЕОХІМІЧНА РОЛЬ (аналітичний огляд)

На основі аналізу літературних даних проведена оцінка загальних наукових відомостей про генезис, розповсюдження, морфологію, склад та властивості Fe-Mn новоутворень (в першу чергу, нодулів та конкрецій) з огляду на їх унікальну геохімічну роль.

Озвучена термінологічна та класифікаційна проблема, щодо новоутворень такого типу. Показана доцільність диференціації понять: «нодуль», «конкреція». Проаналізовані морфологічні властивості Fe-Mn новоутворень, зокрема форма, забарвлення, розмір і консистенція, залежно від умов формування. Проведений аналіз наукових відомостей щодо мінералогічного складу Fe-Mn новоутворень та визначені мінерали, які в них найчастіше діагностуються.

Проаналізована роль нодулів та конкрецій у депонуванні макро- та мікроелементів. Вивчена можливість використання коефіцієнту збагачення (коефіцієнт накопичення, enrichment factor (EF)), який розраховується, як відношення вмісту хімічного елемента у новоутворенні до його концентрації в ґрунті навколо новоутворення, для оцінки їх геохімічної ролі. Проаналізовані можливі шляхи потрапляння мікроелементів в конкреційні новоутворення та деякі механізми цього процесу. Визначена можливість акумуляції важких металів Fe-Mn новоутвореннями, що дозволяє розглядати їх як основний природний матеріал, який здатний контролювати динаміку поллютантів у ґрунтовій системі.

Ключові слова: Fe-Mn новоутворення, нодулі, конкреції, ортштейни.

З моменту свого відкриття у морських відкладах, під час наукової експедиції HMS Challenger, ферум-манганові конкреційні новоутворення були вивчені в широкому діапазоні природних геохімічних систем: в океанах (Koschinsky, Halbach, 1995; Banerjee et al., 1999), озерах (Schwertmann et al., 1987; Belzile et al., 2001), ріках (Halbach, 1976), гірських породах (Mackenzie, 2005) і ґрунтах (Schwertmann, Fanning, 1976; Rhoton et al., 1991; Zaidelman, Nikiforova, 2001; Vepraskas, 2004; Tan et al., 2006; Timofeeva, Golov, 2010 та ін.). Щодо ґрунтів, то ці новоутворення є досить розповсюдженим явищем, особливо в гумідних ландшафтах, і з огляду на свої особливості та унікальні функції цікаві багатьом ґрунтознавцям. Наявність природних сполук Fe і Mn у ґрунтах можна побачити за особливими концентраційними

новоутвореннями, що володіють різними розмірами та формою. Зокрема це нодулі, конкреції, кутани, патьоки, вицвіти та ін. (Latrille et al. 2001; Vepraskas, 2004; Manceau et al., 2007). Серед них особливе місце займають Fe-Mn конкреції та нодулі, завдяки акумуляції в них елементів змінної валентності, які можуть окиснюватися та концентруватися в ґрунтах, контролюючи розподіл і мобільність катіонів у системі (Childs 1975; Suarez, Langmuir 1976; Zaidelman, Nikiforova, 1998).

Цей огляд був складений з метою оцінки загальних наукових відомостей про генезис, розповсюдження, морфологію, склад та властивості Fe-Mn новоутворень (в першу чергу, нодулів та конкрецій) з огляду на їх унікальну геохімічну роль.

Історія питання та термінологічні проблеми

На сьогоднішній день важко з'ясувати, хто з дослідників вперше звернув увагу на конкреційні новоутворення. Згадку про них можна знайти в роботах Докучаєва (Dokuchaev, 1949(1899)), який пояснював їх наявність гідрологією ґрунту та достатністю вологи, Сибірцева (Sibirtsev, 1951(1900)), що пов'язував їх присутність з підзолистим процесом, а також Сукачева (Sukachev, 1901), Морозова (Morozov, 1901), Ramana (1905), Захарова (Zakharov, 1911). Активний розвиток дослідження ферум-манганових конкреційних новоутворень в ґрунтах приурочений до 30-х років минулого століття. В цьому сенсі варто відмітити класичні роботи Wheating (1936), Winters (1938) та Drosdoff і Nikiforoff (1940). У цей же період постала термінологічна та класифікаційна проблема, яка не вирішена і на сьогоднішній день.

У науковій літературі Fe-Mn новоутворення відомі під назвами «глобули», «септарії», «ферікріти» (Brewer, 1964; Singh, Gilkes, 1996; Matchavariani, 2005), «патьоки», «примазки», «ортзандри», «ортштейни» (Zaidelman et al., 1979; Dron, 2004; Zaidelman, Nikiforova, 2001; 2008; 2010), «конкреції», «нодулі» (King et al., 1990; White, Dixon, 1996; Kanev, Kazakov, 1999; Liu et al., 2002; Nikorych, Pol'chyna, 2003; D'Amore et al., 2004; Aide, 2005; Zaidelman, Nikiforova, 2001; 2008; 2010; Lindbo et al., 2010; Nikorych та ін., 2012; Szymański et al., 2012, 2014; Szymański, Skiba, 2012; Nikorych et al., 2013, 2014) тощо.

Використання відповідних термінів продиктоване неоднорідністю форм, хімічного складу та консистенції, особливостями генезису новоутворень, а подекуди і «принципом історизму», що сповідується в різних національних школах ґрунтознавства. Очевидно, що таке термінологічне різноманіття викликане відсутністю загальноприйнятої класифікації. На сьогодні, однією з найбільш повних та детальних, є класифікація новоутворень (охоплює і ферум-манганові), що запропонована Зайдельманом та Никифоровою (Zaidelman, Nikiforova, 2001). В ній, авторами виділяються класи (конкреційні та неконкреційні), типи (за хімічним складом), роди (за формою) та види (за морфологічними особливостями), зазначаючи основні умови формування. Vepraskas (2004) запропонував досить інформативну та логічну систематизацію новоутворень, як результату прояву окисно-відновних процесів.

Більшість Fe-Mn новоутворень ґрунту – це дискретні тверді тіла специфічного забарвлення, що формуються в результаті чергування окисно-відновних умов, внаслідок процесів редукції, транслокації та окиснення Fe і Mn (Zhang, Karathanasis 1997; Zaidelman, Nikiforova, 1997; Vepraskas, 1999, 2001; Gasparatos et al., 2005b; Chen et al., 2006; Zaidelman et al., 2009). Для їх означення найчастіше вживають терміни: *ортштейн*, *конкреція* та *нодуль*. У літературі прослідковується їх певна взаємозамінність. Зайдельман та Никифорова (Zaidelman, Nikiforova, 2001; 2010), даючи визначення ортштейнам, безпосередньо зазначають, що це Fe-Mn конкреційні новоутворення. Vepraskas (1999, 2001) відмічає, що терміни конкреція та нодуль можуть використовуватися як синоніми. Подібний висновок напрошується на основі визначень, наведених у термінологічних словниках та тематичних енциклопедіях (Soil and environmental science dictionary, 2001; Elsevier's dictionary of soil science..., 2006; Encyclopedia of Soil Science, 2008). Однак сучасні дослідження за допомогою

поляризаційної та скануючої електронної мікроскопії виявили, що в ґрунтах зустрічаються два чітко уособлені типи Fe-Mn новоутворень твердої консистенції:

- морфологічний елемент з відносно рівномірним насиченням оксидами Fe та Mn по всьому перерізу;

- морфологічний елемент, що має внутрішню структуру, відмінну за хімічним складом від добре виражених концентричних кілець акумуляції Fe та Mn.

З огляду на дефініції, які використовуються в геології при описі подібних новоутворень (Dictionary of Mining, Mineral, & Related Terms, 1996; Glossary of Geology, 2005), перший тип варто називати *нодулями* (від лат. слова «*nodus*» – вузлик), а другий – *конкреціями* (від лат. слів «*con*» – разом та «*crescere*» – рости), чітко розмежовуючи ці поняття. З таким трактуванням погоджуються Gasparatos (2007) та Hickey et al. (2008), які зауважують, що на відміну від нодулів, конкреції мають чітку внутрішню структуру з добре вираженими концентричними кільцями навколо ЕГЧ або морфологічного елементу. Автори підкреслюють, що ці дві редоксоморфічні особливості відображають різну специфіку педогенезу.

Морфологічні властивості

Fe-Mn новоутворення володіють характерними морфологічними ознаками, що дозволяє бачити їх неозброєним оком та легко відрізнити від іншого ґрунтового матеріалу. Існує цілий спектр таких ознак: форма, забарвлення, розмір, консистенція. Всі вони залежать від генетичної природи ґрунту, материнської породи, кліматичних особливостей території та діяльності живих організмів.

Чіткі границі спостерігаються тільки у Fe-Mn новоутворень твердої консистенції, але їх геометрія різноманітна: сферична (Phillippe et al., 1972; Palumbo et al., 2001; Gasparatos et al., 2005b; Zaidelman, Nikiforova, 2010), овальна (Latrille et al., 2001; Zaidelman, Nikiforova, 2010), горіхувата (Childs, Leslie, 1977), трубчаста (Gaiffe, Kubler 1992), а також зустрічаються новоутворення неправильні форми (Ojanuga, Lee 1973; White, Dixon 1996). Їх розміри коливаються від кількох міліметрів (найчастіше 0,25 мм виступають нижньою розмірною межею) до кількох сантиметрів (переважно до 4 см). Деякі дослідники розмежовують новоутворення за величиною гранулометричних фракцій: в співрозмірностях піщаної від 0,5 до 2 мм (Rhoton et al., 1991; 1993) або гравелистої (>2 мм) (Zhang, Karathanasis, 1997; Gasparatos et al. 2004a). Zaidelman, Nikiforova (2010) визначають значно ширший діапазон: 0,5–25 мм.

Забарвлення нодулів та конкрецій також варіює в широкому діапазоні, хоча з чіткими закономірностями, детермінованими хімічним складом та окисно-відновними умовами. В ґрунтах з початковими стадіями оглеєння (без помітних морфохроматичних ознак) вони мають темно-сіре забарвлення і містять рівні або близькі абсолютні маси Fe і Mn. У неоглеєних ґрунтах дрібні темно-сірі конкреції складають до 50 % від всієї маси, в якій містяться і дрібні бурі ортштейни. З появою чітких морфохроматичних ознак оглеєння, в складі новоутворень переважають гідроксиди та оксиди Fe, що зумовлює буре та іржаво-буре забарвлення (Zaidelman, Nikiforova, 2010). Rhoton et al. (1993) зауважують, що Fe-Mn нодулі переважно бурих відтінків (7.5 YR). Liu et al. (2002), досліджуючи китайські альфісоли (Alfisols) спостерігали Fe-Mn нодулі червонувато-бурого кольору (2.5 YR 5/4). Pai et al. (2003a,b), вивчаючи гідроморфні ґрунти на Тайвані, визначили діапазон кольорової гами ферумвмісних нодулів від червонувато-жовтих до червонувато-бурих відтінків. Темно-сірих відтінків нодулі здобувають завдяки високій концентрації Mn (Rabenhorst, Parikh, 2000; Phillippe et al., 1972; Sanz et al., 1996; Zhang, Karathanasis, 1997; Ram et al., 2001).

Морфологія Fe-Mn нодулів та конкрецій варіює не тільки в ґрунтах різного генезису, а і в різних горизонтах одного ґрунту. Phillippe et al. (1972) відзначають, що в поверхневих горизонтах домінують сферичні Fe-Mn конкреції, а з глибиною їх поверхня стає нерегулярною, втрачаючи округлу форму. Schwertmann і Fanning (1976), досліджуючи меліоровані ґрунти східної Німеччини виявили на глибині закладки дрен

Fe-Mn конкреції з нерегулярною поверхнею, відносно ущільненої консистенції, з бурими (іржавими) натьоками навколо «ядра» чорного кольору. У вищележачих горизонтах конкреції мали чорне забарвлення високу щільність і чітку сферичну форму. На форму і розміри ферумвмісних нодулів має значний вплив присутність та глибина залягання горизонту фраджіпен (fragipan), ущільненого шару ґрунту ілювіального походження, що виступає водоупором. Розмір нодулів зростає, а форма поступово змінюється від сферичної до горіхуватої над фраджіпеном (Lindbo et al., 2000). Подібну закономірність спостерігали і ми, досліджуючи альбелувісоли (Albeluvisols) українського та польського Передкарпаття (Szymański, Skiba, 2013; Nikorych et al., 2014). Зазначимо, що в самому фраджіпені формуються м'які нодули з нерівномірною поверхнею.

Оригінальні дані стосовно ультрамікробудови та хімічного складу Fe-Mn новоутворень дозволяє отримати використання скануючої електронної мікроскопії (SEM-EDS). Даний напрямок активно розвивається останні 40 років. Піонерні роботи з вивчення ферум-манганових конкрецій і нодулів з використанням SEM-EDS були присвячені саме з'ясуванню їх морфологічних особливостей на високих збільшеннях, а також встановленню якісного елементного складу (Cescas et al., 1970; Pawluk, Dumanski, 1973). Дещо пізніше цю технологію почали використовувати для оцінки розмірів, морфології, структури ґрунтових мінералів і їх взаємодію з ґрунтовим розчином (Sposito, Reginato, 1992). Останні дослідження охоплюють ідентифікацію катіонів конкретних мінералів, кількісний елементний аналіз і специфікацію катіонної структури Fe-Mn новоутворень (White, Dixon, 1996; Palumbo et al., 2001; Liu et al., 2002; Cornu et al., 2005; Gasparatos et al., 2005b; Gasparatos, 2007). Аналіз Fe-Mn новоутворень з використанням зазначеної технології дозволяє провести рентгенівське картування (X-ray mapping) просторового розподілу Fe, Si, Mn, Al та інших елементів, що дозволяє чітко візуалізувати різницю між нодулом та конкрецією (Palumbo et al., 2001; Liu et al., 2002; Gasparatos et al., 2004a, 2006; Gasparatos, 2007).

Концентрична внутрішня структура конкрецій вказує на імпульсний режим формування в умовах періодичної зміни вологих та сухих періодів (Zhang, Karathanasis, 1997; Gasparatos et al., 2005b). Динаміка окисно-відновного потенціалу ґрунту – головний чинник геохімічної поведінки Fe та Mn. Протягом вологого періоду з домінуванням відновних умов ці елементи переходять у рухомий стан, формують водно-дисперсне середовище і насичують різноманітні пустоти. При висиханні ґрунту і переважанні окисних умов, вони окиснюються і осідають на різноманітних морфологічних елементах, на стінках пор чи закупорюють їх. Поява у поровому просторі Оксигену – головна умова осадження. (Huang et al., 2008; Aide, 2005). Повторення таких циклів призводить до концентричності чи лускуватості у внутрішній структурі Fe-Mn конкрецій та їх сезонного росту (Manseau et al., 2003). Кожне кільце, ймовірно, є результатом осадження розчинних компонентів ґрунту, внаслідок оптимальних для процесу локальних хімічних умов, і стадією розвитку акреційного матеріалу.

Fe-Mn новоутворення добре діагностуються за допомогою мікоморфологічного аналізу. У шліфах, з використанням поляризаційного мікроскопу, чітко ідентифікуються нодули, конкреції та інші акумуляції цих елементів за кольоровою гамою, формою, контурами і внутрішньою структурою. Ці новоутворення відрізняються від іншої маси чіткими бурими, іржавими (якщо багато Fe) або чорними відтінками (при акумуляції Mn). Форма може свідчити про їх генезис та окисно-відновні умови, в яких вони формувалися. Наприклад, у горизонтах з тривалим насиченням водою переважають нодули з нерегулярною формою та дифузними контурами, а в горизонтах з перманентною зміною окисно-відновних умов – округлі та овальні з гострими контурами (Phillippe et al., 1972; Schwertmann, Fanning, 1976; Zhang, Karathanasis, 1997; Lindbo et al., 2000; Szymański, Skiba, 2013). Внутрішня структура, одночасно з контурами новоутворень, може свідчити про їх походження (Lindbo et al., 2010):

– інітне (матеріал в нодулах споріднений з оточуючим матеріалом, дифузні контури);

– ексітне (матеріал відрізняється від оточуючого, чіткі контури).

Зауважимо, що при мікроморфологічних описах рекомендовано вживати тільки термін «нодуль» (Bullock et al., 1985; Stoops, 2003; Lindbo et al., 2010).

Мінералогічний склад

Мінералогічний склад ферум-манганових новоутворень, в основному, визначається літологічними особливостями та генезисом ґрунту. Аналіз тематичної літератури показав, що серед первинних мінералів у нодулях та конкреціях домінує кварц, польові шпати і слюди (Childs, 1975; Sidhu et al., 1977; Gaiffe, Kubler, 1992; Rhoton et al., 1993; Singh, Gilkes, 1996; White, Dixon, 1996; Sanz et al., 1996; Zhang, Karathanasis, 1997; Palumbo et al., 2001; Ram et al., 2001; Liu et al., 2002; Gasparatos et al., 2004a; Cornu et al., 2005; Aide, 2005; Gasparatos, 2007; Szymański et al., 2014). Більшість дослідників відзначають наявність у значній кількості вторинних мінералів, зокрема глинистих та оксидів Fe і Mn. Серед глинистих, найчастіше реєструвалась присутність каолініту (Gaiffe, Kubler, 1992; Singh, Gilkes, 1996; White, Dixon, 1996; Zhang, Karathanasis, 1997; Palumbo et al., 2001; Ram et al., 2001; Liu et al., 2002; Vidhana Arachchi et al., 2004; Cornu et al., 2005; Gasparatos, 2007) та іліту (Sidhu et al., 1977; Rhoton et al., 1993; Liu et al., 2002; Gasparatos et al., 2004a; Vidhana Arachchi et al., 2004; Gasparatos, 2007). Серед оксидів Fe найчастіше реєструвався гетит та ферігидрит, дещо рідше гематит та лепідокрокіт. Щодо останнього мінералу, то низка дослідників вважає, що присутність лепідокрокіту в новоутвореннях є свідченням ступеня оглеєності ґрунту. Чим вищий вміст, тим сильніше проявляється оглеєння (Fitzpatrick, 1988; Fitzpatrick et al., 1985; Schwertmann, Taylor, 1989). Оксиди Mn у новоутвореннях в основному представлені вернадитом (Sanz et al., 1996; Gasparatos, 2007), літіофоритом (Liu et al., 2002; Vidhana Arachchi et al., 2004) та бернеситом (Sanz et al., 1996; Vidhana Arachchi et al., 2004).

Мінералогічна подібність між новоутвореннями та оточуючою ґрунтовою матрицею є свідченням їх педогенетичного походження та інсінного формування внаслідок цементації ґрунтовим матеріалом оксидів Fe і Mn (Manceau et al., 2003; Gasparatos, 2007; Szymański et al., 2014). Fe-Mn оксиди в ґрунтових новоутвореннях концентруються в аморфних або слабо окристалізованих формах (Childs, 1975). В останніх дослідженнях показана можливість концентрування в новоутвореннях ферігидриту і гетиту або гематиту із певною кількістю заміщеного Al (Amarasiriwardena et al., 1988; Schwertmann, Cornell, 2000; Liu et al., 2002; Cornu et al., 2005). Gasparatos et al. (2004a), вивчаючи альфісолі Греції дійшли висновку, що Fe-Mn конкреції збагачені тільки термодинамічно нестійкими оксидами Fe. Асоціація слабкокристалічних форм гетиту і ферігидриту в конкреціях, що містять значну кількість цього елементу, є відображенням середовища, в якому Fe^{2+} , окиснюється в присутності факторів, що стримують або гальмують трансформацію слабко кристалічних оксидів у більш стабільні форми.

Встановлено, що оксиди Mn у дрібнозернистих фракціях погано реєструються за допомогою рентгеноструктурного аналізу, оскільки вони формують досить дифузні рефлекси (Potter, Rossman, 1979a,b; Rhoton et al., 1993; Zhang, Karathanasis, 1997; Cornu et al., 2005). Важко відрізнити оксиди цього елементу в ґрунтах і новоутвореннях, через їх низьку ступінь кристалічності. Цю проблему вдалося вирішити поєднавши дифрактометричні методи зі селективними процедурами розчинення. Це дало змогу ідентифікувати та охарактеризувати такі манган вмісні мінерали, як літіофорит та вернадит (Liu et al., 2002; Tokashiki et al., 1986; 2003; Vidhana Arachchi et al., 2004).

Геохімічна роль Fe-Mn новоутворень

Оксиди та гідроксиди Fe і Mn у ґрунтах складають малу частку твердої фази, але завдяки високій сорбційній ємності, за їх допомогою можна контролювати

локалізацію, мобільність та доступність різних елементів (McKenzie, 1980, 1989; Contin et al., 2007; Manceau et al. 2007).

Дослідження геохімічної ролі Fe-Mn новоутворень розпочалося в середині 70-х років минулого століття (Childs, 1975) і отримало активний розвиток в останні 10–15 років (Ram et al. 2001; Cornu et al. 2005). Основна увага авторів прикута до головних хімічних елементів, які формують нодулі та конкреції (Fe, Mn, Si, Al) і значно менше до P, C, Ca, Mg, Na, Ti, Cu, Co, Ni, значення яких в педогенезі та живленні рослин детально вивчена. Вплив конкрецій на поведінку великої та важливої для біоти групи мікроелементів до теперішнього часу залишається мало вивченим. Відомості одиничні і фрагментарні. Специфіка таких робіт у тому, що для безпосереднього дослідження доступні вже сформовані конкреційні тіла з певним набором мікроелементів, тоді як умови і механізми закріплення елементів практично не розглядаються (Timofeeva, Golov, 2010).

Для з'ясування особливостей поведінки конкреційних новоутворень в ґрунтах, пропонується розраховувати коефіцієнт збагачення (коефіцієнт накопичення, enrichment factor (EF)), який розраховується, як відношення вмісту хімічного елемента у новоутворенні до його концентрації в ґрунті навколо новоутворення (Dawson et al., 1985; Gasparatos et al., 2004b; Tan et al., 2006). Дані багатьох дослідників (Childs, 1975; Zaidelman, Nikiforova, 1998; Palumbo et al., 2001; Tan et al., 2006; Szymański, Skiba, 2013) показують, що цей показник коливається в широких межах і залежить від елемента. Вміст Si та Al в нодулях та конкреціях є нижчим ніж в ґрунтовій матриці ($EF < 1$). Аналогічна тенденція, а подекуди і тотальне виснаження, фіксується для земельних та лужноземельних металів. Натомість новоутворення помірно збагачені Fe, і активно акумулюють Mn, якого в конкреціях та нодулях у 30–60 раз більше, ніж у ґрунтовій масі довкола нодулів та конкрецій.

На думку Зайдельмана із співавторами, коефіцієнти накопичення Fe і Mn у конкреціях залежать від генезису ґрунтоутворюючих порід, а в межах катен – від ступеня заболоченості ґрунтів. У нодулях та конкреціях автоморфних ґрунтів краще акумулюється Mn. Наростання ступеня гідроморфності призводить до підсиленої акумуляції Fe. Найвищі абсолютні значення коефіцієнтів накопичення відмічається у ґрунтах, що утворились на двочленних відкладах. Це пов'язано з тим, що супіщаний субстрат, в якому формуються новоутворення є біднішим на Fe і Mn, в порівнянні з ґрунтами суглинкового та глинистого гранулометричного складу. Такі висновки були зроблені при дослідженні дерново-підзолистих ґрунтів на лесоподібних суглинках і стрічкових глинах (Zaidelman et al., 1979, 1982; Zaidelman, Nikiforova 1998).

Як вказує Аристовская (Aristovskaya, 1980), кількісні співвідношення між Fe і Mn в конкреціях залежать від видового складу мікрофлори, що бере участь у їх формуванні, а також від пануючого у відповідних умовах, фізіологічного механізму осадження цих елементів у мікробних клітинах.

Численні дослідження показали загальне збагачення новоутворень на макро- та мікроелементи (Childs, 1975; Burns, 1976; Schwertmann, Fanning, 1976; Sidhu et al., 1977; Dawson et al., 1985; Gasparatos et al., 2004b; Tan et al., 2005; 2006; Vodyanitskii, 2006; Timofeeva, Golov, 2007; Zaidelman, Nikiforova, 2010; Szymański, Skiba, 2013).

Childs і Leslie (1977) виявили високі концентрації Fe, Mn, Ti, Co, S, P, Mo, Cu, V в ґрунтах Нової Зеландії. Palumbo et al., (2001) зафіксували високі коефіцієнти збагачення ферум-манганових нодулів мікроелементами на Сицилії (Італія): Mn (296), Co (93), Ce (45), Pb (31), Ba (18), Ni (17), Cd (15) і Fe (2.6). Gasparatos (2007), аналізуючи нодулі в ґрунтах Греції робить висновок про їх середній рівень збагачення Ba, Co, Ni, Pb, Cr, Cu і Zn. Серед хімічних елементів, які активно накопичуються в новоутвореннях лугово-бурих та бурих ґрунтів Приморського краю Росії, Timofeeva і Golov (2007) відмічають Mn, Co, Pb та Ni. Посередній рівень акумуляції автори відводять Cr, Cu, Mo, прогнозуючи властивість незворотного депонування зазначених елементів у конкреціях.

Завдяки своїй питомій поверхні та високій щільності заряду, сполуки Fe та Mn сповільнюють транспорт неорганічних компонентів (в т.ч. і політантів) у ґрунтові та підґрунтові води (Stipp et al., 2002) і, чим в деякій мірі сприяють очищенню тонкодисперсної ґрунтової маси, наприклад від важких металів (Lombi et al., 2002; 2004). Здатність оксидів Fe та Mn зв'язувати метали, робить можливим використання конкреційних матеріалів для очищення ґрунтів, забруднених політантами (McKenzie, 1980; Mench et al., 1994; Puschenreiter et al., 2005).

Gasparatos et al. (2004b) показали, що Fe-Mn новоутворення здатні акумулювати з оточуючої ґрунтової маси значні кількості важких металів, особливо Pb і Cd. Згідно отриманих коефіцієнтів збагачення, авторами пропонується ряд, що характеризує метали за здатністю акумулюватись на заряджених поверхнях новоутворень: $Pb > Cd > Mn > Co > Ni > Fe$. McKenzie (1980), на основі експериментів з оксидами Mn виявив здатність адсорбувати Co, Ni і Pb в аналогічному порядку. Tan et al. (2006), досліджуючи Fe-Mn конкреції у дев'яти основних типах ґрунтів Китаю виявили високий рівень депонування в нодулях Pb, Cd, Ba і Co, помірну акумуляцію Ni та незначне накопичення Cu і Zn. Cornu et al. (2009), показали здатність новоутворень утримувати Pb, навіть в процесі часткового розчинення нодулів. Зайдельман і Никифорова (Zaidelman, Nikiforova, 2010) відмічають певну кореляцію між розмірами конкрецій та здатністю до акумуляції важких металів. Вони стверджують, що Pb та Cd краще накопичується в дрібних конкреціях.

Висока адсорбційна ємність ґрунтових Fe-Mn новоутворень по відношенню до токсичних металів дозволила ряду авторів розглядати їх як основний природний матеріал, що здатний контролювати динаміку політантів у ґрунтовій системі (Manceau et al., 2003; Gasparatos et al., 2005b; Timofeeva, Golov, 2007; Gasparatos, 2007; Vodyanitskii et al., 2009).

Timofeeva і Golov (2010) зазначають, що на даний час, умови та механізми поглинання хімічних елементів Fe-Mn новоутвореннями залишаються в більшій мірі гіпотетичними і потребують додаткової теоретичної аргументації. Найбільш вірогідні способи входження мікроелементів до складу новоутворень можна умовно розділити на 3 категорії:

- успадкування від морфологічних елементів, з яких утворилися нодулі;
- біогенна акумуляція в результаті мікробіологічної діяльності;
- ізоморфні заміщення та сорбція за рахунок фізико-хімічних взаємодій мінеральної частини новоутворень.

Мікроелементи можуть успадковуватися новоутвореннями в основному з первинних мінералів згідно ланцюга: гірська порода – материнська порода – ґрунт – конкреції. На нашу думку, концентрація «успадкованих» мікроелементів не може бути високою, з огляду на низький вміст в більшості материнських порід. Біогенний шлях можливий за рахунок функціонування хемотрофної мікрофлори, але на відміну, від концентрування Fe і Mn, мікроелементи здатні накопичуватися в нодулях як «побічний продукт функціонування». Найбільш вірогідним видається шлях ізоморфних заміщень та сорбційних взаємодій, коли елемент із зовнішнього середовища здатний заміщати інший елемент внаслідок обмінних процесів.

Розглядаючи можливості біогенної акумуляції, варто відмітити відмінності електричних зарядів клітинної поверхні та іонів металів. Заряд клітини визначається сумарним негативним зарядом молекул, що входять до її складу. За деякими даними, в ґрунтах серед водорозчинних форм мікроелементів значно більше аніонів і електронейтральних молекул, ніж катіонів (Dobrovolskii, 2004).

Timofeeva і Golov (2010) припускають, що накопичення мікроелементів в конкреціях відбувається одночасно з їх утворенням, а також і після їх формування. Але, в будь-якому випадку процес починається з надходження мікроелементів з ґрунтової маси у формі рухомих сполук. Перехід мікроелементів із зовнішніх сорбованих шарів до складу мінеральної фази конкрецій ініціюється наявністю

активних адсорбційних центрів на їх поверхні, де відбувається локальне підвищення концентрації мікроелементів. Між скупченням мікроелементів і тілом конкрецій відбувається матеріальний обмін, а як наслідок, перехід мікроелементів з поверхневого адсорбованого стану в стан внутрішньої ізоморфної домішки. Можливо, залучення атомів мікроелементів у внутрішню структуру конкрецій викликає появу вакантних місць для адсорбції та осадження нових порцій на зовнішній поверхні.

Підсумовуючи викладений матеріал, варто констатувати, що при досить високому рівні вивченості Fe-Mn новоутворень, існує ще чимало білих плям. Зокрема, відкритими залишаються термінологічна та класифікаційна проблема. Потребують подальшого вивчення кореляція морфологічних ознак, мінералогічного та хімічного складу, їх властивостей з педогенетичними процесами. Нез'ясованими залишаються шляхи потрапляння макро- та мікроелементів в конкреційні новоутворення, і особливо механізми цього процесу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Aide, M., 2005.** Elemental composition of soil nodules from two alfisols on an alluvial terrace in Missouri. *Soil Sci* 170, 1022–1033.
- Amarasiriwardena, D. D., Bowen, L. H., Weed, S. B., 1988.** Characterization and quantification of aluminum-substituted hematite–goethite mixtures by X-ray diffraction, and infrared and Mössbauer spectroscopy *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52, 1179–1186.
- Aristovskaya, T. V., 1980.** Mikrobiologiya protsessov pochvoobrazovaniya [Microbiology of soil formation processes]. Nauka, Leningrad (in Russian).
- Banerjee, R., Roy, S., Dasgupta, S., Mukhopadhyay, S., Miura, H., 1999.** Petrogenesis of ferromanganese nodules from east of the Chagos Archipelago, Central Indian Basin, Indian Ocean. *Mar Geol* 157, 145–158.
- Belzile, N., Chen, Y. W., Grenier, M., 2001.** Freshwater metallic concretions from an acidic lake characterized by X-ray energy dispersive spectrometry. *Can J Anal Sci Spectrom* 46, 145–151.
- Bullock, P., Fedoroff, N., Jongerius, A., Stoops, G., Tursina, T., Babel, U., 1985.** Handbook of soil thin section description. *Wayne Research Publications*, Wolverhampton.
- Brewer, R., 1964.** Fabric and mineral analysis of soils. Wiley, New York.
- Brummer, G. W., Gerth, J., Herms, U. (1986)** Heavy metal species, mobility and availability in soils. *Z Pfl anzenernähr Bodenkd* 149, 382–398.
- Burns, R. G., 1976.** The uptake of cobalt into ferromanganese nodules, soil, and synthetic manganese (IV) oxides. *Geochim Cosmochim Acta* 40, 95–102.
- Cescas, M. P., Tyner, E. H., Harmer, R. S., 1970.** Ferromanganiferous soil concretions: a scanning electron microscope study of their microscope structures. *Soil Sci Soc Am Proc* 34, 641–644.
- Chen, Z., Kim, K. W., Zhu, Y. G., McLaren, R., Liu, F., He, J. Z., 2006.** Adsorption (As III, V) and oxidation (As III) of arsenic by pedogenic Fe-Mn nodules. *Geoderma* 136, 566–572.
- Childs, C. W., 1975.** Composition of iron-manganese concretions from some New Zealand soils. *Geoderma* 13, 141–152.
- Childs, C. W., Leslie, D. M., 1977.** Interelement relationships in iron-manganese concretions from a catenary sequence of yellow-grey earth soils in loess. *Soil Sci* 123, 369–376.
- Contin, M., Mondini, C., Leita, L., De Nobili, M., 2007.** Enhanced soil toxic metal fixation in iron (hydr)oxides by redox cycles. *Geoderma* 140, 164–175.
- Cornu, S., Deschatrettes, V., Salvador-Blanes, S., Clozel, B., Hardy, M., Branchut, S., LeForestier, L., 2005.** Trace element accumulation in Mn-Fe-oxide nodules of a planosolic horizon. *Geoderma* 125, 11–24.
- Cornu, S., Cattle, J. A., Samouëlian, A., Laveuf, C., Guilherme, L. R. G., Albéric, P., 2009.** Impact of redox cycles on manganese, iron, cobalt, and lead in nodules. *Soil Sci Soc Am J* 73, 1231–1241.
- D'Amore, D. V., Stewart, S. R., Huddleston, J. H., 2004.** Saturation, reduction and the formation of iron-manganese concretions in the Jackson-Frazier wetland, Oregon. *Soil Sci Soc Am J* 68, 1012–1022.
- Dawson, B. S. W., Ferguson, J. E., Campbell, A. S., Cutler, E. J. B., 1985.** Distribution of elements in some Fe-Mn nodules and an iron-pan in some gley soils of New Zealand. *Geoderma* 35, 127–143.
- Dictionary of Mining, Mineral, & Related Terms, 1996.** Compiled and edited by the Staff of the U.S. Bureau of Mines. Second Edition. U.S. Department of the Interior.

- Dobrovol'skii, V. V., 2004.** Rol organicheskogo veshchestva pochv v migratsii tyazhelykh metallov [The Role of Soil Organic Matter in the Migration of Heavy Metals]. *Priroda*, 7, 35–39 (in Russian).
- Dokuchaev, V. V., 1949 (1899).** O zonalnosti v mineralnom tsarstve [About zonality in the mineral kingdom]. Moscow, 3, 310–316 (in Russian).
- Dron', Yu. S., 2004.** Gruntovyy hidromorfizm ta joho ocinka: monohrafiya [Soils gidromorfism and its valuation: Monograph]. Knygy-XXI, Chernivtsi (in Ukraine).
- Drosdoff, M., Nikiforoff, C. C., 1940.** Iron – manganese concretions in Dayton soils. *Soil Sci* 49, 333–345.
- Encyclopedia of soil science** edited by Ward Chesworth (2008). Dordrecht, Netherlands: Springer, 902 p.
- Elsevier's dictionary of soil science: in English (with definitions) in French, German and Spanish / A. Canarache, I. Vintila, I. Munteanu, 2006.** Amsterdam; Boston: Elsevier.
- Fitzpatrick, R. W., 1988.** Iron compounds as indicators of pedogenic processes: examples from southern hemisphere. In: J. W. Stucki (Ed.) et al., *Iron in Soils and Clay Minerals*, D. Reidel Publ., Dordrecht, The Netherlands, 351–396.
- Fitzpatrick, R. W., Taylor, R. M., Schwertmann, U., Childs, C. W., 1985.** Occurrence and properties of lepidocrocite in some soils of New Zealand, South Africa and Australia. *Aust. J. Soil Res.*, 23, 543–567.
- Gaiffe, M., Kubler, B., 1992.** Relationships between mineral composition and relative ages of iron nodules in Jurassic soil sequences. *Geoderma* 52, 343–350.
- Gasparatos, D., 2007.** Genesis of Fe – Mn concretions and nodules in alfisols of thessaly. PhD thesis, Agricultural University of Athens, Athens, Greece.
- Gasparatos, D., Haidouti, C., Tarenidis, D., 2004a.** Characterization of iron oxides in Fe-rich concretions from an imperfectly drained Greek soil: a study by selective-dissolution techniques and X-ray diffraction. *Arch Agron Soil Sci* 50, 485–493.
- Gasparatos, D., Haidouti, C., Tarenidis, D., Tsagalidis, A., 2004b.** Enrichment factors of heavy metals in iron – manganese concretions from imperfectly drained soils. *Bull Geol Soc Greece*, vol XXXVI. In: Proceedings of the 10th international congress, Thessaloniki, April 2004, 158–163.
- Gasparatos, D., Haidouti, C., Adrinopoulos, F., Areta, O., 2005a.** Chemical speciation and bioavailability of Cu, Zn and Pb in soils from the National Garden of Athens, Greece. In: Proceedings of the 9th international conference on environmental science and technology, Rhodes island, 1–3 Sep 2005, vol A, 438–444.
- Gasparatos, D., Tarenidis, D., Haidouti, C., Oikonomou, G., 2005b.** Microscopic structure of soil Fe-Mn nodules: environmental implications. *Environ Chem Lett* 2, 175–178.
- Glossary of Geology, 2005.** Edited by Klaus K.E. Neuendorf, James P. Mehl, Jr., and Julia A. Jackson (5th ed.). Alexandria, Virginia, American Geological Institute.
- Halbach, P., 1976.** Mineralogical and geochemical investigations of Finnish lakes ore. *Bull Geol Soc Finland* 48, 33–42.
- Hickey, P. J., McDaniel, P. A., Strawn, D. G., 2008.** Characterization of iron – manganese cemented redoximorphic aggregates on Wetland soils contaminated with mine wastes. *J Environ Qual* 37, 2375–2385.
- Huang, L., Hong, J., Tan, W., Hu, H., Liu, F., Wang, M., 2008.** Characteristics of micromorphology and element distribution of iron – manganese cutans in typical soils of subtropical China. *Geoderma* 146, 40–47.
- Ingri, J., Pontér, Ch., 1987.** Rare earth abundance patterns in ferromanganese concretions from the Gulf of Bothnia and the Barents Sea. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 51(1), 155–161.
- Kanev, V. V., Kazakov, V. G., 1999.** Nodules as a reservoir of mobile elements in podzolic soils. *Eurasian Soil Sci* 32, 308–317.
- King, H. B., Torrance, J. K., Bowen, L. H., Wang, C., 1990.** Iron concretions in a typical dystrochrept in Taiwan. *Soil Sci Soc Am J* 54, 462–468.
- Koschinsky, A., Halbach, P., 1995.** Sequential leaching of marine ferromanganese precipitates. *Geochim Cosmochim Acta* 59, 5113–5132.
- Latrille, C., Elsass, F., van Oort, F., Denaix, L., 2001.** Physical speciation of trace metals in Fe-Mn concretions from a rendzic lithosol developed on Sinemurian limestones (France). *Geoderma* 100, 127–146.
- Lindbo, D. L., Rhoton, F. E., Hundnall, W. H., Smeck, N. E., Bigham, J. M., Tyler, D. D., 2000.** Fragipan degradation and nodule formation in Glossic Fragiudalfs of the Lower Mississippi River Valley. *Soil Sci Soc Am J* 64, 1713–1722.
- Lindbo, D. L., Stolt, M. H., Vepraskas, M. J., 2010.** Redoximorphic features in: Stoops G, Marcelino V, Mees F. Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths. Elsevier, 129–147.

- Liu, F., Colombo, C., Adamo, P., He, J. Z., Violante, A., 2002.** Trace elements in manganese-iron nodules from a Chinese alfisol. *Soil Sci Soc Am J* 66, 661–670.
- Lombi, E., Zhao, F. J., Zhang, G., Sun, B., Fitz, W., Zhang, H., McGrath, S.P., 2002.** In situ fixation of metals in soils using bauxite residue: chemical assessment. *Environ Pollut* 118, 435–443.
- Lombi, E., Hamon, R. E., Wieshammer, G., McLaughlin, M. J., McGrath, S. P., 2004.** Assessment of the use of industrial by-products to remediate a copper and arsenic-contaminated soil. *J Environ Qual* 33, 902–910.
- Mackenzie, F., 2005.** Sediments, diagenesis, and sedimentary rocks. Amsterdam ; San Diego, CA : Elsevier.
- Manceau, A., Tamura, N., Celestre, R. S., MacDowell, A. A., Geoffroy, N., Sposito, G., Padmore, H. A., 2003.** Molecular-scale speciation of Zn and Ni in soil ferromanganese nodules from loess soils of the Mississippi basin. *Environ Sci Technol* 37, 75–80.
- Manceau, A., Lanson, M., Geoffroy, N., 2007.** Natural speciation of Ni, Zn Ba and As in ferromanganese coatings on quartz using X-ray fluorescence, absorption, and diffraction. *Geochim Cosmochim Acta* 71, 95–128.
- Matchavariani, L. G., 2005.** Morphogenetic typification of concretions in subtropical podzolic soils of Georgia. *Eurasian Soil Sci*, 38, 1161–1172.
- McKenzie, R. M., 1980.** The adsorption of lead and other heavy metals on oxides of manganese and iron. *Aust J Soil Res* 18, 61–73.
- McKenzie, R. M., 1989.** Manganese oxides and hydroxides. In: Dixon JB, Weed SB (eds) *Minerals in soil environments*, 2nd edn, SSSA Book Series. 1. SSSA, Madison, 439–465.
- Mench, M. J., Didier, V. L., Loffler, M., Gomez, A., Masson, P., 1994.** A mimicked in-situ remediation study of metal-contaminated soils with emphasis on cadmium and lead. *J Environ Qual* 23, 58–63.
- Morozov, G. F., 1901.** K voprosu o vlazhnosti lesnoy pochvyi. Hrenovskiy bor. Slozhnyie formy lesa [On the forest soil moisture. Khrenovsky fores. Complex forms of forest]. *Pochvovedenie*, 1, 35–59 (in Russian).
- Nikorych, V. A., Pol'chyna, S. M., 2003.** Osoblyvosti konkreciyutvorenniya v gruntah Peredkarpattya [Features of concretion formations in the Precarpathians soils]. *Gruntoznasntvo*, 4 (1-2), 73–77 (in Ukraine).
- Nikorych, V., Pol'chyna, S., Skiba, S., Szymanski, W., 2012.** Morfohenetychni osoblyvosti Al'beluvisolej (Albeluvisols) Peredkarpattya Ukrayiny ta Pol'shhi [Morphogenetic features of Albeluvisols of Ukrainian and Polish Precarpathians]. *Biological systems*, 4 (1), Chernivtsi National University, Chernivtsi, 65–71 (in Ukraine).
- Nikorych, V., Pol'chyna, S., Szymanski, W., Skiba, S., 2013.** Variaciyi morfohenetychnykh osoblyvostej buruvato-pidzolistykh gruntiv (Albeluvisols) Peredkarpattya zalezchno vid typu bioheocenozy [Variations of the morphogenetic features of the Precarpathian's brownish-podzolic soils (Albeluvisols) depending on the biogeocenosis type]. *Ecology and Noospherology*. 24 (3-4), 24–41 (in Ukraine).
- Nikorych, V., Szymański, W., Polchyna, S., Skiba, M., 2014.** Genesis and evolution of the fragipan in Albeluvisols in the Precarpathians in Ukraine. *Catena*, 119, 154–165.
- Ojanuga, A. G., Lee, G. B., 1973.** Characteristics, distribution, and genesis of nodules and concretions in soils of the southwestern upland of Nigeria. *Soil Sci*, 116, 282–291.
- Pai, C. W., Wang, M. K., Zhuang, S. Y., King, H. B., Hwong, J-L., Hu, H. T., 2003a.** Characterisation of iron nodules in a Ultisol of Central Taiwan. *Aust J Soil Res*, 41, 37–46.
- Pai, C. W., Wang, M. K., Chiang, H. C., King, H. B., Hwong, J-L., Hu, H. T., 2003b.** Formation of iron nodules in a Hapludult of central Taiwan. *Can J Soil Sci*, 83, 167–172.
- Palumbo, B., Bellanca, A., Neri, R., Roe, M. J., 2001.** Trace metal partitioning in Fe-Mn nodules from Sicilian soils. *Italy Chem Geol*, 173, 257–269.
- Pawluk, S., Dumanski, J., 1973.** Ferruginous concretions in a poorly drained soil of Alberta. *Soil Sci Soc Am Proc*, 37, 124–127.
- Phillippe, W. R., Blevins, R. L., Barnhisel, R. I., Bailey, H. H., 1972.** Distribution of concretions from selected soils of the inner bluegrass region of Kentucky. *Soil Sci Soc Am Proc*, 36, 171–173.
- Potter, R. M., Rossman, G. R., 1979a.** Mineralogy of manganese dendrites and coatings. *Am. Mineral.*, 64, 1219–1226.
- Potter, R. M., Rossman, G. R., 1979b.** The tetravalent manganese oxides: identification, hydration, and structural relationships by infrared spectroscopy. *Am. Mineral.*, 64, 1199–1218.
- Puschenreiter, M., Horak, O., Friesl, W., Hartl, W., 2005.** Low-cost agricultural measures to reduce heavy metal transfer into the food chain – a review. *Plant Soil Environ*, 51, 1–11.
- Rabenhorst, M. C., Parikh, S., 2000.** Propensity of soils to develop redoximorphic color changes. *Soil Sci Soc Am J.*, 64, 1904–1910.

- Ram, H., Singh, R. P., Prasad, J., 2001.** Chemical and mineralogical composition of Fe-Mn concretions and calcretes occurring in sodic soils of Eastern Uttar Pradesh. *India Aust J Soil Res*, 39, 641–648.
- Raman, E., 1905.** *Bodenkunde*. – Berlin, Springer.
- Rhoton, F. E., Meyer, L. D., Mcchesney, D. S., 1991.** Depth-of-erosion assessment using iron-manganese nodule concentrations in surface horizons. *Soil Sci*, 152, 389–394.
- Rhoton, F. E., Bigham, J. M., Schulze, D. G., 1993.** Properties of iron-manganese nodules from a sequence of eroded fragipan soils. *Soil Sci Soc Am J*, 57, 1386–1392.
- Sanz, A., Garcia-Gonzalez, M. T., Vizcayno, C., Rodriguez, R., 1996.** Iron-manganese nodules in a semi-arid environment. *Aust J Soil Res*, 34, 623–634.
- Schwertmann, U., Fanning, D. S., 1976.** Iron-manganese concretions in hydrosequences of soils in loess in Bavaria. *Soil Sci Soc Am J*, 40, 731–738.
- Schwertmann, U., Carlson, L., Murad, E., 1987.** Properties of iron oxides in two Finnish lakes in relation to the environment of their formation. *Clay Clay Miner*, 35, 297–304.
- Schwertmann, U., Cornell, R. M., 2000.** Iron oxides in the laboratory: Preparation and Characterization (Second, completely revised and extended edition) Wiley-Vch, Weinheim-New York-Chichester-Brisbane-Singapore-Toronto.
- Schwertmann, U., Taylor, R. M., 1989.** Iron oxides, in: J.B. Dixon, S.B. Weed (Eds.), *Minerals in Soil Environments*, SSSA Book Ser. 1, SSSA, Madison, WI, USA, 379–438.
- Sibirtsev, N. M., 1951(1900).** *Pochvovedenie. Izbr. soch.* [Soil Science Fav. Works], 1 (in Russian).
- Sidhu, P. S., Sehgal, J. L., Sinha, M. K., Randhawa, N. S., 1977.** Composition and mineralogy of ironmanganese concretions from some soils of the Indo-Gangetic Plain in north-west India. *Geoderma*, 18, 241–249.
- Singh, B., Gilkes, R.J., 1996.** Nature and properties of iron rich glaeboles and mottles from southwest Australian soils. *Geoderma* 71, 95–120.
- Soil and environmental science dictionary / edited by E. G. Gregorich, L. W. Turchenek, M. R. Carter, D. A. Angers (2001) CRC PRESS. Boca Raton London New York Washington, D.C.**
- Sposito, G., Reginato, R. J., 1992.** Opportunities in basic soil science research. Soil Science Society of America, Madison.
- Stipp, S. L. S., Hansen, M., Kristensen, R., Hochella, M. F. Jr., Bennedsen, L., Dideriksen, K., Balic-Zunic, T., Leonard, D., Mathieu, H.-J., 2002.** Behaviour of Fe-oxides relevant to contaminant uptake in the environment. *Chem Geol*, 190, 321–337.
- Stoops, G., 2003.** Guidelines for Analysis and Description of Soil and Regolith Thin Section. Soil Sci. Soc. Am., INC., Madison, WI.
- Suarez, D. L., Langmuir, D., 1976.** Heavy metal in a Pennsylvania soil. *Geochim Cosmochim Acta*, 40, 589–598.
- Sukachev, V. N., 1903.** Neskolko nablyudeniy nad ortshteynovyimi obrazovaniyami na yuge Rossii [Several observations on ortstein formations in southern Russia]. *Pochvovedenie*, 5 (2), 213–220 (in Russian).
- Szymański, W., Skiba, S., Nikorych, V., Polchyna, S., 2012.** Gleby płowe (Luvisols) pogórza i przedgórze karpackiego z obszaru Polski i Ukrainy // *Roczniki Bieszczadzkie* (20), 268–280 (in Poland).
- Szymański, W., Skiba, M., 2013.** Distribution, morphology, and chemical composition of Fe-Mn nodules in Albeluvisols of the Carpathian Foothills, Poland. *Pedosphere*, 23(4), 445–454.
- Szymański, W., Skiba, M., Blachowski, A., 2014.** Mineralogy of Fe-Mn nodules in Albeluvisols in the Carpathian Foothills, Poland. *Geoderma*, 217–218, 102–110.
- Tan, W. F., Liu, F., Feng, X., Huang, Q., Li, X., 2005.** Adsorption and redox reactions of heavy metals on Fe-Mn nodules from Chinese soils. *Journal of Colloid and Interface Science*, 284, 600–605.
- Tan, W. F., Liu, F., Li, Y. H., Hu, Y. O., Huang, Q. Y., 2006.** Elemental composition and geochemical characteristics of iron-manganese nodules in main soils of China, *Pedosphere* 16, 72–81.
- Timofeeva, Y. O., Golov, V. I., 2007.** Sorption of heavy metals by iron – manganic nodules in soils of Primorskii Gregion. *Eurasian Soil Sci* 40, 1308–1315.
- Timofeeva, Y. O., Golov, V. I., 2010.** Accumulation of Microelements in Iron Nodules in Concretions in Soils: A Review. *Eurasian Soil Sci*, 43 (4), 434–440.
- Tokashiki, Y., Dixon, J. B., Golden, D. C., 1986.** Manganese oxide analysis in soils by combined X-ray diffraction and selective dissolution methods. *Soil Sci Soc Am J* 50, 1079–1084.
- Tokashiki, Y., Hentona, T., Shimo, M., Vidhana Arachchi, L. P., 2003.** Improvement of the successive selective dissolution procedure for the separation of birnessite, lithiophorite and goethite in soil manganese nodules. *Soil Sci Soc Am J* 67, 837–843.

- Vepraskas, M. J., 1999.** Redoximorphic features for identifying aquic conditions. North Carolina Agric Res Serv Tech Bull 301. North Carolina State University, Raleigh.
- Vepraskas, M. J., 2001.** Morphological features of seasonally reduced soils. In: Richardson JL, Vepraskas MJ (eds) Wetland soils: genesis, hydrology, landscapes and classification. Lewis Publishers, Boca Raton.
- Vepraskas, M. J., 2004.** Redoximorphic features for identifying aquic conditions. Technical Bulletin 301, North Carolina Agricultural Research Service, Raleigh, NC, USA, 34.
- Vidhana Arachchi, L. P., Tokashiki, Y., Baba, S., 2004.** Mineralogical characteristics and micromorphological observations of brittle/soft Fe/Mn concretions from Okinawan soils. Clay Clay Miner 52, 462–472.
- Vodyanitskii, Y. N., 2006.** The composition of Fe-Mn nodules as determined by synchrotron X-ray analysis (review of publications). Eurasian Soil Sci, 39, 147–156.
- Vodyanitskii, Y. N., Vasilev, A. A., Vlasov, M. N., Korovushkin, A. V., 2009.** The role of iron compounds in fixing heavy metals and arsenic in alluvial and soddy-podzolic soils in the Perm area Eurasian. Soil Sci 42, 738–749.
- Wheeting, L. C., 1936.** Shot soils of western Washington State. Soil Sci 41, 35–45.
- White, G. N., Dixon, J. B., 1996.** Iron and manganese distribution in nodules from a Young Texas Vertisol. Soil Sci Soc Am J 60, 1254–1262.
- Winters, E., 1938.** Ferromanganiferous concretions from podzolic soils. Soil Sci, 46, 35–45.
- Zaidelman, F. R., Nikiforova, A. S., Sanzharov, A. I., 1979.** Kutanyi i ortshteynyi neogleennyih i ogleennyih pochv na karbonatnoy morene i ih diagnosticheskoe znachenie [Cutans and ortsteins notgleyed and gleyed soils on the carbonate moraine and their diagnostic value]. Pochvovedenie, 1, 20–28 (in Russian).
- Zaidelman, F. R., Sanzharov, A. I., Polonskaya, L. I., 1982.** Kutanyi i ortshteynyi dernovo-podzolistyih neogleennyih i ogleennyih pochv na lentochnyih glinah i ih diagnosticheskoe znachenie [Cutans and ortsteins sod-podzolic notgleyed and gleyed soils on the ribbon clays and their diagnostic value]. Pochvovedenie, 11, 17–25 (in Russian).
- Zaidelman, F. R., Nikiforova, A. S., 1997.** On some general regularities of the formation and changes in properties of Mn-Fe concretions in soils of humid landscapes. Arch Agron Soil Sci, 41, 367–382.
- Zaidelman, F. R., Nikiforova, A. S., 1998.** Manganese-iron concretions in soils and their change under the effect of gleyification on parent materials of different genesis. Eurasian Soil Sci, 31, 817–825.
- Zaidelman, F. R., Nikiforova, A. S., 2001.** Genezis i diagnosticheskoe znachenie novoobrazovaniy pochv lesnoy i lesostepnoy zon [Genesis and diagnostic meaning of soil neoformations of forest and forest-steppe zones]. Moscow University Press (in Russian).
- Zaidelman, F. R., Nikiforova, A. S., 2008.** Klassifikatsiya, svoystva i informatsionnoe znachenie margantsevo-zhelezistyih novoobrazovaniy // Pamyat pochv. Pochva kak pamyat biosferno-geosferno-antroposfernyih vzaimodeystviy [Classification, properties and informative meaning manganese-iron neoformations: in Soil Memory. Soil as a memory of Biosphere-Geosphere-Antroposphere interactions]. Moscow. URSS, 314–351 (in Russian).
- Zaidelman, F. R., Nikiforova, A. S., Stepantsova, L. V., Safronov, S. B., Krasin, V. N., 2009.** Manganese, iron, and phosphorus in nodules of Chernozem-like soils on the Northern Tambov Plain and their importance for the diagnostics of gley intensity. Eurasian Soil Sci, 42, 477–487.
- Zaidelman, F. R., Nikiforova, A. S., 2010.** Ortshteynyi – margantsevo-zhelezistyie konkretionnyie novoobrazovaniya (itogi issledovaniy) [Ferromanganese concretionary neoformations: A review]. Pochvovedenie, 3, 270–281 (in Russian).
- Zakharov, S. A., 1911.** K voprosu o znachenii mikro- i makrorel'efa v podzolistoy oblasti [On the question of the significance of micro-and macro-relief in the podzolic area]. Pochvovedenie, 1, 49–72 (in Russian).
- Zhang, M., Karathanasis, A. D., 1997.** Characterization of iron-manganese concretions in Kentucky alfisols with perched water tables. Clay Clay Miner, 45, 428–439.

Стаття надійшла в редакцію: 10.03.2014
Рекомендує до друку: д-р біол. наук, проф. Н. А. Білова

THE EFFECT OF ALLELOPATHICALLY ACTIVE AGENTS ON PLANTS



V. P. Grakhov	✉	Cand. Sci. (Biol.), Sen. Res. Sci.
O. I. Dzjuba		Cand. Sci. (Biol.), Sen. Res. Sci.
N. E. Ellanska		Cand. Sci. (Biol.), Sen. Res. Sci.
N. V. Zaimenko		Dr. Sci. (Biol.), Professor
N. A. Pavliuchenko		Cand. Sci. (Biol.), Sen. Res. Sci.
I. P. Kharytonova		Cand. Sci. (Biol.), Sen. Res. Sci.

UDK 581.524.13

*M. M. Gryshko National Botanical Garden,
National Academy of Sciences of Ukraine,
Timiryazevska str., 1, 01014, Kyiv, Ukraine*

CURRENT WORLD ACHIEVEMENTS IN ALLELOPATHY RESEARCHES

Abstract. Since the idea of the allelopathy emerged the numerous works contributed to the formulation of the notional base in this area of knowledge.

In the present review the large number of the novel allelopathical methods and approaches, developed for several recent decades, are analyzed. Furthermore various opinions on the subject, the forms, the mechanisms and the symptoms of the allelopathy are compared. The interdependence between the notions of 'allelopathy', 'competition' and 'interference' is discovered. The separate attention is paid to a) the principles of the realization of allelopathic interactions; b) the peculiarities in the approaches to the organization of the investigations; c) the significance of edaphic factor; d) the mediated influence of allelochemicals through the medium, where plants grow; e) the concept of the two-phases respond of the bioobjects – the hormesis and to some other interesting respects in the interpretation of the allelopathic phenomena. The controversial points of view on the possibility of synergism in the allelopathy are described.

The great piece of the allelopathical works was focused on various aspects of release and chemical identification allelochemicals during the recent decades. Also the phytocenotical manifestations of the allelopathy were widely researched. The relationships of the plants-edificators with their subordinate species are reviewed. These papers mostly pertained to the extrusions of the native flora by the alien species. In some cases this entails the profound transformations of the ecosystems. Because such phenomena pose a risk, the control of the invasive flora involves the considerable costs. It gives the idea that of the edaphic factor considerably takes part in the development of the allelopathic processes (especially, soil biota, mycorrhizal fungi, free-living microorganisms, moisture and humus). They can strongly modify the character and intensity of the allelochemical-induced effects. The roles of both mycorrhiza and free-living microflora in the development of the allelopathic processes are discussed. The first of them often is regarded as the target and the canal of the alleviated transport for the allelochemicals, and the second one – as the sink for them. Particularly the common mycorrhizza network is analyzed as the factor of the facilitation of the allelochemical transport between the plants (even if they belong to different species). Some researches are devoted the fungi as the target for the allelochemicals impact.

✉ Corresponding author. Tel.: +38044-285-54-53. E-mail: nbg@nbg.kiev.ua

DOI: 10.15421/031412

The essential research direction in the recent decade was the determination of the precise chemical mechanisms, causing the allelopathy. It was comprehensively shown by the example with catechin. The action of this substance was studied in the biophysical, cell-biological and physiological points of view. Some papers testify the stimulatory and other – the depressive effect of catechin.

It appears that the degree of the soil toxicity can vary in the result of the habitat alternation of the same allelopathic donor-species. The temperature factor plays the similar role for the effect of the putative allelochemicals.

The current ideas about the probable mechanisms of plant adaptation to the allelopathical stresses are presented.

Key words: *allelopathy, synecology, allelochemicals, model investigation, microsymbionts, metabolite.*

УДК 581.524.13

В. П. Грахов

канд. биол. наук, стар. наук. сотр.

О. И. Дзюба

канд. биол. наук, стар. наук. сотр.

Н. Э. Элланская

канд. биол. наук, стар. наук. сотр.

Н. В. Заименко

д-р биол. наук, проф.

Н. А. Павлюченко

канд. биол. наук, стар. наук. сотр.

И. П. Харитонова

канд. биол. наук, стар. наук. сотр.

Национальный ботанический сад им. Н. Н. Гришка

Национальной академии наук Украины, ул. Тимирязевская, 1, 01014, г. Киев, Украина,

тел.: +38044-285-54-53, e-mail: nbg@nbg.kiev.ua

СОВРЕМЕННЫЕ МИРОВЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ПО АЛЛЕЛОПАТИИ

Проанализировано концепции, методологические представления, гипотезы, возникшие в трудах по аллелопатии в последние годы прошлого – в начале этого столетия. Сделано обзор новейших исследований о значении аллелопатически активных растений и аллелохимикалий в синэкологических процессах.

Ключевые слова: *аллелопатия, синэкология, аллелохимикалии, модельное исследование, микросимбионты, продукт обмена веществ.*

УДК 581.524.13

В. П. Грахов

канд. біол. наук, стар. наук. співр.

О. І. Дзюба

канд. біол. наук, стар. наук. співр.

Н. Е. Елланська

канд. біол. наук, стар. наук. співр.

Н. В. Заіменко

д-р біол. наук, проф.

Н. А. Павлюченко

канд. біол. наук, стар. наук. співр.

І. П. Харитонова

канд. біол. наук, стар. наук. співр.

Національний ботанічний сад ім. М. М. Гришка

Національної академії наук України, вул. Тимірязєвська, 1, 01014, м. Київ, Україна,

тел.: +38044-285-54-53, e-mail: nbg@nbg.kiev.ua

СУЧАСНІ СВІТОВІ ДОСЯГНЕННЯ В ДОСЛІДЖЕННЯХ З АЛЕЛОПАТІЇ

Проаналізовано концепції, методологічні уявлення, гіпотези, які виникли в працях із алелопатії в останні роки минулого – на початку цього століття. Оглянуто новітні дослідження щодо значення алелопатично активних рослин й алелохімікалій у синекологічних процесах.

Ключові слова: *алелопатія; синекологія; алелохімікалії; модельне дослідження; микросимбионти; продукт обміну речовин.*

Україна належить до чільних агровиробників європейського континенту (Jaggard et al., 2010), тому дія будь-яких факторів, які впливають на врожай культурних рослин, може стосуватися не тільки природних, але й резонувати на суспільно-економічні явища. У сучасному рослинництві важливого значення набув

алелопатичний вплив, адже велика частина господарсько перспективних видів рослин через свої виділення погіршують можливості агроценозу, насамперед едафотопу, щодо формування врожаю. Можна очікувати, що алелопатичні явища сьогодні привертають до себе увагу з погляду як теорії, так і суб'єктів, зацікавлених у рослинницькому виробництві.

Явище опосередкованих речовинами взаємодій між рослинами впродовж тривалого часу викликало в науковців як просто пізнавальний, так і землеробський інтерес. Кількість нових вітчизняних дисертацій (Yefremova, 2007; Radioza, 2008; Kirpenko, 2011; Nnatyuk, 2012; Ivanytska, 2012) та значний масив публікацій красномовно свідчить про це. Разом з тим, відсутність україномовного огляду з алелопатії за останні сім років пояснює інтерес у написанні роботи, яка б узагальнювала новітні напрями в цій галузі досліджень.

Термін «алелопатія» з часу його впровадження (Molisch, 1937) так і не набув загально визнаного формулювання і тлумачиться по-різному існуючими школами дослідників, наприклад, як один із позаорганізменних різновидів взаємодій між рослинами (Molisch, 1937; Winter, 1960; Muller, 1970; Stamp, 2003; Gniazdowska and Bogatek, 2005; Allelopathy..., 2006). З іншої точки зору, явище алелопатії правомірно застосовувати і до представників інших таксономічних царств, зокрема тварин (Whittaker and Feeny, 1971; Rice, 1974; Zelikman, 1977). Узагалі ж сьогодні питання щодо участі тварин в алелопатичних явищах залишається відкритим поряд з двома іншими проблемами: по-перше, коректністю включення позитивних взаємодій до кола алелопатичних явищ, по-друге, віднесенням механізмів дії через неспецифічні продукти обміну до цих явищ.

Важливим моментом робіт із теми алелопатії є система визначення основних понять. Наприклад, форми алелопатичної взаємодії, які свого часу розрізнив А. М. Гродзинський (Grodzynskyy, 1983). До того ж часто доводиться стикатися з ототожненням у розумінні механізмів і симптомів, пов'язаних із алелопатичними ефектами, тому варто наголосити на відмінності цих понять. Стисло механізми (табл. 1) можна визначити як процеси, з яких складається відповідь організму на вплив, а симптоми – як прояви, доступні для спостереження.

В деяких випадках симптоми можна назвати характерними для патологічних змін зовнішніми ознаками. Л. К. Поліщук (Polishchuk, 1967) свого часу прокласифікувала ці зміни за чотирма критеріями: власне зовнішніми проявами, масштабністю проявів відносно розмірів рослини, часовою тривалістю та віком рослин. Вважаємо правомірним застосувати до алелопатії з незначними змінами запропонований Л. К. Поліщук перелік зовнішніх проявів, оскільки новіших класифікацій симптомів нам невідомо.

Р. Богатек і А. Гняздowska (Gniazdowska and Bogatek, 2005) налічують п'ять рівнів організації рослин, на яких виявляється дія алелохімікалів: молекулярний, структурний, біохімічний, фізіологічний та екологічний. В статті цих авторів зазначені рівні висвітлюються в зв'язку з алелопатично зумовленими симптомами та механізмами.

Ще одним вартом уваги моментом є те, що алелопатичні взаємодії можуть відбуватися за двома принципами – ресурсним і медіаторним, – так само як численні інші біологічні процеси (Aleksandrov, 1985; Ostroumov, 1986; Begon et al., 1989). Це означає, що алелохімікалій може стимулювати або пригнічувати мішень пропорційно своїй кількості (ресурсний принцип), або ж певний пороговий рівень такої речовини зумовлює запуск тих чи інших процесів у об'єкті мішені (медіаторний принцип).

Застосування належних методичних підходів у пізнанні природних явищ, зокрема алелопатії, дозволяє уникнути їхнього спотвореного розуміння. Алелопатії притаманні власні уявлення та рекомендації щодо організації досліджень, причому чималу частину з цих уявлень було запропоновано за останні роки.

Дж. Л. Харпер (Harper, 1961, 1964) вважав, що такими двома складовими як алелопатія і конкуренція за ресурси формується явище інтерференції між рослинними організмами, і відтак розглядав конкуренцію за ресурси як фізичну

Класифікація механізмів, через які проявляються аселонатичні взаємодії

За E. L. Rice, 1974		За А. М. Гродинським, 1983	За іншими авторами
1		2	3
На рівні клітини			
1) інгібування активності ферментів та вплив на функціональні групи біологічно активних метаболітів		1) активація ферментів шляхом підвищення «жорсткості» їхньої конформації завдяки заміні водневих зв'язків на йонні	
2) зміна проникності мембран		2) зміна процесів АТФ-залежного трансмембранного перенесення електронів, Na ⁺ та K ⁺	
3) зміни в білковому, ліпідному й органічно-кислотному обміні		3) зміна колоїдних властивостей протоплазми та пов'язаної з цим швидкості її руху	
На рівні як клітини, так і організму			
			4) гормональні зміни, здатні активувати/ пригнітити про- або антиоксидантні системи клітин (Musgrave, 1994; Smirnov, 1995).
На рівні організму			
5) пригнічення проліферації і розтягнення клітин		5) зміни процесів проліферації і розтягнення клітин	
		6) зміни в диференціації клітин	
6) зміни в інтенсивності дихання		7) зміни дихання	
7) пригнічення фотосинтезу		8) зміни у фотосинтезі, зокрема в інтенсивностях засвоєння вуглекислого газу, вмісті хлорофілів	
8) зміни величини листкових проліхів		9) зміни в поглинанні води і поживних речовин	
9) зміна проникності мембран			
10) пригнічення росту, індукованого гіберелловою й інोलіптовою кислотами			
		10) зміни в транспорті води та поживних речовин провідними тканинами	
		11) зміни морфогенезу, в тому числі органогенезу	

Закінчення таблиці

1	2	3
	На надорганізмному рівні	
11) пригнічення біосинтезу гемоглобіну в азотфіксувальних організмів, що призводить до переваг рослин, невибагливих до азотного живлення, перед вибагливими		
	від інтенсивності проростання органів вегетативного розмноження і насіння залежить 12) виграш/програш рослин в інтерференції між собою	
	13) зниження імунітету рослин	
	14) посилення активності фітопатогенних мікроорганізмів і грибів	
	15) перебіг речовинних відносин між рослинами-паразитами і рослинами-господарями	
	16) імітація опосередкованого речовинами впливу симбіотрофних грибів	

інтерференцію, алелопатію – як хімічну (Harper, 1977). Відділити алелопатичні ефекти від ефектів конкуренції за ресурси за допомогою простих прийомів складно (Harper, 1977; Connell, 1990; Williamson, 1990; Thijs et al., 1994; Weidenhamer, 1996; Nilsen, 2002), що призвело до розробки спеціальних процедур для оцінки внеску в результати досліджень кожного з цих двох факторів. Прикладом таких процедур є фізичне відокремлення коренів рослин-донорів від коренів рослин акцепторів або ж маніпуляції з густотою стояння рослин (Weidenhamer et al., 1989; Nilsson, 1994; Ridenour and Callaway, 2001).

У багатьох статтях обговорюється можливість досягнення алелохімікаліями фітотоксичних концентрацій у польових умовах (Blair et al., 2005; Perry et al., 2005; Quintana et al., 2008; Norton et al., 2008; Tharayil et al., 2008a; Duke et al., 2009), що зумовило питання щодо необхідності неоднаково підходити до ресстрації фактів хімічних взаємодій між рослинами в природних угрупованнях порівняно з агроекосистемами (Weston and Duke, 2003). Зазначений диференційований підхід може сприяти поступу у вивченні алелопатії в природних екосистемах.

Наступною важливою проблемою в сучасній алелопатії є інтерпретація участі властивостей ґрунту як фактора взаємодій між організмами (Tharayil et al., 2008a). Спроба врахування зазначеного фактора мала місце, зокрема, в дослідженні з дублюванням дослідів на піщаній культурі варіантом із культурою без ґрунту (Tharayil et al., 2008b). Цією роботою показано, що в першому з цих двох варіантів повністю зникала летальна фітотоксичність діючої речовини ексудатів волошки *Centaurea diffusa* – гідрохінону.

Іншим вартим уваги питанням є не прямий вплив вторинних фітометаболітів на рослини, а опосередкований – через середовище зростання (Tharayil, 2009): наприклад, за рахунок погіршення мікоризного мутуалізму (Callaway et al., 2008). Рослини, які здатні засвоювати органічні форми азоту, отримують разом із цими сполуками і високі дози поліфенолів. У ґрунті поліфеноли можуть утворювати комплексні сполуки з білками й амінокислотами, що перешкоджає переходу азоту з органічних до неорганічних форм, а останні є визначальними для існування деяких видів рослин (Joanisse et al., 2009). Швидке проходження реакцій окислення і/або хелатування продуктів вторинного метаболізму рослин сприяє доступності йонів металів для біоти (Tharayil et al., 2008a; 2008b). Низка відомих алелохімікалій подібні за своєю хімічною будовою до поліфенолів як агентів хелатування; у зв'язку з цим такі алелохімікалії можуть викликати токсичні ефекти шляхом переведення йонів металів у форми, недоступні для рослинної метаболізації (Zentmyer, 1944). Взагалі, дослідження Н. Тараїла спрямовуються на вивчення процесу надходження різних сполук із едафотопу до рослин під дією рослинних екзометаболітів.

Окремі автори (Inderjit et al., 2002) переконують у відсутності синергічних закономірностей щодо спільного токсичного впливу певного набору алелохімікалій на рослини. В той же час за даними інших (Tharayil et al., 2008a), одночасна наявність у ґрунті різних токсинів рослинного походження може зумовлювати підвищення персистентності порівняно з тим, якби кожний із них був присутній окремо.

Н. Тараїл (Tharayil, 2009) визначив два механізми дії продуктів вторинного метаболізму на рослини в угрупованнях. У першому з цих механізмів рослини-донори здобувають переваги в засвоєнні хімічних ресурсів; за другим виділення рослин-донорів призводять до отруєння рослин-акцепторів. Авторська інтерпретація цих механізмів через поняття ресурсів ще раз свідчить, що конкуренція за ресурси й алелопатія діють як нерозривно пов'язані між собою явища.

За сучасними уявленнями, однією з причин біотичних стресів рослин є фітотоксичні дози алелохімікалій. Індер'їт (Inderjit, 1995) стверджує, що алелопатичні ефекти «не є незалежними від інших видів стресів». Це положення доводиться автором на прикладі з вивченням фізіологічних і екологічних функцій летких гідрофобних виділень (зокрема α -пінену) деяких вогнетривких видів рослин.

Таким чином, найактуальнішими методологічними питаннями сьогодні є достатність концентрацій для прояву ефектів фітотоксичності у природних екосистемах; залежність надходження алелохімікалій від властивостей ґрунту; розрізнення між прямою й опосередкованою дією алелохімікалій на рослини.

Одержані в ході оригінальних досліджень результати стають вагомими завдяки інтерпретації за допомогою математичного аналізу. Порівняно з ліченими роботами з математичного моделювання алелопатії у водоймах (Jonsson et al., 2009; Roy, 2009; Pal et al., 2009) аналогічні роботи, пов'язані з суходолом, значно чисельніші.

Варто констатувати інтерес до багатофакторного моделювання в алелопатії, зокрема на основі лог-логістичної моделі (Finney, 1978; Streibig, 1988), зокрема видозміненої (Brain and Cousens, 1989). Поєднання зазначеної моделі з низкою прийомів математичного аналізу: 1) «концепцією паралельних ліній – порівняння за ED_{50} ¹»; 2) «зміщенням непаралельних ліній – порівняння спадних ділянок В у функцій»; 3) «кривими ефекту відповіді на дозу залежно від ходу часу»), а також аналізом цих функцій за точками екстремумів, дало змогу описати більшість зі спостережених ефектів відповіді на дозу. Завдяки цьому дослідники (Belz et al., 2005) змогли пов'язати ефект фітотоксичності з таким параметром як доза.

Сьогодні до наукового вжитку ввійшов термін «гормезис» (Гормезис; Calabrese and Baldwin, 2003), яким позначається явище, раніше відоме як двофазна відповідь об'єкта на вплив фактора (Aleksandrov, 1980). Нині не встановлено причин гормезису. Це спонукає до ретельних вивчень фізіологічних, біохімічних і молекулярних механізмів, які його обумовлюють (Cedergreen et al., 2007; Bais et al., 2010). Деякі автори не виключають того, що ефект гормезису виникає винятково в разі напруженої дії екстремальних умов (Calabrese and Blain, 2005; Duke et al., 2007). Явище гормезису часто стосується алелопатичних ефектів. Це підтверджується роботами Індер'їта зі співавт. (модель із різними рівнями доз *n*-гідроксибензойної, *n*-кумарової та ферулової кислот) (Inderjit et al., 2002) та Ліу зі співавт. (алелопатична дія в ролі обмежувачого фактора) (Liu et al., 2011). Оглядові статті з гормезису в алелопатії належать Н. Седергрін зі співавт. (Cedergrenn et al., 2005) та С. О. Д'юкові зі співавт. (Duke et al., 2006).

В справі розробки власне математичних процедур обробки результатів алелопатичних спостережень і дослідів провідне місце посідають Д. Дж. Фінні (Finney, 1978), колектив науковців на чолі з Де Лі Ліу (Liu et al., 2005) та низка інших дослідників.

В працях із алелопатії завжди фігурували поняття рослин-акцепторів і донорів алелохімікалій. Цілеспрямоване вивчення алелопатичного донорства останнім часом стосувалося таких видів як *Lycopersicon esculentum*, *Casuarinia equisetifolia*, *Bidens pilosa*, *Eucalyptus citriodora* й *Ageratum conyzoides* (Shiming, 2005). Також було різносторонньо досліджено момілактон Б з культурального розчину сіянців рису (Kato-Noguchi et al., 2002).

Алелопатичні взаємодії є важливим засобом для прояву домінування деяких видів. За Ч. Е. Мітчелом й А. Д. Пауером (Mitchell and Power, 2006), екзотичні види, поширюючись у нові місцезростання, можуть набувати більшої агресивності порівняно з тим, коли вони зростають за природних для них умов. У ролі системи «домінантний+підпорядкований вид» були залучені такі моделі: мох *Rhynchostregium pallidifolium*+крес-салат *Lepidium sativum* (Kato-Noguchi and Seki, 2010); костриця волотиста *Festuca paniculata*+грязиця збірна *Dactylis glomerata* або стоколос прямий *Bromus erectus* (Viard-Crétat et al., 2009). З'ясування механізмів цього явища обумовлюється завданням розв'язання проблеми, поширеної в місцезростаннях в різних частинах світу: небажаного завоювання домінантного положення інвазивними

¹ ED_{50} – ефект у відповідь на дозу в 50 % випадків.

інтродуцентами відносно аборигенної флори. Існує думка, що недостатнє розуміння цих механізмів спонукає до проведення невиправданих заходів, а це пов'язано зі значними фінансовими витратами: скажімо, для контролювання забур'яненості фаллопіями в Об'єднаному Королівстві було спрямовано 1,6 млрд. фунтів, що не виправдало очікуваних результатів (Kabat et al., 2006).

Дослідження загрозливих інвазивних інтродуцентів проводилися на шести занесених до Європи видів різнотрав'я на фоні з шістьма аборигенними видами різнотрав'я і шістьма видами тонконогових (Scharfy et al., 2001), а крім того на декількох видах фаллопій (Murrell et al., 2011); очерету *Phragmites australis* в східній частині США (Rudrappa et al., 2007; Bains et al., 2009); європейського виду кінського часнику черешкового *Alliaria pettiolata*, здатного до серйозного перетворення видової структури північноамериканських лісів (Stinson et al., 2006); загрозливої для Пн. Америки волошки чоловічої *Centaurea stoebe* = *Centaurea masculosa* (Blair et al., 2005; Duke et al., 2009).

Висловлено думку, що пригнічення місцевої рослинності може підтримуватися з-поміж інших механізмів також алелопатичними процесами: наприклад, виснаженням ґрунту на гриби арбускулярної мікоризи, що відіграють роль мікросимбіонтів аборигенних рослин (Vogelsang et al., 2004; Stinson et al., 2006), а також гіпотеза « нової хімічної зброї » (Callaway and Ridenour, 2004). Гіпотеза полягає в тому, що фітотоксичні екsudати надають інвазивній флорі конкурентної переваги в « окупованому » місцезростанні. В той же час у рослин-співжителів із нативних місцезростань виробилась толерантність до цих колінів (Vivanco et al., 2004; He et al., 2009; Rudrappa et al., 2009).

У багатьох публікаціях як фітотоксин волошки згадується катехін, а *Phragmites australis* – мезоксалева (диоксималонова) кислота. Припускається, що вона виробляється внаслідок фотодеструкції галової кислоти. Виникає каскад складових процесів загибелі клітини, подібний до раніше запропонованого для галової кислоти (Rudrappa et al., 2007). Інвазія волошки з Європи до Північної Америки в останнє десятиліття вважалася проблемою. Про це, зокрема, свідчать роботи, в яких вивчено механізм дії катехіну, в тому числі в рослинному організмі (Bais et al., 2003; Weir et al., 2003; Prithiviraj et al., 2007; Chobot et al., 2009). С. О. Дюком зі співавт. (Duke et al., 2009) доведено однаковий рівень фітотоксичності для (+)- і (-)-ізомерів катехіну. Разом із тим було виявлено, що використана (Bais et al., 2003) у ході дослідів концентрація (-)-катехіну на рівні 100 мг/л, практично недосяжна в природних ґрунтових умовах (Blair et al., 2005; 2006). Загалом, одні автори (Blair et al., 2005; 2006; Duke et al., 2009a; 2009b) дотримуються точки зору про нездатність, а інші (Bais et al., 2003; Inderjit et al., 2008; Perry et al., 2005; 2007; Pollock et al., 2009; Ridenour et al., 2008; Weir et al., 2006; Thiedwasser et al., 2009) навпаки стверджують здатність катехіну набувати фітотоксичності в природних умовах ґрунту. Юглону та ще деяким хінонам властиво бути так званою ланкою, що переносить заряд (Petrova et al., 1990; Bertin et al., 2003). Нещодавні електрохімічні вивчення (Chobot et al., 2009) засвідчили наявність цієї ж властивості в катехіну. Саме здатність до перенесення заряду й обумовлює фізіологічну активність цих речовин. Аргументуючи глибше свої дослідження, група на чолі з В. Чоботом (Chobot et al., 2009) інтерпретує фізіологічне функціонування катехіну в світлі окисно-відновних процесів, які розгортаються в рослинному організмі. З експериментів Г. П. Баїса зі співавт. (Bais et al., 2010) стало відомо, що відносно арабідопсису токсичнішим є саме (-)-, а не (+)-енантіомер катехіну; з точки зору дослідників, горметична відповідь не пов'язана з ауксиновим обміном у цього виду. В свою чергу, Б. Прітивірай зі співавт. (Prithiviraj et al., 2009) свідчать про те, що обробки рослин суб-мінімально пригнічувальною концентрацією ($0,3-10 \cdot 10^{-3} \text{ ‰}$) суміші (+/-)-енантіомерів цієї речовини порівняно з контролем не викликали достовірних змін у рослинах.

Нещодавні вивчення розширюють попередні уявлення (Rice, 1974; Grodzynsky, 1983) про властивість едафотопу, насамперед, ґрунтової біоти (Zhu et al., 2011), зокрема вільноживучої мікрофлори (Kaur et al., 2009) та мікоризних грибів (Malinowski and Belesky, 2000) змінювати ефекти, спричинювані органічними речовинами рослинного походження. На прикладі алелопатично найактивніших речовин, які походять з *Eupatorium adenophorum*, (9-кет-10,11-дегідроагерафрон та 9b-дегідроксиагерафрон) (Yang et al., 2006; 2008)) показано негативну дію стерилізації ґрунту на ліквідацію його фітотоксичності для *Brassica rapa* як тест-об'єкту. Попри здатність як вічнозеленого, так і листопадного широколистяного лісу до ліквідації цієї фітотоксичності в першому з них вона проходила сильніше. Цікаво, що змиви з *E. adenophorum* стимулювали ріст мікрофлори ґрунту, відібраного з дорожнього узбіччя. Матеріали дослідження з *E. adenophorum* порівнюються з подібними результатами, описаними для вторинних метаболітів із *Alliaria petiolata* (Barto and Cipollini, 2009), м-тирозину (Bertin et al., 2009; Kaur et al., 2009), фенольних речовин (Zhang et al., 2010), сорголеону (Gimsing et al., 2009).

Об'єднаним німецько-індійським дослідницьким колективом (Kaur et al., 2009) започатковано вивчення ролі фактора температури (в діапазоні від 22 до 30 °C) на деградацію м-тирозину – припускається, що його високі рівні спричиняють алелопатичні ефекти. З точки зору авторів, температурно-залежна деградація може бути немікробною, мікробною і ризосферо-специфічною (під рослинами бамбука). Рослини не виділяють м-тирозину в кількостях, достатніх для індукції фітотоксичних ефектів, у той же час ґрунтова мікрофлора, діючи як головний стік, запобігає накопиченню рослинних екзометаболітів до фітотоксичних рівнів.

Холодостійкі трави, в певному відомому з результатів досліджень діапазоні, пристосовуються до різних біотичних і абіотичних стресів завдяки колонізації ендofітною мікрофлорою. Незначна вивченість механізмів цього пристосування спонукала польських вчених (Malinowski and Belesky, 2000) описати два пристосувальні механізми на прикладі з кострицею тростинною *Festuca arundinacea* Schreb. Перший – це морфологічні зміни: стоншення діаметру коренів та подовження кореневих волосків. Другий – хімічні зміни в зоні ризосфери завдяки виділенню коренями похідних фенолу. Фенольним кореневим ексудатам властиво утворювати хелатні сполуки з алюмінієм, в даному разі на поверхні коренів костриці тростинної, зараженої ендofітною мікрофлорою. Автори вважають, що це запобігає осадженню алюмінієм фосфору, даючи рослинам переваги за умов нестачі останнього.

Поряд із вологістю ґрунту (Blair et al., 2006), присутністю і складом гумусу, здатного адсорбувати алелохімікалії (Schmidt and Ley, 1999), мікробоценоз постає також як важливий едафічний фактор у розгортанні алелопатичних ефектів. Іноді мікоризні гриби розглядаються не більше як мішені дії алелохімікаліїв (Stinson et al., 2006; Wolfe et al., 2008). Натомість існує погляд, що спільна мережа мікоризи (СММ) виконує функцію каналу, яким переносяться алелохімічні агенти (Barto et al., 2011). Це сприяє розширенню зони біоактивної дії цих речовин. СММ може бути представлена як арбускулярною мікоризою, так і ектомікоризними грибами, що вступають у біотичну взаємодію одночасно з багатьма рослинами різних видів. Передумовами для цього є невисока специфічність мікросимбіонтів щодо рослин-партнерів, поєднана з можливістю виникнення анастомозів на перетинах гіфів грибів-представників одного виду. СММ зв'язує рослини різних видів у єдине рослинне угруповання (Simard and Durall, 2004; Giovannetti et al., 2004), що не властиво існуючій у ґрунті розгалуженій системі сапротрофних грибів і нитчастих бактерій (Tate, 1995). СММ дає змогу перемішуватись не тільки воді, але й поживним і сигнальним речовинам (Querejeta, 2003; Allen, 2007; Gyuricza et al., 2010). Частина речовин-сигналів забезпечує реалізацію захисних реакцій рослин (Song et al., 2010). Порівняно з ґрунтовою товщею СММ пришвидшує перенесення органічних речовин – зменшується їхній контакт із ґрунтовою мікрофлорою, що пригнічує мікробну

деградацію сполук (Tate, 1995), відтак втрачається менше речовин на шляху від донорів до реципієнтів. Зазначений ефект досягається зниженням кривизни траєкторії міграції речовин (Hillel, 1998), а також рухом цитоплазми, здатним на декілька порядків прискорити обмін речовин як на поверхні (Allen, 1998), так і всередині гіфів (Giovannetti et al., 1999). Прагнення перевірки цих положень сприяло розробці імітаційної моделі (Barto et al., 2011). В ґрунт уводили спеціальну сталеву пластинку, яка обмежувала поширення мікоризи, та, разом із тим, не перешкоджала руху ґрунтового розчину. Експеримент засвідчив стримування сталевую пластинкою процесу переміщення алелохімікаліїв через СММ. Цей факт задіяно для пояснення негативних результатів із відтворення алелопатичних ефектів у численних більш ранніх дослідках, які проводилися з ґрунтовым матриксом. Ефекти взаємодії між рослинами, колонізованими мікоризою розширено наступними аргументами: 1) втратою поживних речовин із ґрунту, збагаченого СММ; 2) зменшенням потенціалу інокулюму мікоризи; 3) безпосереднім впливом СММ на досліджувані рослини; 4) покращенням перенесення алелохімікалій іншими нитчастими мікроорганізмами окрім СММ; 5) можливістю зміни структури ґрунту завдяки СММ, що інтенсифікує потік розчинених у ґрунтовому розчині речовин. Волошка чоловіча (*C. masculosa*), ймовірно завдяки корневим виділенням, відтісняє деякі види грибів, не тільки від себе, але й від свого рослинного оточення. За допомогою цього припущення Е.К.Барто зі співавт. обґрунтовують здатність СММ до структурування багатовидових фітоценозів. Нарешті, сформульовано цікаві для дослідження в майбутньому питання стосовно СММ: 1) локалізація алелохімікалій під час перенесення СММ: біля поверхні чи всередині гіфів? 2) інтенсивність поширення алелохімікалій; 3) кількісна оцінка безпосереднього пригнічення росту грибних гіфів алелохімікаліями; 4) вплив власне СММ на немікоризну мікрофлору та рослин-акцепторів (Barto et al., 2011).

ВИСНОВКИ

Світовою наукою до цього часу нагромаджено багато публікацій, які присвячені алелопатії та слугують основою для формулювання основних понять цієї теми: предмету алелопатії, її форм, механізмів, симптомів, а також окремих поглядів на це явище. В основу визначення цих понять в даній роботі, насамперед, було покладено метод порівнянь.

У вивченнях із алелопатії найважливіші методичні здобутки останнього десятиліття стосуються питань 1) достатності концентрацій алелохімікалій для прояву ефектів фітотоксичності у природних екосистемах; 2) впливу ґрунту на ці хімічні агенти; 3) проблеми конкретизації прямого й опосередкованого впливу алелохімікалій на міжорганізмennі взаємодії; 4) взаємодія алелохімікаліїв із іншими факторами середовища.

Можна стверджувати, що серед дослідників дедалі більше утверджується уявлення про присутність горметичних закономірностей в алелопатичних ефектах; до того ж підходи до математичного аналізу алелопатичних явищ протягом останніх років збагатилися 1) моделлю Ен-Джонсона-Ловетта, яка була модифікована за допомогою введення в неї обмежуючого екологічного фактора та сигмоїдальних рівнянь; 2) розрізненням синергічного й антагоністичного принципів співдії алелохімікалій; 3) новими методиками, призначеними для того, щоб у явищі інтерференції між рослинами відділити конкуренцію за ресурси від алелопатичних взаємодій.

В аналізі міжорганізмennіх хімічних взаємодій, так само як і раніше, вагоме місце посідають дослідження щодо: 1) виділень алелохімікалій рослинами-донорами; 2) алелопатичні механізми ценотичних взаємовідносин, зокрема в рослинних угрупованнях у зв'язку з поширенням інвазивних видів; 3) участі мікробних

угруповань і мікоризи, а також ґрунту (як середовища життя коренів і ґрунтових організмів) у поширенні та модифікації дії алелохімікалій.

Таким чином, ми спробували висвітлити сучасні системи понятійних і методологічних уявлень в алелопатії, зокрема задіявані нею методи математичного аналізу, а також розкрити місце алелопатії у вивченнях синекологічних відносин. Разом із цим питання до статті не ввійшов пласт питань, пов'язаних з сучасними дослідженнями аутоекологічних особливостей розвитку алелопатичних явищ, адаптації рослин до алелохімічного стресу, а також зв'язку алелопатичних досліджень із прикладними розробками. Це коло тем ми плануємо розглянути в окремій роботі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Aleksandrov, V. Y., 1985.** Reaktivnost kletok i belki [Cell reactivity and proteins]. Nauka, Leningrad (in Russian).
- Allelopathy:** a physiological process with ecological implications, 2006. Edited by M. J. R. Reigosa, N. Pedrol and L. González. Springer, Dordrecht (Netherlands). 635 p.
- Allen, M. F., 1996.** The ecology of arbuscular mycorrhizas: a look back into the 20th century and a peek into the 21st. *Mycological Research*. 100, 769–782.
- Allen, M. F., 2007.** Mycorrhizal fungi: highways for water and nutrients in arid soils. *Vadose Zone Journal*. 6, 291–297.
- Bains, G., Kumar, A. S., Rudrappa, T., Alff, E., Hanson, T. E., Bais, T. E., 2009.** Native plant and microbial contributions to a negative plant-plant interaction. *Plant Physiology*. 151, 2145–2151.
- Barto, E. K., Cipollini, D., 2009.** Half-lives and field-soil concentrations of *Alliaria petiolata* secondary metabolites. *Chemosphere*. 76, 71–75.
- Barto, E. K., Hilker, M., Müller, F., Mohny, B. K., Weidenhamer, J. D., Rillig, M. C., 2011.** The fungal fast lane: Common mycorrhizal networks extend bioactive zones of allelochemicals in soils. *PLoS ONE*. 6(11). Article No: e27195.
- Begon, M., Harper, J. L., Townsend, C. R., 1986.** *Ekologiya: Osobi, populatsii i soobshchestva* [Ecology: Individuals, Populations and Communities]. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 876 p (in Russian).
- Belz, R. G., Hurle, K., Duke, S. O., 2005.** Dose-response – a challenge for allelopathy? *Nonlinearity in Biology, Toxicology, and Medicine*. 3, 173–211.
- Bertin, C., Harmon, R., Akaogi, M., Weidenhamer, J. D., Weston, L. A., 2009.** Assessment of the phytotoxic potential of myrosin in laboratory soil bioassays. *Journal of Chemical Ecology*. 35, 1288–1294.
- Bertin, C., Yang, X. H., Weston, L. A., 2003.** The role of root exudates and allelochemicals in the rhizosphere. *Plant and Soil*. 256, 67–83.
- Blair, A. C., Nissen, S. J., Brunk, G. R., Hufbauer, R. A., 2006.** A lack of evidence for an ecological role of the putative allelochemical (+/–)-catechin in spotted knapweed invasion success. *Journal of Chemical Ecology*. 32, 2327–2331.
- Blair, A. C., Hanson, B. D., Brunk, G. R., Marrs, R. A., Westra, P., Nissen, S. J., Hufbauer, R. A., 2005.** New techniques and findings in the study of a candidate allelochemical implicated in invasion success. *Ecology Letters*. 8, 1039–1047.
- Brain, P., Cousens, R., 1989.** An equation to describe dose responses where there is stimulation of growth at low doses. *Weed Research*. 29, 93–96.
- Calabrese, E. J., Baldwin, L. A., 2003.** Hormesis at the National Toxicology Program (NTP): Evidence of hormetic dose responses in NTP dose-range studies. *Nonlinearity in Biology, Toxicology, and Medicine*. 1(4), 455–467.
- Calabrese, E. J., Blain, R., 2005.** The occurrence of hormetic dose responses in the toxicological literature, the hormesis database: an overview. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 202, 289–301.
- Callaway, R. M., Cipollini, D., Barto, K., Thelen, G. C., Hallett, S. G., Prati, D., Stinson, K., Klironomos, J., 2008.** Novel weapons: invasive plant suppresses fungal mutualists in America but not in its native Europe. *Ecology*. 89(4), 1043–1055.
- Callaway, R. M., Ridenour, W. M., 2004.** Novel weapon invasive success and the evolution of increased competitive ability. *Frontiers of Ecology and the Environment*. 2, 436–443.
- Cedergreen, N., Ritz, C., Streibig, J. C., 2005.** Improved empirical models describing hormesis. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 24(12), 3166–3172.
- Cedergreen, N., Streibig, J. C., Per, Kudsk, Mathiassen, S. K., Duke, S. O., 2007.** The

occurrence of hormesis in plants and algae. *Dose Response*. 5, 150–162.

Chobot, V., Huber, C., Trettenhahn, G., Hadacek, F., 2009. (±)-Catechin: Chemical Weapon, Antioxidant, or Stress Regulator? *Journal of Chemical Ecology*. 35, 980–996.

Connell, J. K., 1990. Apparent versus ‘real’ competition in plants. Perspectives on plant competition. Edited by J. Grace and D. Tilman. Academic Press, San Diego, CA. 9–26.

Duke, S. O., Blair, A. C., Dayan, F. E., Johnson, R. D., Meepagala, K. M., Cook, D., Bajsa, J., 2009. Is (-)-catechin a novel weapon of spotted knapweed (*Centaurea stoebe*)? *Journal of Chemical Ecology*. 35(2), 141–153.

Duke, S. O., Cedegreen, N., Velini, E. D., Belz, R. G., 2006. Hormesis: Is it an important factor in herbicide use and allelopathy? *Outlooks on Pest Management*. 17, 29–33.

Finney, D. J., 1978. Statistical method of biological assay. Charles Griffin, London.

Gimsing, A. L., Baelum, J., Dayan, F. E., Locke, M. A., Sejerø, L. H., Jacobsen, C. S., 2009. Mineralization of the allelochemical sorgoleone in soil. *Chemosphere*. 76(8), 1041–1047.

Giovannetti, M., Azzolini, D., Citernes, A. S., 1999. Anastomosis formation and nuclear and protoplasmic exchange in arbuscular mycorrhizal fungi. *Applied and Environmental Microbiology*. 65, 5571–5575.

Giovannetti, M., Sbrana, C., Avio, L., Strani, P., 2004. Patterns of below-ground plant interconnections established by means of arbuscular mycorrhizal networks. *New Phytologist*. 164, 175–181.

Gniazdowska, A., Bogatek, R., 2005. Allelopathic interactions between plants. Multi site action of allelochemicals. *Acta Physiologiae Plantarum*. 27(3B), 395–407.

Grodzinsky, A. M., 1973. Osnovy khimichnoi vzaemodii roslin [Fundamentals of Chemical Interaction between Plants]. Naukova Dumka, Kyiv (in Ukrainian).

Gyuricza, V., Thiry, Y., Wannijn, J., Declerck, S., de Boulois, H. D., 2010. Radiocesium transfer between *Medicago truncatula* plants via a common mycorrhizal network. *Environmental Microbiology*. 12, 2180–2189.

Harper, J. L., 1961. Approaches to the study of plant competition. Mechanisms in Biological Competition, Symp. Soc. Exp. Biology. Edited by F. L. Milthorpe. Cambridge University Press, London. 15, 1–39.

Harper, J. L., 1964. The nature and consequence of interference among plants. Proceedings 11th International Conference of Genetics. 465–481.

Harper, J. L., 1977. Population Biology of Plants. Academic Press, New York. 892 p.

He, W. M., Feng, Y. M., Ridenour, W. M., Thelen, G. C., Pollock, J. L., Diaconu, A., Callaway, R. M., 2009. Novel weapons and invasion: biogeographic differences in the competitive effects of *Centaurea maculosa* and its root exudate (+/-)-catechin. *Oecologia*. 159(4), 803–815.

Hillel, D., 1998. Environmental soil physics. Academic Press, London. 771 p.

Hnatyuk, N. O., 2012. Alelopatichni vlastyvoli aromatychnykh roslin vydiv *Monarda didyma* L., *Dracocephalum moldavicum* L., *Hyssopus officinalis* L. [Allelopathic properties of the aromatic plants of *Monarda didyma* L., *Dracocephalum moldavicum* L., *Hyssopus officinalis* L.]. The dissertation abstract on competition of a scientific degree of cand. biol. sci.: speciality: 03.00.16 Ecology. Kyiv (in Ukrainian).

Inderjit, Seastedt, T. R., Callaway, R. M., Pollock, J. L., Kaur, J., 2008. Allelopathy and plant invasions: traditional, congeneric and biogeographical approaches. *Biological Invasions*. 10, 875–890.

Inderjit, Streibig, J. C., Olofsdotter, M., 2002. Joint action of phenolic acid mixtures and its significance in allelopathy research. *Physiologia Plantarum*. 114(3), 422–428.

Ivanytska, B. O., 2012. Autekologichni osoblyvosti rozvytku roslin vydiv rodyny *Araceae* Juss. ex situ [Autecological properties of development of plants, belonging to *Araceae* Juss. ex situ]. The dissertation abstract on competition of a scientific degree of cand. biol. sci.: speciality: 03.00.16 Ecology. Kyiv (in Ukrainian).

Jaggard, K. W., Qi, A., Ober, E. S., 2010. Possible changes to arable crop yields by 2050. *Philosophical Transactions of the Royal Society. Series B: Biological Sciences*. 365, 2835–2851.

Joanisse, G. D., Bradley, R. L., Preston, C. M., Bending, G. D., 2009. Sequestration of soil nitrogen as tannin-protein complexes may improve the competitive ability of sheep laurel (*Kalmia angustifolia*) relative to black spruce (*Picea mariana*). *New Phytologist*. 181(1), 187–198.

Jonsson, P. R., Pavia, H., Toth, G., 2009. Formation of harmful algal blooms cannot be explained by allelopathic interactions. Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A. 106(27), 11177–11182.

Kabat, T. J., Stewart, G., Pullin, A. S., 2006. Are Japanese knotweed (*Fallopia japonica*) control and eradication interventions effective?: Systematic Review No. 21. Centre

for Evidence-Based Conservation, Birmingham, UK.

Kato-Noguchi, H., Ino, T., Sata, N., Yamamura, S., 2002. Isolation and identification of a potent allelopathic substance in rice root exudates. *Physiologia Plantarum*. 115(3), 401–405.

Kato-Noguchi, H., Seki, T., 2010. Allelopathy of the moss *Rhynchostegium pallidifolium* and 3-hydroxy- β -ionone. *Plant Signaling and Behavior*. 5(6), 702–704.

Kaur, H., Kaur, R., Kaur, S., Baldwin, I. T., Inderjit, 2009. Taking ecological function seriously: Soil microbial communities can obviate allelopathic effects of released metabolites. *PLoS ONE*. 4(3). Article No: e4700.

Kirpenko, N. I., 2011. Mekhanizmy biotychnoho vzaemovplyvu prysnovodnykh mikrovdorostei [Mechanisms of biotic cross-influence between freshwater algae]. The dissertation abstract on competition of a scientific degree of doc. biol. sci.: speciality: 03.00.17 Hydrology. Kyiv (in Ukrainian).

Liu, D. L., An, M., Johnson, I. R., Lovett, J. V., 2005. Mathematical modelling of allelopathy: IV. Assessment of contributions of competition and allelopathy to interference by barley. *Nonlinearity in Biology, Toxicology, and Medicine*. 3, 213–224.

Liu, Y., Chen, X., Duan, S., Feng, Y., An, M., 2011. Mathematical modeling of plant allelopathic hormesis based on ecological-limiting-factor models. *Dose Response*. 9, 117–129.

Malinowski, D. P., Belesky, D. P., 2000. Adaptations of endophyte-infected cool-season grasses to environmental stresses mechanisms of drought and mineral stress tolerance. *Crop Science*. 40, 923–940.

Mitchell, C. E., Power, A. G., 2003. Release of invasive plants from fungal and viral pathogens. *Nature*. 421, 625–627.

Molisch, H., 1937. Der Einfluss einer Pflanze auf die andere. Allelopathie. Jena.

Muller, C. H., 1970. Phytotoxins as plant habitats variables. *Recent Advances in Phytochemistry*. 3, 106–121.

Murrell, C., Gerber, E., Krebs, C., Parepa, M., Schaffner, U., Bossdorf, O., 2011. Invasive knotweed affects native plants through allelopathy. *American Journal of Botany*. 98(1), 38–43.

Musgrave, M. E., 1994. Cytokinins and oxidative processes. *Cytokinins: Chemistry, activity, and function*. Edited by D. W. S. Mok and M. C. Mok. CRC Press, Inc., Boca Raton, FL. 167–178.

Nilsen, E. T., 2002. Ecological relevance of allelopathy: some considerations related to Mediterranean, subtropical, temperate, and boreal forest shrubs. *Chemical ecology of plants: allelopathy in aquatic and terrestrial ecosystems*. Edited by Inderjit, A. U. Mallik. Birkhäuser Verlag, Switzerland. 109–129.

Nilsson, M.-C., 1994. Separation of allelopathy and resource competition by the dwarf shrub *Empetrum hermaphroditum* Hagerup. *Oecologia*. 98, 1–7.

Norton, A. P., Blair, A. C., Hardin, J. G., Nissen, S. J., Brunk, G. R., 2008. Herbivory and novel weapons: no evidence for enhanced competitive ability or allelopathy induction of *Centaurea diffusa* by biological controls. *Biological Invasions*. 10, 79–88.

Ostroumov, S. A., 1986. Vvedenie v biokhimeskuiu ekologiyu [Introduction in Biochemical Ecology]. Publishing House MSU, Moscow (in Russian).

Pal, R., Basu, D., Banerjee, M., 2009. Modelling of phytoplankton allelopathy with Monod-Haldane-type functional response – a mathematical study. *Biosystems*. 95(3), 243–253.

Perry, L. G., Johnson, C., Alford, E. R., Vivanco, J. M., Pasche, M. W., 2005. Screening of grassland plants for restoration after spotted knapweed invasion. *Restoration Ecology*. 13, 725–735.

Perry, L. G., Thelen, G. C., Ridenour, W. M., Callaway, R. M., Pasche, M. W., Vivanco, J. M., 2007. Concentrations of the allelochemical (+/-)-catechin in *Centaurea maculosa* soils. *Journal of Chemical Ecology*. 33, 2337–2344.

Petrova, S. A., Kolodyazhny, M. V., Ksenzhek, O. S., 1990. Electrochemical properties of some naturally-occurring quinones. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 277, 189–196.

Polishchuk, L. K., 1967. Patolohichna fiziologhiia roslin z osnovamy imunitetu [Plant Pathological Physiology with the Bases of Immunity]. Kyiv University, Kyiv (in Ukrainian).

Pollock, J. L., Callaway, R. M., Thelen, G. C., Holben, W. E., 2007. Catechin-metal interactions as a mechanism for conditional allelopathy by the invasive plant. *Journal of Chemical Ecology*. 97, 1234–1242.

Prithiviraj, B., Perry, L. G., Badri, D. V., Vivanco, J. M., 2007. Chemical facilitation and induced pathogen resistance mediated by a root-secreted phytotoxin. *New Phytologist*. 173, 852–860.

Querejeta, J. I., 2003. Direct nocturnal water transfer from oaks to their mycorrhizal

symbionts during severe soil drying. *Oecologia*. 134, 55–64.

Quintana, N., Weir, T. L., Du, J., Broeckling, C. D., Rieder, J. P., Stermitz, F. R., Paschke, M. W., Vivanco, J. M., 2008. Phytotoxic polyacetylenes from roots of Russian knapweed (*Acroptilon repens* (L.) DC.). *Phytochemistry*. 69(14), 2572–2578.

Radioza, S. A., 2008. Ahroekolohichni ta alelopatychni vlastyvoli roslin rodu *Calendula* L. [Agroecological and allelopathic properties of plants of *Calendula* L. genus]. The dissertation abstract on competition of a scientific degree of cand. biol. sci.: speciality: 03.00.16 Ecology. Kyiv (in Ukrainian).

Rice, E. L., 1974. Allelopathy. Academic Press, New York-San Francisco-London. 353 p.

Ridenour, W. M., Callaway, R. M., 2001. The relative importance of allelopathy in interference: the effects of an invasive weed on a native bunchgrass. *Oecologia*. 126, 444–450.

Ridenour, W. M., Vivanco, J. M., Feng, Y. L., Horiuchi, J., Callaway, R. M., 2008. No evidence for trade-offs: *Centaurea* plants from America are better competitors and defenders. *Ecological Monographs*. 78, 369–386.

Roy, S., 2009. The coevolution of two phytoplankton species on a single resource: allelopathy as a pseudo-mixotrophy. *Theoretical Population Biology*. 75(1), 68–75.

Rudrappa, T., Bonsall, J., Gallagher, J. L., Seliskar, D. M., Bais, H. P., 2007. Root-secreted allelochemical in the noxious weed *Phragmites australis* deploys a reactive oxygen species response and microtubule assembly disruption to execute rhizotoxicity. *Journal of Chemical Ecology*. 33(10), 1898–1918.

Rudrappa, T., Choi, Y. S., Levia, D. F., Legates, D. R., Lee, K. H., Bais, H. P., 2009. *Phragmites australis* root secreted phytotoxin undergoes photo-degradation to execute severe phytotoxicity. *Plant Signaling and Behavior*. 4(6), 506–513.

Scharfy, D., Funk, A., Venterink, H. O., Güsewell, S., 2011. Invasive forbs differ functionally from native graminoids, but are similar to native forbs. *New Phytologist*. 189(3), 818–828.

Schmidt, S. K., Ley, R. E., 1999. Microbial competition and soil structure limit the expression of allelopathy. *Principles and Practices in Plant Ecology: Allelochemical Interactions*. Edited by Inderjit, D.M.M.Dakshini and C.L.Foy. CRC Press, Boca Raton, FL. 339–351.

Shiming, L., 2005. Allelopathy in South China agroecosystems. *Proceedings and Selected Papers of the 4th World Congress on Allelopathy "Establishing the Scientific Base"*.

Simard, S. W., Durall, D. M., 2004. Mycorrhizal networks: a review of their extent, function, and importance. *Canadian Journal of Botany=Revue Canadienne de Botanique*. 82, 1140–1165.

Smirnoff, N., 1995. Antioxidant systems and plant response to the environment. BIOS Scientific Publishers, Oxford, UK.

Song, Y. Y., Zeng, R. S., Xu, J. F., Li, J., Shen, X., 2010. Interplant communication of tomato plants through underground common mycorrhizal networks. *PLoS ONE*. 5. Article No: e13324.

Stamp, N., 2003. Out of the quagmire of plant defense hypotheses. *The Quarterly Review of Biology*. 78(1), 23–55.

Stinson, K. A., Campbell, S. A., Powell, J. R., Wolfe, B. E., Callaway, R. M., Thelen, G. C., Hallett, S. G., Prati, D., Klironomos, J. N., 2006. Invasive plant suppresses the growth of native tree seedlings by disrupting belowground mutualisms. *PLoS Biology*. 4(5). Article No: e140.

Stinson, K. A., Campbell, S. A., Powell, J. R., Wolfe, B. E., Callaway, R. M., 2006. Invasive plant suppresses the growth of native tree seedlings by disrupting belowground mutualisms. *PLoS Biology*. 4, 0727–0731.

Streibig, J. C., 1988. Herbicide bioassay. *Weed Research*. 28, 479–484.

Tate, R. L., 1995. Soil Microbiology. John Wiley & Sons, Inc, New York. 398 p.

Tharayil, N., 2009. To survive or to slay. *Plant Signaling and Behavior*. 4(7), 580–583.

Tharayil, N., Bhowmik, P. C., Alpert, P., Walker, E., Amarasingiwardena, D., Xing, B., 2008b. Dual purpose secondary compounds: Phytotoxins of *Centaurea diffusa* also facilitates nutrient uptake. *New Phytologist*. 181, 424–434.

Tharayil, N., Bhowmik, P. C., Xing, B., 2008a. Bioavailability of allelochemicals as affected by companion compounds in soil matrices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56, 3706–3713.

Thijs, H., Shann, J. R., Weidenhamer, J. D., 1994. The effect of phytotoxins on competitive outcome in a model system. *Ecology*. 75, 1959–1964.

Triebwasser, D., Tharayil, N., Callaway, R. M., 2009. Diurnal rhythm of catechin exudation by an invasive plant – spotted knapweed (*Centaurea maculosa*). *Weed Science Society of America Meeting*.

Viard-Crétat, F., Gallet, C., Lefebvre, M., Lavorel, S., 2009. A leachate a day keeps the seedlings away: mowing and the inhibitory effects of *Festuca paniculata* in subalpine grasslands. *Annals of Botany*. 103, 1271–1278.

- Vivanco, J. M., Bais, H. P., Stermitz, F. R., Thelen, G. C., Callaway, R. M., 2004.** Biogeographical variation in community response to root allelochemistry: novel weapons and exotic invasion. *Ecology Letters*. 7, 285–292.
- Vogelsang, K. M., Bever, J. D., Griswold, M., Schultz, P. A., 2004.** The use of mycorrhizal fungi in erosion control applications: Final Report for Caltrans. California Department of Transportation, Sacramento (California). 150 p.
- Weidenhamer, J. D., 1996.** Distinguishing resource competition and chemical interference: overcoming the methodological impasse. *Agronomy Journal*. 88, 866–875.
- Weidenhamer, J. D., Hartnett, D. C., Romeo, J., 1989.** T. Density-dependent phytotoxicity: distinguishing resource competition and allelopathic interference in plants. *Journal of Applied Ecology*. 26, 613–624.
- Weston, L. A., Duke, S. O., 2003.** Weed and crop allelopathy. *Critical Review in Plant Science*. 22, 367–389.
- Whittaker, R. H., Feeny, P. P., 1971.** Allelochemicals: chemical interaction between species. *Science*. 171(3973), 757–770.
- Williamson, G. B., 1990.** Allelopathy, Koch's postulates, and the neck riddle. Perspectives on plant competition. Edited by J. Grace and D. Tilman. Academic Press, San Diego, CA. 143–162.
- Winter, A. G., 1960.** Allelopathie als Stoffwanderung und Stoffumwandlung. *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft*. 73(9).
- Wolfe, B. E., Rodgers, V. L., Stinson, K. A., Pringle, A., 2008.** The invasive plant *Alliaria petiolata* (garlic mustard) inhibits ectomycorrhizal fungi in its introduced range. *Journal of Ecology*. 96, 777–783.
- Yang, G. Q., Wan, F. H., Liu, W. X., Guo, J. Y., 2008.** Influence of two allelochemicals from *Ageratina adenophora* (Spreng.) on ABA, IAA and ZR content in roots of upland rice seedlings. *Allelopathy Journal*. 253–262.
- Yang, G. Q., Wan, F. H., Liu, W. X., Zhang, X. W., 2006.** Physiological effects of allelochemicals from leachates of *Ageratina adenophora* (Spreng.) on rice seedlings. *Allelopathy Journal*. 18, 237–245.
- Yefremova, H. V., 2007.** Vplyv pidsivannia trav na produktyvnist luchnykh ugid u pivnichnomu Lisostepu Ukrainy [Influence of the legume grasses oversowing on the grassland productivity in the North of the Forest-Steppe zone of Ukraine]. The dissertation abstract on competition of a scientific degree of cand. agricult. sci.: speciality: 06.01.12 Forage production and grasscropping. Kyiv (in Ukrainian).
- Zelikman, E. A., 1977.** Netroficheskie rehuliruyemye vzaimootnosheniya u morskikh bespozvonognykh [Non-trophic regulatory interrelations between marine invertebrates]. *Ocean Biology (Oceanology)*. Nauka, Moscow. 2, 23–33 (in Russian).
- Zentmyer, G. A., 1944.** Inhibition of metal catalysis as a fungistatic mechanism. *Science*. 100, 294–295.
- Zhang, Z. Y., Pan, L. P., Li, H. H., 2010.** Isolation, identification and characterization of soil microbes which degrade phenolic allelochemicals. *Journal of Applied Microbiology*. 108(5), 1839–1849.
- Zhu, X., Zhang, J., Ma, K., 2011.** Soil biota reduce allelopathic effects of the invasive *Eupatorium adenophorum*. *PLoS ONE*. 6(9). Article No: e25393.

Стаття надійшла в редакцію: 27.11.2013

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

DISCUSSIONS



I. V. Gryb 

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

UDK 574.56(28)

*Institute of Hydrobiology of NAS of Ukraine,
Heroiv Stalinhrada Avenue, 12, 04210, Kyiv, Ukraine*

THE CONCEPT OF LOCAL EXPLOSION IN FRESHWATER ECOSYSTEMS

Abstract. The concept of an explosion in freshwater ecosystems as a result of the release of accumulated energy, accompanied by the destruction of the steady climax successions of hydrocenoses is presented. The typification of local explosions as well as methods for assessing their risk during the development of river basins are shown.

The change in atmospheric circulation, impaired phases of the hydrological regime of rivers, increasing the average temperature of the planet, including in Polesie to 0,6 °C, deforestation leads to concentration and release of huge amounts of unmanaged terrestrial energy, which manifests itself in the form of disasters and emergencies.

Hydroecological explosion is formed as a result of multifactorial external influence (natural and anthropogenic) on the water body in a certain period of time. Moreover, its level at wastewater discharge depends on the mass of recycled impurities and behaved processing capacity of the reservoir, and the mass of dumped on biocides and the possibility of the water flow to their dilution and to the utilization of non-toxic concentrations.

In all these cases the preservation of "centers of life" in the tributaries of the first order – local fish reproduction areas contributed to ecosystem recovery, and the entire ecosystem has evolved from equilibrium to non-equilibrium with further restructuring after the explosion and environmental transition to a new trophic level. It means that hydroecological explosion can be researched as the logical course of development of living matter in abiotic environmental conditions, ending abruptly with the formation of new species composition cenoses and new bio-productivity.

The buffer capacity of the water environment is reduced due to re-development and anthropic transformation of geobiocenoses of river basins, which leads to a weakening of life resistance. This applies particularly to the southern industrial regions of Ukraine, located in the arid zone that is even more relevant in the context of increased average temperature due to the greenhouse effect, as well as to Polesie (Western, Central and Chernihiv), had been exposed to large-scale drainage of 60-80th years, which contributed to the degradation of peatlands and fitostroma.

Imposing the western trace of emissions from the Chernobyl accident to these areas had created the conditions of prolonged hydroecological explosion in an intense process of aging water bodies, especially lakes, change in species composition of fish fauna and the occurrence of neoplasms at the organismal level.

Under these conditions, for the existence of man and the environment the vitaukta should be strengthened, i.e. buffer resistance and capacitance the aquatic environment, bioefficiency on the one hand and balanced using the energy deposited - on the other. This will restore the functioning of ecosystems "channel-floodplain", "riverbed-lake", reducing the energy load on the aquatic environment.

Hydroecological explosions of natural origin can not be considered a pathology – it is a jump process of natural selection of species of biota. Another thing, if they are of anthropogenic origin and if the magnitude of such an impact is on the power of geological factors.

 Tel.: +38044-419-39-81. E-mail: timchenkovm@gmail.com

DOI: 10.15421/031413

Hydroecological explosions can be regarded as a manifestation of environmental wars that consciously or unconsciously, human society is waging against themselves and their kind in the river basins, so prevention of entropy increase in the aquatic environment and the prevention of hydroecological explosions is a matter of human survival. While the man - is not the final link in the development of living matter, it can develop without him, as matter is eternal, and the forms of its existence are different.

Keywords: *hydroecological explosion, water environment, succession.*

УДК 574.56(28)

Й. В. Гриб

д-р біол. наук, стар. наук. співр.

*Інститут гідробіології НАН України,
просп. Героїв Сталінграду, 12, 04210, м. Київ, Україна,
тел.: +38044-419-39-81, e-mail: timchenkovm@gmail.com*

КОНЦЕПЦІЯ ЛОКАЛЬНОГО ВИБУХУ В ПРІСНОВОДНИХ ЕКОСИСТЕМАХ

Розглянуто концепцію вибуху в прісноводних екосистемах як результат звільнення накопиченої енергії, що супроводжується руйнуванням сталих клімаксових сукцесій гідроценозів. Наведено типізацію локальних вибухів, а також методи оцінки ризику їх виникнення при освоєнні річкових басейнів.

Гідроекологічний вибух формується як результат багатофакторного зовнішнього впливу (природного і антропогенного) на водний об'єкт в певний відрізок часу.

Гідроекологічні вибухи можна розглядати як прояв екологічних війн, які свідомо чи несвідомо людське суспільство веде проти себе і собі подібних в річкових басейнах, тому попередження зростання ентропії у водному середовищі і попередження гідроекологічних вибухів є питанням виживання людини. При цьому людина – не кінцева ланка у розвитку живої матерії, вона може розвиватися і без нього, так як матерія вічна, а форми її існування різні.

Ключові слова: *гідроекологічний вибух, водне середовище, сукцесії.*

УДК 574.56(28)

И. В. Гриб

д-р биол. наук, стар. науч. сотр.

*Институт гидробиологии НАН Украины,
просп. Героев Сталинграда, 12, 04210, г. Киев, Украина,
тел.: +38044-419-39-81, e-mail: timchenkovm@gmail.com*

КОНЦЕПЦИЯ ЛОКАЛЬНОГО ВЗРЫВА В ПРЕСНОВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

Рассмотрена концепция взрыва в пресноводных экосистемах как результат освобождения накопившейся энергии, сопровождающийся разрушением установившихся климаксовых сукцессий гидроценозов. Приведена типизация локальных взрывов, а также методы оценки риска их возникновения при освоении речных бассейнов.

Гидроэкологический взрыв формируется как результат многофакторного внешнего воздействия (природного и антропогенного) на водный объект в определенный отрезок времени.

Гидроэкологические взрывы можно рассматривать как проявление экологических войн, которые осознанно или неосознанно человеческое общество ведет против себя и себе подобных в речных бассейнах, поэтому предупреждение возрастания энтропии в водной среде и предупреждение гидроэкологических взрывов является вопросом выживания человека. При этом человек – не конечное звено в развитии живой материи, она может развиваться и без него, так как материя вечна, а формы ее существования различны.

Ключевые слова: *гидроэкологический взрыв, водная среда, сукцессии.*

ВВЕДЕНИЕ

Изменение атмосферных циркуляций, нарушение фаз гидрологического режима рек, повышение среднегодовой температуры планеты, в т.ч. на Полесье на 0,6 °С, вырубка лесов приводят к концентрации и освобождению огромного количества

неуправляемой земной энергии, которая проявляется в виде катастроф и чрезвычайных ситуаций.

За прошедшие десятилетия мы были свидетелями значительного числа катастроф природного и антропогенного происхождения – засухи (1999, 2000, 2004 гг.) и наводнения, нетипичное половодье в Закарпатье, смерчи (над Хренниковским водохранилищем, 1974 г. и бассейном р. Недра, 1997 г.), авария на ЧАЭС, массовая гибель рыб от дефицита кислорода на Кременчугском водохранилище и ранее в р. Горынь (1969), р. Стырь (1974), р. Оскол (1979). Если на планете в течение 1993 г. произошло около 900 нештатных ситуаций, то к концу второго тысячелетия их количество возросло почти в 3 раза. На этот процесс накладываются фоновые антропогенные загрязнения, экологические просчеты при крупном гидротехническом и масштабном мелиоративном строительстве.

Никем еще не оценен ущерб, нанесенный аборигенной ихтиофауне постоянным влиянием примесей от деструкции осушенных торфяников и вымывания минеральных удобрений, влияния недостаточно очищенных коммунальных стоков (эффективность очистки от примесей 50,0–70,0 %), а также рассеянных источников загрязнения от животноводческих комплексов. Сегодня все крупные населенные пункты, животноводческие фермы, летние пастбища, осушительные мелиоративные системы, свеклоперерабатывающие сахарные заводы – это зоны экологического риска для водной среды, для населения (опасность распространения инфекционных и инвазионных заболеваний), а также угроза всему живому в речных (водных) экосистемах.

В связи с угрозой биосфере необходима разработка концепции взрыва в пресноводных экосистемах и хозяйственной политики в речных и озерных бассейнах.

СУЩНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ

Жизнедеятельность гидробионтов в водных экосистемах тесно связана с подведением энергии извне – от солнечной инсоляции, поступления тепла с речным (подземным) стоком, энергетических дотаций (С, N, P) с поверхности водосбора, а также интенсивностью ее рассеивания путем фотосинтеза и фотоокисления, деструкции, потребления консументами, выноса осадконакопления, расходом на поддержание уровня жизнеобеспечения, в первую очередь, насыщения воды растворенным кислородом, реакции среды, дотациями биоцидов и т.п. (Bauer, 1935; Odum, 1975; Vernadskij, 1977, 1978; Emelianov, 1984; Bykovskij, 1988; Grib et al., 1993; Gryb, 2001, 2002; Romanenko et al., 2003; Romanenko and Gryb, 2004).

Избыточное накопление энергии в водной среде вследствие нарушения продукционно-деструкционных процессов ведет к возникновению кризисных ситуаций, превышению перерабатывающей способности водной среды, гибели чувствительных к качеству воды гидробионтов (рыб-реофилов, водных растений, моллюсков), формированию новой сукцессии гидробионтов, более толерантных к новым условиям.

Для оценки состояния экосистемы разработан и используется ряд обобщающих показателей, формализующих его на данный отрезок времени – индекс Шредингера (отношение интенсивности дыхания R к интенсивности фотосинтеза), индекс экологического качества воды Jэ (как среднее значение индексов солевого фона Ja, трофосапробиологических характеристик Jв и токсикологических характеристик Jс), индекс видового разнообразия Симпсона и ряд других (Razvitie sovremennoj fiziki, 1964; Emelianov, 1984; Metodyka ekolohichnoi otsinky, 1998; Gryb, 2002; Metodika otsenki..., 2004). Предложена формула для расчета риска перехода состояния водной экосистемы от одного класса к другому (по качеству воды) или ухудшения потребительских характеристик (Metodika otsenki, 2004). Функциональной временной характеристикой состояния экосистемы в первом приближении является биохимическое потребление кислорода (БСК₅, БСК₂₀), насыщение водной среды

растворенным кислородом. Однако, в целом, концепция взрыва в водных экосистемах, переход их на новый трофический уровень достаточно не исследована.

Энциклопедическое трактование взрыва – это мгновенное освобождение находящейся в определенном объеме концентрированной в веществе энергии, сопровождающееся тепловым, весовым, звуковым, объемным эффектом и разрушением находящихся в его зоне материальных (физических, биологических) объектов. Здесь постоянными критериями, как в физическом теле, являются температура и давление. Остальные характеристики – масса вещества, носитель и др. – переменные.

Живая (биокожная) водная среда в отличие от физической имеет коренные отличия. Ими являются: а) иные временные характеристики (в косном веществе время геологическое, в живом – историческое – скорость добегания, фотопериоды и фитоциклы обновления вида, трофические уровни); б) постоянный перенос значительных масс вещества и энергии через экологические коридоры среды, их биологическое концентрирование в местах стагнации; в) депонирование тепла при фотосинтезе первичного органического вещества (цветение, эвтрофикация, отложение илов, заболачивание); г) специфическое восприятие биотой перепадов температур (тепловой шок), что вызывает гибель некоторых гидробионтов и дает возможность развиваться некоторым видам при граничных температурах (0 °C или более чем +28 °C), пространственно-временные свойства воды – изменение плотности, лед; д) гидравлическая составляющая (фазы гидрологических циклов, влияние гидравлического удара, скорость течения) являются временными метками развития экосистемы или ее гибели; е) точечное влияние – наличие в живых организмах чувствительных систем или органов, воспринимающих «точечные» удары биоцидов, тепла, радиации, вызывающих гибель видов.

До настоящего времени не изучен еще достаточно при биологическом взрыве процесс витаукта – способность живого вещества сохранять высокий уровень адаптации к изменяющимся условиям среды и жизнедеятельность ценозов речного континуума, репродукционные характеристики. Т.е. выживание ценозов тесно связано как с интенсивностью повреждающих факторов, так и мощностью систем реабилитации.

Система реабилитации и восстановления является более ранней, возникшей еще в онтогенезе живого вещества. В ее основу заложена генетическая информация репарации нарушенной ДНК, процесса детоксикации примесей, антигипоксическая система, многоядерность клеток, появление гигантских митохондрий, активация ряда ферментов. Количественными характеристиками витаукта водной среды можно назвать перерабатывающую способность, поглотительную способность биоты, определяемую приемной емкостью, биохимическое потребление кислорода, разбавление, содержание растворенного кислорода, качество воды в створе смешения, видовое разнообразие, биопродуктивность.

Вместе с тем, в совокупности факторов, восстанавливающих равновесие, нарушенное абиотическим или антропогенным воздействием, водная экосистема – это кибернетическая самовосстанавливающаяся система, стремящаяся вернуться в свое исходное состояние. Подтверждением этому является многообразие сукцессий гидробионтов по профилю реки, изменяющееся от сингенетических условий до климатических и локально-катастрофических, вплоть до полной стерилизации водной среды от ихтиофауны (например, под воздействием гликозида сапонина, поступающего со сточными водами сахарных заводов, или суммарного воздействия ксенобиотиков и неблагоприятных условий среды ($R_n + Me^{2+} + 3c_p + pH + pK + t^o + q$)), и в то же время их восстановление через определенные промежутки времени.

Таким образом, взрыв в гидроэкосистеме можно определить как освобождение накопившейся в водной среде избыточной энергии, превышающей емкость среды, сопровождающееся разрушением установившихся климатических сукцессий

гидробионтов, трансформацией косного вещества (воды), резким повышением значений лимитирующих жизнедеятельность биоты одной или нескольких характеристик, гибелью чувствительных видов. Этот процесс лежит в основе эволюции живого вещества, переходов одних видов в другие (Bauer, 1935; Emelianov, 1984; Grib et al., 1993; Romanenko and Gryb, 2004).

В микроэкосистеме на видовом и клеточном уровне – это деградация и гибель чувствительных к примесям (радиационное облучение, ксенобиотики) видов с выживанием более приспособленных и их монотипизацией.

Проявления взрыва в гидрозкосистемах подчиняются следующим положениям:

а) согласно второму закону термодинамики в закрытых живых системах, обменивающихся с окружающей средой лишь энергией, правомерен закон возрастания энтропии (S) (цветение воды в застойных зонах);

б) в открытых проточных системах нарушение гомеостаза или отдельных физически значимых параметров вследствие внешних воздействий (температуры, водности, газового режима) ведет к накоплению энергии и формированию взрыва, сопровождающегося переходом на новый трофический уровень;

в) высшие водные растения и илы – система отвода и депонирования поступающей энергии, проточность, теплоемкость воды являются терморегуляторами водного объекта.

Из термодинамики нам известно, что энтропия физического тела представляет собой энергетическую функцию, которая возрастает при подведении к объекту тепла, причем это возрастание тем меньше, чем выше температура и структурированность (упорядоченность) объекта.

Приращение $\Delta S = \int \Delta q / T$ Дж/кг град (в интервале от T_1 до T_2). (1)

Для сложнофункциональных экосистем водной среды нельзя обойтись определенным числом координат, т. е. необходимо учитывать и физические и биологические процессы (фотосинтез, биосинтез, эмиссия, дисперсия, адсорбция, минерализация, дегазация и т.п.), поэтому уравнение нарастания энтропии для водной среды приближенно можно составить в виде:

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 + \Delta S_4 + \Delta S_5 + \dots + \Delta S_n \text{ ккал/см}^2, \text{ кг}, \quad (2)$$

или через синтезированную биомассу ценозов

$$\Delta S^1 = \Delta B_1 + \Delta B_2 + \Delta B_3 + \Delta B_4 + \Delta B_5 + \dots + \Delta B_n \text{ ккал/см}^2, \text{ дм}^3, \text{ кг}, \quad (3)$$

где $\Delta S_1 \approx B$, расходование тепла на фотосинтез и депонирование его в первичном органическом веществе; $\Delta S_2 \approx$ расходование тепла на приращение массы гидробионтов водного континуума; $\Delta S_3 \approx$ расходование тепла на создание оптимальных температурных условий водной среды; $\Delta S_4 \approx$ депонирование тепла (детрит); $\Delta S_5 \approx$ вынос тепла с водой.

Согласно второму закону термодинамики, способность физической системы к свершению внешней работы с течением времени падает, т.е. свободная энергия с течением времени может только уменьшаться.

Если учесть свойства живого вещества, то его свободная энергия в биосфере неуклонно возрастает, потому возникает необходимость осознанного управления этим процессом для предупреждения взрыва.

В. И. Вернадский, используя законы термодинамики живого вещества, показал, что биосфера относится к классу неравновесных многофакторных систем, не подчиняющихся закону равновесия физических систем В. Гиббса (в термодинамических равновесных системах принимаются в качестве параметров только температура и давление (Vernadskij, 1978; Gryb, 2001). «Отклонение такого основного явления, каким является живое вещество в его воздействии на биосферу, от принципа Карно, – писал В. И. Вернадский, – указывает, что жизнь не укладывается в посылки, в которых энтропия установлена» (Vernadskij, 1977).

Биологическая система поддерживает свою «устойчивость неравности», «работая» против энтропии окружающей среды (Bauer, 1935).

Проявления гидроэкологических взрывов (ГЭВ) следует ожидать на границе максимальных и минимальных значений ПДК и условий среды. При этом уровень воздействия будет определяться периодом воздействия, масштабом воздействия и уровнем организации живой материи (активация, ингибирование, метаморфизация, гибель).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследований были речные экосистемы правобережных притоков р. Припять – р. Горынь и р. Стырь в период формирования кризисных ситуаций природного и антропогенного происхождения, а также русловое Хренниковское водохранилище (р. Стырь) при его повторном заполнении после многолетнего эвтрофирования в сработанном режиме.

Река Горынь (правый приток р. Припять) – длина 659 км, площадь водосбора 27700 км². Расположена на Волыно-Подольской возвышенности (до впадения р. Устье) и Полесской низменности (нижнее течение). Распаханность прилегающих территорий – 50,0 %, лесистость 18,0 %, залуженность 8,0 %. В бассейне реки расположено четыре свеклосахарных завода, одна АЭС. Кризисные ситуации с гибелью ихтиофауны возникают периодически.

Река Стырь (правый приток р. Припять) – длина 434 км, площадь водосбора – 13 000 км². Протекает по Волыно-Подольской возвышенности и ее отрогам (Волинское Полесье), нижнее течение расположено в Припятском Полесье. Распаханность – около 50,0 %, лесистость – 22,0 %, залуженность – 8,0 %. В бассейне расположено три свеклосахарных завода, одна АЭС. Кризисные ситуации с гибелью речной ихтиофауны, как и в р. Горынь, возникают периодически.

Хренниковское водохранилище расположено в верхнем течении р. Стырь, площадь – 2000 га, в бассейне расположен один свеклосахарный завод, животноводческие фермы, населенные пункты. Использование водохранилища комплексное: для выработки электроэнергии, рекреации, промыслового рыболовства, как источник водоснабжения АЭС. Кризисные ситуации антропогенного происхождения от сбросов сточных вод сахарного завода и при повторном заполнении ложа водохранилища после его вынужденного спуска в 1990 г.

Понятие риска как возможность возникновения кризисной ситуации взрыва и отклонения от регламентируемых характеристик качества среды, является величиной вероятностно-статистической [10]. Однако она может быть оценена и по фактическим данным мониторинга гидроэкологического режима.

Вероятность формирования взрыва определяли расчетом уровня экологического риска по уравнению

$$R = R_{\text{пот.ав.}} + R_{\text{сущ.}} + R_{\text{проект.}}, \quad (4)$$

где $R_{\text{пот.ав.}}$ – риск от потенциальной возможности возникновения кризисной (аварийной) ситуации природного или антропогенного происхождения.

$$R_{\text{пот.ав.}} = N_{\text{ос}} \cdot R_{\text{а}}, \quad (5)$$

где $N_{\text{ос}}$ – количество нарушений гидроэкологического режима за период наблюдений или количество неэффективно работающих очистных сооружений, удельный вес к общему количеству исследованных; $R_{\text{а}}$ – вероятность аварий на очистных сооружениях.

Пример: Из 100 наблюдений было 12 случаев превышения ПДК по примесям, следовательно $R_{\text{пот.ав.}} = 0,12 \times 100,0 = 12 \%$.

Существующий риск ($R_{\text{сущ.}}$) оценивается по эффективности работы очистных сооружений. Как правило, она составляет 75,0 %, а оставшиеся 25,0 % примесей представляют угрозу водной среде, т. е. $R_{\text{сущ.}} = 25,0 \%$.

Проектный риск связан с нестыковками в технологической цепи, например, снижение расходов воды в реке ниже минимальных 95,0 % обеспеченности, что ухудшает условия разбавления в точке смешения, тогда $R_{\text{проект.}} = 5,0 \%$.

В целом степень риска загрязнения водной среды в изучаемых правобережных притоках р. Припять при существующем уровне эксплуатации очистных сооружений соответствует: $R = 12,0 \% + 25,0 \% + 5,0 \% = 42,0 \%$.

Таким образом, при существующем уровне охраны водной среды ведение рыбного хозяйства на исследуемом участке речной сети является рискованным, и если при вышеозначенных входных параметрах добавить превышение любых компонентов экосистемы, например, поступление органических примесей массой выше перерабатывающей способности реки, то степень риска возникновения кризисных ситуаций соответственно возрастает. Возрастает также цена влияния микропримесей, которые могут нарушить нестойкое равновесие экосистемы.

В математическом анализе уровень риска изменения состояния водной экосистемы оценивается по степени нежелательности « d_i » изменения i -того типа исследуемой характеристики (C, N, P... B), или по интегральной оценке нежелательности состояния экосистемы «D», изменяемой от 0 до 1,0 (Metodika otsenki, 2004) (табл. 1).

Таблица 1

Количественная и качественная оценка степени нежелательности экологического риска

Класс качества воды	Значения показателей нежелательности « d_i » или «D»	Уровни трансформации	Градация нежелательности состояния по Харрингтону	Качественная оценка степени нежелательности экологического риска
I	$\frac{0,00 - 0,20}{0,01 - 0,03}$	1 – 3	Очень хорошо	Риск практически незначителен
II	$\frac{0,20 - 0,37}{0,03 - 0,08}$	3 – 8	Хорошо	Малозначимый риск
III	$\frac{0,37 - 0,63}{0,08 - 0,21}$	8 – 21	Удовлетворительно	Среднезначимый риск
IV	$\frac{0,63 - 0,80}{0,21 - 0,55}$	21 – 55	Плохо	Нежелательный риск
V	$\frac{0,80 - 1,00}{0,55 - 1,00}$	55 - 100	Очень плохо	Крайне нежелательный риск, коллапс чувствительных экосистем

Однако попытки математизации биологических процессов связаны с многими допущениями и не всегда соответствуют их течению (Razvitie sovremennoj fiziki, 1964).

Нами в экологических исследованиях ранее (Metodyka ekolohichnoi otsinky, 1998; Gryb, 2002) было принято определять уровень риска по значениям экологического индекса – факторного (Ja, Jв, Jс) или комплексного (Jэ), определяющих переход экосистемы в высший неблагоприятный класс, базирующийся на 50 снимаемых характеристиках. Соответственно этому приводятся значения показателей степени нежелательности «d_i», предложенные Афанасьевым С. А. и Гродзинским М. Д. и нами. Практически, на уровне первых трех классов, они отличаются на целый порядок. Это говорит о значительных допущениях в оценках, что признают и сами авторы. Кроме того, следует учитывать также явления «потенциального благополучия экосистемы», когда при малых концентрациях примесей класс качества воды даже ухудшается, однако это внешнее восприятие, т.к. система находится в фазе депонирования примесей и адаптации к ним гидробионтов.

Риск цветения воды от фотосинтеза микроводорослей при достижении температурного оптимума рассчитывали по уравнению Кларка-Свердрупа и сумме положительных температур.

Отношение стехиометрических коэффициентов C : N : P в уравнении составляет 106 : 16 : 1, т.е. для вод I класса при содержании 0,05 мг P/л для полной утилизации фосфора необходимо 0,72 мг N и 4, 77 мг C, что теоретически может дать 5,5 мг фитопланктона (фактически для таких вод биомасса фитопланктона составляет около 50,0 % теоретически возможной). Поступление значительных энергетических дотаций фосфора минерального из донных отложений позволяет утилизировать один из двух других компонентов «триады», накопить фитомассу («цветение» при 8,0–10,0 мг ФП/л и более) и представить энергетическую угрозу по течению реки. Тогда риск «цветения» составит:

$$R_{цв.} = V_{фп. факт.} / V_{фп. опт. (норм.)} \quad (6)$$

Риск возникновения аноксии и замора ихтиофауны от окисления избыточного вещества (фитомасса водно-болотной растительности, масса донных илов) и темнового фотосинтеза ВВР составит:

$$R_{анокс.} = \text{сумма } KL / M_{O_2 \text{ резервн.}} = (QKL + K^1 V) / (M_{O_2 \text{ факт.}} - M_{O_2 \text{ норм.}}) \leq 1,0,$$

где L – БПКполн. речной воды мг/ O₂ л (функция витаукта водной среды); M_{O₂} резервн. – масса растворенного кислорода, которая может быть отдана на окисление РОВ без нарушения кислородного режима (функция витаукта водной среды); M_{O₂} норм. – нормируемое минимально допустимое содержание в воде растворенного кислорода, принято 4,0 мг/ O₂ л; Q – расход речных вод, м³/сут.; или объем накопившейся в водохранилище воды, м³; K – коэффициент потребления растворенного кислорода, принят для наихудших условий на уровне 0,2; K¹ – коэффициент интенсивности потребления кислорода фитомассой в темноте, составляет 8,0 г/ O₂ м³ с; V – биомасса макрофитов, т.

Риск превышения перерабатывающей способности речного русла (ПС – функция витаукта) и превращения его в гидроканал рассчитывали по формуле:

$$\begin{aligned} PS_{опт.} &= Q_1 C_1 - Q_2 C_2 / \tau \leq Q C_i \text{ норм.}, \\ \text{при } Q_1 &= Q_2 \quad PS_{опт.} = C_1 - C_2 / \tau \leq Q C_i \text{ норм.} \end{aligned}$$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

ГЭВ формируется как результат многофакторного внешнего воздействия (природного и антропогенного) на водный объект в определенный отрезок времени. При этом его уровень при сбросе сточных вод зависит от массы поступающих перерабатываемых примесей и перерабатывающей способности водоема, а также от массы сброшенных биоцидов и возможности водотока к их разбавлению и утилизации (табл. 2, 3) до нетоксичных концентраций (< 1 : 1 000 000).

Очевидно, что в случаях со сбросом сточных вод сахарных заводов определяющим будет гемолитическое действие сапонина и невозможность связывания растворенного кислорода рыбами, их гибель. Потребление РК на окисление примесей

понижает уровень кислорода на расстоянии 300 км, что равно 10-суточному добеганию воды от створа загрязнения к створу восстановления. При этом следует учитывать затруднение реэрации из-за наличия толстого ледяного покрова.

Таблица 2

Формирование гидроэкологических взрывов в исследуемых водных макроэкосистемах

Исследуемые характеристики	Река Горынь	Хренниковское русловое водохранилище (р. Стырь) после повторного заполнения, 1998 г.	Река Стырь, авария, сброс стоков Гороховского сахарного завода, 1974 г.
1. Перерабатывающая способность (снижение)			
- по органическому веществу	3,6	3,8	2,0 (только РОВ без накопления фитомассы)
- по механическим примесям	2,5	2,0	1,0
- по токсическим примесям	6,0	10,0	отсутствие (кроме микотоксинов от разложения органического вещества)
2. Энтропия	12,0	14,8	26,0 (органическое и взвешенное вещество)
3. Риск возникновения гидроэко-логического взрыва из-за превышения экологических нормативов качества воды (по отношению ко II классу)	18,0	11,0	18,0
4. Риск возникновения заморов от дефицита растворенного кислорода (из-за превышения допустимых значений)	50,0 %	60,0 %	50,0 %
5. Класс качества воды по экологическим индексам J_{Σ}	V класс, $J_{\Sigma} = 55,0$	V класс, $J_{\Sigma} = 34,0$	V класс, $J_{\Sigma} = 55,0$
6. Параметры и границы поражения водной среды	350,0 км по течению	2000,0 га	400,0 км ниже по течению до р. Припять
7. Экологический ущерб	2,5 млн.грн.	1,0 млн.грн.	2,5 млн.грн.

Формирование ГЭВ на русловом Хренниковском водохранилище (р. Стырь) происходило в летний период из-за неподготовленности ложа перед его заполнением, накопления биомассы органического вещества за период заболачивания мелководий в приспущенном режиме и высокой температуры воды (табл. 2), что способствовало низкой абсолютной концентрации растворенного кислорода при 100,0 % насыщении и интенсивному его потреблению и в дневное время и в период темнового фотосинтеза.

Таблица 3

Типизация взрывов в гидрозкосистемах

Характерный тип	Признаки	Последствия
1	2	3
1. Макроэкосистема речных бассейнов		
А. Острый взрыв		
1) Физический. Гидравлический удар при формировании паводковой волны, горные реки.	Формирование гидравлической ударной волны. При возрастании скорости потока в арифметической прогрессии сила гидравлического удара возрастает в геометрической.	Разрушение русловых платин, мостов, берегов рек. Пульсирующий гидравлический режим и очистка русел от ила, формирование специфической сукцессии гидробионтов
2) Тепловой. Температурный шок при резком перепаде температуры воды на 10 °С	Возрастание скорости обменных реакций в 2–3 раза при возрастании температуры воды на 10 °С (закон Вант-Гоффа)	Гибель гидробионтов в результате ослабления или хронической интоксикации
3) Комбинированное действие гидрологических и метеорологических факторов под влиянием 11-летних циклов солнечной активности и «парникового» эффекта	Суровые или теплые зимы, снижение расходов воды в реках, аридизация климата, нарушение газового режима водной среды	Гибель чувствительных видов, перестройка ценозов речного континуума
4) Биологический взрыв на базе внешних энергетических дотаций и достижения необходимых сумм положительных температур	Эвтрофикация, цветение воды, зарастание высшей водной растительностью водного зеркала	Явление аноксии, гибель чувствительных видов
5) Токсикологический. Массовое отравление ксенобиотиками (сапонин, тяжелые металлы, пестициды)	Поднятие рыб к поверхности, захватывание воздуха, сплавление с течением, положительный реотаксис	Массовая гибель рыб, деградация водной среды, формирование новой структуры ценозов
6) Радиационногенный. Радиационное облучение Cs-134, Cs-137, Sr-90	Гибель чувствительных высокоорганизованных видов, монотипизация стойких к облучению видов	Перестройка структуры гидробиоценозов, изменение интенсивности роста или монотипизация
7) Агро- и геогенный. Засоление поверхностных вод, загрязнение грунтового стока минеральными удобрениями	Формирование солончаков на заболоченных участках, рост минерализации поверхностных и грунтовых вод	Перестройка состава макрофитов и ихтиофауны
Б. Пролонгированный взрыв		
1) Хроническое токсическое воздействие или радиационное облучение гидробионтов малыми дозами урана-238, цезия-134, стронция-90	Хромосомные aberrации, искривление позвоночника у рыб, изменение окраски внешних покровов, побледнение жаберных крышек, эрозия жаберных лепестков	Монотипизация видов, изменение биопродуктивности (повышение или понижение)

1	2	3
2) Космогенный. Изменение продукционно-деструкционных процессов вследствие «парникового» эффекта, закисления атмосферных осадков	Интенсификация старения озер, наводнения, засухи, повышение среднегодовой температуры, явления карста, формирование оползней, проседание почв, поднятие уровня грунтовых вод, засоление	Снижение биопродуктивности, изменение видового состава ценозов, перестройка макроэкосистем речных бассейнов
3) Осушительно-увлажнительный гидромелиоративногенный взрыв	Подтопление, вторичное заболачивание, засоление; землетрясения в зоне тепловой разгрузки земли, переход речных систем в озерно-речные или озерно-прудовые	Взорвана воспроизводственная база аборигенной ихтиофауны, нарушена цикличность гидрологических фаз; канализирование (спрямление) русел рек
2. Микроэкосистема (видовой и клеточный уровень)		
А. Острый взрыв		
1) Токсикогенный	Накопление биоцидов, убивающих клетку или нарушающих митоз, мейоз	Нарушения на уровне РНК и ДНК, вероятность образования опухолей, нарушение воспроизводства
2) Радиационногенный	Хромосомные aberrации, прекращение деления клетки или нарушения процесса деления	Развитие приспособлений к новым условиям простейших организмов, накопление в клетках простейших радикалов H^+ , CH_3^+ , $C_6H_6^+$ и др., имеющих неспаренные электроны
Б. Пролонгированный		
1) Хроническая интоксикация биоцидами или радиационное воздействие малыми дозами*	Фазовые превращения клетки: от буферизации до депонирования примесей и интеграции их в обменные процессы, деградация клетки и ее деструктивные изменения	Рыбы уходят на чистую воду, поднимаются к поверхности. Наблюдаются аномалии развития от искривления позвоночника до лимфосарком

Примечание:* Структурные повреждения клетки и ее гибель могут проявляться у некоторых дискретных микрообъектов в результате радиационного облучения порядка 10 гр/кг и при повышении температуры тела лишь на 0,001 °C (теория мишени Ф. Десауера).

** Гидроэкологический взрыв может наблюдаться как на отдельном участке реки или акватории озера, так и захватывать весь водный объект полностью.

Во всех рассматриваемых случаях восстановлению экосистемы способствовало сохранение «очагов жизни» в притоках первого порядка – локальных рыбовоспроизводственных участках, и вся экосистема эволюционировала от равновесной к неравновесной с дальнейшей перестройкой после экологического взрыва и переходом на новый трофический уровень. То есть гидроэкологический взрыв можно рассматривать как логический ход развития живого вещества в абиотических условиях среды, завершающийся скачком с формированием нового видового состава ценозов и новой биопродуктивности.

ПОСЛЕДСТВИЯ

Большой взрыв во Вселенной миллиарды лет назад привел к формированию планет и возникновению жизни. Малые взрывы при падении комет и астероидов

ведут на планетах к замене одних форм жизни другими, более адаптированными к новым условиям (похолоданию, повышению радиации, возрастанию темнового периода и др.)

Буферная емкость водной среды из-за переосвоения и антропоической трансформации геобиоценозов речных бассейнов снижена, что ведет к ослаблению стойкости жизни. Особенно это относится к южным промышленным регионам Украины, находящимся в аридной зоне, что еще более актуально в условиях повышения среднегодовой температуры из-за парникового эффекта, а также к Полесью (Западному, Центральному и Черниговскому), подвергнутому масштабному осушению в 60–80-е годы, которое способствовало деградации торфяников и фитостромы.

Наложение западного следа выбросов от аварии на ЧАЭС на эти территории создало условия пролонгированного гидроэкологического взрыва с интенсивными процессами старения водных объектов, особенно озер, изменением видового состава ихтиофауны и возникновением новообразований на организменном уровне.

В создавшихся условиях для существования человека и природной среды необходимо усилить витаукт, т.е. буферную стойкость и емкость водной среды, биопродуктивность с одной стороны и взвешенное использование депонированной энергии – с другой. Это обеспечит восстановление функционирования экосистем «русло-пойма», «русло реки-озеро», снижение энергетической нагрузки на водную среду.

Возможно ли остановить формирование экологических взрывов? Система их образования многофункциональна, детерминирована, инертна. Гибнут чувствительные виды, формируются побочные процессы. Восстановление водной экосистемы после взрыва возможно лишь после ликвидации лимитирующего фактора, но экосистема войдет в равновесие с иными характеристиками и другим составом ценозов. Значительную средоформирующую роль на Полесье играют болотные и озерно-болотные массивы, локально заболоченные территории, эстуарии рек и водохранилища, гидроэкологические коридоры среды и леса. Особенно возрастает роль лесных массивов для юга Украины в условиях аридизации климата как стабилизаторов среды, участвующих в формировании речного стока.

Актуальна проблема сохранения «очагов выживания» и «очагов жизни» в условиях природных катаклизмов (радиация, затопление, подтопление, геологические процессы, инфекции). В речных системах – это локальные воспроизводственные участки, истоки рек, зеленые коридоры среды, заповедные бассейны малых рек.

Гидроэкологические взрывы природного происхождения нельзя считать патологией – это скачкообразный процесс естественного видового отбора биоты. Другое дело, если они антропогенного происхождения и если по масштабности такое влияние равно геологическому фактору.

Гидроэкологические взрывы можно рассматривать как проявление экологических войн, которые осознанно или неосознанно человеческое общество ведет против себя и себе подобных в речных бассейнах, поэтому предупреждение возрастания энтропии в водной среде и предупреждение гидроэкологических взрывов является вопросом выживания человека. При этом человек – не конечное звено в развитии живой материи, она может развиваться и без него, так как материя вечна, а формы ее существования различны.

ВЫВОДЫ

1. Возникновение гидроэкологического взрыва – это превышение витаукта (буферной емкости экосистемы) хотя бы одной из характеристик в определенном историческом отрезке времени природного или антропогенного происхождения.
2. Соппротивление водной экосистемы гибели ее отдельных подсистем или видов базируется на приспособленности (пластичности) биоты к изменяющимся

условиям среды (min-max), а гарантией их сохранения является множественность экотонів, в том числе «очагов жизни» в трансформированных хозяйственной деятельностью речных бассейнах.

3. Уровень трансформации гидроэкологических характеристик и угроза биоте подчиняется математическому ряду чисел Фибоначчи для биологических процессов : 1 (1), 2, (3), 5, (8), 13, (21), 34, (55), при этом переход качества среды от одного класса к другому не определяет гибель экосистемы, а ее «зрелость», формируемую через «уход» из новых условий более чувствительных видов и занятие освободившихся ниш более приспособленными видами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Bauer, E. S., 1935.** Teoreticheskaia biologiiia [Theoretical Biology]. Moscow (in Russian).
- Bykovskij, V. I., 1988.** Zapasanie solnechnoj energii zarosliami trostnika i rogoza [Storage of solar energy reed and cattail]. *Gidrobiol. Journal.* 24(5), 34–41 (in Russian).
- Emelianov, I. G., 1984.** O poniatii “emkosti sredy” [On the concept of "carrying capacity"]. *Biocenological study in Ukraine.* Lviv. 9–11 (in Russian).
- Eshbi, U., 1959.** Vvedenie v kibernetiku [Introduction to Cybernetics]. Moscow (in Russian).
- Grib, I. V., Lavrik, V. I., Merezko, A. I., Iakubovskij, K. B., 1993.** Bufernost vodnykh ekosistem v usloviakh rasshireniia khoziajstvennoj deiatelnosti [Bufferty aquatic ecosystems in terms of expansion of economic activity]. *Gidrobiol. Journal.* 29(5), 3–16 (in Russian).
- Gryb, I. V., 2001.** Pryrodni lokalni rybovidtvovalni dilianky na richkovij merezhi rivnynnoi chastyny terytorii Ukrainy [Restoration of fish local natural areas on the plains of the river network in Ukraine]. *Reports of NAS of Ukraine.* 37(2), 44–57 (in Ukrainian).
- Gryb, I. V., 2002.** Ekologichna otsinka stanu ekosystem richkovykh basejniv rivnynnoi chastyny terytorii Ukrainy (okhorona, vidnovlennia, upravlinnia) [Environmental assessment of ecosystems of river basins of plain part of Ukraine's territory (protection, restoration, management)]. Author. of thesis ... Doctor of Biological Sciences. Dnipropetrovsk (in Ukrainian).
- Metodika otsenki ekonomicheskikh riskov, vznikayushchikh pri vozhdeystvii istichnikov zagriazneniia na vodnye obekty, 2004. [Methods of assessing economic risks arising from exposure to sources of pollution on water objectives]. Afanasiev, S. A., Grodzinskiy, M. D. Kyiv (in Russian).
- Metodyka ekolohichnoi otsinky yakosti poverkhevykh vod za vidpovidnymi kryteriiamy, 1998 [Methods environmental assessment of surface water quality according to criteria]. Romanenko, V. D., Zhukynskyy, V. M., Oksiyuk, O. P. et al. Symbol-1, Kyiv (in Ukrainian).
- Odum, Yu., 1975.** Osnovy ekologii [Fundamentals of Ecology]. Mir, New York (in Russian).
- Protasov, A. A., 1994.** O kontseptsii emkosti sredy i ekologicheskoy emkosti [On the concept of carrying capacity and environmental capacity]. *Gidrobiol. Journal.* 4, 3–13 (in Russian).
- Razvitie sovremennoj fiziki, 1964. [Development of modern physics]. Nauka, Moscow. 188–222 (in Russian).
- Romanenko, V. D., Grib, I. V., Grodzinskiy, M. D., 2003.** Kontseptualnye podkhody pri formirovanii gidroekologicheskikh koridorov [Conceptual approaches in the formation of hydro-ecological corridors]. *Gidrobiol. Journal.* 2003. 5, 3–18 (in Russian).
- Romanenko, V. D., Gryb, I. V., 2004.** Mali richky Polissia yak hidroekolohichni korydory v systemi ekomerezhi Ukrainy [Small rivers of Polesye as surveying the river corridors in the system of ecological network of Ukraine]. *Reports of NAS of Ukraine.* 8, 186–193 (in Ukrainian).
- Vernadskij, V. I., 1977.** Razmyshleniia naturalista [Reflections of a Naturalist]. Nauka, Moscow. 5–191 (in Russian).
- Vernadskij, V. I., 1978.** Zhivoe veshchestvo [Living matter]. Nauka, Moscow (in Russian).

Стаття надійшла в редакцію: 06.02.2013

Рекомендує до друку: д-р біол. наук, проф. В. В. Никуфоров

REVIEWS



A. P. Travleyev¹✉

Corresponding member
of NAS Ukraine,
Dr. Sci. (Biol.), Professor
Dr. Sci. (Biol.), Professor

N. A. Bilova²

¹*O. Honchar Dnipropetrovsk National University,
Gagarin ave, 72, 49010, Dnipropetrovsk, Ukraine*

²*Academy of Customs Service of Ukraine,
Rogalova, 8, 49000, Dnipropetrovsk, Ukraine,*

**The book dedicated to the populations of rare plant species –
Zlobin Yu. A., Sklyar V. G., Klimenko A. A.
Populations of rare species of plants, theoretical principles
and methods of the study. – Sumy : University Book, 2013. – 440 p.**

Abstract. The presence of numerous publications on populations is explained by the exceptional value of this branch of knowledge for understanding of the structural and functional organization of wildlife, natural resource exploitation, management and conservation of them for future generations.

A short list of scientific directions in the study of the role and place of a population shows that in the scientific literature there are no studies of rare plant species populations, development of theoretical principles and methodology of their study. The experienced team of the Botany Department of Sumy National Agrarian University has started this work.

Not regard to the objective of comparison and disclosure of several publications on this topic, you must immediately emphasize its originality, depth of knowledge of the problem, innovation, and the importance and need for conservation of biological diversity of vegetation, which is often in a state of crisis and requires urgent measures to save it.

The book was published by the editorship of the well-known biogeocenologist and ecologist, Doctor of Biological Sciences, Professor, Honored Scientist of Ukraine Julian A. Zlobin together with well-known scientists in the filed of ecology and biogeocenology of Yu. A. Zlobin scientific school Victoria G. Sklar and Anna A. Klimenko.

Structurally, the monograph consists of thirteen chapters, conclusion, bibliography and applications. A special place is occupied by the section "Methodological blocks", which is a kind of satellite for each section and which equip the reader with modern methodological approaches to complex problems solution of the population structure of the plant world.

Here the authors examine the current level of rare species research organization, complexity and pivotal scientific idea, which is an organizing and centripetal force of varied complex research. There are four scenarios, which aim the saving, restoration, protection and rational use of the planet's vegetation.

The book summarizes the collective work for one of the most important problems of modern biological science - conservation of rare plant species. Helpful tips for the organization of similar

✉ Tel.: + 38067-267-37-16. E-mail: bnaitap@i.ua

DOI: 10.15421/031414

research in scientific institutions, biogeocenological stations by well-organized scientifically based plan at the level of the modern achievements of environmental science are given.

In general, we believe that the reviewed scientific work of Yu. A. Zlobin, V. G. Sklar, A. A. Klimenko "Populations of rare species of plants, theoretical principles and methods of the study" is a major contribution to the scientific literature on ecological populations of rare species, their functions, complex relationship in vegetation cover. It will undoubtedly find a positive response in the wide circles of geobotanists, ecologists, biogeocenologists in our country and abroad.

Keywords: *populations, rare plant species, biodiversity conservation, theoretical principles, methods of the study.*

А. П. Травлєєв¹

чл.-кор. НАН України,

д-р біол. наук, проф.

Н. А. Білова²

д-р біол. наук, проф.

¹*Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара,
просп. Гагаріна, 72, 49010, м. Дніпропетровськ, Україна,
тел.: + 38067-267-37-16, e-mail: bnaitar@i.ua*

²*Академія митної служби України,
вул. Рогальова, 8, 49000, м. Дніпропетровськ, Україна*

Книга, присвячена популяціям рідкісних видів рослин –

Злобін Ю. А., Скляр В. Г., Клименко Г. О.

**Популяції рідкісних видів рослин, теоретичні основи та методика вивчення. – Суми :
Університетська книга, 2013. – 440 с.**

Наявність численних публікацій, присвячених популяціям, пояснюється винятковим значенням цієї галузі знань для пізнання і розуміння структурно-функціональної організації живої природи, експлуатації природних ресурсів, раціонального використання та збереження їх для майбутніх поколінь планети.

Короткий перелік наукових напрямів у дослідженні місця і ролі популяції показує, що в науковій літературі фактично відсутні дослідження популяцій рідкісних видів рослин, розробка теоретичних основ і методика їх вивчення. До цієї роботи і приступив досвідчений колектив кафедри ботаніки Сумського національного аграрного університету.

Книга видана під загальною редакцією широко відомого, біогеоценолога-еколога, доктора біологічних наук, професора, заслуженого діяча науки і техніки України Юліана Андрійовича Злобіна разом з добре відомими вченими наукової школи Ю. А. Злобіна в галузі екології та біогеоценології Вікторією Григорівною Скляр та Ганною Олександрівною Клименко.

У структурному відношенні монографія складається з тринадцяти розділів, висновків, списку використаної літератури та додатку. Особливе місце займає розділ «Методичні блоки», які є своєрідними супутниками кожного розділу і які озброюють читача сучасними методичними підходами для розгляду складних завдань популяційного устрою рослинного світу.

У книзі підбито підсумок роботи колективу за однією з найважливіших проблем сучасної біологічної науки – збереженню рідкісних видів рослин. Даються корисні поради для організації подібних досліджень у наукових установах, на біогеоценотичних стаціонарах і станціях за добре продуманому науково-обґрунтованому плану на рівні сучасних досягнень екологічної науки.

Загалом ми вважаємо, що наукова праця Ю. А. Злобіна, В. Г. Скляр, Г. О. Клименко «Популяції рідкісних видів рослин, теоретичні основи та методика вивчення», що рецензується, є великим внеском в екологічну наукову літературу про популяції рідкісних видів, про їх функції, про складні взаємини в рослинному покриві. Він, безсумнівно, знайде позитивний відгук у широких колах геоботаніків, екологів, біогеоценологів як у нашій країні, так і за її межами.

Ключові слова: *популяції, рідкісні види рослин, збереження біорізноманіття, теоретичні основи, методика вивчення.*

А. П. Травлев¹

чл.-кор. НАН Украины,

д-р биол. наук, проф.

Н. А. Белова²

д-р биол. наук, проф.

¹*Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара,
просп. Гагарина, 72, 49010, г. Днепропетровск, Украина,
тел.: + 38067-267-37-16, e-mail: bnaitar@i.ua*

²*Академия таможенной службы Украины,
ул. Рогалева, 8, 49000, г. Днепропетровск, Украина*

**Книга, посвященная популяциям редких видов растений –
Злобин Ю. А., Скляр В. Г., Клименко А. А.**

**Популяции редких видов растений, теоретические основы
и методика изучения. – Сумы : Университетская книга, 2013. – 440 с.**

Наличие многочисленных публикаций, посвященных популяциям, объясняется исключительным значением этой отрасли знаний для познания и понимания структурно-функциональной организации живой природы, эксплуатации природных ресурсов, рационального использования и сохранения их для будущих поколений планеты.

Краткий перечень научных направлений в исследовании места и роли популяции показывает, что в научной литературе фактически отсутствуют исследования популяций редких видов растений, разработка теоретических основ и методика их изучения. К этой работе и приступил опытный коллектив кафедры ботаники Сумского национального аграрного университета.

Книга издана под общей редакцией широко известного биогеоценолога-эколога, доктора биологических наук, профессора, заслуженного деятеля науки и техники Украины Юлиана Андреевича Злобина вместе с хорошо известными учеными научной школы Ю. А. Злобина в области экологии и биогеоценологии Викторией Григорьевной Скляр и Анной Александровной Клименко.

В структурном отношении монография состоит из тринадцати глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Особое место занимает раздел «Методические блоки», которые являются своеобразными спутниками каждого раздела и которые вооружают читателя современными методическими подходами для вскрытия сложных задач популяционного устройства растительного мира.

В книге подведен итог работы коллектива по одной из самых важных проблем современной биологической науки – сохранению редких видов растений. Даются полезные советы для организации подобных исследований в научных учреждениях, на биогеоценологических стационарах и станциях по хорошо продуманному научно-обоснованному плану на уровне современных достижений экологической науки.

В целом мы считаем, что рецензируемый научный труд Ю. А. Злобина, В. Г. Скляр, А. А. Клименко «Популяции редких видов растений, теоретические основы и методика изучения» является крупным вкладом в экологическую научную литературу о популяциях редких видов, о их функциях, о сложных взаимоотношениях в растительном покрове. Он, несомненно, найдет положительный отклик в широких кругах геоботаников, экологов, биогеоценологов как нашей страны, так и за ее пределами.

Ключевые слова: популяции, редкие виды растений, сохранение биоразнообразия, теоретические основы, методика изучения.

Наличие многочисленных публикаций, посвященных популяциям, объясняется исключительным значением этой отрасли знаний для познания и понимания структурно-функциональной организации живой природы, эксплуатации природных ресурсов, рационального использования и сохранения их для будущих поколений планеты.

Известно, что биогеоценология исследует различные проявления популяционных процессов и взаимоотношений.

Л. Г. Раменский (1971) предлагал выделять в цепях питания ценозов сочетания разнородных организмов тесно связанных друг с другом консортивные группы, или консорции.

В. В. Мазинг (1976) выделял для определенного уровня популяционные консорции.

Е. М. Левренко (1965), К. М. Завадский (1996), Н.П. Наумов (1964) и др. различали четыре формы жизни на Земле: организменную, популяционно-видовую, биоценотическую и биостроматическую.

Популяционно-видовой состав живых компонентов биогидроценозов предложил Г. Г. Винберг, понятия вида и популяции разрабатывали Н. И. Вавилов, Т. А. Работнов (1974), П. М. Рафес (1972) и др.

Популяционно-видовой состав растительного компонента, организации живой материи, видов, ценозов, автотрофного растения, исследовали Б. А. Быков (1970), Ю. А. Злобин (1980, 1992, 1996, 2012), Н. Ф. Реймерс (1970), которые подчеркивают, что популяция – элементарная единица эволюционного процесса и форма существования вида, а существующее внутри вида генетическое разнообразие популяций обеспечивает эволюционную устойчивость всего вида.

Предлагается различать следующие популяции: агроценотические, географические, локальные (местные), ценотические, экологические, элементарные.

Значительный вклад в науку о популяциях внесли Ю. Одум (1975), Р. Риклефс (1979), В. Д. Федоров, Т. Г. Гильманов (1980), В. Вольтера (1976), Н. В. Тимофеев-Ресовский, А. В. Яблоков, Н. В. Глотов (1973), Ч. Элтон (1934), М. Уильямсон (1975), В. Н. Беклемишев (1951), Г. Ф. Гаузе (1934), А. А. Уранов (1975), С. С. Шварц (1967), L. C. Kolle (1956), С. В. Чернышенко (2005), В. С. Чернышенко (2008) и др.

Краткий перечень научных направлений в исследовании места и роли популяции показывает, что в научной литературе фактически отсутствуют исследования популяций редких видов растений, разработка теоретических основ и методика их изучения. К этой работе и приступил опытный коллектив кафедры ботаники Сумского национального аграрного университета.

Не ставя перед собой задачу сопоставления и раскрытия ряда публикаций на эту тему, сразу же необходимо подчеркнуть ее оригинальность, глубину знания проблемы, новаторство, важность и необходимость для сохранения биологического разнообразия растительного покрова, который часто находится в кризисном состоянии и требует неотложных мер для его спасения.

Книга издана под общей редакцией широко известного, биогеоценолога-эколога, доктора биологических наук, профессора, заслуженного деятеля науки и техники Украины Юлиана Андреевича Злобина вместе с хорошо известными учеными научной школы Ю. А. Злобина в области экологии и биогеоценологии Викторией Григорьевной Скляр и Анной Александровной Клименко.

В структурном отношении монография состоит из тринадцати глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Особое место занимает раздел «Методические блоки», которые являются своеобразными спутниками каждого раздела и которые вооружают читателя современными методическими подходами для вскрытия сложных задач популяционного устройства растительного мира. Предложенное мудрое, оригинальное решение авторов хорошо напоминает предложенный Н. И. Вавиловым (1920) «Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости как основная правильность, которая определяет наследственный состав линейного вида как системы». Мы также горячо поддерживаем авторов в использовании и признании выдающейся роли жизненных форм, на основе которых А. Л. Бельгард (1950) предложил экологический анализ флоры индикаторов с последующим установлением возрастных этапов популяции и их соотношений с установлением типов популяций, этапов онтогенеза (в понимании Ю. А. Злобина, 1998): нормального, инвазионного, регрессивного.

Рекомендуемый подход методически и методологически вооружает экспериментатора широкими возможностями, дисциплинирует мысль и объясняет многие «загадочные» явления, происходящие на путях развития живой природы. Указанный прием дает возможность с математической точностью определить жизненность того или иного представителя флоры, отдельной парцеллы, типа леса и разработать научные подходы для их сохранения, оптимизации и рационального использования природных ресурсов (А. П. Травлеев, А. З. Глухов, К. М. Сытник, И. В. Царик, В. И. Парпан, Г. Г. Жилиев, Р. И. Бурда и др.).

Глава 1 посвящена формам и редкости в мире растений, редким видам в растительном покрове. Умело используются научные достижения, полученные при решении этой сложной задачи. Иллюстрируются весьма интересные сведения о похожести видов друг на друга, о формах редкости, об истоках возникновения редкости растений, о редких видах и редких фитоценозах, о популяционных структурах редких видов. Кратко излагается научная информация и фитосоциологическая практика при решении этой проблемы.

Глава 2 «Охраняемые виды растений. Красные книги, красные списки и кадастры охраняемых природных территорий». Рассматриваются вопросы шкал, по которым оценивается редкость вида. Кроме этого, выделяются категории редкости видов согласно шкале МСОП. Дается для примера критическая характеристика Красных книг смежных государств, региональный уровень Красных книг, экологическая сеть, кадастр охраняемых природных территорий и др.

Глава 3 посвящена основным направлениям в изучении редких видов растений, выявлению их при изучении растительного покрова, параметрам их состояния, определению обилия и покрытия, статистической достоверности.

Глава 4 раскрывает проблему редких видов растений в географическом, экологическом и фитоценотическом пространствах. Глава высокоинформативная, интересная и необходимая для выявления локальных популяций, ареалов, установления экологической валентности и др.

В великолепно изложенных, хорошо иллюстрированных примерах содержание главы сопровождается специальным методическим блоком.

Глава 5 «Популяционные поля» и глава 6 «Жизненные формы и эколого-ценоотические стратегии у разных видов растений» посвящены изложению основных положений популяционной экологии. Применяемость этих идей полезна для геоботаников, почвоведов, экологов, биогеоценологов. Здесь даются примеры расчета численности особей и их популяционной плотности. Все предложенные новаторства подкрепляются готовыми матрицами методических блоков и их непосредственным применением.

Глава 7 «Особенности морфогенеза особей у редких видов растений». Приводится арсенал основных морфометрических параметров и формулы для их вычисления. Методический блок иллюстрирует инструментарий в морфометрии, предлагается аллометрический анализ и вычисление коэффициента аллометрии, а также хорошо обосновывается необходимость многомерной морфометрии. Методический блок этой части главы рекомендует использование методов регрессионного анализа. Значительный интерес представляет подраздел, посвященный геометрической морфометрии, флюктуирующей асимметрии и вычислению индекса. Глава заслуживает самой положительной научной и учебной оценки.

Глава 8 раскрывает специфику репродукции и возобновительного процесса по отдельным фазам и этапам развития, описывает плодозависимость, дисперсию и банк семян в почве, репродуктивные усилия и их оценку, процесс возобновления и его оценка. Раскрывается роль эндогенных и экзогенных факторов, которые прочно связаны с формами динамики – циклической и сукцессионной, разрабатываемые биогеоценологами. Уделяется должное внимание и вегетативному размножению.

Глава 9 посвящается структуре популяций редких видов растений. Здесь авторы выделяют следующие основные категории структур фитопопуляций и дают им исчерпывающую характеристику:

- генетическая структура;
- гендерная (половая) структура;
- возрастная структура;
- онтогенетическая структура;
- виталитентная структура;
- размерная структура.

Пристальное исследование категорий структуры популяций и их соотношений дает материал для оценки возможной судьбы популяций редких видов растений.

Глава 10 рассматривает редкие виды растений в условиях оптимума и эколого-фитоценотического стресса. На фоне всесторонних исследований редких видов растений раскрывается взаимозависимость и значение консортивных (функциональных) связей, дается комплексная оценка. Все примеры полевых и лабораторных исследований подкрепляются расчетами с использованием соответствующих методических блоков.

Глава 11 «Динамика популяций редких видов растений». В этой части монографии даются фундаментальные оцифрованные расчеты прогнозов динамики на основе их состояния и методики MVP – минимальной жизнеспособности популяций, на основе PVA (оценки вероятности выживания).

Многочисленные примеры и расчеты подкреплены конкретными методическими блоками, использование которых, безусловно, обеспечивает успех выполняемой работы.

Глава 12 посвящена изложению популяционного мониторинга как системы специальных наблюдений за состоянием того или иного объекта.

Глава 13 «Организационные аспекты охраны редких видов растений». Здесь авторы рассматривают современный уровень организации исследования редких видов, комплексность и стержневую научную идею, которая является организующей и центростремительной силой многообразных и сложных исследований. Предлагаются четыре сценария, которые направлены на сбережение, восстановление, охрану и рациональное использования растительного покрова планеты.

В книге подведен итог работы коллектива по одной из самых важных проблем современной биологической науки – сохранению редких видов растений. Даются полезные советы для организации подобных исследований в научных учреждениях, на биогеоценотических стационарах и станциях по хорошо продуманному научно-обоснованному плану на уровне современных достижений экологической науки.

Заключение

Даже из приведенного краткого изложения отдельных глав и их составляющих виден глубокий и широкий аспект популяционного исследования редких растений. Эта капитальная работа могла быть осуществлена лишь совместным трудом под руководством выдающегося ученого в области геоботаники, экологии и биогеоценологии профессором Юлианом Андреевичем Злобиным вместе с его талантливыми ученицами Викторией Григорьевной Скляр и Анной Александровной Клименко.

Позволим себе высказать некоторые пожелания по книге.

1. К большому сожалению, великолепное произведение классического уровня издано тиражом только в 300 экземпляров. Это руководство должно быть настольной книгой каждого ученого-эколога, докторанта, аспиранта и студента биолого-экологического профиля.

2. Остается не вполне ясным отношение авторов к учению проф. А. Л. Бельгарда об экологическом анализе с использованием экоморф. Этот прием, при использовании возрастных ступеней и выявления типа популяции (по Ю. А. Злобину, 1998) дает возможность с математической точностью определить жизненность того или иного представителя флоры (Лесная растительность юго-востока Украины, 1950. 2-е издание). Было бы интересно знать мнение авторов по этому вопросу.

3. Может быть, для морфогенеза можно было бы дополнительно использовать условия земного гравитационного поля. Известно, например, что соотношение объемов, размеров и масс определяет парусность пыльцы и семян растений и способы их перенесения (Шубаев А. П. Общее земледоведение, 1977. С. 40).

Сделанные пожелания ни в коей мере не влияют на высокое качество изданной монографии.

В целом мы считаем, что рецензируемый научный труд Ю. А. Злобина, В. Г. Скляр, А. А. Клименко «Популяции редких видов растений, теоретические основы и методика изучения» является крупным вкладом в экологическую научную литературу о популяциях редких видов, о их функциях, о сложных взаимоотношениях в растительном покрове. Он, несомненно, найдет положительный отклик в широких кругах геоботаников, экологов, биогеоценологов как в нашей стране, так и за ее пределами.

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 text in RTF format (*.rtf) or 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 (it is desirable 4 persons at the most);
- the 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 (400-450 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 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 the references each Ukrainian-language and Russian-language source should be given in the original language firstly, than translated in English.
- 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 abbreviated 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 текст у форматі RTF (*.rtf) або 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);
- 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 (400–450 слів), повинна містити інформацію про мету, методiku, результати, наукову новизну, практичну значимість, ключові слова (6–8 слів); скорочені – українською та російською мовами, в яких коротко описують результати і головні 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 російсь-

комовне джерело слід подавати спочатку мовою оригіналу, а потім у перекладі, англійською мовою;

- 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
2014. Т. 25, № 1–2

Українською, російською та англійською мовами

Засновники:

ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ім. О. ГОНЧАРА,
ТОВ «АГЕНТСТВО «ТЕЛЕПРЕСІНФОРМ»

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ 5258 від 02.07.01 р.

Літературне редагування та коректура – К. О. Сухойван
Художньо-технічне оформлення та комп'ютерна верстка – В. А. Горбань

Підписано до друку 11.04.2014 р. Формат 70×108 1/16. Папір офсетний.
Друк плоский. Гарнітура Times New Roman. Умовн. друк. арк. 28.
Замовлення № . Тираж 200 прим.
