

OLES HONCHAR DNIPROPETROVSK NATIONAL UNIVERSITY
(UKRAINE)

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

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

ECOLOGY AND NOOSPHEROLOGY

Vol. 27 2016
no. 1–2

Scientific Journal
Founded in 1995

www.uenj.cv.ua

Kyiv – Dnipropetrovsk
2016

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. V. Morguun* (Associate Editor); *A. V. Bogovin* (Associate Editor); *V. M. Petrenko* (Associate Editor); *V. A. Nikorych* (Associate Editor); *V. A. Gorban* (Managing Editor); *N. A. Bilova*; *M. K. Chartko*; *V. S. Chernyshenko*; *Yu. M. Chornobai*; *S. G. Chorny*; *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. Khutornyy*; *I. Yu. Kostikov*; *N. R. Korpeyev*; *S. S. Kostyshin*; *A. A. Kotchubey*; *I. A. Mal'tseva*; *M. D. Mel'nichuk*; *V. I. Monchenko*; *S. L. Mosyakin*; *Ya. I. Movchan*; *L. P. Mytsyk*; *E. Nevo*; *V. V. Nykyforov*; *V. I. Parpan*; *N. V. Polyakov*; *V. D. Romanenko*; *S. S. Rudenko*; *V. V. Shvartau*; *Yu. R. Shelyag-Sosonko*; *Gu Siyu*; *S. Skiba*; *O. O. Sozynov*; *P. C. Srivastava*; *V. S. Stogniy*; *E. Strbova*; *I. V. Tsarik*; *N. N. Tsvetkova*; *S. P. Wasser*; *Yu. P. Zaytsev*; *V. M. Zverkovsky*.

FOREIGN MEMBERS OF EDITORIAL BOARD:

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

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Чл.-кор. НАНУ, д-р біол. наук **А. П. Травлєєв** (голов. редактор); акад. УЕАН, д-р біол. наук **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. Моргу́н** (наук. редактор); д-р біол. наук **А. В. Боговін** (наук. редактор); канд. іст. наук **В. М. Петренко** (наук. редактор); канд. біол. наук **В. А. Горбань** (відп. секретар); д-р біол. наук **Н. А. Білова**; чл.-кор. НАНУ, д-р біол. наук **С. П. Вассер**; чл.-кор. НАНУ, д-р біол. наук **О. З. Глухов**; акад. НАНУ, д-р біол. наук **М. А. Голубець**; акад. НАНУ, д-р біол. наук **Д. М. Гродзинський**; д-р біол. наук **Gu Siyu** (Китай); д-р біол. наук **F. Gurbuz** (Туреччина); чл.-кор. НАНУ, д-р біол. наук **Я. П. Дідух**; чл.-кор. НАНУ, д-р біол. наук **І. Г. Ємельянов**; акад. НАНУ, д-р біол. наук **Г. В. Єльська**; акад. НАНУ, д-р біол. наук **Ю. П. Зайцев**; д-р біол. наук **В. М. Зверковський**; д-р біол. наук **А. В. 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 **E. Nevo** (Ізраїль); д-р біол. наук **В. В. Ни́кифоров**; д-р біол. наук **В. І. Парпан**; чл.-кор. НАНУ, д-р фіз.-мат. наук **М. В. Поляков**; акад. НАНУ, д-р біол. наук **В. Д. Романенко**; д-р біол. наук **С. С. Руденко**; д-р біол. наук **С. Скіба** (Польща); акад. НАНУ, акад. НААНУ, д-р с.-г. наук **О. О. Со́зінов**; 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. Цвєткова**; д-р геогр. наук **М. К. Чертко** (Білорусь); д-р с.-г. наук **С. Г. Чорний**; д-р біол. наук **Ю. М. Чорнобай**; чл.-кор. НАНУ, д-р біол. наук **В. В. Швартау**; акад. НАНУ, д-р біол. наук **Ю. Р. Шеляг-Сосонко**; канд. біол. наук **Е. Штрбова** (Словаччина).

ІНОЗЕМНІ ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:

Акад. УЕАН, д-р біол. наук **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); акад. АН Туркменістану, д-р біол. наук **Н. Р. Корпєєв** (Туркменістан); акад. НАНУ, д-р біол. наук **E. Nevo** (Ізраїль); д-р біол. наук **С. Скіба** (Польща); д-р біол. наук **P. C. Srivastava** (Індія); д-р геогр. наук **М. К. Чертко** (Білорусь); канд. біол. наук **Е. Штрбова** (Словаччина).

*Рекомендовано до друку Вченою радою
Дніпропетровського національного університету ім. О. Гончара
(протокол № 13 від 09.06.2016 р.)*

Адреса редколегії: Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, просп. Гагаріна, 72, м. Дніпропетровськ, Україна, 49010; 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

TABLE OF CONTENTS

THEORETICAL ISSUES OF ECOLOGY

<i>Protasov A. A.</i> Biogeomes of hydrosphere and land as elements of the biosphere structure	5
<i>Pomohaibo V. M., Orlova L. D., Vlasenko N. A.</i> Environmental DNA: ecological and genetic aspects	16

BIOGEOCENOLOGY, GEOBOTANY AND PHYTOCENOLOGY

<i>Kozak I. I., Parpan T. V., Kozak G. G., Kotsyuba P. G.</i> Prognosis of beech stand dynamics in climate change conditions in Polish Bieszczady and Ukrainian Beskydy	25
<i>Kovalenko I. N.</i> Reproduction in plants of grass and subshrub layer as a factor of the forest ecosystem stabilization	34
<i>Lisovets O. I.</i> First finds of <i>Acalypha australis</i> L. and <i>Euphorbia maculata</i> L. (Euphorbiaceae) in Dnipropetrovsk region	42

ECOSYSTEM ANALYSIS

<i>Buzhdygan O. Y., Rudenko S. S.</i> Multivariate comparison of trophic networks of grassland ecosystems	49
---	----

ECOLOGICAL SOIL SCIENCE

<i>Samokhvalova V. L., Skrylnyk Y. V., Shedey L. O., Lopushnyak V. I., Oliynyk N. V., Samokhvalova P. A., Mandryka O. V.</i> Forecasting the levels of trace elements and heavy metals content in soils of different genesis for the assessment of their environmental and productional functions	72
---	----

ECOLOGY AND SPACE

<i>Mozgovoy D. K.</i> Monitoring of the droughts consequence by high resolution satellite images	89
--	----

TO AUTHORS' ATTENTION	96
------------------------------------	----

З М І С Т

ТЕОРЕТИЧНІ ПИТАННЯ ЕКОЛОГІЇ

<i>Protasov A. A.</i> Biogeomes of hydrosphere and land as elements of the biosphere structure	5
<i>Помогайбо В. М., Орлова Л. Д., Власенко Н. О.</i> ДНК оточуючого середовища: екологічний та генетичний аспекти	16

БІОГЕОЦЕНОЛОГІЯ, ГЕОБОТАНІКА ТА ФІТОЦЕНОЛОГІЯ

<i>Kozak I. I., Parpan T. V., Kozak G. G., Kotsyuba P. G.</i> Prognosis of beech stand dynamics in climate change conditions in Polish Bieszczady and Ukrainian Beskydy	25
<i>Коваленко І. М.</i> Репродукція у рослин трав'яно-чагарничкового ярусу як фактор стабілізації лісових екосистем	34
<i>Лісовець О. І.</i> Перші знахідки <i>Acalypha australis</i> L. та <i>Euphorbia maculata</i> L. (Euphorbiaceae) на Дніпропетровщині	42

ЕКОСИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ

<i>Buzhdygan O. Y., Rudenko S. S.</i> Multivariate comparison of trophic networks of grassland ecosystems	49
---	----

ЕКОЛОГІЧНЕ ҐРУНТОЗНАВСТВО

<i>Самохвалова В. Л., Скрильник Є. В., Шедєй Л. О., Лопушняк В. І., Олійник Н. В., Самохвалова П. А., Мандрика О. В.</i> Прогнозування рівнів вмісту мікроелементів і важких металів у ґрунтах різного генезису для оцінювання їх екологічних та продукційних функцій	72
---	----

ЕКОЛОГІЯ ТА КОСМОС

<i>Мозговой Д. К.</i> Мониторинг последствий засухи по спутниковым снимкам высокого пространственного разрешения	89
--	----

ДО УВАГИ АВТОРІВ	97
-------------------------------	----

THEORETICAL ISSUES OF ECOLOGY



A. A. Protasov 

Dr. Sci. (Biol.), Professor

UDK 574.63:621.311.25

*Institute of Hydrobiology
of National academy of Sciences of Ukraine,
Geroyev Stalingrada ave, 12, Kyiv, Ukraine, 04210*

BIOGEOMES OF HYDROSPHERE AND LAND AS ELEMENTS OF THE BIOSPHERE STRUCTURE

Abstract. Ecosystems as the smallest unit in the structure of the biosphere form natural groups with similar nonliving or inert components (geome) and leaving, biotic (biome) as a result of the ecological convergence. Thus it is formed following after ecosystem level structure of the biosphere – biogeomes or complexes of similar in its structure and function ecosystems. It is proposed unit classification of 12 biogeomes of hydrosphere and land, combining with three types of ecosystems: biotic, oligobiotic and subbiotic types. The biotic type combine with ecosystems controlled by leaving components as well as woody vegetation or hermatypic corals. The ecosystems of oligobiotic type have strong impact of abiotic factors but biotic ones are important too. It is grass ecosystems on the land, and shelf ecosystems of ocean. In subbiotic type of ecosystems strongly prevail in its habitus abiotic components. It is ecosystems of deserts, and ocean deep bottom or pelagic ocean ecosystems. The evolution of biosphere was lead as well as to new local ecosystems divergently and convergently to formation limit number of ecosystems types, biogeomes. There is reason to believe it possible to form a new scientific section – biogeomies because there is a particular object of it study – the biogeome.

Keywords: *biosphere, noosphere, ecosystem, biogeom, biosferomeron, evolution.*

УДК 574.63:621.311.25

О. О. Протасов

д-р біол. наук, проф.

*Інститут гідробіології Національної академії наук України,
просп. Героїв Сталінграда, 12, м. Київ, Україна, 04210,
тел.: +38044-428-31-09, e-mail: pr1717@ukr.net*

БІОГЕОМИ ГІДРОСФЕРИ І СУХОДОЛУ ЯК ЕЛЕМЕНТИ СТРУКТУРИ БІОСФЕРИ

Анотація. Екосистеми, як найменші одиниці в структурі біосфери внаслідок екологічної конвергенції утворюють природні групи, в яких екосистеми з подібними абіотичними

 Tel.: +38044-428-31-09. E-mail: pr1717@ukr.net

DOI: 10.15421/031601

ISSN 1726-1112. Ecology and noospherology. 2016. Vol. 27, no. 1–2

компонентами, які визначаються нами як геом, мають подібні біотичні компоненти або біом. Таким чином формується наступний за екосистемним рівень структури біосфери – біогеоми, комплекси подібних за своєю структурою і функціональними показниками екосистем. Пропонується єдина система біогеомов гідросфери та суші з 12 біогеомів, які об'єднують три типи екосистем – біотичний, олігобіотический і суббіотичний. До першого типу віднесені біогеоми з яскраво вираженим домінуванням біотичної компоненти екосистем. Це (на суші) біогеом тропічних дощових лісів або гілея, лісовий біогеом з суттєвою періодичною зміною абіотичних умов та біотичних фаз, в гідросфері це біогермовий біогеом. Для екосистем цього типу характерними є наступні особливості: біотична складова екосистем інтенсивно «будує» просторову структуру всього біому, є просторовим «каркасом» екосистем, основна кількість органічної речовини знаходиться у біомасі вищих рослин (ліса), безхребетних (коралові екосистеми), продукційно-деструкційні цикли є дуже інтенсивними і в значній мірі замкненими, що дає можливість існувати екосистемам в досить оліготрофних умовах. Останнє, зі свого боку є фактором великої вразливості екосистем цього типу. До другого типу віднесені тундровий, біогеом трав помірної зони, шельфовий біогеом, гідротермальний, реобіогеом та ліснобіогеом. В екосистемах цього типу біотична та абіотична складові так би мовити, «паритетно» обумовлюють просторову архітектуру біокосної системи. Накопичення органічної речовини відбувається у ґрунті (трав'яні екосистеми), у відкладах детриту (екосистеми ліснобіогеому). Метаболічні процеси в екосистемах в більшій частині ідуть по типу детритних ланцюгів, але деякі оліготрофні лісні системи за своїми метаболічними процесами дещо подібні до екосистем першого типу. До третього, суббіотичного типу віднесені біогеом пустель на суші, пелагічний біогеом, батіально-абісальний біогеом океану. Для них є характерним переважне домінування абіотичних елементів екосистем, саме в просторовій структурі, архітектоніці та загалом, габітусі екосистем. До вже наявної різноманітності поєднань елементів природного біотичного та абіотичного характеру людина додає велику кількість різних антропогенних елементів. У біосфері безумовно відбувається формування нового типу «композитних», антропогенно-природних екосистем, які вже не є незначними острівцями в світі природних, а все більше розширюють поле свого існування. Зовнішність ландшафтів цілих країн і географічних районів повністю перетворені діяльністю людини. Антропогенні екосистеми дуже різноманітні, об'єднання їх в єдиний біогеом (або в три: техно-, агро-, урбо-біогеоми) поки проблематичне, проте безперечно слід брати до уваги його роль в біосфері. Ноосферогенез є, по суті, процесом заміни природних екосистем, цілих біогеомів на антропогенні, скоріше – на антропогенно-природні. Введення поняття біогеома як суббіосферної одиниці доповнює уявлення про структуру біосфери, а також обумовлює нові підходи до вивчення ноосферогенеза як одного з етапів еволюції біосфери. Щодо структури наукових дисциплін, то є підстави вважати доцільним формування нової наукової дисципліни – біогеоміки, з огляду на те, що вона має принаймні свій особливий об'єкт дослідження – біогеом.

Ключові слова: біосфера, екосистема, біогеом, біосферомерон, еволюція.

УДК 574.63:621.311.25

А. А. Протасов

д-р биол. наук, проф.

*Институт гидробиологии Национальной академии наук Украины,
просп. Героев Сталинграда, 12, г. Киев, Украина, 04210,
тел.: +38044-428-31-09, e-mail: pr1717@ukr.net*

БИОГЕОМЫ ГИДРОСФЕРЫ И СУШИ КАК ЭЛЕМЕНТЫ СТРУКТУРЫ БИОСФЕРЫ

Аннотация. Экосистемы, как наименьшие единицы в структуре биосферы вследствие экологической конвергенции образуют естественные группы, в которых экосистемы со сходными косными компонентами, определяемыми нами как геом, имеют сходные биотические компоненты или биомы, определяемыми как биом. Таким образом формируется следующий за экосистемным уровень структуры биосферы – биогеомы, комплексы сходных по своей структуре и функциональным показателям экосистем. Предлагается единая система из 12 биогеомов гидросферы и суши, объединяющих в три типа экосистем – биотический, олигобиотический и суббиотический типы. К первому типу отнесены биогеомы с ярко выраженным доминированием биотической компоненты экосистем. Это (на суше) биогеом тропических дождевых лесов или гилея, лесной биогеом с периодической сменой биотических

фаз, в гидросфере это биогермовый биогеом. Ко второму типу отнесены тундровый, биогеом трав умеренной зоны, шельфовый биогеом, реобиогеом и лимнобиогеом. К третьему, суббиотическому типу отнесены биогеом пустынь на суше, пелагический биогеом, батинально-абиссальный биогеом океана. Введение понятия биогеома как суббиосферной единицы дополняет представления о структуре биосферы. Что касается структуры научных дисциплин, то есть основания считать целесообразным формирование новой научной дисциплины – биогеомики, исходя уже хотя бы из того, что она имеет свой особый объект исследований – биогеом.

Ключевые слова: биосфера, экосистема, биогеом, биосферомерон, эволюция.

INTRODUCTION

Vladimir Vernadsky used as synonyms two terms: «the *face of the Earth*, the surface of our planet or its *biosphere*» (Vernadsky, 2012, p. 222), although its are not absolute synonyms. The term «biosphere» is more schematic, implies some kind of a model system, circuit interconnections, the allocation of sufficient abstract elements. This is the reality and abstraction. First term is much more figurative, geographically implies something real.

At the geographical approach, the basis of biosphere structure is the concept of landscape in sense of Lev Berg (1947): a set of topographic features, climate, water, soil and vegetation, fauna, the results of human activity. According to Berg, it is «geographical individuals» which brings us to the analogy: we can speak about «populations» of similar geographical landscapes as well as the populations of species of organisms.

Physiognomy, habitus of landscapes is not only the visible part of the image of nature, «... the landscape can be described not only physiognomically, in the style of Alexander von Humboldt, but also chemically, by the dominance of certain chemical processes» (Zavarzin, 1994, p. 8) or the processes of transformation of matter by the energy entering to ecosystem. In landscape, ecosystem there is biosphere exchange of atoms, which Vernadsky wrote about.

Concept of landscape is geocentric, but ecosystem is biocentric. Face of the Earth includes land, water, underwater landscapes and bottom or different chorological elements of the hydrosphere and land. In addition, now the image of the Face of Earth increasingly complemented by features of human nature. The richness of ecosystems as elements of the biosphere is huge but there is another pattern: the «total design» of ecosystems is fairly typical: in similar conditions (similar GEO) are similar biological structures of superorganismal level (similar BIO). Thus, on the background of a wide divergence exist prerequisites convergent similarity. Convergence does not deny the individuality of various objects, but allows us to combine them into regular classes for some similar characteristics. The example of it is differentiation in the biosphere only four biosferomerones (Protasov, 2012) based on the Vernadsky (2012) biosphere condensations.

Ecological convergence

Examples of ecological convergence are in ecomorphology. One of the highlights example is the streamlined body shape of aquatic organisms originated and evolved solely on the basis of the same hydromechanical interaction between the body and a dense medium in which its move (Aleev, 1986). This process of divergence and convergence create the necessary balance of diversity optimum of biological systems: processes of divergence have a «centrifugal» nature, provide an increase in the variety of devices, forms of convergence – on the contrary – limits of diversity, establishes the optimum conditions in these forms. These processes exist at all levels of organization of living and bioinert systems.

The divergence of ecosystems creates and supports by:

- diversity of variants of consumption of nutrients and energy;
- many adaptations for breeding, increasing the number, save the population in conditions of competition and the environment impact;

- the difference ways of the development and retention of habitable space;
- large number of biocenotic links that change over time.

Manifestations of convergent processes are also quite a lot of prerequisites:

- morphological, behavioral similarity of species that are same ecomorph or one life form;
- similarity of trophic adaptations, limited by trophic levels;
- limitation of types of the main life strategies;
- limitation of the main energy sources and types of its biological transformation;
- the existence only a few major habitats for organisms and the main types of adaptations to life in them.

The diversity concept clearly prevails in ecology. Any textbook on ecology, you can find a lot of information about the diversity of ecological niches, and of living conditions of organisms, various adaptations, but very little information on the ecological convergence processes.

In the early twentieth century K. Petersen, analyzing material on the structure of the set of marine benthic communities in the North Sea has allocated no more than 14 types of them, called by the dominant organisms. Developing the idea of convergent similarity of communities G. Thorson in the late 1950s suggested that the concept of parallel communities, which, however, as well as in K. Petersen based on the similarity of taxonomic composition, dominant taxonomic groups. However taxonomic similarity criterion is not sufficient in some cases and contrary to the concept as closely related species may vary in nature as a food, and the level of metabolism. This is due to differences ecomorphological genetically related forms: «... necessarily understanding the convergence communities in the broadest sense, is any phylogenetic, taxonomic framework» (Kuznetsov, 1980, p. 93).

The **biome** concept based on the principles of ecological convergence: «The plant-animal formation, the base unit of communities (basic community unit) is the biome» (Clements, Shelford, 1939, p.20). This definition was not very clear, it is possible to subsequently widely interpreted the concept and the term itself. Biome is rather a type of communities with a fairly generic composition, characteristic metabolic processes, succession. As an example of biome Clements and Shelford leads the steppe and other similar range systems. The definition of biome by E. Odum (1975) emphasizes the inextricable link of biotic and abiotic components of the landscape, the presence of specific life forms and a certain historicity.

It goes without saying that the similarity of communities, actually *Biome* is largely determined by the similarity of conditions, or *Geome*. Therefore, we propose the term and the concept of biogeome that combines both biocenotic so and environmental characteristics of the groups are similar in nature ecosystems, leaving behind the concept of «biome» generalized characteristic of similar nature biocenoses. The term «biogeome» used in paleontology to indicate possible living conditions and the likely population that has become due to geological processes thanatocoenoses in a particular basin (Tesakov, 1978).

On land distribution of various types of vegetation in scale of all continents, and ecosystems, which habitus vegetation determines, associated with temperature and humidity ratio (Whittaker, 1980). Certain combinations of abiotic conditions corresponds some certain group or class of ecosystems. Not just the vegetation, but whole ecosystem. While the relationship between character of biome and conditions, such as moisture, it is obvious, there is a lot of data about the role of biotic factors in the formation, in particular herbal ecosystems – the steppe, pampa, prairie (Zhirkov, 2010).

Types of biogeomes and criteria for their selection

What are the most important features characterize different Geomes and Biomes? Obviously, its must be, both biotic and abiotic characteristics. Briefly they can be represented in a kind of biogeome «formula». For land biogeomes formula might look like this: Geome = climatic conditions (Cc, temperature, humidity) + nature of soil (Sl); Biome = key life forms, ecomorphs (Lf) of organisms + chorological characteristics (H) or spatial location, stratification, mosaic. In short form it is (Cc + Sl) + (Lf + H). The general trophic

characteristics not is important here, so land ecosystems fre photoautotrof-geterotrofic, unlike hydrosphere which happen photoautotrofic, chemoautotrofic and heterotrofic.

For aquatic biogeomes needed other than for terrestrial ones features of the environment. Formula of biogeomes in the hydrosphere, as follows: Geome = thermal condition (T) + photic o disphotic conditions (Ph), dynamics of water masses (D) or the intensity of water exchange, the current speed + level of oxidizing and reducing conditions (O) + substrate (Sb). Biome part of formula is key life forms biota (Lf) + trophic structure (Tr) + horology (H, layering, stratification, mosaic) in short form – (T + Ph + D + O + Sb) + (Lf + Tr + H).

Ecosystems can be divided sufficiently to three types: as «biotic», «oligobiotic» and «subbiotic» (these names are related only to the role of living and inert elements, but certainly not to the actual structure of the ecosystem). This division (*see table*) based on the greater or lesser importance of biotic or abiotic physiognomic components can be considered in a unit classification, terrestrial and aquatic ecosystems, and, consequently, their set or biogeomes. Significant predominance of inert elements in ecosystems leads some authors to the idea do not classify such areas the earth's surface as ecosystems (Biotopy lisovoy..., 2011).

**Characteristics of biogeomes (using partially classification of typically land biomes
(Whittaker, 1980), classification of hydrobiomes (Protasov, 2011))**

Column №	Column name	Geome features	Biome features
1	2	3	4
Land biogeomes of «biotic» type (appearance of the ecosystem is determined mainly by biotic elements)			
1	Biogeome of tropical rain forests	A substantial uniformity of abundant precipitation and a relatively high temperature during the year. Poor humus lateritic soils	Main life forms are trees, lianas, epiphytes. The high primary production, high trophic specialization of the heterotrophs. Significant spatial complexity of communities
2	Forest biogeome with periodicity of biotic phases	The climate with harsh winters and fairly warm summers. Prolonged snow cover. The climate is temperate, with cold winters and warm summers, precipitation mainly in summer. The climate is tropical. Summer rains and the dry season from 2 to 10 months. The soils are poor in nutrients with a small amount of humus. There is a layer of leaf litter	Main life forms are trees. The periodic change of the community development phase. There is a phase of decline of activity in cold or dry season. Significant spatial complexity of communities
Biogeome of «biotic» type in the hydrosphere (appearance of ecosystems is determined mainly biotic elements such as sedentary hermatypic corals or algae)			
3	Biogerm biogeome	High and stable water temperature. Circumtropical distribution. Most ecosystems exists in the upper part of the photic zone	The main of modern life forms is hermatypic corals, sedentary form. In the basis of the trophic links is trofosimbiosis of heterotrophic ephaptobionts with autotrophic endosymbionts. Distribution is

Table continuation

1	2	3	4
			determined by the depth of a few tens of meters, which is determined by the penetration of light and the ability of photosynthesis symbionts algae. Enormous richness of species and life forms
Land biogeomes of «oligobiotic» type (ecosystems appearance as determined by mainly biotic elements do not create a complex spatial structure. Also the abiotic elements and environmental factors plays important role)			
4	Tundra biogeome	Winters are long with low temperatures, a short growing season with long daylight days. Circumboreal distribution. Deep soil freezing and thawing in the summer only the surface layer. The accumulation of organic matter in soils, peat formation	Main photoautotrophs are follow life forms: shrubs, grasses, mosses and lichens. Major herbivores are small rodents. Important seasonal herbivores are nesting migratory birds
5	Grass biogeome of temperate zone (steppes, prairies, pampas)	For the climate is characterized periodic dry season, with high summer temperatures. Soils are rich in humic substances, are fertile. Significant part of ecosystems are man used for agriculture, the bulk of the ecosystem is severely transformed	Main photoautotrophs are herbaceous plants, sometimes sparse woody vegetation that is resistant to fire. Basic heterotrophs are burrowing larvae of insects, vertebrates excavations, large herbivores. Spatial complexity expressed very weakly
Biogeomes of «oligobiotic» type in the hydrosphere			
6	Shelf biogeome	The coastal shelf zone of the ocean. Significant temperature latitudinal zonation with a large temperature range. Various hydrodynamic factors: currents, upwellings, downwellings. The hydrodynamic connection between the bottom and the water column habitats. Most of the ecosystems located in the photic zone	A large variety of life forms. Primary producers are represented mainly by plankton algae, but locally attached macrophytes plays the important role. Basic trophic chains are pastoral ones
7	Hydrothermal-seeps biogeome	Deep bottom vents of mineral water fluid substances with a high temperature. Large hydro-chemical and thermal gradients. The island nature of the sources and hydrothermal fields. Cold-water hydrogen sulfide and hydrocarbon bottom seeps	Sedentary and mobile forms, endosymbiotic adsotrophs are main ecomorphs. Energy flows in the communities provide mainly primary products by endo- and ectosymbiotrophic chemosynthetics. Rich composition and spatially complex community of heterotrophic organisms.

Table end

1	2	3	4
			Spatial structure has concentric character around the fluid source
8	Rheobiogeome	Streams of runoff with high water exchange. Wide temperature range from freezing in winter to tropical with stable temperature. Expressed latitudinal zonation. There is a zonation of ecosystems along the direction of flow, as well as metameric structure, local recurrence types of habitats	Among the primary producers a big role play contourobionts of periphyton and benthos. There are significant diversity of nekton, benthos and periphyton
9	Limnobiogeome	Water bodies of surface runoff from slow water exchange. Wide temperature range – from freezing in winter to tropical waters. Expressed latitudinal zonation. There is a depth zonation and stratification	Primary producers represented by planktonic algae, rarely bacteria and benthic or periphytic autotrophs. Trophic network are pasture and detrital. There are high diversity of plankton and nekton forms
Land biogeomes of «subbiotic» type (ecosystems appearance determine abiotic elements, and formed mainly abiotic factors)			
10	Desert biogeome	The arid climate. Wide temperature range, precipitations are very small. The appearance of the landscape determine the soil rather than vegetation	There are many specific life forms: ephemerooids, succulent plants, burrowing, active at night animals. Primary production and biodiversity are very low
Biogeomes of «subbiotic» type in hydrosphere (ecosystem shape is determined exclusively by the biotic elements: water environment, sediments)			
11	Pelagic ocean biogeome	Latitudinal thermal zonation in the surface layers. Low and relatively stable temperature on deep. Separation of photic and unphotoc zones. Surface directed flows and circular currents	Kingdom of planon ecomorphs, the nekton and plankton. Separation of autotrophic and heterotrophic aphotic and photic zones. Trophic networks are pasture and detrital. Exists significant vertical migration of plankton and nekton
12	Bathyal-abyssal biogeome	Low and stable temperature without clear latitudinal zonation. Sedimentation suspensions, including delivery of organic matter depends on the processes in the pelagial. Exist expressed deep zoning of conditions	The prevalence of sedentary and low-moving forms, which always have the contacts with the substrate. Absence of autotrophic organisms and exclusively detrital food chains. The spatial complexity of the ecosystems are very small

The system is widely used already, such as marine biologists are considering applying EUNIS-classifying habitats (habitat classification) for mapping the benthos in European seas (Galparsaro et al., 2012). Ukrainian geobotanics Ya. P. Didukh and O. L. Kuzmanenko (2010) examined this terminology question of terms relationship and concepts «biotope», «ecotope», «habitat», etc.

The «habitat», in the sense used European experts in the field of nature protection is «plant or animal communities that appear as characteristic elements of biotic environment, together with the abiotic factors – the soil, climate, available water – operating working together at different scales» (Moss, 2013). It is easy to see that this definition is probably related to the ecosystem, rather than to the habitat or biotope of community.

On land the selection of different types of ecosystems – forests, wood forms with modifying and treeless grassy or herbal is under an ecological grounds (Razumovsky, 1999). There are many examples of biogenic transformation of ecosystems dominated by terrestrial forms to non-forested ecosystems (Zhirkov, 2010), but these processes are likely to have a complex character. As for the features of forest ecosystems, unlike grass, it should be emphasized that in the forest organic material accumulation occurs mainly in the biotic part of the ecosystem. It seems appropriate to split the all forest ecosystems at two biogeomes. The different types of ecosystems of various climatic zones of the land are different climatic conditions and soils, the nature of trophic relations, metabolic activity in time. The time cyclicity of environmental conditions is different (Stanyukovich, 1970). The major ecological role of terrestrial vegetation is expressed in many ways, first of all, that the one creates a very specific biogenic habitat for other organisms. The most important in terms of assessing the differences geome represented permanence and periodicity of the environment. Two forest biogeomes can be identified: a tropical rain forest and seasonal forests.

With regard to the allocation of biogeomes of «biotic» type in the hydrosphere, the inclusion of biogerm ecosystems is no doubt in it. They biotic ecosystem elements (corals, algae, another organisms) create a completely new environment for the other members of biocenoses, underwater landscape, actually becoming «geological force», in the words of Vernadsky.

The ecosystems of «oligobiotic» type characterized some abiotic factors along with biotic form their shape. Low winter temperatures, short summers contribute to the formation of permafrost in tundra soils. The main forms of plant life are hemicryptophytes. Great importance in the life of plants plays a thermal microzonation. In the summer during the prolonged sun exposure creates a relatively large amount of organic matter initially produced, which accumulates as peat, large detritus (Prirodnaya ..., 2000). In herbal temperate ecosystems (steppe, prairie) important abiotic factor is low moisture in the summer, a drought that reduces the intensity of the destruction of organic matter, its accumulation in the soil.

There is large number of ecosystems in the hydrosphere can be attributed to oligobiotic type. Shelf ecosystems are very diverse, highly variable the ratio of the biotic and abiotic components. The underwater «forests» of brown algae in the upper rocky intertidal zone, densely populated as the sedentary and mobile forms is clearly dominated by biotic elements. At the same time, life in the intertidal zone is largely determined by tidal action. In general, the causes in a separate set of shelf biogeome ecosystem that is the part of the biosphere, which converge into one system border zones of three biosferomeres: the surface of the ocean, bottom, and land. This is one of the most important contour zones in the biosphere. The coastline of the continents is about 600 000 km (Gladyshev et al., 2009). The ecosystems of this zone is extremely varied, one after another, they stretch along the shores of oceans and inland seas of some hundreds of thousands of kilometers. Its can be combined to one shelf biogeome.

Hydrothermal ecosystems are selected in a separate biogeome, undoubtedly. They are compared to most another aquatic ecosystems – photoautotrophic and heterotrophic – look quite peculiarly (Van Dover, 2000). If the vast majority of the Earth's ecosystems derive energy from the sun (an organic substance heterotrophic community also has the nature of photosynthetic), the hydrothermal communities formed by chemosynthetic activity look like an island in an ocean of «green autotrophic life» (Vernadsky's term). Hydrothermal is a geological phenomenon, and in the ecosystem, the life of which depends on the intensity and duration of the outpourings of fluid, hydrothermal activity is the determining factor.

The ecosystems habitus define clusters of peculiar animals. Besides hydrothermal ecosystems in this biogeome should also include some other marine ecosystems associated with reducing environment.

The ecosystems of water bodies of surface runoff, though closely associated with land ecosystems, should be allocated to individual biogeome. Habitual criterion leads us to classify them as «oligobiotic» type. Although a large river or lake looks more like a single huge water mass (prevalence inert elements) to the borders of the shores, in smaller ponds and streams biotic components also determine the general habit of the ecosystem. And above all, it is higher aquatic vegetation, which has a contour (coastal) location. To separate the two biogeomes (the biogeome of water bodies and biogeome of rivers and streams) exist main abiotic criterion: specifically intensity of water exchange. This is connected with differences in the nature of the time processes (Ward, 1989). In water bodies (slow water exchange) succession are ongoing. In streams with intensive water exchange, cyclical changes are expressed as the inert and biotic elements. (Alimov et al., 2013)

In ecosystems, which are included in «subbiotic» type, inert parts define its common habitus. It does not depend on the size of ecosystems or conditional fragmentation for the study and is manifested in the small fragments. On land the ecosystems of deserts can be combined into one biogeome. Their formation and existence is determined by a combination of factors, which are close to the extreme: high or low temperatures, extremely low humidity.

In the hydrosphere in this subbiotic type may be included two types of ecosystems where is clearly dominated inert elements. Its are oceanic pelagic and bottom ecosystems including to ocean pelagic and bathyal-abyssal biomes. Primary production of the pelagic zone of the ocean as a whole does not exceed the production of terrestrial deserts. Pelagic biogeome of the ocean is the largest subunit of the biosphere and holds the overwhelming majority of the whole population living organisms hydrosphere (Verity et al., 2002)

Thus, we allocate 12 biogeomes which cover practically all biosphere of the Earth.

Hydrobiomes, together with the continental biomes create a proper, functioning of modern living biosphere. Biosferomerones acquire its structure, that is, from «merons» or parts of the biosphere its become the system with their own specific structure.

Exbiogeome ecosystems

It is obviously that the above scheme can not show a plurality of transitions between biogeomes. There are ecosystems that are generally difficult to attribute to any of them. As H. Walter (1975) note, on land where the actual shape is determined by vegetation except zone defined by basic climatic characteristics, there exzonation vegetation, which is difficult to attribute to any biome. He believes that its are: vegetation of river sediment of freshwater ponds and streams, vegetation of brackish and salt water, macrophyte vegetation of the seas, vegetation of coastal dunes. A huge diversity of ecosystems can not be strictly and fully reduced to a small number of biogeomes, among the most significant exbiogeome are following: savanna, wetland ecosystems, mangroves, estuarine ecosystems. It should be noted that they all have ecotone character.

Techno-biogeome and noospherogenesis

A man adds a lot of different anthropogenic elements to the existing diversity of combinations of natural elements both BIO and GEO. In the biosphere, really occur the formation of a new type of composite, man-made ecosystems, which are islands in the world of natural ecosystems in ever-expanding field of its existence. The appearance of landscapes of entire countries and geographical areas completely transformed by human activity. Anthropogenic ecosystems are very diverse and combining them into a single conditional techno- biogeome (agro-, and urbobiogeome) is problematic, however, should take into account role of this ecosystems in the biosphere.

The transformation of the biosphere as a natural system to the noosphere is going through the transformation of natural ecosystems to antropogenic ones.

The complication of «biogeomic construction» of biosphere in evolutionary time is obviously. Billions years ago, the entire biosphere could consist of a very small number of ecosystems types. It was, most likely, coastal semimarine-land ecosystems that functioned on the basis of bacterial mats, which occurred as the production of organic matter and its destruction (Ponomarenko, 2007). The diversity of the biosphere in this aspect was close to zero. Not only because the types of ecosystems were not enough, but also because much dominated by one type. At present the richness of ecosystems is large, but it is also important that no one biogeome not a currently an absolute dominant in the biosphere. Thus, over billions of years the diversity of the biosphere grew enormously, not only in the aspect of increasing the number of taxa, but also in the aspect of increasing the number of types of ecosystems and the uniformity of their significance in the biosphere. In this regard, a very important question about the formation of agro-, technical- and urbo-ecosystems. Formally, they also increase the diversity of the biosphere. But at the same time whether its sustainability is not whether this will lead to a change in uniformity in the structure of the biosphere and not fall? Unfortunately there are grounds for an affirmative answer to this question.

CONCLUSION

The balance of divergent and convergent processes is one of the most important principles of forming complex bioinert systems. The basis of the formation of biogeomes, complexes of similar ecosystems are ecological biocenotic convergence.

Differentiation of biogeomes based on the similarity characteristics of geomes and biomes. The combination and the prevalence of a main features of ecosystem type permit us divided three types of ecosystems and biogeomes: biotic, oligobiotic and subbiotic. We allocate 12 biogeomes in hydrosphere and on land: tropical rain forests, seasonal forests, biogerm, herbal, tundra, ocean shelf, hydrothermal biogeomes, limnobiogeome, rheobiogeome, deserts biogeome, ocean pelagic and bathyal-abyssal biogeomes.

Modern biogeomes structure was formed in the process of evolution of the biosphere, the main thrust of which there is an increase in diversity, both in terms of increasing the richness of taxa and in the aspect of increasing the richness of connections between functional groups, between the living and inert elements. In the evolution process has increased not only the number of types of ecosystem, types of relationship between BIO and GEO, but also the evenness of their representation in the biosphere.

The biogeome concepts essentially complement submissions of the hierarchical structure of the biosphere. Creating by human a new ecosystem types is the way to the evolution of the biosphere into the noosphere.

REFERENCES

- Aleyev, Yu. G., 1986. Ekomorfologiya [Ecomorphology], Nauk. dumka, Kiev (in Russian).
- Alimov, A. F., Bogatov, V. V., Golubkov, S. M., 2013. Produktsionnaya gidrobiologiya [Production Hydrobiology], Nauka, St. Petersburg (in Russian).
- Berg, L. S., 1947. Geograficheskiye zony Sovetskogo Soyuza [Geographic zones of the Soviet Union], State ed. geographical literature, Moscow (in Russian).
- Clements, F. T., Shelford, V. E., 1939. Bio-Ecology. N.Y., 425 p.
- Didukh, Ya. P., Fitsaylo, T. V., Korotchenko, I. A., Yakushenko, D. M., Pashkevich, N. A., 2011. Biotopy lisovoy ta lisostepovoy zon Ukrainy [Biotopes forest and semisteppe zones of Ukraine], TOV «MAKROS», Lviv (in Ukrainian).
- Didukh, Ya. P., Kuzmanenko, O. L., 2010. Do pitannya pro spivvidnoshennya ponyat «ekosistema». «gabitat». «biotop» ta «ekotop» [To the relationship between the concepts of «ecosystem», «habitat», «biotope» and «ecotypes»], Ukrainian Botanical Journal 67(5), 668–679] (in Ukrainian).
- Galparsaro, I., Connor, D., Borja, A. 2012. Using EUNIS habitat classification for benthic mapping in European seas. Present concerns and future needs. Marin. Pollut. Bull. 64(12), 2630–2638.
- Gladyshev, M. I., Sushchik, N. N., Arts, M. T., 2009. Globalnyy eksport nezamenimyykh biokhimicheskikh komponentov pitaniya iz vodnykh ekosistem v nazemnyye ekosistemy [Global exports of essential biochemical

- nutrient components from aquatic ecosystems to terrestrial ecosystems]. X Congress Hydrobiological Society RAS (in Russian).
- Kuznetsov, A. P., 1980. *Ekologiya donnykh soobshchestv Mirovogo okeana (Troficheskaya struktura morskoy donnoy fauny)* [Ecology of benthic communities of the world's oceans (trophic structure of marine benthic fauna)]. Nauka, Moscow (in Russian).
- Moss, D., 2008. EUNIS habitat classification – a guide for users. European topic centre on biological diversity. <http://biodiversity.eionet.europa.eu>
- Odum, Yu., 1975. *Osnovy ekologii* [Fundamentals of ecology]. Mir, Moscow (in Russian).
- Ponomarenko, A. G., 2007. *Evolutsiya ekosistem kontinentalnykh vodoyemov. Problemy vodnoy entomologii Rossii i sopredelnykh stran* [Evolution of ecosystems of continental waters. Problems of aquatic entomology of Russia and neighboring countries]. Voronezh, Voronezh state Univ Pub.Center, 228–259 (in Russian).
- Prirodnaya sreda Yamala. Biotsenozy Yamala v usloviyakh promyshlennogo osvoeniya, 2000 [The natural environment of Yamal. Biocenosis Yamal in terms of industrial development], Tyumen (in Russian).
- Protasov, A. A., 2012. Biogeom kak strukturnaya edinita biosfery [Biogeome as a structural unit of the biosphere]. *Biosfera* 4(3), 280–285 (in Russian).
- Razumovskiy, S. M., 1999. *Izbrannyye trudy* [Selected works]. Moscow (in Russian).
- Stanyukovich, K. V., 1970. *Opyt klassifikatsii rastitelnykh soobshchestv zemnogo shara na osnove ikh ekologicheskoy ritmiki* [Experience the classification of plant communities of the world on the basis of their ecological rhythm]. *Ekologiya* 1, 18–26 (in Russian).
- Tesakov, Yu. I., 1978. *Tabulyaty. Populyatsionnyy, biogeotsenoticheskiy i biostratigraficheskiy analiz* [Tabulates. Population, biogeocenotic and biostratigraphic analysis]. Nauka, Moscow (in Russian).
- Van Dover, S. L., 2000. *The ecology of deep-sea hydrothermal vents*. Princeton: Princeton Univ. Press. 424 p.
- Verity, P., Smentacek, V., Smayda, T., 2002. Status, trends and the future of the marine pelagic ecosystem. *Environ. Conserv.* 29(2), 207–237.
- Vernadskiy, V. I., 2012. *Biosfera. Vibrani naukovy pratsi akademika V. I. Vernadskogo. T. 4. K. 1.* [Biosphere. Selected scientific works of academician V. I. Vernadsky. 4(1)]. Kiev, 220–321 (in Russian).
- Walter, H., 1975. *Rastitelnost Zemnogo shara. Ekologo-fiziologicheskaya kharakteristika. T. 3. Tundry. luga. stepi. vnetropicheskiye pustyni* [Vegetation of the Earth. Ecological and physiological characteristic. V. 3. Tundra, grasslands, prairies, extratropical deserts]. Progress, Moscow (in Russian).
- Ward, J. V., 1989. The four-dimensional nature of lotic ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society* 8(1), 2–8.
- Whittaker, R., 1980. *Soobshchestva i ekosistemy* [Communities and the ecosystems]. Progress, Moscow (in Russian).
- Zavarzin, G. A., 1994. *Mikrobnaya biogeografiya* [Microbial biogeography]. *Zhurnal obshchey biologii* 55(1), 5–12 (in Russian).
- Zhirkov, I. A., 2010. *Zhizn na dne. Bio-geografiya i bio-ekologiya bentosa* [Life at the bottom. Biogeography and bio-ecology of benthic]. Moscow (in Russian).

Стаття надійшла в редакцію: 30.09.2015

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

THEORETICAL ISSUES OF ECOLOGY



V. M. Pomohaibo 
L. D. Orlova
N. A. Vlasenko

Cand. Sci. (Biol.), Ass. Prof.
Dr. Sci. (Biol.), Professor
Cand. Sci. (Biol.)

UDK 574+577.2.04

*Poltava National Pedagogical V. G. Korolenko University,
Ostrogradskiy str., 2, Poltava, Ukraine, 36009*

ENVIRONMENTAL DNA: ECOLOGICAL AND GENETIC ASPECTS

Abstract. Attention to environmental DNA (eDNA) was motivated by problem of undesirable gene transfer possibility from genetically modified plants to wild bacteria and other organisms. First studies have already examined persistence of DNA from these plants in soil, and also in the samples of nearby groundwater and river for a few kilometers from the place of cultivating. In soil it persists long time enough – from a few days to a few years, and in water – from a few hours to a few days.

eDNA excreted from different sources – frozen ice cores, sediments of lakes, soil, caves, water of lakes, rivers and oceans, contains genetic information about biodiversity of present and ancient organisms. Researches revealed an important fact: data of eDNA and other sources, for example pollen, macrofossils, living animals and plants, complement each other, showing more reliable information about the variety of species, than used separately. Therefore the analysis eDNA needs to be not of considered alternative method of ecological researches, but an additional to traditional methods

In the process of study of eDNA it is necessary to take into account five aspects at least: its origin, physical state, conversion, transport and technical challenges. The origin of eDNA remains studied not enough. From a few publications it is known that eDNA comes in different composition excretions, leaves, hair, peeling etc., or as a result of released plasmids and chromosomal DNA from living prokaryotes. There are also possible secondary sources of eDNA – dead bodies and excretions of predators, scavengers, detritivores and coprovores. On the amount of the genetic material, released by organisms in an environment, various ontogenetic, trophic and other factors can have considerably influence. eDNA can be presented in both intracellular and extracellular forms. Over time intracellular eDNA releases outside by influence of different ecological factors – activity of microorganisms, presence of extracellular enzymes, mechanical destruction etc. In further extracellular eDNA can break in corpuscles of different sizes – mainly within the limits of 1–10 µm. It can be free, adsorbed by other substances or dissolved.

At certain conditions the period of eDNA persistence can be very great – from a few hours (in water) to hundred thousands of years (in frozen ice cores). Ancient eDNA is very fragmented and chemically changed by various physical, chemical and biological factors of environment. Substantive eDNA amount is taken up by bacteria and protozoa. Here it quickly metabolizes, but some its fragments can be integrated in a local genome. eDNA is able to be transported to great distance (from a few meters to 10 kilometers) that can appreciably influence on the results of its research. Also the laboratory experiment has certain problems – design (equipment, sequence of operations and

 Tel.: +38050-833-81-33. E-mail: vmpom@yandex.ua

DOI: 10.15421/031602

condition of its realization), realization of experiment, authenticity of it will depend on quality of equipment and reagents, competence and honesty of scientific personnel etc.), ability of skilled researcher to give interpretation of results

Data that given in our review testifies that the active study of eDNA only began, and further intensive efforts of environmentalists and geneticists are needed in direction of its research. The results of such researches will allow to create the effective methods of scientifically reasonable recreating nature application.

Keywords: *environmental DNA (eDNA), persistence of eDNA, ancient and present biodiversity.*

УДК 574+577.2.04

В. М. Помогайбо
Л. Д. Орлова
Н. А. Власенко

канд. биол. наук, доц.
д-р биол. наук, проф.
канд. биол. наук

*Полтавський національний педагогічний університет ім. В. Г. Короленко,
ул. Остроградського, 2, г. Полтава, Україна, 36009,
тел.: +38050-833-81-33, e-mail: vtprom@yandex.ua*

ДНК ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ: ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ И ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АСПЕКТЫ

Аннотация. Осуществлен обзор научных публикаций, посвященных исследованию ДНК окружающей среды (ДНКос). Подана характеристика ДНКос по происхождению, физическому состоянию, превращениям под действием факторов окружающей среды, перемещениям в окружающей среде. Констатируется, что ДНКос может быть источником дополнительной информации о биологическом разнообразии современной и древней природы. Отмечена необходимость дальнейших исследований ДНКос, результаты которых позволят разработать эффективные способы научно обоснованного воспроизводящего природопользования.

Ключевые слова: *ДНК окружающей среды (ДНКос), устойчивость ДНКос к факторам окружающей среды, древнее и современное разнообразие живой природы.*

УДК 574+577.2.04

В. М. Помогайбо
Л. Д. Орлова
Н. О. Власенко

канд. біол. наук, доц.
д-р біол. наук, проф.
канд. біол. наук

*Полтавський національний педагогічний університет ім. В. Г. Короленка,
вул. Остроградського, 2, м. Полтава, Україна, 36009,
тел.: +38050-833-81-33, e-mail: vtprom@yandex.ua*

ДНК ОТОЧУЮЩЕГО СЕРЕДОВИЩА: ЕКОЛОГІЧНИЙ ТА ГЕНЕТИЧНИЙ АСПЕКТИ

Анотація. Здійснено огляд наукових публікацій, присвячених дослідженню ДНК оточуючого середовища (ДНКос). Подано характеристику ДНКос за походженням, фізичним станом, перетвореннями під дією чинників оточуючого середовища, переміщеннями в довкіллі. Констатовано, що ДНКос може бути джерелом додаткової інформації про біологічне різноманіття сучасного і давнього довкілля. Наголошено про необхідність подальших досліджень ДНКос, результати яких дозволять розробити ефективні способи науково обґрунтованого відтворюючого природокористування.

Ключові слова: *ДНК оточуючого середовища (ДНКос), стійкість ДНКос до чинників довкілля, давнє та сучасне біорізноманіття.*

ВСТУП

ДНК оточуючого середовища (ДНКос) – це ДНК, яка може бути виділена із ґрунту, води, осадів, льоду чи повітря без попереднього видалення будь-яких живих організмів. Вона містить складну суміш клітинної (геномної) та позаклітинної

(деградованої в результаті загибелі клітин та наступного руйнування) ДНК різних організмів (Taberlet et al., 2012). Приналежність ДНКос до того чи іншого виду організмів визначається за допомогою так званого штрих-кодування ДНК (*англ.* DNA barcoding), за якого використовують короткі ДНК-маркери (Erp et al., 2012). Таким штрих-кодом може бути специфічна некодуюча ділянка певного гена довжиною близько 600 пар нуклеотидів. При цьому найчастіше використовують такі мітохондріальні гени як ген цитохромоксидази чи ген рибосомної РНК або хромосомний ген рибосомної РНК.

Термін «ДНК оточуючого середовища» (*англ.* environmental DNA – eDNA) був уперше використаний у 1987 р. американськими мікробіологами (Ogram et al., 1987), але широкого вжитку він набув лише в нинішньому столітті спочатку серед мікробіологів, а пізніше й серед широкого загалу біологів, які досліджують проблеми екології, еволюції, систематики тощо.

Увага до ДНКос була інспірована можливістю перенесення небажаних генів від трансгенних культивованих рослин до бактерій та інших організмів дикої природи. Уже перші дослідження у цьому напрямку підтвердили стійкість ДНК цих рослин у ґрунті (Widmer et al., 1996; Gebhard and Smalla, 1999; Hay et al., 2002), а також у пробах ґрунтової та річкової води поблизу та за кілька кілометрів від місця вирощування (Matsui et al., 2001; Zhu, 2006; Douville et al., 2007). За результатами цих досліджень ДНК від ГМО-організмів у ґрунті зберігається досить довгий час – від кількох днів до кількох років, а у воді – від кількох годин до кількох днів.

Значна частина генетичних свідчень про давні організми досягає наших часів у вигляді залишків позаклітинної ДНК у ґрунтових відкладеннях, водних осадах та льодовиках. Перше наукове повідомлення про сліди давно зниклих організмів з'явилося у 2003 (Willerslev et al., 2003). У відкладеннях печер Нової Зеландії дослідники ідентифікували ДНК 29-ти таксонів давніх рослин та двох видів птаха моа, а у вічній мерзлоті Сибіру – ДНК мамонта, бізона, дикого коня та 19-ти таксонів рослин. У тому ж році група інших дослідників повідомила про виявлення в сухій печері південно-західних США ДНК вимерлого гігантського лінивця, кондора та інших тварин плейстоцену (Hofreiter et al., 2003). З того часу здійснено численні дослідження минулого та сучасного біорізноманіття на основі ДНК евкаріотів, виділеної з різних джерел, включаючи материковий базальний лід, осади озер, материковий ґрунт, відкладення печер, воду озер, річок (Thomsen and Willerslev, 2015). Дослідження виявили важливий факт, що дані ДНКос та інших джерел, наприклад пилку, скам'янілих решток організмів, живих тварин та рослин доповнюють один одного, показуючи достовірнішу картину різноманітності видів, ніж використовувані окремо (Jørgensen et al., 2011; Andersen et al., 2012; Yoccoz et al., 2012; Parducci et al., 2013; Pedersen et al., 2013; Pawłowska et al., 2014). Таким чином, ДНКос потрібно розглядати не як альтернативний метод екологічних досліджень, а як доповнювальний до традиційних.

У процесі вивчення ДНКос необхідно враховувати принаймні п'ять аспектів – її походження, фізичний стан, перетворення, переміщення та технічні проблеми (*рисунок*).

Походження ДНКос

Походження ДНКос залишаються вивченим недостатньо. Із кількох публікацій відомо, що вона надходить у складі фекалій (Höss et al., 1992; Poinar, 1998; Martellini et al., 2005; Andersen et al., 2011; Thomsen et al., 2011), сечі (Valiere and Taberlet, 2000), слини (Nichols et al., 2012), слизу (Ficetola et al., 2008; Jerde et al., 2011), злущень шкіри (Bunce et al., 2005), пір'я (Taberlet and Bouvet, 1991), листя (Trevors, 1996; Poté et al., 2009) тощо, або внаслідок виділення плазмід чи хромосомної ДНК живими прокаріотами (Meier et al., 2003). Це група первинних джерел ДНКос. Однак можливі ще вторинні джерела – мертві тіла та виділення хижаків, сапротрофів, детритофагів та копрофагів (*рисунок*).

На кількість генетичного матеріалу, виділеного організмами в довкілля, можуть значно впливати онтогенетичні та трофічні чинники. Наприклад, дослідження саламандр та риб в акваріумі показало, що кількість виділеної ними ДНК прямо пропорційна біомасі тіла (Matsuura et al., 2014; Pilliod et al., 2014). Крім того, молоді особини на одиницю маси тіла виділяли більше ДНКос, ніж дорослі. В іншому дослідженні було виявлено, що добре годувана риба достовірно збільшувала виділення ДНКос порівняно з контролем (Klymus et al., 2015).



Екологія ДНК оточуючого середовища (Barnes and Turner, 2015)

Мертві клітини в оточуючому середовищі швидко лізуються мікроорганізмами, в результаті чого їх ДНК вивільняється (Paget and Simonet, 1994).

Фізичний стан ДНКос

У дослідженнях ДНКос важливим також є її фізичний стан (рисунок). Перш за все, вона може перебувати всередині клітин або в позаклітинному стані (Ogram et al., 1987). З часом клітинна ДНКос вивільняється назовні, чому сприяють різні екологічні чинники – діяльність мікроорганізмів, наявність позаклітинних ферментів, механічне руйнування тощо (Levy-Booth et al., 2007). Позаклітинна ДНКос у подальшому може подрібнюватися на частинки (корпускули) різних розмірів. Було виявлено, що ДНКос коропа у воді знаходиться в клітинному та позаклітинному стані, а також у вигляді корпускул розміром від 180 до 0,2 і менше мікрметрів. При цьому найбільша доля корпускул мала розміри 1–10 мкм (Turner et al., 2014). Від розмірів корпускул ДНКос будуть залежати такі події як її горизонтальне та вертикальне переміщення, агрегація, дезагрегація, поглинання іншими організмами тощо. Звичайно також, що ДНКос може бути як вільною, так і зв'язаною з іншими речовинами або розчиненою у воді.

Необхідні подальші дослідження, щоб переконатися, що розглянуті вище явища є звичайними у довкіллі. Знання механізмів, які визначають фізичний стан ДНКос, необхідне для удосконалення технології взяття її зразків, їх зберігання та аналізу.

Перетворення ДНКос

ДНКос від різноманітних організмів може, за певних умов, залишитися у довкіллі протягом дуже тривалого часу. Наприклад, період напіврозпаду ДНКос у морській та прісній воді становить від кількох годин (Paul et al., 1987; 1989) до кількох тижнів (Poté et al., 2009; Dejean et al., 2011; Thomsen et al., 2011; 2012). В

осадах і ґрунтах вона зберігається набагато довше. Так ДНК птаха моа була виявлена в помірно сухих відкладеннях віком до 3000 років (Haile et al., 2007), а із осадів вічної мерзлоти віком до 30 тис. років була виділена ДНК мамонта, а віком 400–600 тис. років – ДНК рослин (Willerslev et al., 2003). ДНК рослин була також виявлена в базовій частині льодовика віком близько 0,5 мільйонів років (Willerslev et al., 2007).

Не дивлячись на це, ДНКос має обмежену фізичну та хімічну стабільність (Lindahl, 1993). Насамперед це стосується ДНК, виділеної із древніх зразків, яка є надзвичайно фрагментованою та хімічно зміненою внаслідок дезамінування цитозину і зв'язувальних ланок ланцюжків під дією різноманітних фізичних, хімічних і біологічних чинників оточуючого середовища (Willerslev et al., 2004; Deagle et al., 2006; Gilbert et al., 2007; Pietramellara et al., 2009; Briggs et al., 2010; Allentoft et al., 2012; Overballe-Petersen et al., 2013). У більшості випадків, вивільнена із організму ДНК негайно починає руйнуватися. Первинним механізмом позаклітинної деградації ДНК в оточуючому середовищі є дія бактерійних і грибних екзонуклеаз (Blum et al., 1997). Збереженню ДНКос може сприяти з'єднання її з оточуючими сполуками, наприклад із глинистими мінералами, великими органічними молекулами та іншими зарядженими частками, які захищають адсорбовану ДНК від дії нуклеаз (Stecchio et al., 1998). Такі заряджені частки можуть адсорбувати і нуклеази, що позбавляє їх здатності до позаклітинного гідролізу ДНК (Blum et al., 1997). Наприклад, глинистий мінерал монтморилоніт спроможний адсорбувати ДНК більше, ніж його власна маса тому, що його поверхня має потужний негативний заряд (Greaves and Wilson, 1969; Khanna and Stotzky, 1992; Pietramellara et al., 2007). Подібні властивості мають також гумінові кислоти та інші органічні сполуки, стійкі до розпаду (Huang et al., 2014). На відміну від глини, пісок виявився менш ефективним щодо зв'язування ДНК, перш за все через незначну поверхню його часток. Проте, адсорбція піском можлива і зростає зі збільшенням концентрації катіонів на поверхні його частинок (Lorenz and Wackernagel, 1987).

Значна частка ДНКос поглинається бактеріями та найпростішими, в яких швидко метаболізується, але окремі її фрагменти зберігаються довгий час і можуть бути інтегровані в геном цих організмів (Lorenz and Wackernagel, 1994; Thomas and Nielsen, 2005; Vries and Wackernagel, 2005; Johnsborg et al., 2007; Gladyshev et al., 2008; Boschetti et al., 2012; Overballe-Petersen et al., 2013). Це явище відоме під назвою трансформації. Класична природна трансформація ефективна, коли довжина фрагментів ДНК складає близько тисячі основ. Однак, вона можлива і у випадку дуже коротких фрагментів, свідченням чого є успішна інтеграція мтДНК мамонта довжиною всього близько 20-ти пар основ у геном ґрунтової бактерії *Acinetobacter baylyi* (Overballe-Petersen et al., 2013).

Механізм переміщення та інтеграції генетичного матеріалу одного організму в геном іншого дістав назву горизонтального, або бічного перенесення генів. Горизонтальне перенесення генів (ГПГ) найпоширеніше серед прокаріотів. Вважається, що саме ГПГ зіграло важливу роль в еволюції бактерій. Незаперечним підтвердженням цього є легкість, з якою деякі види бактерій набувають стійкості до цілого спектру антибіотиків, а це можливо лише у випадку, якщо ці ознаки поширюються в межах виду, а не генеруються кожною лінією бактерій самостійно. По мірі зростання кількості секвенованих геномів еукаріотів, з'являється все більше свідчень поширеності цього явища серед організмів усіх рівнів організації, у тому числі грибів, рослин та тварин, а також між досить віддаленими організмами – представниками різних типів і навіть царств. Однак в експериментах ГПГ з волі дослідника донедавна було показане лише серед прокаріотів. (Horizontal gene transfer, 2002). Уперше ГПГ між одноклітинним та багатоклітинним еукаріотами констатувала група бразильських дослідників на чолі з проф. Антоніо Тейксейра у 2010 р. Вони виявили перенесення мітохондріальної ДНК збудника хвороби Чагаса *Trypanosoma cruzi* в геном хворих людей (Hecht et al., 2010).

Переміщення ДНКос в оточуючому середовищі

Позаорганізмova ДНК переміщується у довкіллі на досить значну відстань, що може суттєво вплинути на результати її дослідження (рисунок). Наприклад, ДНКос рослин була виявлена у річковій воді за багато кілометрів від місця вирощування (Douville et al., 2007), у ґрунтових водах на глибині понад 3 м і навіть в артезіанській питній воді (Poté et al., 2009). У річковій воді на відстані понад 1 км від науково-дослідної лабораторії виявлено мічену ДНК, яка була використана в експериментах (Forppen et al., 2011). Таких свідчень стає все більше. Наприклад, ДНК двох видів безхребетних – дафнії (*Daphnia longispina*) та перлівниці (*Unio tumidus*) – була виявлена у річці на відстані 10 км від місця їх існування в озері, з якого витікає річка (Deiner and Altermatt, 2014). Недавно описано також вертикальне переміщення ДНКос риб і накопичення її в осадах озер та річок (Turner et al., 2015).

Таким чином, ДНКос має тенденцію активного переміщення у навколишньому середовищі. Це потрібно мати на увазі, щоб правильно інтерпретувати результати досліджень стосовно існування тих чи інших видів живих організмів у певному місці та в певний час.

Технічні проблеми дослідження ДНКос

Повний технологічний процес дослідження ДНКос складається із п'яти етапів: 1) взяття зразків оточуючого середовища (базовий лід, вічна мерзлота, ґрунт, ґрунтові відкладення, прісна та морська вода, водні осади); 2) екстракція ДНК із цих зразків, враховуючи їх тип; 3) клонування екстрагованої ДНК методом PCR (англ. polymerase chain reaction); 4) секвенування отриманого матеріалу; 5) виявлення помилок і таксономічна ідентифікація секвенованої ДНК (Thomsen and Willerslev, 2015).

Попри природні чинники, які можуть вплинути на стан ДНКос, а отже і на результати її аналізу, певних проблем не позбавлений і сам технологічний процес дослідження (рисунок). Це і його дизайн, тобто засоби, послідовність операцій та умови їх здійснення. Це і хід самого експерименту, достовірність якого буде залежати від якості обладнання та реактивів, компетентності та добросовісності наукового персоналу і т.п. Не менш важливим є також здатність дослідника правильно інтерпретувати результати дослідження.

ВИСНОВКИ

Подані в нашому огляді дані свідчать, що активне вивчення ДНКос лише розпочалося і потрібні подальші інтенсивні зусилля екологів та генетиків у напрямку її дослідження. Результати таких досліджень дозволять розробити ефективні способи науково обґрунтованого відтворюючого природокористування.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

- Allentoft, M. E., Collins, M., Harker, D., Haile J., Oskam, Ch. L., Hale, M. L., Campos, P. F., Samaniego, J. A., Gilbert, M. Th. P., Willerslev, E., Zhang, G., Scofield, R. P., Holdaway, R. N., Bunce, M., 2012. The half-life of DNA in bone: measuring decay kinetics in 158 dated fossils. *Proc. R. Soc. B.* 279(1748), 4724–4733.
- Andersen, K., Bird, K. L., Rasmussen, M., Haile, J., Breuning-Madsen, H., Kjær, K. H., Orlando, L., Gilbert, M. Th. P., Willerslev, E., 2011. Meta-barcoding of «dirty»DNA from soil reflects vertebrate biodiversity. *Mol. Ecol.* 21(8), 1966–1979.
- Barnes, M. A., Turner, C. R., 2015. The ecology of environmental DNA and implications for conservation genetics. *Conserv. Genet.* 17(1), 1–17.
- Blum, S. A. E., Lorenz, M. G., 1997. Mechanism of retarded DNA degradation and prokaryotic origin of DNases in nonsterile soils. *Syst. Appl. Microbiol.* 20(4), 513–521.
- Boschetti, C., Carr, A., Crisp, A., Eyres, I., Wang-Koh, Y., Lubzens, E., Barraclough, T. G., Micklem, G., Tunnacliffe, A., 2012. Biochemical diversification through foreign gene expression in bdelloid rotifers. *PLoS Genet.* 8(11), e1003035.
- Briggs, A. W., Stenzel, U., Meyer, M., Krause, J., Kircher, M., Pääbo, S., 2010. Removal of

- deaminated cytosines and detection of in vivo methylation in ancient DNA. *Nucleic Acids Res.* 38(6), e87.
- Bunce, M., Szulkin, M., Lerner, H. R., Barnes, I., Shapiro, B., Cooper, A., Holdaway, R. N., 2005. Ancient DNA provides new insights into the evolutionary history of New Zealand's extinct giant eagle. *PLoS Biol.* 3(1), e9, 0044–0046.
- Crecchio, C., Stotzky, G., 1998. Binding of DNA on humic acids: effect on transformation of *Bacillus subtilis* and resistance to DNase. *Soil Biol. Biochem.* 30(8-9), 1061–1067.
- Deagle, B. E., Eveson, J. P., Jarman, S. N., 2006. Quantification of damage in DNA recovered from highly degraded samples – a case study on DNA in faeces. *Front. Zool.* 3(11).
- Deiner, K., Altermatt, F., 2014. Transport distance of invertebrate environmental DNA in a natural river. *PLoS ONE.* 9(2), e88786.
- Dejean, T., Valentini, A., Duparc, A., Pellier-Cuit, S., Pompanon, F., Taberlet, P., Miaud, C., 2011. Persistence of environmental DNA in freshwater ecosystems. *PLoS ONE.* 6(8), e23398.
- Douville, M., Gagne, F., Blaise, C., Andre, C., 2007. Occurrence and persistence of *Bacillus thuringiensis* (Bt) and transgenic Bt corn cry1Ab gene from an aquatic environment. *Ecotoxicol. Environ. Safety.* 66(2), 195–203.
- Epp, L. S., Boessenkool, S., Bellemain, E. P., Haile, J., Esposito, A., Riaz, T., Erséus, Ch., Gusarov, V. I., Edwards, M. E., Johnsen, A., Stenøien, H. K., Hassel, K., Kausrud, H., Yoccoz, N. G., Bråthen, K. A., Willerslev, E., Taberlet, P., Coissac, E., Brochmann, Ch., 2012. New environmental metabarcodes for analysing soil DNA: potential for studying past and present ecosystems. *Mol. Ecol.* 21(8), 1821–1833.
- Ficetola, G. F., Miaud, C., Pompanon, F., Taberlet, P., 2008. Species detection using environmental DNA from water samples. *Biol. Lett.* 4(4), 423–425.
- Foppen, J. W., Orup, C., Adell, R., Poulalion, V., Uhlenbrook, S., 2011. Using multiple artificial DNA tracers in hydrology. *Hydrol. Process.* 25(19), 3101–3106.
- Gebhard, F., Smalla, K., 1999. Monitoring field releases of genetically modified sugar beets for persistence of transgenic plant DNA and horizontal gene transfer. *28(3)*, 261–272.
- Gilbert, M. Th. P., Djurhuus, D., Melchior, L., Lynnerup, N., Worobey, M., Wilson, A. S., Andreasen, C., Dissing J., 2007. mtDNA from hair and nail clarifies the genetic relationship of the 15th century Qilakitsoq Inuit mummies. *Am. J. Phys. Anthropol.* 133(2), 847–853.
- Gladyshev, E. A., Meselson, M., Arkipova, I. R., 2008. Massive horizontal gene transfer in bdelloid rotifers. *Science.* 320(5880), 1210–1213.
- Greaves, M. P., Wilson, M. J., 1969. The adsorption of nucleic acids by Montmorillonite. *Soil Biol. Biochem.* 1(4), 317–323.
- Haile, J., Holdaway, R., Oliver, K., Bunce, M., Gilbert, M. Th. P., Nielsen, R., Munch, K., Ho, S. Y. W., Shapiro, B., Willerslev, E., 2007. Ancient DNA chronology within sediment deposits: are paleobiological reconstructions possible and is DNA leaching a factor? *Mol. Biol. Evol.* 24(4), 982–989.
- Hay, I., Morency, M., Séguin, A., 2002. Assessing the persistence of DNA in decomposing leaves of genetically modified poplar trees. *Can. J. For. Res.* 32(6), 977–982.
- Hecht, M. M., Nitz, N., Araujo, P. F., Sousa, A. O., Cássia Rosa, A., de, Gomes, D. A., Leonardecz, A., Teixeira, A. R. L., 2010. Inheritance of DNA transferred from american trypanosomes to human hosts. *PLoS ONE.* 5(2), e9181.
- Hofreiter, M., Mead, J. I., Martin, P., Poinar, H. N., 2003. Molecular cloning. *Curr. Biol.* 13(18), R693–R696.
- Horizontal gene transfer, 2002. 2-nd ed. Eds. M. Syvanen, C. I. Kado. London: Academic Press. XVIII+456 p.
- Höss, M., Kohn, M., Pääbo, S., Knauer, F., Schröder, W., 1992. Excrement analysis by PCR. *Nature.* 359(6392), 199.
- Huang, Y. T., Lowe, D. J., Churchman, G. J., Schipper, L. A., 2014. Carbon storage and DNA adsorption in allophanic soils and Paleosols. *Soil Carbon* (eds A. E. Hartemink, K. McSweeney). Switzerland: Springer I.P., XXVI+506 p., 163–172.
- Jerde, Ch. L., Mahon, A. R., Chadderton, W. L., Lodge, D. M., 2011. «Sight-unseen» detection of rare aquatic species using environmental DNA. *Conserv. Lett.* 4(2) 150–157.
- Johnsborg, O., Eldholm, V., Håvarstein, L. S., 2007. Natural genetic transformation: prevalence, mechanisms and function. *Res. Microbiol.* 158, 767–778.
- Jørgensen, T., Haile, J., Möller, P., Andreev, A., Boessenkool, S., Rasmussen, M., Kienast, F., Coissac, E., Taberlet, P., Brochmann, Ch., Bigelow, N. H., Andersen, K., Orlando, L., Gilbert, M. Th. P., Willerslev, E., 2012. A comparative study of ancient sedimentary DNA, pollen and macrofossils from

- permafrost sediments of northern Siberia reveals long-term vegetational stability. *Mol. Ecol.* 21(8), 1989–2003.
- Khanna, M., Stotzky, G., 1992. Transformation of *Bacillus subtilis* by DNA bound on Montmorillonite and effect of DNase on the transforming ability of bound DNA. *Appl. Environ. Microbiol.* 58(6), 1930–1939.
- Klymus, K. E., Richter, C. A., Chapman, D. C., Paukert, C., 2015. Quantification of eDNA shedding rates from invasive bighead carp *Hypophthalmichthys nobilis* and silver carp *Hypophthalmichthys molitrix*. *Biol. Conserv.* 183, 77–84.
- Levy-Booth, D. J., Campbell, R. G., Gulden, R. H., Hart, M. M., Powell, J. R., Klironomos, J. N., Pauls, K. P., Swanton, C. J., Trevors, J. T., Dunfield, K. E., 2007. Cycling of extracellular DNA in the soil environment. *Soil Biology and Biochemistry.* 39(12), 2977–2991.
- Lindahl, T., 1993. Instability and decay of the primary structure of DNA. *Nature.* 362(6422), 709–715.
- Lorenz, M. G., Wackernagel, W., 1987. Adsorption of DNA to sand and variable degradation rates of adsorbed DNA. *Appl. Environ. Microbiol.* 53(12), 2948–2952.
- Lorenz, M. G., Wackernagel, W., 1994. Bacterial gene transfer by natural genetic transformation in the environment. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 58(3), 563–602.
- Martellini, A., Payment, P., Villemur, R., 2005. Use of eukaryotic mitochondrial DNA to differentiate human, bovine, porcine and ovine sources in fecally contaminated surface water. *Water Res.* 39(4), 541–548.
- Maruyama, A., Nakamura, K., Yamanaka, H., Kondoh, M., Minamoto, T., 2014. The release rate of environmental DNA from juvenile and adult fish. *PLoS ONE.* 9(12), e114639.
- Matsui, K., Honjo, M., Kawabata, Z., 2001. Estimation of the fate of dissolved DNA in thermally stratified lake water from the stability of exogenous plasmid DNA. *Aquat. Microb. Ecol.* 26(1), 95–102.
- Meier, P., Wackernagel, W., 2003. Mechanisms of homology-facilitated illegitimate recombination for foreign DNA acquisition in transformable *Pseudomonas stutzeri*. *Mol. Microbiol.* 48(4), 1107–1118.
- Nichols, R. V., Königsson, H., Danell, K., Spong, G., 2012. Browsed twig environmental DNA: diagnostic PCR to identify ungulate species. *Mol. Ecol. Resour.* 12(6), 983–989.
- Ogram, A., Sayler, G. S., Barkay, T., 1987. The extraction and purification of microbial DNA from sediments. *J. Microbiol. Methods.* 7(2-3), 57–66.
- Overballe-Petersen, S., Harms, K., Orlando, L. A. A., Mayar, V. M., Rasmussen, S., Dahl, T. W., Rosing, M. T., Poole, A. M., Sicheritz-Ponten, Th., Brunak, S., Inselmann, S., de Vries, J., de, Wackernagel, W., Pybus, O. G., Nielsen, B., Johnsen, P. J., Nielsen, K. M., Willerslev, E., 2013. Bacterial natural transformation by highly fragmented and damaged DNA. *Proc. Natl Acad. Sci. USA.* 110(49), 19860–19865.
- Paget, E., Simonet, P., 1994. On the track of natural transformation in soil. *FEMS Microbiol. Ecol.* 15(1-2), 109–118.
- Parducci, L., Matetovici, I., Fontana, S. L., Bennett, K. D., Suyama, Y., Haile, J., Kjær, K. H., Larsen, N. K., Drouzas, A. D., Willerslev, E., 2013. Molecular- and pollen-based vegetation analysis in lake sediments from central Scandinavia. *Mol. Ecol.* 22(13), 3511–3524.
- Paul, J. H., Jeffrey, W. H., DeFlaun, M. F., 1987. Dynamics of extracellular DNA in the marine environment. *Appl. Environ. Microbiol.* 53(1), 170–179.
- Paul, J. H., Jeffrey, W. H., David, A. W., DeFlaun, M. F., Cazares, L. H., 1989. Turnover of extracellular DNA in eutrophic and oligotrophic freshwater environments of southwest Florida. *Appl. Environ. Microbiol.* 55(7), 1823–1828.
- Pawłowska, J., Lejzerowicz, F., Esling, P., Szczuciński, W., Zajaczkowski, M., Pawłowski, J., 2014. Ancient DNA sheds new light on the Svalbard foraminiferal fossil record of the last millennium. *Geobiology.* 12(4), 277–288.
- Pedersen, M. W., Ginolhac, A., Orlando, L., Olsen, J., Andersen, K., Holm, J., Funder, S., Willerslev, E., Kjær, K. H., 2013. A comparative study of ancient environmental DNA to pollen and macrofossils from lake sediments reveals taxonomic overlap and additional plant taxa. *Quat. Sci. Rev.* 75, 161–168.
- Pietramellara, G., Ascher, J., Ceccherini, M. T., Nannipieri, P., Wenderoth, D., 2007. Adsorption of pure and dirty bacterial DNA on clay minerals and their transformation frequency. *Biol. Fertil. Soils.* 43(6), 731–739.
- Pietramellara, G., Ascher, J., Borgogni, F., Ceccherini, M. T., Guerri, G., Nannipieri, P., 2009. Extracellular DNA in soil and sediment: fate and ecological relevance. *Biol. Fertil. Soils.* 45(3), 219–235.
- Pilliod, D. S., Goldberg, C. S., Arkle, R. S., Waits, L. P., 2014. Factors influencing

- detection of eDNA from a stream-dwelling amphibian. *Mol. Ecol. Resour.* 14(1), 109–116.
- Poinar, H. N., 1998. Molecular coproscopy: dung and diet of the extinct ground sloth *Nothrotheriops shastensis*. *Science*. 281(5375), 402–406.
- Poté, J., Mavingui, P., Navarro, E., Rosselli, W., Wildi, W., Vogel, T.M., 2009. Extracellular plant DNA in Geneva groundwater and traditional artesian drinking water fountains *Chemosphere*. 75(4), 498–504.
- Taberlet, P., Bouvet, J., 1991. A single plucked feather as a source of DNA for bird genetic studies. *Auk*. 108(4), 959–960.
- Taberlet, P., Coissac, E., Hajibabaei, M., Rieseberg, L. H., 2012. Environmental DNA. *Mol. Ecol.* 21(8), 1789–1793.
- Thomas, Ch. M., Nielsen K. M., 2005. Mechanisms of, and barriers to, horizontal gene transfer between bacteria. *Nat. Rev. Microbiol.* 3(9), 711–721.
- Thomsen, Ph. F., Kielgast, J., Iversen, L. L., Wiuf, C., Rasmussen, M., Gilbert, M. Th. P., Orlando, L., Willerslev, E., 2011. Monitoring endangered freshwater biodiversity using environmental DNA. *Mol. Ecol.* 21(11), 2565–2573.
- Thomsen, Ph. F., Kielgast, J., Iversen, L. L., Møller, P. R., Rasmussen, M., Willerslev, E., 2012. Detection of a diverse marine fish fauna using environmental DNA from seawater samples. *PLoS ONE*. 7(8), e41732.
- Thomsen, Ph. F., Willerslev, E., 2015. Environmental DNA – An emerging tool in conservation for monitoring past and present biodiversity. *Biol. Conserv.* 183, 4–18.
- Trevors, J. T., 1996. Nucleic acids in the environment. *Curr. Opin. Biotechnol.* 7(3), 331–336.
- Turner, C. R., Barnes, M. A., Xu, Ch. C. Y., Jones, S. E., Jerde, Ch. L., Lodge, D. M., 2014. Particle size distribution and optimal capture of aqueous microbial eDNA. *Methods Ecol. Evol.* 5(7), 676–684.
- Turner, C. R., Uy, K. L., Everhart, R. C., 2015. Fish environmental DNA is more concentrated in aquatic sediments than surface water. *Biol. Conserv.* 183, 93–102.
- Valiere, N., Taberlet, P., 2000. Urine collected in the field as a source of DNA for species and individual identification. *Mol. Ecol.* 9(12), 2150–2152.
- Vries, J., de, Wackernagel, W., 2005. Microbial horizontal gene transfer and the DNA release from transgenic crop plants. *Plant Soil*. 266(1-2), 91–104.
- Widmer, F., Seidler, R. J., Watrud, L. S., 1996. Sensitive detection of transgenic plant marker gene persistence in soil microcosms. *Mol. Ecol.* 5(5), 603–613.
- Willerslev, E., Hansen, A. J., Binladen, J., Brand, T. B., Gilbert, M. Th. P., Shapiro, B., Bunce, M., Wiuf, C., Gilichinsky, D. A., Cooper, A., 2003. Diverse plant and animal genetic records from Holocene and Pleistocene sediments. *Science*. 300(5620), 791–795.
- Willerslev, E., Hansen, A. J., Rønn, R., Brand, T. B., Barnes, I., Wiuf, C., Gilichinsky, D. A., Mitchell, D., Cooper, A., 2004. Long-term persistence of bacterial DNA. *Curr. Biol.* 14(1), R9–R10.
- Willerslev, E., Cappellini, E., Boomsma, W., Nielsen, R., Hebsgaard, M. B., Brand, T. B., Hofreiter, M., Bunce, M., Poinar, H. N., Dahl-Jensen, D., Johnsen, S., Steffensen, J. P., Bennike, O., Schwenninger, J.-L., Nathan, R., Armitage, S., Hoog, C.-J., de, Alfimov, V., Christl, M., Beer, J., Muscheler, R., Barker, J., Sharp, M., Penkman, K. E. H., Haile, J., Taberlet, P., Gilbert, M. Th. P., Casoli, A., Campani, E., Collins, M. J., 2007. Ancient biomolecules from deep ice cores reveal a forested southern Greenland. *Science*. 317(5834), 111–114.
- Yoccoz, N. G., Brathén, K. A., Gielly, L., Haile, J., Edwards, E., Goslar, T., Stedingk, H., von, Brysting, A. K., Coissac, E., Pompanon, F., Sønstebo, J. H., Miquel, C., Valentini, A., Bello, F., de, Chave, J., Thuiller, W., Wincker, P., Cruaud, C., Gavor, F., Rasmussen, M., Gilbert, M. Th. P., Orlando, L., Brochmann, C., Willerslev, E., Taberlet, P., 2012. DNA from soil mirrors plant taxonomic and growth form diversity. *Mol. Ecol.* 21(15), 3647–3655.
- Zhu, B., 2006. Degradation of plasmid and plant DNA in water microcosms monitored by natural transformation and real-time polymerase chain reaction (PCR). *Water Res.* 40(17), 3231–3238.

Стаття надійшла в редакцію: 29.03.2016

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

BIOGEOCENOLOGY, GEOBOTANY AND PHYTOCENOLOGY



I. I. Kozak¹

Dr. Sci. (Biol.), Prof.

T. V. Parpan² ✉

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

G. G. Kozak¹

P. G. Kotsyuba¹

UDK 581. 524.3

¹John Paul II Catholic University of Lublin,
Konstantynov 1H, Lublin, Poland, 20-708

²Ukrainian Research Institute of Mountain Forestry,
Hrushevskoho str. 31, Ivano-Frankivsk, Ukraine, 76018

PROGNOSIS OF BEECH STAND DYNAMICS IN CLIMATE CHANGE CONDITIONS IN POLISH BIESZADY AND UKRAINIAN BESKYDY

Abstract. The study concerned forecasts for the dynamics of beech (*Fagus sylvatica* L.) stands in the Polish Bieszczady and Ukrainian Beskydy with the use of FORKOME model in different scenarios of climate changes. Simulation conducted in FORKOME model confirms that beech will exist in the Polish Bieszczady and Ukrainian Beskydy regions on the east boundary of beech areal. The changes in the Polish Bieszczady and Ukrainian Beskydy can be estimate as a positive for forest productivity and biomass accumulations. They were confirmed by fieldwork and events documented in the literature, which shows the reliability of the forecasts used FORKOME computer model. Work and study of this kind are necessary for rational forest management and to take appropriate development strategies.

Key words: simulation, computer, modeling, forest, temperature, precipitation.

УДК 581. 524.3

I. I. Козак¹

д-р біол. наук, проф.

T. B. Парпан²

канд. біол. наук, ст. наук. співр.

G. G. Козак¹

П. Г. Коцюба¹

¹Люблінський Католицький університет ім. Івана Павла II,
Константинув 1Н, м. Люблін, Польща, 20-708

²Український науково-дослідний інститут гірського лісівництва
ім. П.С. Пастернака, вул. Грушевського, 31, м. Івано-Франківськ, Україна, 76018,
тел.: +38050-690-08-13, e-mail: tarasparpan@gmail.com

ПРОГНОЗ ДИНАМІКИ БУКОВИХ ДЕРЕВОСТАНІВ ЗА УМОВИ ЗМІНИ КЛІМАТУ В ПОЛЬСЬКИХ БЕЩАДАХ І УКРАЇНСЬКИХ БЕСКИДАХ

Анотація. Застосування на сьогоднішній день комп'ютерних моделей в екології дозволяє прогнозувати поведінку складних систем, до яких відносяться лісові екосистеми. Беручи до

✉ Tel.: +38050-690-08-13. E-mail: tarasparpan@gmail.com

DOI: 10.15421/031603

ISSN 1726-1112. Ecology and noospherology. 2016. Vol. 27, no. 1–2

25

уваги специфічні умови лісів, аналіз їх динаміки вимагає використання імітаційних комп'ютерних моделей. Існують чисто лісові (growth-yield) моделі та екологічні (gap) моделі, які розвивались незалежно протягом тривалого періоду і взаємодоповнювались.

Лісові моделі зосереджувались на аналізі деревної продукції і не брали до уваги аспектів змін лісового середовища. Інші екологічні моделі, які також часто називають моделями процесів, враховують зміни лісового середовища у прогностичних імітаціях. Застосована у статті модель FORKOME (Kozak et al., 2012) містить елементи лісових і екологічних підходів і була спеціально розроблена для умов Польщі та України.

Метою дослідження було прогнозування можливих змін букових деревостанів у польських Бещадах та українських Бескидах протягом наступних 500 років із використанням моделі FORKOME у різних сценаріях зміни клімату.

Дослідження базувалось на зібраних матеріалах, отриманих у ході польових робіт у Польщі та в Україні. Бук у Бещадах і Бескидах активно експлуатувався в останні кілька століть. Після Другої світової війни експлуатація деревостанів у польських Бещадах послабилась у результаті депортації етнічних українців у 1944–1947 роках, проте, у букових лісах українських Бескид вона активно проводилась за часів Радянського Союзу. Усе це вплинуло не лише на структуру букових деревостанів, а також на накопичення біомаси у них і відображається у проведених комп'ютерних імітаційних прогнозах.

Дослідження стосувалось прогнозу динаміки букових (*Fagus sylvatica* L.) деревостанів у польських Бещадах і в українських Бескидах. Пробні площі були закладені у лісовому виділі № 13а у лісництві Процісне, надлісництві Ступосяни (49°11'23"N, 22°38'39"E) у Польщі і у лісовому виділі № 3 в Яблунецькому лісництві Надсянського ландшафтного парку (49°09'47"N, 22°45'15"E) в Україні.

Прогнози показали, що у польських Бещадах і в українських Бескидах бук буде домінувати відносно біомаси у контрольному (1) сценарії, а також у кліматичних сценаріях тепло-волого (2), тепло-сухо (3). Деякі циклічні зміни між буком та ялицею помітні у контрольному сценарії. У 2 і 3 сценаріях модель FORKOME прогнозує можливе послаблення циклічних змін між біомасою бука та ялиці і підвищення біомаси бука. У 4 сценарії можливе збільшення біомаси ялиці до 500 т/га, а також у польських Бещадах і в українських Бескидах можливе збільшення біомаси ялини. У 5 сценарії біомаса бука може знизитись до 100 т/га.

Прогнозування, проведене у моделі FORKOME, підтверджує, що бук буде зростати у регіонах польських Бещад і українських Бескидів на східному рубежі його ареалу. Зміни у цих регіонах можуть бути оцінені як позитивні для продуктивності та біомаси лісів. Усі вони були підтверджені польовими дослідженнями та літературними даними, відображаючи надійність прогнозів із застосуванням комп'ютерної моделі FORKOME. Такі дослідження необхідні для раціонального ведення лісового господарства і прийняття відповідних стратегій розвитку лісів.

Ключові слова: імітації, комп'ютерне моделювання, ліс, температура, опади.

УДК 581.524.3

И. И. Козак¹
Т. В. Парпан²
Г. Г. Козак¹
П. Г. Коцюба¹

д-р биол. наук, проф.
канд. биол. наук, ст. науч. сотр.

¹Люблинский Католический университет им. Ивана Павла II,
Константинов 1Н, г. Люблин, Польша, 20-708

²Украинский научно-исследовательский институт горного лесоводства
им. П. С. Пастернака, ул. Грушевского, 31, г. Ивано-Франковск, Украина, 76018,
тел.: +38050-690-08-13, e-mail: tarasparpan@gmail.com

ПРОГНОЗ ДИНАМИКИ БУКОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В ПОЛЬСКИХ БЕЩАДАХ И УКРАИНСКИХ БЕСКИДАХ

Аннотация. В статье представлены результаты прогноза динамики биомасы бука в польских Бещадах и в украинских Бескидах с использованием модели FORKOME в различных сценариях возможного изменения климата. Прогнозирование, выполненное с помощью модели FORKOME, подтверждает, что бук будет произрастать в регионах польских Бещад и украинских Бескид на восточной границе его ареала. Изменения в этих регионах могут быть оценены как позитивные для продуктивности и биомассы лесов. Все они были подтверждены

полевыми исследованиями и литературными данными, что отображает надежность прогнозов, полученным при использовании компьютерной модели FORKOME. Такие исследования необходимы для рационального ведения лесного хозяйства и принятия соответствующих стратегий развития леса.

Ключевые слова: имитации, компьютерное моделирование, лес, температура, осадки.

INTRODUCTION

Computer models application in ecology allows the prediction of the behavior of complex systems to which forest ecosystems belong (Scheller, Mladendoff, 2007). However, taking into account the specific condition and arrangement of forests, the examination of their dynamics requires the use of particular tools (Bugmann, 2001). This role may be fulfilled by – adequately constructed – models of forest dynamics. The two existing methods of forest modeling, growth-yield modeling (Marszałek, 2011; Pretzsch et al., 2002) and ecological modeling (Bugmann, 2001; Botkin, 1993; Shugart, 1984) evolved independently over a long period, both competing complementing each other.

Most empirical growth-yield models based on permanent plot data implicitly assume that the future will be like the past, in terms of most environmental factors (Vanclay, 1994). This models are widely used in forestry, while the formerly widespread tabular statement of their results is now replaced by the corresponding regression models or integrated computer models of trees, such as SILVA (Pretzsch et al., 2002) or BWINPro (Nagel, Schmidt 2006).

Ecological (process) models provide reasonable results reflecting the projected state of the environment. Among the earliest computer models of the forest landscape were JABOWA (Botkin et al., 1972) and FORET (Shugart, West, 1977). Among the later constructions of patch models of the forest, based on those archetypes, include FORSKA (Prentice, Leemans, 1990), ZELIG (Urban, 1990) and SORTIE (Pacala et al., 1993). Descriptions of the theoretical and review of process models can be found in literature (Porte, Bartelink, 2002). Bugmann has presented an excellent overview on the gap model approach and the potential of ecosystem models to address the issue of climate change (Bugmann, 2001; Bugmann 2003).

A pursuant of above-mentioned trend in modeling the evolution of forest ecosystems is the patch model FORKOME (Kozak, Menshutkin, 2001; Kozak et al., 2012). The FORKOME model that contains elements of both ecological and growth yield strategy has been specially designed for the conditions of Poland and Ukraine.

The aim of the study was to carry out prognosis of possible dynamics of beech stands in Polish Bieszczady and Ukrainian Beskydy during the next 500 years with the use of FORKOME model in different scenarios of climate changes.

MATERIAL AND METHODS

The study plot «Beech 1» is located in Polish Bieszczady in the department No 13a at forestry Procisne of Stuposiany Forest District (49°11'23''N, 22°38'39''E) in Poland and «Beech 2» in Ukrainian Beskydy in the department No. 3 at Jabloneckie forestry of Nadsiansky Landscape Park (49°09'47''N, 22°45'15''E) in Ukraine.

Beech (*Fagus sylvatica* L.) dominated, and fir (*Abies alba* Mill.) as well as Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) codominated in all the areas. The mean DBH (diameter at breast height) for the plot «Beech 1» – 48,8 cm (max 120, min 6, standard deviation 38,2), for «Beech 2» – 27,1 cm (max 103, min 4, standard deviation 27,8). All the research areas were facing east and the ground slope was 6–9°. Statistical analyses of measurement of trees on the plots were performed using STATISTICA software. In all areas, DBH values are coming to form a normal, right-skewed distribution (Shapiro-Wilk test). Study plots were a 50×50 m rectangle. Each research area was constructed using standard measuring tape to establish a rectangular coordinate system (X axis along E–W and Y axis along

N–S line). The age was established with the help of Pressler drill. The diameter at breast height was measured using a dedicated meter at 1,3 m over the ground level. The tree height was measured with Leiss BL8 height-meter. In order to verify leaf area index (LAI) calculations, 9 hemispherical photographs were taken per research plot (camera Canon EOS 5D 12MP, Sigma 8mm f/3,5 DG FISH EYE lens with 180° viewing angle). The hemispherical photographs were analyzed with the help of the Gap Light Analyzer software (Frazer et al., 2000). Selected data were stored in csv. format and supplied to the FORKOME model.

The influence of climate changes (total effective temperatures and total annual precipitation) on the rate of beech replacement by other species was also the subject of this study. To this end, «temperature changes scenario» and «precipitation changes scenario» tools were used. No climate change scenario was used as 1 – control (1425 degree days on «Beech 1»; 1420 degree days on «Beech 2»; 718 mm on «Beech 1», 700 mm on «Beech 2»). Next, the following climate change scenarios are defined: 2 – temperature increase by 200 degree days and increase in precipitation by 100 mm; 3 – temperature increase by 200 degree days and decrease in precipitation by 100 mm; 4 – temperature decrease by 200 degree days and increase in precipitation by 100 mm; 5 – temperature decrease by 200 degree days and decrease in precipitation by 100 mm.

Model FORKOME (Kozak et al., 2012) was constructed with an aim to simulate the dynamics in forest stands considering the fate of single trees (fig. 1).

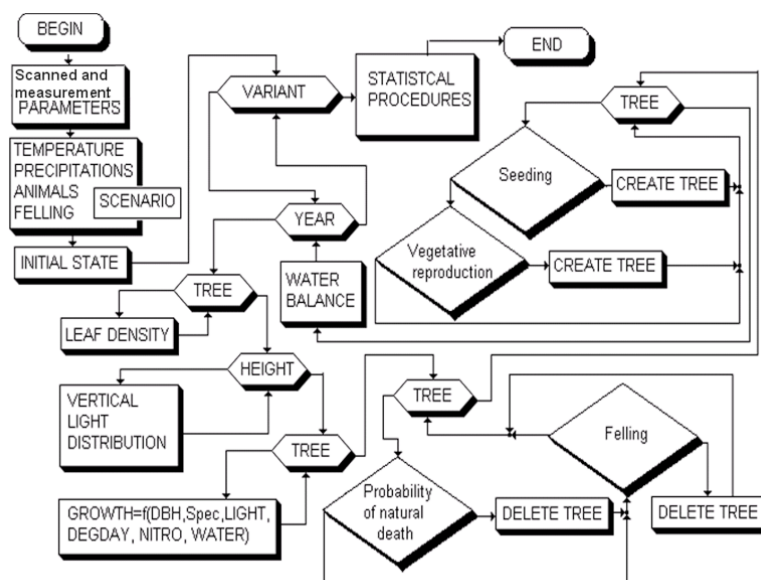


Fig. 1. The algorithm of the FORKOME model

The model conducts simulation of reproductive processes (block BIRTH), growth (block GROWTH) and mortality (block DEATH) of trees during every year, as well as the influence of additional environmental and ecological factors upon the tree stand. Among the factors considered are annual sum of precipitation (block PRECIP), annual sum of temperatures effective DGD (degree days) for vegetation (block TEMP), nitrogen contents in the soil (block NUTRIENT), degree of shading of the area (block LIGHT) by tree crowns (Kozak et al., 2012). All forested areas in the model are analyzed on the basis of the above-mentioned blocks, considering the actual increase of DBH in Monte Carlo (200 runs) simulations. This model was already used in scientific projects in various regions of Poland, Ukraine and Sweden and contains continuously developed presentation layer, which allows for 3D visualization of trees.

RESULTS AND DISCUSSION

In both compared parts of the region, due to present management measures and spontaneous secondary succession, the foreseen change of tree stands at studied plots aims towards typical for this eco-region, climax forest associations, dominated by beech with an admixture of fir, sycamore and spruce. Only the character of those changes will be different in Polish and Ukrainian parts, which is connected with different present state of tree stands, reflecting different management measures in the past. Beech in the Bieszczady Mountains and the Beskydy Mountains actively managed up to World War II. After World War II Polish Bieszczady stands were less used due to deportation of Ukrainians (Gil, 2004) in 1944–1947, however, in the Beskydy Mountains beech forests were actively managed in the times of the Soviet Union. All this affected not only the structure of the beech stands, as well as biomass accumulation in them and reflected in conducting computer simulations. Depopulation of Polish Bieszczady has changed the character of this landscape, and caused a decrease of anthropogenic influence upon forests of this region. Effects of spontaneous secondary succession were reinforced by reforestation of former agricultural land at the area of abandoned villages, fields and pastures. Such was an origin of a considerable part of present forest cover: 45 % in Lutowska Forestry, 32 % in Stuposiany Forestry, and 41 % in Ustrzyki Dolne Forestry (Marszałek, 2001). However in the part of Ukrainian Beskydy the anthropogenic influence upon forests had increased (Tretiak et al., 2001). In an effect, visible now is not only a difference in the proportion of forest cover between those neighboring regions, having very similar ecological conditions (present maximal percentage of forests in Polish forest districts reaches 80 %, while in Ukrainian forest districts only 47 %), but also a difference in medium age of tree stands (78 years in Polish part and 56 in Ukraine part), as well as the accumulation of biomass (on average over 300 m³/ha and about 200 m³/ha in Polish and Ukrainian parts respectively).

We considered above mentioned parameters during the selection of our study plots, to assure their representativeness. Forest taxation parameters of selected plots confirm this visible tendency being a result of former changes in forest management. Standing crop of biomass in the zero year of the prognosis at plots «Beech 1» in the Polish part is higher comparing to values at plots «Beech 2» in Ukrainian part.

Analyses of the diagrams indicate that under the control (1) scenario in the first year of simulation beech dominated in all plots. Beech biomass will dominate during the period predicated at 90 years on the plot 1 (fig. 2, *a*), 110 years on the plot 2 (fig. 2, *b*). In the next time fir will dominate for 100 years on the plot 1, for 200 year on the plot 2, than beech dominate again. In the control scenario cyclical changes between beech and fir are visible

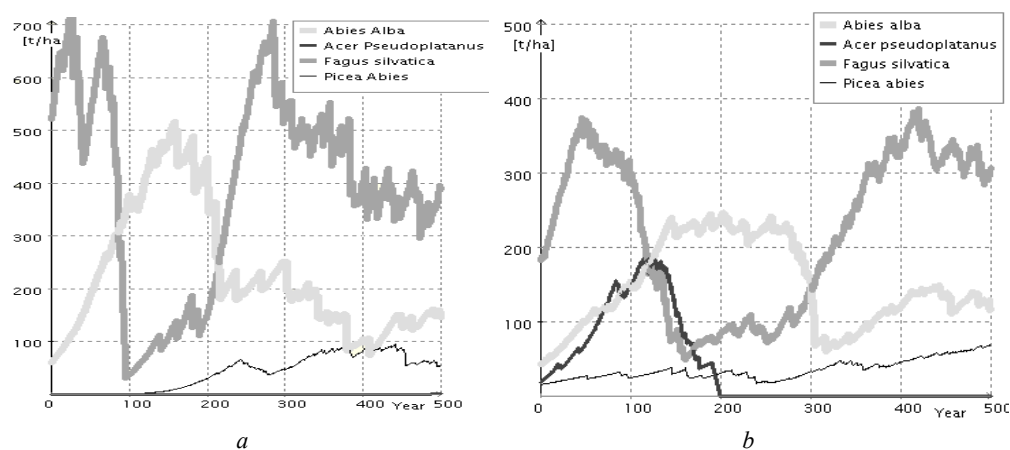


Fig. 2. Prediction of beech stands biomass in 1 scenario:
a – Beech 1; b – Beech 2

in the Polish Bieszczady and Ukrainian Beskydy. In plots 1 beech biomass increase to 700 t/ha, and in the plot 2 beech biomass will increase to 400 t/ha. However, inconsiderable domination of beech biomass occurs at the end of prognosis time (fig. 2, *a*; fig. 2, *b*). Other species as maple up to 180 t/ha (fig. 2, *b*), spruce up to 90 t/ha of biomass (fig. 2, *a*; fig. 2, *b*) fragmentary presented.

In 2 scenario beech biomass increase up to 900 t/ha on the plot 1, to 740 t/ha on the plot 2 (fig. 3) and FORKOME model predict possible facilitating of cyclical changes between beech and fir biomass dynamic.

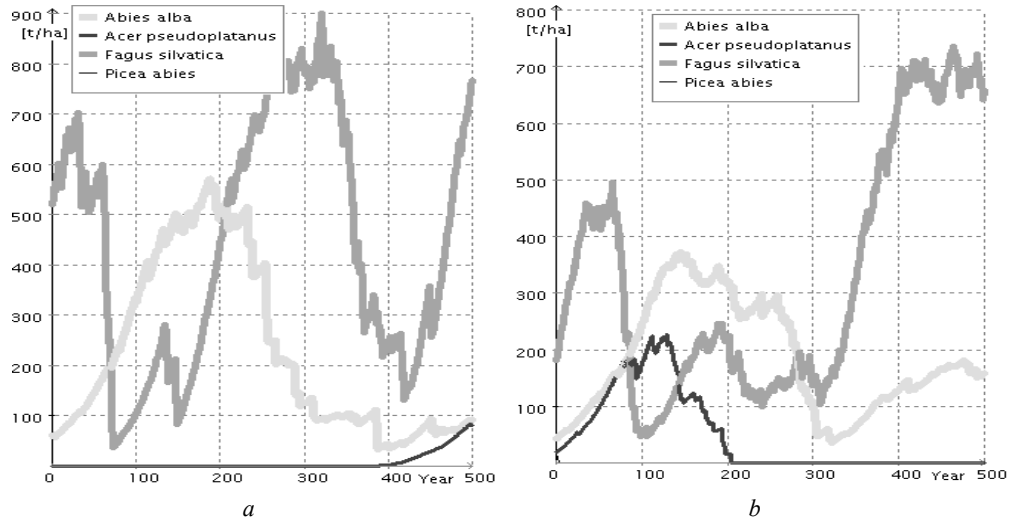


Fig. 3. Prediction of beech stands biomass in 2 scenario:
a – Beech 1; *b* – Beech 2

In 3 scenarios beech will dominated, but biomass decreased (fig. 4) and model predict also possible lack of cyclical changes between beech and fir biomass dynamic.

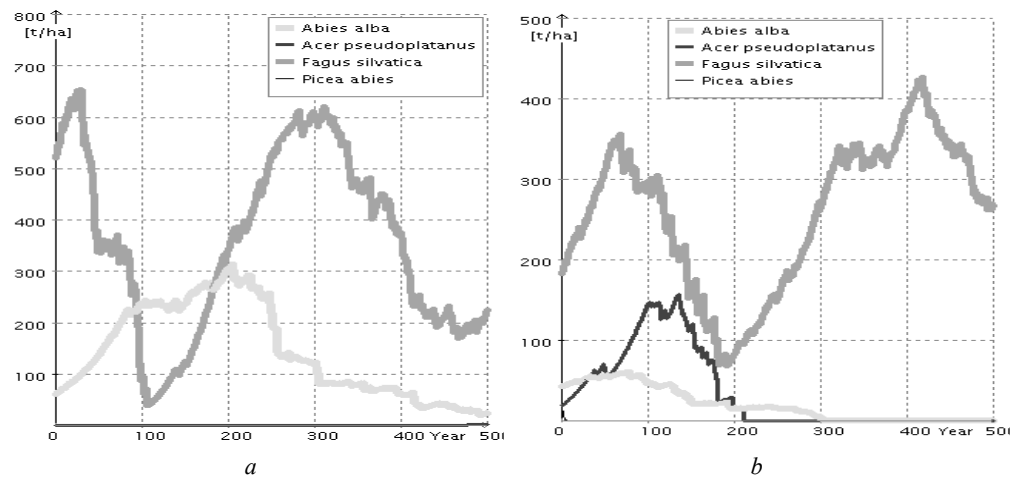


Fig. 4. Prediction of beech stands biomass in 3 scenario:
a – Beech 1; *b* – Beech 2

In 4 scenario (fig. 5) fir biomass increase up to 700 t/ha (fig. 5, *a*). In the Polish Bieszczady and Ukrainian Beskydy occurs possible increase of spruce biomass (fig. 5, *a*; fig. 5, *b*).

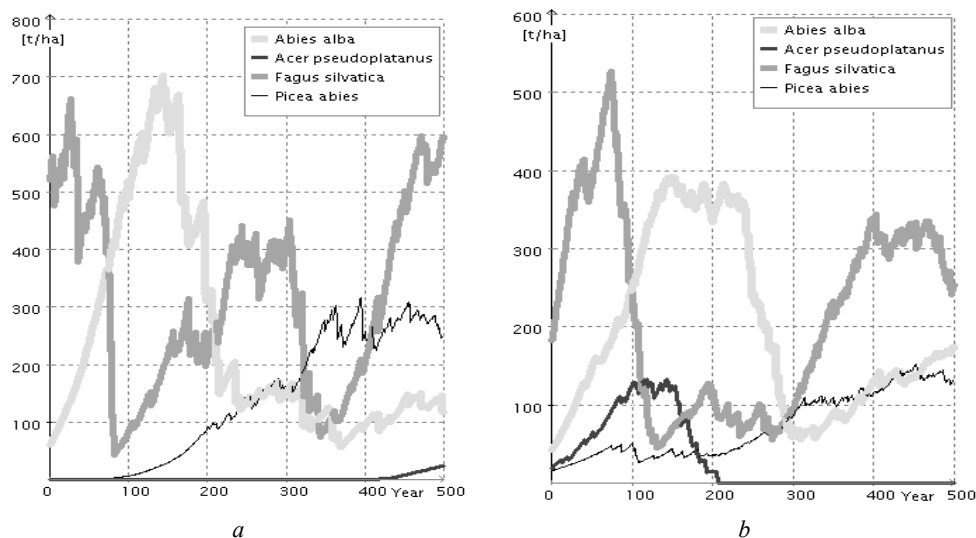


Fig. 5. Prediction of beech stands biomass in 4 scenario:
a – Beech 1; b – Beech 2

In 5 scenario (fig. 6) the beech biomass decreased up to 100 t/ha on the Beech1 and Beech 2 research plots. On the plot Beech 2 biomass of beech increase for the sycamore costs.

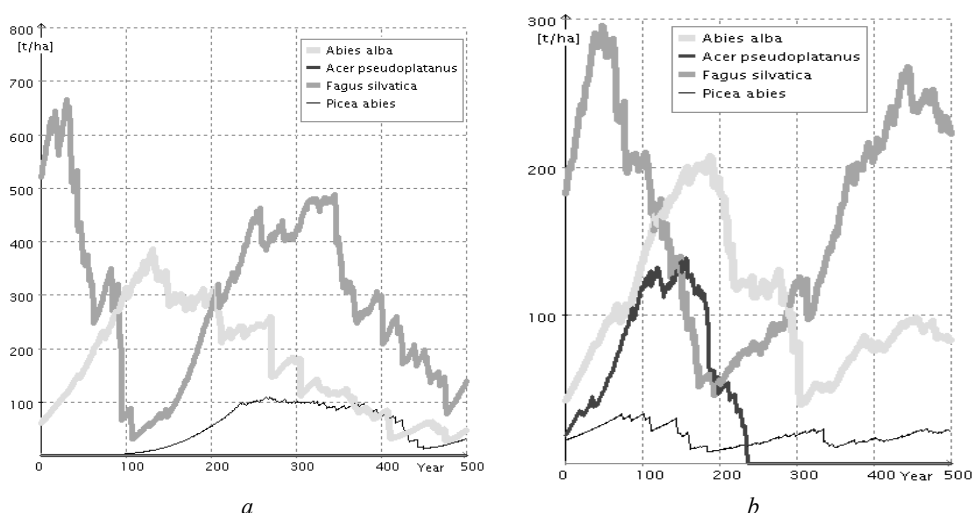


Fig. 6. Prediction of beech stands biomass in 5 scenario:
a – Beech 1; b – Beech 2

The FORKOME model is a good enabler to obtain results that prove the thesis assumed in our paper. Diagrams presenting results of prognosis of plots 1 – «Beech 1», 2 – «Beech 2» are placed in the paper under the control (1) scenario, as well as in 4 climate changes scenarios. We carried out simulations with the FORKOME model in research areas of 50×50 m (1/4 ha). Therefore, within of the 2500 m² of the area, 200 used simulation sequences correspond with equilibrium landscape of 50 ha. In other types of models, for instance the JABOWA model (Botkin et al., 1972), 10×10 m areas were used with 100 simulations. The smallest area was 0,5 ha and was used in the FORSKA model (Prentice, Leemans, 1990).

Results obtained from the prediction research correspond to results obtained from field works (Jaworski, Podlaski, 2006; Kozak, Menshutkin, 2001). The FORKOME model

proved to be efficient tools adjusted to the research regarding dependences and changes in species structure of forest stands and species biomass. It is possible to devise methods in the model to analyze many parameters of forest stands conditions at the same time what allows obtaining precise results. The FORKOME model enables analyzing the dynamics of forest stands in regard to climate change conditions during any period of time, chosen by the user of the model. Obtained simulation results concerning increased beech biomass can influence to the species composition of tree stands and also to decreased the regeneration and growth of other species (Gessler et al., 2007).

Simulation conducted in FORKOME model confirms that beech will exist in the Polish Bieszczady and Ukrainian Beskydy regions on the east boundary of beech areal. Using computer models for such type of analysis are on the table (Brooker et al., 2007). Important is analysis of temperature and precipitation influence on beech stands. Beech biomass is more sensitive to the precipitation than to the temperature. Precipitation growth rate can decrease up to 0,82. Calculated in FORKOME model cross correlation showed negative influence of precipitation on beech biomass (correlation coefficient – 0,95). Climate changes in the Polish Bieszczady and Ukrainian Beskydy can be estimated as a positive for forest productivity and biomass accumulations. Similar results obtained for north and west Europe (Lindner et al., 2010). Beech stands in Polish Bieszczady and Ukrainian Beskydy regions have plausibility of species composition changes due to climate changes (Dale et al., 2010).

Longer (500 years) time of simulation was used to shown the cycle of biomass changes that were demonstrate in the literature (Shugart, 1984). In the other regions simulation time was 500 and 600 years (Kozak, Menshutkin, 2001). The changes of biomass in computer simulations of beech stands with use of FORKOME model defining their directions regarding possible climate change conditions in Polish Bieszczady and Ukrainian Beskydy and are important issues in forest management, both from the theoretical and practical point of view.

CONCLUSIONS

After World War II the beech forests in the Bieszczady Mountains were less used but in the Beskydy Mountains beech forests were actively managed. All this affected not only the structure of the beech stands, as well as biomass accumulation in them and reflected in conducting computer simulations. Standing crop of biomass in the zero year of the prognosis at plots «Beech 1» in the Polish Bieszczady is higher comparing to values at plots «Beech 2» in Ukrainian Beskydy. In Polish and Ukrainian parts beech will maintain its domination regarding biomass in the control (1), warm humid (2), warm dry (3), cold humid (4) and cold dry (5) climate scenario. Same cyclical changes between beech and fir show in the control scenario. In 2 and 3 scenario FORKOME model predict possible facilitating of cyclical changes between beech and fir biomass dynamic and increasing of beech biomass. In 4 scenario fir biomass increase up to 500 t/ha. In the Polish Bieszczady and Ukrainian Beskydy possible increase of spruce biomass. In 5 scenario the beech biomass decreased up to 100 t/ha.

Simulation conducted in FORKOME model confirms that beech will existence in the Polish Bieszczady and Ukrainian Beskydy regions on the east boundary of beech areal. The changes in the Polish and Ukrainian Carpathians can be estimate as a positive for forest productivity and biomass accumulations. They were confirmed by fieldwork and events documented in the literature, which shows the reliability of the forecasts used FORKOME computer model. Work and study of this kind are necessary for rational forest management and to take appropriate development strategies.

REFERENCES

- Bugmann, H., 2001. A review of forest gap models. Bugmann, H., 2003. Predicting the ecosystem Climatic Change 51, 259–305. effects of climate change. In: Canham, C. D.,

- Lauenroth, W. K. & Cole, J. S. (eds.). Models in ecosystem science. Princeton University Press, pp.385–409.
- Botkin, D. B., 1993. Forest Dynamics: An Ecological Model. Oxford, New York, Oxford University Press, pp. 309.
- Botkin, D. B., Janak, J. F., Wallis, J. R., 1972. Some Ecological Consequences of a computer Model of Forest Growth. *Journal of Ecology* 60 (3), 849–872.
- Brooker, R., Travis, J., Clark, E. J., Dytham, C., 2007. Modelling species' range shifts in a changing climate: The impacts of biotic interactions, dispersal distance and the rate of climate change. *J. Theor. Biol.* 245, 59–65.
- Frazer, G. W., Canham, C. D., Lertzman, K. P., 2000. Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0: Image processing software to analyze true-colour, hemispherical canopy photographs. *Bulletin Ecological Society of America* 81, 191–197.
- Gessler, A., Keitel, K., Kreuzwieser, J., Seiler, W., Rennenberg, H., 2007. Potential risks for European beech (*Fagus sylvatica* L.) in a changing climate. *Trees* 21, 1–11.
- Dale, V. H., Tharp, M. L., Lannom, K. O., Hodges, D., 2010. Modeling transient response of forests to climate change. *Science of the Total Environ.* 408, 1888–1901.
- Gil, A., 2004. Deportacja Ukraińców z Polski w latach 1944–1946 jako problem we współczesnych relacjach polsko-ukraińskich. Red. Jerzy Kłoczowski. Seria wydawnicza Analizy Instytutu Europy Środkowo-Wschodniej 7, Lublin (in Polish).
- Jaworski, A., Podlaski, R., 2006. Construction, structure and dynamics of natural stands in Reserve Święty Krzyż. *Acta Agraria et Silvicultura ser. Silvestris* 44, 9–38.
- Kozak, I., Menshutkin, V., 2001. Prediction of beech forests succession in Bieszczady Mountains using a computer model. *Journal of Forest Science* 47(8), 333–339.
- Kozak, I., Mikusiński, G., Stępień, A., Kozak, H., Frąk, R., 2012. Modelling forest dynamics in a nature reserve: a case study from south-central Sweden. *Journal of Forest Science* 58(10), 436–445.
- Lindner, M., Maroschek, M., Netherer, S., Kremer, A., Barbati, A., Garcia-Gonzalo, J., Seidl, R., Delzon, S., Corona, P., Kolström, M., Lexer, M. J., Marchetti, M., 2010. Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *For. Ecol. Manage.* 259(4), 698–709.
- Marszałek, E., 2011. Gospodarka lesna w karpackiej części Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Krośnie i jej wpływ na ochronę przyrody. *Roczniki Bieszczadzkie* 19, 59–77.
- Nagel, J., Schmidt, M., 2006. The Silvicultural Decision Support System BWINPro. In: Hasenauer H. (ed.): Sustainable Forest Management. Berlin, Springer, 59–63.
- Pacala, S. W., Canham, C. D., Silander, Jr., J. A., 1993. Forest models defined by field measurements. 1. The design of a northeastern forest simulator. *Can. J. For. Res.* 23, 1980–1988.
- Porte, A., Bartelink, H., 2002. Modeling mixed forest growth: a review of models for forest management. *Ecological Modeling* 150, 141–188.
- Prentice, I. C., Leemans, R., 1990. Pattern and process and the dynamics of forest structure: a simulation approach. *Journal of Ecology* 78, 340–355.
- Pretzsch, H., Biber, P., Dursky, J., 2002. The single tree based stand simulator SILVA: Construction, application and evaluation. *Forest Ecology and Management* 162, 3–21.
- Scheller, R. M., Mladenoff, D. J., 2007. An ecological classification of forest landscape simulation models: Tools and strategies for understanding broad-scale forested ecosystems. *Landscape Ecology* 22, 491–505.
- Shugart, H. H., 1984. *Theory of Forests Dynamics*. New York, Springer, 278.
- Shugart, H. H., West, D. C., 1977. Development of an Appalachian deciduous forest model and its application to assessment of the impact of the chestnut blight. *Journal of Biogeography* 5, 161–179.
- Tretiak, P., Pozynycz, I., Sawitska, A., 2011. Sukcesja wtórna lasów mieszanych na Wyżynie Podkarpackiej (Ukraina). *Roczniki Bieszczadzkie* 19, 47–57 (in Polish).
- Urban, D. L., 1990. A versatile model to simulate forest pattern: a user's guide to ZELIG version 1.0. Charlottesville, VA: University of Virginia, Environmental Sciences Department. *Forest Ecology and Management* 42, 95–110.
- Vanclay, J. K., 1994. *Modelling Forest Growth and Yield. Applications to Mixed Tropical Forests*. Wallingford, CAB International, 312.

Стаття надійшла в редакцію: 30.09.2015

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

BIOGEOCENOLOGY, GEOBOTANY AND PHYTOCENOLOGY



I. N. Kovalenko ✉

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

UDK 574.472.42

Sumy National Agrarian University,
G. Kondrateva str., 160/5, Sumy, Ukraine, 40021

REPRODUCTION IN PLANTS OF GRASS AND SUBSHRUB LAYER AS A FACTOR OF THE FOREST ECOSYSTEM STABILIZATION

Abstract. Reproduction in a broad sense is the process by which female parents generate some or other germs (diasporas) able to form new individuals that are genetically similar to the female parents. The two main types of reproduction are found in forest grasses and subshrubs: seed (or by spores in spore-bearing plants) and vegetative. The establishment of features of plan reproduction of grass and subshrub layer is an important scientific issue in the context of the preservation and restoration of forest ecosystems, because plants of grass and subshrub layer have a significant impact on the initial stages of natural regeneration of plants of the first layer. Some features of reproduction of plants of different layers of forest ecosystems – from grass to woody – have been studied on the basis of our own observations and literature data. The observations were carried out on the territory of Desnyansko-Starogutsky National Nature Park and the adjacent territories.

Forest ecosystems of the north-east of Ukraine have been in active use for a long time. Currently, these forests, in part, have obtained conservation status, and the volume of logging has been sharply reduced. Therefore, the majority of forests are characterized by the progressive succession, during which the proportion of plant silvan species increases and, consequently, the number of motile vegetative plant species increases in the lower layers of forest. The eight plant species of grass and subshrub layer, such as *Aegopodium podagraria* L., *Asarum europaeum* L., *Calluna vulgaris* (L.) Hull, *Carex pilosa* Scop., *Molinia caerulea* (L.) Moench., *Stellaria holostea* L., *Vaccinium myrtillus* L., *Vaccinium vitis-idaea* L., have been selected as models. It is established that the capacity for vegetative propagation and clone formation is an important feature of reproduction of most forest grasses. The key parameters of generative reproduction of clone forming plants of grass and subshrub layer and their dependence on the ecological and coenotic factors have been shown as well. To establish the level of reproduction the following morphometric parameters were determined: weight of generative organs (g), number of generative shoots (pieces), reproductive effort (%), share of generative individuals in the population (%). In case of generative reproduction, an important biological characteristic is the so-called reproductive effort, which characterizes the contribution of organic matters and energy in the reproductive process. It is typically shown as the percentage of phytomass of the reproductive structures of the total phytomass. In general, generativity of the investigated plants of grass and subshrub layer was determined by the ecological and cenotic conditions, and therefore varied from association to association. Forest grasses and subshrubs, in turn, are an important

✉ Tel.: +38099-525-61-82. E-mail: kovalenko_977@mail.ru

DOI: 10.15421/031604

factor for regeneration of all types of woody species in forest ecosystems. Depending on the composition and abundance of plants of grass and subshrub layer, the number of seedlings and little undergrowth of all woody species of trees is reduced in varying degrees, and the indicators of their growth are getting worse. The impact of the live ground cover on undergrowth of woody species is ultimately determined by the specificity of the ecological and coenotic situation in the areas of regeneration and the specific ecological and phytocenotic properties of undergrowth of certain woody species. The main environmental problems of recreational zones from the perspective of possibilities of natural regeneration of woody species are the effect of mechanical actions on the soil. Grass and subshrub layer as a sensitive indicator of the increase in anthropogenic load is the first to undergo such transformation in recreational forests. Under its influence its species composition varies and is depleted, distribution of certain species as well as their phytomass and projective cover decrease. Many forest species disappear from the cover, and weeds begin to grow. Protection of forests as holistic ecosystems is an important issue, being developed during the XX century, and not having lost its significance even today. The main directions of its solution are connected with the development of the ecological network of Ukraine and the proper use of all forest resources.

Keywords: grass and subshrub layer, forest phytocenosis, regeneration, stabilization, propagation, reproduction, Desnyansko-Starogutsky National Nature Park.

УДК 574.472.42

И. Н. Коваленко

канд. биол. наук, доц.

*Сумской национальный аграрный университет
ул. Г. Кондратьева, 160/5, г. Сумы, Украина, 40021,
тел.: + 38099-525-61-82, e-mail: kovalenko_977@mail.ru*

РЕПРОДУКЦИЯ У РАСТЕНИЙ ТРАВЯНО-КУСТАРНИЧКОВОГО ЯРУСА КАК ФАКТОР СТАБИЛИЗАЦИИ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Аннотация. Исследованы особенности репродукции растений разных ярусов лесных экосистем – от травянистых до яруса деревьев. На примере восьми модельных видов растений, произрастающих на территории Национального природного парка «Деснянско-Старогутский» и на сопредельных территориях, установлено, что способность к вегетативному размножению и формированию клонов – это важная особенность репродукции большинства травянистых растений. Лесные травы и кустарнички, в свою очередь, являются важным фактором для восстановления всех видов древесных пород лесных экосистем.

Ключевые слова: травянисто-кустарничковый ярус, лесные фитоценозы, возобновление, стабилизация, размножение, репродукция, НПП «Деснянско-Старогутский».

УДК 574.472.42

І. М. Коваленко

канд. біол. наук, доц.

*Сумський національний аграрний університет
вул. Г. Кондратьєва 160/5, м. Суми, Україна, 40021,
тел.: + 38099-525-61-82, e-mail: kovalenko_977@mail.ru*

РЕПРОДУКЦІЯ У РОСЛИН ТРАВ'ЯНО-ЧАГАРНИЧКОВОГО ЯРУСУ ЯК ФАКТОР СТАБІЛІЗАЦІЇ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ

Анотація. Досліджені особливості репродукції рослин різних ярусів лісових екосистем – від трав'янистих до деревних. На прикладі восьми модельних видів рослин, які зростають на території Національного природного парку «Деснянсько-Старогутський» і на суміжних територіях, встановлено, що здатність до вегетативного розмноження і формування клонів – це важлива особливість репродукції більшості трав'янистих рослин. Лісові трави і чагарнички, в свою чергу, є важливим чинником для відновлення всіх видів деревних порід лісових екосистем.

Ключові слова: трав'яно-чагарничковий ярус, лісові фітоценози, відновлення, стабілізація, розмноження, репродукція, НПП «Деснянсько-Старогутський».

ВСТУП

Розмноження в широкому сенсі – це процес формування на материнських особинах тих або інших зачатків (діаспор), здатних утворювати нові особини,

генетично подібні до материнської рослини. Р. Є. Левіна (Levina, 1981) справедливо підкреслювала, що «з точки зору стратегії життєздатності виду вегетативне розмноження і відновлення цілком себе виправдовують лише у поєднанні з насінним». Таке поєднання в реальності і спостерігається у рослин нижніх ярусів лісових екосистем.

У лісових трав і чагарників існує дві основні форми розмноження: насінне (або спорами у спорових рослин) і вегетативне. Особливостям життєвого циклу і репродукції цієї групи рослин присвячені три спеціальні огляди (Bierzuchdek, 1982; Whigham, 2004; Kovalenko, 2005).

Починаючи з перших досліджень, ще в першій половині минулого століття, і закінчуючи сучасними роботами, неодноразово було доведено, що види рослин трав'яно-чагарничкового ярусу значною мірою впливають на початкові етапи природного відновлення всіх деревних порід (Zlobin, 1960; Khatmullin et al., 2009; Sklyar, 2012; Kharchenko, Kharchenko, 2012). Тому встановлення особливостей репродукції рослин трав'яно-чагарничкового ярусу є актуальною науковою проблемою в аспекті збереження і відновлення лісових екосистем.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводилися на території Національного природного парку «Деснянсько-Старогутський» і на суміжних територіях. Ліси цього регіону тривалий час знаходилися в процесі господарської експлуатації і їх деяка частина є амфіценозами, які втратили свою «ціноморфологічну структуру» (Belgard, 1948, 1950). Вони з аналізу були виключені. Як модельні обрано 8 видів рослин трав'яно-чагарничкового ярусу: *Aegopodium podagraria* L., *Asarum europaeum* L., *Calluna vulgaris* (L.) Hull, *Carex pilosa* Scop., *Molinia caerulea* (L.) Moench., *Stellaria holostea* L., *Vaccinium myrtillus* L., *Vaccinium vitis-idaea* L. Назви видів подані за С. Л. Мосякіним та М. М. Федорончуком (Mosyakin, Fedoronchuk, 1999). Були проаналізовані особливості вегетативного і генеративного розмноження. Кожен вид був представлений не менше ніж 3–5 цінопопуляціями.

При дослідженні були використані загальні геоботанічні методи. Для встановлення рівня репродукції визначали наступні морфометричні параметри: вага генеративних органів (г), кількість генеративних пагонів (шт.), репродуктивне зусилля (%), частка генеративних особин у популяції (%).

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Північний схід України порівняно з іншими регіонами разом з Карпатами відрізняється високою лісистістю. Опису рослинності цього регіону, зокрема лісових фітоценозів, приділяється увага в багатьох роботах (Barrett, 1987; Matuszkiewicz, 2001; Andriyenko, 2006; Solomakha, 2008; Onyshchenko, 2009; Panchenko, 2013).

Згідно з геоботанічним районуванням район, у якому здійснювалося дослідження, належить до європейських широколистяних лісів, східно-європейської провінції і охоплює дві підпровінції – східно-європейську і полісько-подільсько-середньо-придніпровську.

С. М. Панченко розробив для території Національного природного парку «Деснянсько-Старогутський» синтаксономічний продромусом рослинності (Panchenko, 2013).

Згідно з даними наших описів у лісових екосистемах Новгород-Сіверського Полісся найбільш поширеними є синтаксони класу *Vaccinio-Piceetea*. Усього в цьому класі можуть бути виділені 2 порядки, 4 союзи і 11 асоціацій.

Таким чином, лісова рослинність регіону має досить високу синтаксономічну різноманітність. Це обумовлює і високу видову різноманітність лісових трав і чагарників.

Характерною особливістю лісових екосистем регіону є широка участь у формуванні нижніх ярусів рослинності вегетативно-рухомих рослин.

Досить характерна специфічна риса лісових трав в помірній зоні – відсутність вузької спеціалізації процесу запилення. До 40 % видів трав лісових екосистем помірного поясу мають автогамію (Barrett, 1987). Але, здебільшого, дослідники реєструють дефіцит запилення у лісових трав як одну з ключових причин низького рівня плодоносіння.

На реалізацію генетично закладених ритмів цвітіння істотну коригуючу дію, згідно М. Феннеру (Fenner, 1998) має структурна мозаїчність фітоценозу. Відіграє роль і мозаїчність самого трав'яно-чагарничкового ярусу.

Негативним чинником для запилення неморальних і бореальних видів лісових трав є фрагментація лісів. У цих умовах різко змінюється склад ентомофауни, і недозапилення квіток у рослин трав'яно-чагарничкового ярусу у фрагментованих лісах набуває масового характеру (Taki et al., 2007).

Рівень репродукційного процесу у рослин нижнього ярусу багато в чому залежить від життєвого стану особин, який, у свою чергу, визначається багатьма чинниками (Belova, Travleyev, 2002). Серед них значну роль відіграє структура фітогенних полів лісоутворюючих деревних порід. Т. В. Пааль (Paal, Pal, 1981) установлено, що у *Vaccinium vitis-idaea* у межах фітогенних полів ялини число сформованих плодів істотно нижче, ніж за межами таких полів.

Кінцевий результат поновлювального процесу у низки видів рослин трав'яно-чагарничкового ярусу залежить від створення ґрунтового банку діаспор, його видового складу, тривалість збереження ними життєздатності і загального розміру такого банку. У широколистяних лісах у складі ґрунтового банку насіння переважають діаспори не аборигенних лісових видів, а видів відкритих місцезростань (Palkina, Petrov, 1986). У циклі робіт В. В. Петрова (Petrov, 1981, 1983, 1986) з'ясовано, що в корінних хвойних лісах ґрунтовий запас діаспор не великий і складає зазвичай 1000–1500 шт./м². Серед лісових видів у складі ґрунтового банку насіння найчастіше присутнє насіння берези, а також деяких видів лісових трав і чагарників (*Carex pilosa*, *Rubus idaeus*). Залежно від типу лісу насіння може зосереджуватись в одних випадках у підстилці, а в інших – в основному мінеральному шарі ґрунту.

Нами проведено дослідження популяцій модельних видів рослин трав'яно-чагарничкового ярусу у різних асоціаціях в умовах НППДС та на суміжних територіях. Загальна особливість репродукції переважної більшості лісових трав – здатність до вегетативного розмноження і формування клонів. Основні показники генеративного розмноження клоноутворюючих рослин трав'яно-чагарничкового ярусу залежать від виду рослин і знаходяться під впливом еколого-ценотичних факторів (таблиця). При генеративному розмноженні важливою біологічною ознакою є так зване репродуктивне зусилля, яке характеризує внесок органічних речовин і енергії в репродуктивний процес. Найчастіше його наводять як відсоткову частку фітомаси репродуктивних структур від загальної фітомаси (Zlobin, 2000).

У *A. podagraria* вага генеративних органів варіювала від 0,7 до 1,5 г і була найбільшою в асоціації Querceto-Pinetum coryloso-aegopodiosum. Значення RE складали 10,9–15,8 % і були максимальними в асоціації Quercetum coryloso-aegopodiosum.

Частка генеративних особин у популяціях *A. europaeum* складала 21,3–58,7 % і була найбільшою в асоціації Querceto-Pinetum asarosum. Вага генеративних структур складала 0,3–0,4 г при RE від 17,7 до 25,6 %. Найбільше значення RE було також в асоціації Querceto-Pinetum asarosum.

Особливістю розмноження *C. pilosa* є низька вага генеративних органів: 0,12–0,15 г. Частка генеративних кущів у популяціях складала 38,8–62,4 %. RE складало 9,8–7,53 % і виявлялося найбільшим в асоціації Querceto-Pinetum caricosum (pilosae).

Частка генеративних парціальних кущів *C. vulgaris* у лісових асоціаціях складала 15,1–67,4 %. У асоціації Betuleto-Pinetum callunoso-myrtillosum ця частка

була найменшою, у ній формувалася найменша кількість квіток і плодів у розрахунку на один генеративний пагін. Максимальні показники генеративності були в асоціації Querceto-Pinetum callunoso-hylocomiosum.

Середні параметри генеративного розмноження рослин трав'яно-чагарничкового ярусу

Асоціації	N _{гт} , шт./	WG, г	RE %	Кількість генеративних пагонів, шт.
<i>A. podagraria</i>				
I. Quercetum coryloso-aegopodiosum	12,03±13,77	0,71±0,07	15,8±2,49	–
II. Querceto-Pinetum coryloso-aegopodiosum	200,7±17,00	1,50±0,12	13,4±0,73	–
III. Betuleto-Pinetum coryloso-aegopodiosum	88,2±14,16	1,07±0,24	10,9±2,17	–
<i>A. europaeum</i>				
I. Quercetum coryloso-asarosum	–	0,47±0,02	17,7±1,23	–
II. Pinetum coryloso-asarosum	–	0,41±0,02	18,1±0,53	–
III. Querceto-Pinetum asarosum	–	0,34±0,01	25,6±3,48	–
<i>C. pilosa</i>				
I. Querceto-Pinetum caricosum (pilosae)	–	0,13±0,005	9,8±1,55	–
II. Quercetum coryloso-caricosum (pilosae)	–	0,12±0,006	7,5±0,75	–
III. Betuleto-Quercetum coryloso-caricosum (pilosae)	–	0,15±0,09	7,8±0,37	–
<i>C. vulgaris</i>				
I. Betuleto-Pinetum callunoso-myrtillosum	6,6±0,93	0,07±0,001	2,5±0,61	11,3±0,35
II. Pinetum callunoso-hylocomiosum	6,6±0,17	0,05±0,001	2,8±0,63	7,2±0,66
III. Querceto-Pinetum callunoso-hylocomiosum	8,9±0,34	0,08±0,002	1,8±0,45	18,8±0,62
<i>M. caerulea</i>				
I. Pinetum myrtilloso-moliniosum	–	1,31±0,07	41,7±4,8	–
II. Querceto-Pinetum franguloso-molinioso-hylocomiosum	–	1,22±0,04	45,5±8,28	–
III. Betuleto-Pinetum moliniosum	–	1,25±0,05	34,0±4,26	–
<i>S. holostea</i>				
I. Querceto-Pinetum coryloso-stellariosum	1,07±0,07	0,26±0,03	22,9±1,78	–
II. Quercetum coryloso-caricosum (pilosae)-stellariosum	1,09±0,005	0,34±0,93	32,7±2,93	–
III. Querceto-Pinetum stellariosum	1,04±0,009	0,27±0,04	25,5±0,04	–
<i>V. myrtillus</i>				
I. Pinetum myrtilloso-hylocomiosum	8,2±0,8	3,28±0,92	48,6±1,41	–
II. Pinetum molinioso-myrtillosum	188,0±14,1	82,6±13,16	54,4±0,93	–
III. Querceto-Pinetum myrtillosum	33,8±0,8	3,31±0,92	27,0±1,61	–
IV. Betuleto-Pinetum molinioso-myrtillosum	98,4±1,2	60,1±11,20	6,8±0,94	–
V. Betuleto-Pinetum franguloso-myrtillosum	95,1±6,2	37,3±2,20	11,3±1,22	–
<i>V. vitis-idaea</i>				
I. Pinetum vaccinoso-myrtillosum	41,0±9,32	17,7±1,62	24,4±1,56	–
II. Betuleto-Pinetum vaccinoso-myrtillosum	23,3±1,39	7,3±0,61	20,2±1,30	–
III. Querceto-Pinetum vaccinoso-myrtillosum	77,3±16,5	28,5±8,71	13,6±0,61	–
IV. Pinetum vaccinoso-hylocomiosum	17,0±0,61	0,2±0,03	21,7±0,12	–

У *M. caerulea* відсоток генеративних особин в лісових екосистем складав 11–20 % і був найбільшим в асоціації Betuleto-Pinetum moliniosum. Загальна вага генеративних структур перебувала в амплітуді 1,2–1,4 г, а RE – 34,0–41,7 %. Мінімальна величина RE була в асоціації Betuleto-Pinetum moliniosum.

Частка генеративних парціальних кущів *S. holostea* у лісах складала 19–33 % і була найбільшою в асоціації Querceto-Pinetum stellariosum, однак інші репродуктивні морфопараметри були максимальними в асоціації Quercetum coryloso-caricosum (pilosae)-stellariosum.

У *V. myrtillus* частка генеративних парціальних кущів у різних асоціаціях складала 46–88 % і виявилася найбільшою в асоціаціях *Pinetum molinoso-myrtillosum* і *Betuletum molinoso-myrtillosum*. У асоціації *Pinetum molinoso-myrtillosum* була найбільшою кількістю і вагою плодів. Середній їх вихід складав 3,3–92,6 г/м², тобто дуже сильно варіював по асоціаціях і роках. RE перебувало в амплітуді 5,4–54,4 %.

Асоціації *Querceto-Pinetum vaccinioso-myrtillosum* відрізнялась і найбільшим виходом плодів з одиниці площі. Цей показник варіював по асоціаціях від 0,2 до 28,5 г/м². Відзначено позитивну кореляцію виходу плодів з розміром парціального куща ($r = +0,64$). RE складає 13,6–24,4 %.

У цілому, генеративність досліджуваних рослин трав'яно-чагарничкового ярусу визначалась еколого-ценотичними умовами, і тому закономірно змінювалась від асоціації до асоціації. В свою чергу трав'яно-чагарничковий ярус досить суттєво впливає на перші етапи відновлення деревних порід. Залежно від складу і чисельності рослин у трав'яно-чагарничковому ярусі відбувається в тій чи іншій мірі зниження чисельності сходів і дрібного підросту всіх видів деревних порід і погіршуються показники їх росту.

Відновлення сосни під покривом соснових лісів відрізняється певними особливостями. За даними Р. З. Хатмуліна та ін. (Khatmullin et al., 2009) забезпеченість сосновим підростом зменшується за типами соснових лісів таким чином: сосняки зеленомохові – 43,0 % > сосняки злакові – 10,6 % > сосняки яглицеві – 8,6 % > сосняки чагарникові – 4,6 % > сосняки широколистяно-різнотравні – 1,5 %, що яскраво відображає негативну дію більш розвиненого і збагаченого видами трав'яно-чагарничкового ярусу на поновлювальний процес сосни. Аналогічно й на вирубках, за даними цих авторів, ріст сосни дуже пригнічується трав'янистими рослинами.

Вплив живого надґрунтового покриву на підріст деревних порід зрештою визначається специфікою еколого-ценотичної ситуації на площах відновлення та видовими еколого-фітоценотичними властивостями підросту певної деревної породи. Детально цю проблему досліджувала В. Г. Скляр (Sklyar, 2012), яка довела, що для *Acer platanoides* центотичному оптимуму відповідають місцезростання з ослабленою інтенсивністю конкурентних стосунків в живому надґрунтовому покриві, де трав'яний ярус розріджений, а проективне покриття не перевищує 50 %. Необхідною умовою є відсутність або наявність з незначною питомою вагою в нижньому ярусі лісу рослин з високою конкурентною потужністю (*Aegopodium podagraria*, *Convallaria majalis*) і домінуванням толерантних або реактивних видів. Найбільш сприятливі для появи і розвитку дрібного підросту *A. platanoides* мікроугруповання з невеликою кількістю *Viola mirabilis* L., *Galium odoratum* (L.) Scop. У *Quercus robur* центотичному оптимуму реалізації природного відновлення відповідають місцезростання, у трав'яному ярусі яких домінують зелені мохи і/або *Convallaria majalis*, *Fragaria vesca*, відсутні злаки, а загальне проектне покриття живого надґрунтового покриву не перевищує 60 %.

За даними Н. П. Шаньгиної (Shangina, 2011), найбільша кількість життєздатного підросту ялини реєструється в трав'яно-чагарничковому ярусі при переважному зростанні чорниці (*Vaccinium myrtillus*) і кислиці звичайної (*Oxalis acetosella* L.), а в мохово-лишайниковому – птіліума гребінчастого (*Ptilium crista-castrensis* Hedw.) і рітідіадельфуса тригранного (*Rhytidiadelphus triquetrus* Hedw.).

При цьому слід базуватися на обґрунтованому А. П. Травлєєвим і Н. А. Біловою (Travleyev, Belova, 2008) положенні про регіональність у вирішенні проблем лісознавства, з якого виходить, що описані вище закономірності властиві лісовим екосистемам північного сходу України і є їх специфічною особливістю.

ВИСНОВКИ

Таким чином, лісові трави і чагарнички – важливий чинник для відновлення всіх видів деревних порід. Головними екологічними проблемами рекреаційних зон з

погляду можливостей природного відновлення деревних порід є наслідки механічних дій на ґрунт. Першим у рекреаційних лісах зазнає трансформації трав'яно-чагарничковий ярус, який є чутливим індикатором збільшення антропогенного навантаження. Під його впливом змінюється та збіднюється його видовий склад, зменшується поширення окремих видів, їх фітомаса і проективне покриття. З покриву зникає багато лісових видів, і з'являються бур'яни.

Проблема охорони лісів як цілісних екосистем є гострою упродовж усього XX століття і не втратила свого значення і в наш час. Основні напрями її вирішення пов'язані з розвитком екологічної мережі України і правильним використанням усіх видів лісових ресурсів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

- Andriyenko, T. L., 2006. Fitoriznomanittia Ukrainkoho Polissia ta yoho okhrona [Phytodiversity of Ukrainian Polissya and its protection]. Phytosociocentre, Kyiv (in Ukrainian).
- Barrett, S. C., 1987. The reproductive biology of boreal forest herbs. I. Breeding system and pollination. *Canad. J. Bot.* 65, 2036–2046.
- Belgard, A. L., 1948. Ob amfitsenozah [About amphytenosises]. Scientific bulletin of the Dnepropetrovsk state university 30, 87–89 (in Russian).
- Belgard, A. L., 1950. Lesnaya rastitelnost yugovostoka USSR [Forest Vegetation of the South-Eastern USSR], Kyiv (in Russian).
- Belova, N. A., Travleyev, A. P., 2002. Puti k ob'ektivnoy otsenke zhiznennosti lesnogo biogeotsenoza (k 100-letiyu so dnya rozhdeniya A. L. Belgarda [The Ways to an Objective Assessment of a Forest Biogeocenosis Viability (Dedicated to the 100th Jubilee of A. L. Belgard)]. *Ecology and Noospherology* 12(3–4), 4–7 (in Russian).
- Bierzchudek, P., 1982. Life histories and demography of shade-tolerant temperate forest herbs: a review, *New Phytol.* 90, 757–776.
- Fenner, M., 1998. The phenology of growth and reproduction in plants. *Perspect. in Plant Ecol. Ecol. a. System* 1(1), 78–91.
- Honcharenko, I. V., 2003. Analiz roslynnoho pokryvu pivnichno-skhidnoho lisostepu Ukrainy [Vegetation analysis of the north-eastern forest-steppe of Ukraine], Phytosociocentre, Kyiv (in Ukrainian).
- Kharchenko, N. A., Kharchenko, N. N., 2012. K voprosu o estestvennom vobnovlenii duba chereschatogo pod pologom materinskogo drevostoya [To the issue of natural regeneration of English oak under the canopy of parent stand]. *The Scientific Journal of Kuban State Agrarian University* 76, 1–12 (in Russian).
- Khatmullin, R. Z., Kulagin, A. Yu., Urazgilin, R. V., 2009. Otsenka estestvennogo vobnovleniya sosnyi obyikovennoy (*Pinus sylvestris* L.) v estestvennykh i antropogennonarushennykh landshtafah Yuzhnogo Urala [Appraisal of natural reproduction of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) in natural and antropogeneous landscapes of South Ural]. *Vestnik OSU* 6, 412–414 (in Russian).
- Kovalenko, I. M., 2005. Henerativne rozmnozhennia klonoutvoriuyuchykh roslyn trav'iano-chaharnychkovoho yarusu v umovakh lisovykh fitotsenoziv Desniansko-Starohutskoho natsionalnoho pryrodnoho parku [Generative reproduction of clone forming plants of grass and subshrub layer under forest phytocenosis of National Nature Park «Desniansko-Starogutsky»]. *Actual problems of botany and ecology. Phytosociocentre, Kyiv*, 130–132 (in Ukrainian).
- Levina, R. E., 1981. Reproduktyvnaya biologiya semennykh rasteniy [Reproductive biology of seed plants]. Moscow (in Russian).
- Matuszkiewicz, W., 2001. Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski. PWN, Warszawa, 537 s. (in Polish).
- Mosyakin, S. L., Fedoronchuk, M. M., 1999. Vascular plants of Ukraine. A nomenclatural checklist, MBG, Kiev, 345 p.
- Onyshchenko, V. A., 2009. Forests of order Fagetalia sylvaticae in Ukraine, Kyiv, Alterpress, 212 p.
- Paal, T. V., Pal, Ya. L., 1981. Vliyanie fitogennykh poley derevev na urozhaynost brusniki [The influence of phytogenic tree fields on the yield of bilberry]. *Plant resources* 17(1), 68–74 (in Russian).
- Palkina, T. A., Petrov, V. V., 1986. Pochvennyiy zapas zhiznesposobnykh semyan v trekh lesnykh fitotsenozakh razlichnogo proishozhdeniya [Soil stock of viable seeds in the three forest phytocenoses of different origin]. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists (Biological Series)* 91(2), 144–152 (in Russian).
- Panchenko, S. M., 2013. Lesnaya rastitelnost natsionalnogo prirodnoho parka «Des-

- nyansko-Starogutskiy» [Forest vegetation of National Nature Park «Desniansko-Starogutskyi». University Book, Sumy (in Russian).
- Petrov, V. V., 1981. Soderzhanie pokoyaschihsya zhiznesposobnykh semyan rasteniy v pochve nekotorykh tipov hvoynogo lesa [Content of dormant viable seeds in the soil of some types of coniferous forests]. Vestnik MGU (Biological Series) 3, 308 (in Russian).
- Petrov, V. V., 1983. Nekotorye rezultaty izucheniya pochvennogo zapasa zhiznesposobnykh semyan rasteniy v lesakh Podmoskovya [Some results of studying the soil supply of viable seeds of plants in the forests near Moscow]. Reports of Moscow Society of Naturalists (Zoology and Botany Series), 126–128 (in Russian).
- Petrov, V. V., 1986. Soderzhanie pokoyaschihsya zhiznesposobnykh semyan rasteniy v pochve starovozrastnogo korennoho elovogo lesa [Content of dormant viable seeds in the soil of indigenous old-growth spruce forests]. Botanical Journal 71(9), 1227–1230 (in Russian).
- Shangina, N. P., 2011. Ekologicheskie faktoryi estestvennogo vozobnovleniya pod pologom elnikov chernichnikov [Environmental factors of natural reproduction under the canopy of bilberry spruce forests]. Dissertation abstract on competition of a scientific degree of cand. biol. sci. Arkhangelsk (in Russian).
- Sklyar, V. G., 2012. Tsenoticheskie svyazi podrosta klena ostrolistnogo i duba obyiknovennogo v usloviyakh Novgorod-Siverskogo Polesya [Cenotic relations of undergrowth of Norway maple and oak in the conditions of Novgorod-Siversky Polissya]. Biological Journal of MDPU 3, 77–89 (in Russian).
- Solomakha, V. A., 2008. Syntaksonomiia roslynnosti Ukrainy [Syntaxonomy of vegetation of Ukraine]. Phytosociocentre, Kyiv (in Ukrainian).
- Taki, H., Kevan, P. G., Ascher, J. S., 2007. Landscape effects of forest loss in a pollination system. Landscape Ecol. 22, 1575–1587.
- Travleyev, A. P., Belova, N. A., 2008. Les kak yavlenie geograficheskoe [Forest as a geographic phenomenon]. Ecology and Noospherology 19(3–4), 5–12 (in Russian).
- Whigham, D. E., 2004. Ecology of woodland herbs in temperate deciduous forest, Ann. Rev. of Ecol. Evol. a. Syst. 35, 583–621.
- Zlobin, Yu. A., 1960. Zhivoy pokrov elovykh lesov kak faktor estestvennogo vozobnovleniya eli [Ground cover of spruce forests as a factor of natural spruce regeneration]. Tyumen publishing house, Tyumen (in Russian).
- Zlobin, Yu. A., 2000. Reprodukativnoe usilie [Reproductive effort]. Embryology of flowering plants. Saint-Petersburg 3, 251–258 (in Russian).

Стаття надійшла в редакцію: 09.02.2016

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

BIOGEOCENOLOGY, GEOBOTANY AND PHYTOCENOLOGY



O. I. Lisovets ✉

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

UDK 581.9(477.63)

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

FIRST FINDS OF *ACALYPHA AUSTRALIS* L. AND *EUPHORBIA MACULATA* L. (EUPHORBIACEAE) IN DNIPROPETROVSK REGION

Abstract. A flora is a very plastic component of biovariety, especially on the urbanized territories with active development of transport, trade and different communications. From literary data on territory of Ukraine only from North America for the last 25 years about 30 new species that appeared quarantine plants got with various loads. In the flora of the Dnipropetrovsk area it is counted no less than 75 adventitious species, 102 species are cultivated and have a tendency to naturalization. In connection with the high level of urbanization the amount of adventitious and synanthropic species in a region increases constantly. Appearance of new species on any territory claims attention of researchers, in fact they can appear in a prospect dangerous for agricultural lands and natural ecosystems by reason of high competitiveness in the conditions of absence of natural wreckers.

A base method for the study of regional flora is taking the inventory of species, it means making lists of plants as a result of rout geobotanical researches. For determination of new species we used "Flora of the USSR" (1949), consultations were conducted with the known florists. Family Euphorbiaceae Juss. according to a determinant "Opredelitel..." (1987) is presented in our country by 6 genres and 62 species. By us it is first found on territory of the Dnipropetrovsk area two representatives of Euphorbiaceae – *Acalypha australis* L. and *Euphorbia maculata* L. Both species are educed within the limits of Bagleyskiy district of Dniprodzerzhynsk.

Acalypha australis is an one-year plant with a thin root and direct ramified ribbed stem, a kind is widespread in Manchuria, Korea, north China, Japan, America, in the former USSR – on Caucasus and Far East. His characteristic habitats are sands on the banks of the rivers, the clay are washed off slopes, near-by building, on trashes, in sowing. In the determinants of Ukraine *Acalypha australis* is absent, however on literary information first found in 1981 in Crimea, later in Odesa and near-by Luhansk.

The population of *Acalypha australis* is educed on Dnipropetrovsk region to be under a supervision from 2006. First *Acalypha australis* was found here on a flower-garden in a private sector, where, probably, was brought with the seed of decorative plants. The quantity of individuals did not exceed two ten that grew on an area approximately one meter square. For 9 the area of population considerably increased and now presents no less than 200 m². Shoots of *Acalypha australis* appears at the end of May, flowering takes place in July–August, fruiting – in August–September. A plant is weeded as ordinary weed, however it spreads successfully. To our opinion, it is related to the

✉ Tel.: +38050-421-69-69. E-mail: 30traven@mail.ru

DOI: 10.15421/031605

unpretentiousness of new kind to the terms of fertility and moisture of soil and high enough fruitfulness – from literary data to 100 seed from one individual. The representatives of the educed population grow on flower-gardens, along a fence and building, on beds among parsley, dill, strawberry, under a vine, in a hothouse with cucumbers. The domestic breeds of birds (chickens, geese) this kind do not eat.

Euphorbia maculata is one-year old plant in a 10–20 cm high, with hard hairsprings. A kind takes place from North America, it as skidding is widespread in Europe, in the former USSR – in Western Transcaucasia and on Far East. His characteristic habitats are sands on the coasts of seas, embankments along roads. On territory of Ukraine *Euphorbia maculata* in determinants is absent, however on literary information led for Lviv and Crimea.

The population of *Euphorbia maculata* on Dnipropetrovsk region was educed by us in 2010 near-by a recreation centre "Himik" (Dniprodzerzhynsk). A kind prevails on a wide sidewalk ground before a centre, sprouting on the small areas of soil between concrete flags on an area about 3000 m². In a vegetable cover except *Euphorbia maculata* we discovered *Polygonum aviculare* L., *Portulaca oleracea* L., *Eragrostis minor* Host. On information of workers of recreation centre "Himik", *Euphorbia maculata* grows here already no less than 6, thus these plants weed every summer. Existing in such terms, a kind appears very proof to trampling down and unpretentious to the food value and humidity of soil. Morphologically it is near to *Polygonum aviculare* and *Portulaca oleracea*, from the last it easily differs by the presence of milk juice in all parts of plant. On flower-gardens and lawns that abut upon a sidewalk ground, *Euphorbia maculata* is not educed.

The standards of herbarium of the registered new species are kept in the Scientific herbarium of the Dnipropetrovsk national university of the name Oles Gonchar (DSU). With the purpose of prognostication of adaptation possibilities and speed of distribution on Dnipropetrovsk Oblast of *Acalypha australis* and *Euphorbia maculata* we deem it wise to undertake scalene studies of the educed populations, in particular population structure, varying of morphological indexes, germination of seed, allelopathic activity in the conditions of steppe Pridneprove.

Keywords: *Acalypha australis*, *Euphorbia maculata*, *Euphorbiaceae*, *adventitious species*, *population*, *flora of Ukraine*.

УДК 581.9(477.63)

Е. И. Лисовец

канд. биол. наук, доц.

Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара,
пр. Гагарина, 72, г. Днепропетровск, Украина, 49010,
тел.: + 38050-421-69-69, e-mail: 30traven@mail.ru

ПЕРВЫЕ НАХОДКИ *ACALYPHA AUSTRALIS* L. И *EUPHORBIA MACULATA* L. (*EUPHORBIACEAE*) НА ДНЕПРОПЕТРОВЩИНЕ

Аннотация. Впервые на территории Днепропетровской области найдены *Acalypha australis* L. и *Euphorbia maculata* L. (*Euphorbiaceae* Juss.). Гербарные образцы зарегистрированных новых видов хранятся в Научном гербарии Днепропетровского национального университета имени Олеся Гончара (DSU). С целью прогнозирования адаптационных возможностей и скорости распространения на Днепропетровщине *Acalypha australis* и *Euphorbia maculata* считаем целесообразным провести разносторонние исследования выявленных популяций.

Ключевые слова: *Acalypha australis*, *Euphorbia maculata*, *Euphorbiaceae*, *адвентивные виды*, *популяция*, *флора Украины*.

УДК 581.9(477.63)

О. І. Лісовець

канд. біол. наук, доц.

Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара,
пр. Гагаріна, 72, м. Дніпропетровськ, Україна, 49010,
тел.: + 38050-421-69-69, e-mail: 30traven@mail.ru

ПЕРШІ ЗНАХІДКИ *ACALYPHA AUSTRALIS* L. ТА *EUPHORBIA MACULATA* L. (*EUPHORBIACEAE*) НА ДНІПРОПЕТРОВЩИНІ

Анотация. Уперше на території Дніпропетровської області знайдені *Acalypha australis* L. і *Euphorbia maculata* L. (*Euphorbiaceae* Juss.). Гербарні зразки зареєстрованих нових видів

зберігаються в Науковому гербарії Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара (DSU). З метою прогнозування адаптаційних можливостей і швидкості поширення на Дніпропетровщині *Acalypha australis* і *Euphorbia maculata* вважаємо за доцільне провести різнобічні дослідження виявлених популяцій.

Ключові слова: *Acalypha australis*, *Euphorbia maculata*, *Euphorbiaceae*, адвентивні види, популяція, флора України.

ВСТУП

Як відомо, флора є дуже пластичним компонентом біорізноманіття, особливо на урбанізованих територіях з активним розвитком транспорту, торгівлі та різних комунікацій. За літературними даними на територію України тільки з Північної Америки за останні 25 років з різноманітними вантажами потрапили близько 30 нових видів, які виявились карантинними рослинами. Окрім них були занесені багато видів, що не є карантинними (Biologichni osoblivosti..., 2004).

За відомостями Тарасова В. В. (Tarasov, 2005) у флорі Дніпропетровської області нараховується 75 адвентивних видів, що становить 4,4 % від усіх рослин. Ще 102 види (6,0 %) культивуються та мають тенденцію до натуралізації. У зв'язку з високим рівнем урбанізації кількість адвентивних та синантропних видів у регіоні постійно збільшується. Поява нових видів на будь-якій території потребує уваги дослідників, адже вони можуть виявитись у перспективі небезпечними для сільськогосподарських угідь та природних екосистем через високу конкурентоспроможність внаслідок відсутності природних шкідників.

МАТЕРІАЛ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Базовим методом для вивчення регіональної флори є інвентаризація видів, тобто складання списків рослин в результаті маршрутних геоботанічних досліджень біооб'єктів і їхня всебічна характеристика (Tarasov, 2005). Для визначення нових видів використовували «Флору СССР» (Flora SSSR..., 1949), проводились консультації з відомими флористами Дніпропетровщини – доцентом В. В. Тарасовим та провідним науковим співробітником НДІ біології ДНУ імені Олеся Гончара Б. О. Барановським.

Родина Молочайні (*Euphorbiaceae* Juss.) згідно «Определителя высших растений Украины» (Opredelitel ..., 1987) представлена у нашій країні 6 родами та 62 видами. Для флористичного списку Дніпропетровщини наведено 2 роди – *Ricinus* та *Euphorbia*, перший з яких представлений одним культурним видом, другий нараховує 18 видів. Серед останніх 13 відомі як бур'яни, а один вид – молочай зубчастий (*E. dentata* Michx.) – є адвентивним (походить з Північної Америки) та визнаний В. В. Тарасовим як потенційно загрозливий карантинний бур'ян для України.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Нами вперше знайдено на території Дніпропетровської області ще двох представників Молочайних – акаліфу південну (*Acalypha australis* L.) та молочай плямистий (*Euphorbia maculata* L.). Обидва види виявлені в межах Баглійського району м. Дніпродзержинська.

Акаліфія південна (рис. 1) – однорічна рослина з тонким коренем та прямим розгалуженим ребристим стеблом, вкритим залозистими притиснутими догори волосками, висотою 6–50 см. Листки ланцетні, на черешках довжиною 1–4,5 см, загострені, з клиновидною основою. Суцвіття – характерні для Молочайних плейохазії, оточені лійкоподібними приквітниками з жилкуванням у вигляді віяла. Суцвіття частіше пазушні, на квітконосах завдовжки 0,5–6 см, рідше верхівкові колосоподібні. Тичинкові суцвіття видовжені, тонкі, довжиною 1–3 см, за типовим

описом мають бути яскраво червоними, проте у місцевої популяції – світлі. Плоди регми жорстко-волосисті, насінини яйцеподібні, гладенькі.



Рис. 1. Vegetуючі особини акаліфи південної (*Acalypha australis*) вздовж паркана у приватному секторі (м. Дніпродзержинськ, вул. Урожайна, серпень 2007 року)

Вид поширений у Маньчжурії, Кореї, північному Китаї, Японії, Америці, у колишньому СРСР – на Кавказі й Далекому Сході. Типові місцезростання – піски по берегах річок, глинисті змиті схили, поблизу будівель, на смітниках, в посівах (Flora SSSR..., 1949). У визначниках України *Acalypha australis* відсутня, проте за літературними відомостями вперше знайдена у 1981 році у Криму (Tsvelev, 1983), пізніше в Одесі (Biologichni osoblivosti..., 2004) та на Луганщині (Ostapko, Boyko, Mosyakin, 2010) (рис. 2).



Рис. 2. Місцезнаходження акаліфи південної (сірі квадрати) та молочаю плямистого (чорні квадрати) в Україні

За виявленою на Дніпропетровщині популяцією ведуться спостереження з 2006 року. Вперше акаліфа південна була знайдена тут на квітнику в приватному секторі, куди, імовірно, була занесена з насінням декоративних рослин. Чисельність особин не перевищувала двох десятків, які зростали на площі близько одного метра квадратного. За 8 років площа популяції значно збільшилась і зараз становить не менше 200 м². Сходи акаліфи з'являються наприкінці травня, цвітіння відбувається в липні–серпні, плодоношення – у серпні–вересні. Рослину виполюють як звичайний бур'ян, проте вона успішно поширюється. На нашу думку, це пов'язано з невибагливістю нового виду до умов родючості й зволоженості ґрунту та досить високою плідністю – за літературними даними до 100 насінин з однієї особини. Представники виявленої популяції зростають на квітниках, вздовж паркану та будівель, на грядках серед петрушки, кропу, суніць, під виноградом, в теплиці з огірками. Свійськими породами птахів (кури, гуси) не поїдається.

Молочай плямистий (рис. 3) – однорічна рослина заввишки 10–20 см, курчаво-жорстковолосиста, з грубими щетинистими волосками. Стебло сланке, сильно гіллясте. Листки з короткими черешками, яйцеподібні або лінійно-довгасті, зверху голі, тьмяно-зелені, згодом червоніючі, посередині з бурою плямою, знизу пухнасті. Квітки в розвилках наче пазушні, часто зближені в короткі густі суцвіття у вигляді несправжньої китиці, келишок дзвоникоподібний, волосистий. Плід тригорішок незрілий пониклий, у зрілому стані завдовжки 1,2 (1,6) мм, завширшки 1,5 мм, зелений, дещо червоніючий, притиснуто-волосистий. Насінина яйцеподібна, чотиригранна, завдовжки близько 0,8 мм.



Рис. 3. Вегетуючі особини молочаю плямистого (*Euphorbia maculata*) поміж бетонних плит на тротуарі (м. Дніпродзержинськ, вул. Уральська, серпень 2014 року)

Вид походить з Північної Америки, як заносний поширений в Приатлантичній Європі, у колишньому СРСР – у Західному Закавказзі та на Далекому Сході. Типові місцезростання – піски вздовж берегів морів, насипи вздовж доріг (Flora SSSR..., 1949). На території України *Euphorbia maculata* у визначниках відсутній, проте за літературними відомостями наводиться для Львова (Flora Vostochnoy Evropy, 1996) та Криму (Ена, 2012) (див. рис. 1).

Популяція молочаю плямистого на Дніпропетровщині виявлена нами у 2010 році поблизу ПК «Хімік» (м. Дніпродзержинськ). Вид домінує на широкому тротуарному

майданчику перед палацом, зростаючи на невеличких ділянках ґрунту поміж бетонних плит на площі близько 3000 м². Окрім молочаю плямистого у травостої трапляються спориш звичайний (*Polygonum aviculare* L.), портулак городній (*Portulaca oleracea* L.), гусятник малий (*Eragrostis minor* Host). За відомостями працівників ПК «Хімік», молочай плямистий зростає тут вже не менше 6 років, причому кожного літа проводиться виловлювання рослин. Існуючи в таких умовах, вид виявляється дуже стійким до витоптування та невибагливим до поживності й вологості ґрунту. Морфологічно він є близьким до споришу звичайного та портулаку городнього, від останніх легко відрізняється наявністю молочного соку в усіх частинах рослини. На квітниках і газонах, що межують з тротуарним майданчиком, *Euphorbia maculata* не виявлений.

Молочай плямистий відомий як бур'ян ландшафтів, розплідників, газонів та деяких агрономічних культур. Зростає переважно на суглинистих нейтральних та слабо-лужних сухих ґрунтах середньо збагачених на мінеральні речовини, не витримує засолення (Galera, Sudnik-Wójcikowska, 2010). Через вміст у молочному соку дитерпенових ефірів усі частини рослини є отруйними, при потраплянні в середину організму людини і тварин можуть викликати нудоту, блювання, діарею. Тому вид не використовують як кормовий, не придатний він і для компосту. При впливові молочного соку рослини на шкіру та слизові оболонки виникають тимчасові алергічні реакції (plants.ces.ncsu.edu). Рослина здавна використовується у народній медицині як послаблюючий засіб (Zollickoffer, 1842.). У науковій літературі є відомості про дослідження хімічного складу молочаю плямистого (Elmore, Paul, 1983; Matsunaga, Tanaka, Akagi, 1988, Tannins and related polyphenols..., 1991; Runhui, Lingyi, 2001), фізіологічних особливостей (Development of the Kranz structure..., 2000) та алелопатичної активності виду (Allelopathic Effects ..., 2009). Сучасні дослідники також вивчають *Euphorbia maculata* як сепетальний бур'ян та розробляють хімічні методи боротьби з ним (Bararpour, Talbert, Frans, 1994; Allelopathic Effects ..., 2009; Chemical control ..., 2010). Є думка, що молочай плямистий один з видів, поширенню яких в Європі сприяє діяльність ботанічних садів (Galera, Sudnik-Wójcikowska, 2010). До речі, поруч з виявленою нами популяцією молочаю плямистого розташований «Розарій ВАТ «ДніпроАзот», який функціонує подібно до ботанічних садів.

ВИСНОВКИ

Гербарні зразки зареєстрованих нових видів зберігаються у Науковому гербарії Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара (DSU). З метою прогнозування адаптаційних можливостей та швидкості поширення на Дніпропетровщині акаліфи південної та молочаю плямистого вважаємо доцільним провести різнобічні дослідження виявлених популяцій, зокрема популяційної структури, варіювання біолого-морфологічних показників, схожості насіння, алелопатичної активності в умовах степового Придніпров'я.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

- Agata, I., Hatano, T., Nakaya, Y., Sugaya, T., Nishibe, S., Yoshida, T., Okuda, T., 1991. Tannins and related polyphenols of euphorbiaceous plants. VIII. Eumaculin A and eusupinin A, and accompanying polyphenols from *Euphorbia maculata* L. and *E. supine* Rafin. Chemical and Pharmaceutical Bulletin 39(4), 881–883.
- Bararpour, M. T., Talbert, R. E., Frans, R. E., 1994. Spotted Spurge (*Euphorbia maculata*) Interference with Cotton (*Gossypium hirsutum*). Weed Science 42(4), 553–555.
- Brundu, G., Aksoy, N., Brunel, S., 2011. Rapid surveys for inventorying alien plants in the Black Sea region of Turkey. EPPO Bulletin 41(2), 208–216.
- Cheng, Y., Wang, H., Zheng, H., Li, W., 2009. Allelopathic Effects of Aqueous Extracts from *Euphorbia maculata* on Several Vegetable Species. Chinese agricultural science bulletin 25(2), 81–84.
- Delendick, T. J., 1990. *Acalypha australis* L. (Euphorbiaceae) new to New York State. Bulletin of the Torrey Botanical Club 117(3), 291–293.

- Elmore, C. D., Paul, R. N., 1983. Phenolic deposits and kranz syndrome in leaf tissues of spotted (*Euphorbia maculata*) and prostrate (*Euphorbia supina*) spurge. *Weed Sci* 31(1), 131–136.
- Ena, A. V., 2012. Prirodnaya flora Krymskogo poluostrova [Natural flora of the Crimean peninsula], Simferopol (in Russian).
- Flora SSSR. V 30-ti tomah, 1949 [Flora of USSR. In 30 volumes], Ed. Shishkin B. K., Bobrov E. G., XIV, Moskva–Leningrad (in Russian).
- Flora Vostochnoy Evropy, 1996 [Flora of Eastern Europe], Redaktor toma N. N. Tsvelev, IX, Sankt-Peterburg (in Russian).
- Galera, H., Sudnik-Wójcikowska, B., 2010. Central European botanic gardens as centres of dispersal of alien plants. *Acta Soc. Bot. Polon* 79(2), 147–156.
- Julve, Ph., 2014. Baseflor. Index botanique, écologique et chorologique de la flore de France. Version : 06 janvier 2014. <http://perso.wanadoo.fr/philippe.julve/catminat.htm>
- Kim, I. N., Pak, J.-H., Seo, B.-B., Song, S.-D., 2000. Development of the Kranz structure during leaf growth in C4 *Euphorbia maculata*. *Journal of Plant Biology* 43(4), 238–246.
- Lambdon, P. W., Pyšek, P., Basnou, C., Hejda, M., Arianoutsou, M., Essl, F., Jarošík, V., Pergl, J., Winter, M., Anastasiu, P., Andriopoulos, P., Bazos, I., Brundu, G., Celesti-Grapow, L., Chassot, P., Delipetrou, P., Josefsson, M., Kark, S., Klotz, S., Kokkoris, Y., Kühn, I., Marchante, H., Perglová, I., Pino, J., Vila, M., Zikos, A., Roy, D., Hulme, P. E. 2008. Alien flora of Europe: species diversity, temporal trends, geographical patterns and research needs. *Preslia* 80(2), 101–149.
- Matsunaga, Sh., Tanaka, R., Akagi, M., 1988. Triterpenoids from *Euphorbia maculata*. *Phytochemistry* 27(2), 535–537.
- Nejad, A. R. S., Montazeri, M., Mirhadi, M. J., Younesabadi, M., 2010. Chemical control of spurge weed (*Euphorbia maculata* L.) in soybean fields in Golestan province. *Proceedings of 3rd Iranian Weed Science Congress. Vol. 2: Key papers, weed management and herbicides*, 455–457.
- Ohnishi, Y. K., Suzuki, N., 2009. Preferential removal of non-injured seeds by an omnivorous ant, *Tetramorium tsushimae* Emery, in the seed dispersal of *Chamaesyce maculata* (L.) Small. *Ecological Research* 24, 1155–1160.
- Opredelitel vyisshih rasteniy Ukrainyi, 1987 [Determinant of higher plants of Ukraine], Dobrochaeva, D. N., Kotov, M. I., Prokudin, Yu. N., Kiev (in Russian).
- Ostapko, V. M., Boyko, A. V., Mosyakin, S. L., 2010. Sosudistyye rasteniya yugo-vostoka Ukrainyi [Vascular plants of southeast of Ukraine], Donetsk (in Russian).
- Runhui, L., Lingyi, K., 2001. The chemical constituents of *Euphorbia maculata* L. *Journal of Plant Resources and Environment*, 10(1), 60–61.
- Tarasov, V. V., 2005. Flora Dnipropetrovskoyi ta Zaporizkoyi oblastey. Sudinni roslini. Biologo-ekologichna charakteristika vidiv [Flora of the Dnipropetrovsk and Zaporizhzhya areas. Vascular plants. Biological and ecological description of species], Dnipropetrovsk (in Ukrainian).
- Tsvelev, N. N., 1983. O nekotorykh redkikh i zanosnykh rasteniyakh evropeyskoy chasti SSSR [About some rare and skidding plants of European part of the USSR]. *Novosti sistematiki vyisshih rasteniy* 20, 225–238 (in Russian).
- Vasileva, T. V., Kovalenko, S. G., Ruzhitska, I. P., Nemertsalov, V. V., Nemertsalova, S. V., 2004. Biologichni osoblivosti novih dlya Prichornomor'ya vidiv rodini Euphorbiaceae Juss. [Biological features of new for black sea Region types of family Euphorbiaceae Juss.]. *Visnyk Odeskogo natsionalnogo universitetu. Biologiya* 9(5), 55–62 (in Ukrainian).
- Wang, X. L., Yu, K. B., Peng, S. L., 2008. Chemical constituents of aerial part of *Acalypha australis*. *China Journal of Chinese Materia Medica* 33(12), 1415–1417.
- Xiao, S., Zhang, L. F., Zhang, X., Li, S.-M., Xue, F.-Q., 2013. Tracing antibacterial compounds from *Acalypha australis* Linn. by spectrum-effect relationships and semi-preparative HPLC. *Journal of Separation Science* 36(9–10), 1667–1676.
- Zhang, B., Lin, R. C., Koch, M., 1994. Fatty alcohols and esters, triterpenes and sugars from *Acalypha australis*. *Fitoterapia* 65, 284–285.
- Zollickoffer, W., 1842. On the *Euphorbia maculata*. *The Boston medical and surgical journal* XXV, 415–417.

Стаття надійшла в редакцію: 14.03.2016

Рекомендує до друку: д-р біол. наук, проф. Л. П. Мицик

ECOSYSTEM ANALYSIS



O. Y. Buzhdygan^{1,2}✉
S. S. Rudenko¹

Cand. Sci. (Biol.)
Dr. Sci. (Biol.), Professor

UDK 574.4:633.2.033

¹Chernivtsi National University,
L. Ukrainka str., 25, Chernivtsi, Ukraine, 58012

²Freie Universität Berlin,
Königin-Luise-Str., 1-3, Berlin-Dahlem, Germany, 14195

MULTIVARIATE COMPARISON OF TROPHIC NETWORKS OF GRASSLAND ECOSYSTEMS

Abstract. This article compares 13 network properties of food webs of 31 Ukrainian grasslands. The properties are: network size *N*, trophic link number *L*, trophic classes *CI*, system connectance *C*, link density *LD*, total system throughflow *TST*, network cycling *FCI*, ascendancy *AS*, developmental capacity *DC*, indirect effects dominance *IE*, system aggradation *AI*, system synergism *SI*, and mutualism *MI*. Our results show these properties are highly correlated and can be aggregated into the three latent factors. The first factor includes *N*, *TST*, *AS*, *DC*, *SI*, *L*, and *LD*, where network size *N* appears to be a central defining variable. The second latent factor includes *FCI*, *AI*, and *CI*, and is driven by indirect effects dominance *IE*. The third factor includes mutualism *MI* and connectance *C*, the last being the driving variable. Network Synergism *SI* is negatively correlated with the other network properties, while all others are positively intercorrelated. Network connectance appears to be a scale invariant property, while link density is highly sensitive to network size. Our data also show that network mutualism *MI* is more tied to the network complexity than simply to system scale or number of feeding links.

Keywords: ecological network analysis, trophic networks, multivariate analysis, grassland ecosystems, system-wide network properties.

УДК 574.4:633.2.033

О. Я. Буждиган^{1,2}
С.С. Руденко¹

канд. біол. наук
д-р біол. наук, проф.

¹Чернівецький національний університет,
вул. Лесі Українки, 25, м. Чернівці, Україна, 58012,
тел.: +38037-258-47-92, e-mail: oksana.buzh@gmail.com

²Вільний університет Берліну,
вул. Королеви Луїзи, 1-3, м. Берлін, Німеччина, 14195

БАГАТОФАКТОРНИЙ ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТРОФІЧНИХ МЕРЕЖ ЛУЧНИХ ЕКОСИСТЕМ

Анотація. Екологічний мережевий аналіз (ЕНА) – міждисциплінарний аналітичний підхід в екології, який дозволяє вивчати, а також кількісно та якісно оцінювати різні типи

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

DOI: 10.15421/031606

ISSN 1726-1112. Ecology and noospherology. 2016. Vol. 27, no. 1–2

49

екологічних мереж, а саме трофічні мережі, біогеохімічні колообіги, мутуалістичні мережі та мережі взаємозв'язків господар – паразит. Кількісні та якісні індекси екологічного мережевого аналізу є емерджентними показниками екосистеми, які виникають внаслідок прямих та опосередкованих зв'язків між біотичними (організмами) та абіотичними (грунт, детрит) компонентами екосистеми. Однак ряд науковців доводять, що деякі емерджентні показники екосистеми корелюють та мають схожу структуру та динаміку. Більшість досліджень емерджентних властивостей екосистеми визнають необхідність в порівнянні ENA індексів на основі емпіричних даних для розуміння їх поведінки та якісного вкладу в характеристику структурно-функціональної організації екосистеми. Метою роботи було порівняння динаміки та поведінки 13 емерджентних показників, використовуючи трофічні мережі екосистем лучного типу, а саме: розмір мережі *N*, кількість трофічних зв'язків *L*, трофічних класів *CI*, складність трофічної мережі *C*, щільність трофічних зв'язків *LD*, загальний потік енергії *TST*, колообіг *FCI*, ступінь розвитку трофічної мережі *AS*, ємність трофічної мережі *DC*, домінування непрямих зв'язків у системі *IE*, середня довжина потоків у системі *AI*, ступінь синергізму *SI* та мутуалізму *MI*. Відповідно до мети побудовано трофічні мережі для 31 лучних екосистем Чернівецької області та оцінено емерджентні показники для кожної трофічної мережі. Визначено силу і напрям попарних взаємозв'язків між ENA індексами та встановлено їх поведінку відносно один до одного. Порівнюючи 31 трофічну мережу та використовуючи багатофакторний порівняльний аналіз, виділено індекси, які мають подібну динаміку та поведінку.

Результати показують, що досліджувані показники мають високу статистично достовірну кореляцію і складають групу з трьох латентних факторів. Перший фактор включає *N*, *TST*, *AS*, *DC*, *SI*, *L* та *LD*, де центральним показником є розмір мережі *N*. Розмір мережі вимірюється як кількість компонентів в екосистемі і відіграє фундаментальне значення в структурно-функціональній організації мережі, оскільки компоненти екосистеми та взаємозв'язки між ними визначають структуру мережі. З результатів досліджень видно, що загальний потік енергії *TST*, ступінь розвитку трофічної мережі *AS*, ємність трофічної мережі *DC*, ступінь синергізму *SI*, кількість *L* та щільність *LD* трофічних зв'язків мають однакову поведінку щодо характеристики організації мережі і залежать в основному від розміру трофічної мережі. Другий латентний фактор базується в основному на показнику домінування непрямих зв'язків *IE*, а також включає такі показники як *FCI*, *AI* та *CI*. Домінування непрямих зв'язків зростає при збільшенні колообігу речовини в трофічній мережі *FCI*. Однак результати свідчать, що непрямі зв'язки відіграють основну роль в динаміці поведінки *FCI*, *AI* та *CI*. Третій фактор включає *MI* та *C*, де складність трофічної мережі є домінуючим показником. Синергізм трофічної мережі *SI* негативно корелює з усіма іншими показниками, в той час як усі інші показники позитивно корелюють один з одним. Складність мережі *C* виявився інваріантним показником щодо змін розміру трофічної мережі, в той час як показник щільності трофічних зв'язків *LD* виявив високу чутливість до варіації в розмірі трофічних сіток. Результати наших досліджень також підтверджують, що мутуалізм трофічної мережі *MI* є залежним не від розміру мережі, а від складності її структури.

Ключові слова: екологічний мережевий аналіз, трофічна мережа, багатофакторний аналіз, лучна екосистема, системні показники трофічної мережі.

УДК 574.4:633.2.033

О. Я. Буждыган^{1,2}
С. С. Руденко¹

канд. биол. наук
д-р биол. наук, проф.

¹Черновицкий национальный университет,
ул. Леси Украинки, 25, г. Черновцы, Украина, 58012,
тел.: +38037-258-47-92, e-mail: oksana.buzh@gmail.com

²Свободный университет Берлина,
ул. Королевы Луизы, 1-3, г. Берлин, Германия, 14195

МНОГОФАКТОРНЫЙ СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРОФИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ЛУГОВЫХ ЭКОСИСТЕМ

Аннотация. Выполнено сравнение 13 показателей трофических сетей 31 луговых экосистем Украины, а именно: размер сети *N*, количество трофических связей *L*, трофических классов *CI*, сложность трофической сети *C*, плотность трофических связей *LD*, общий поток

энергии *TST*, круговорот *FCI*, степень развития трофической сети *AS*, емкость трофической сети *DC*, доминирование не прямых связей в системе *IE*, средняя длина потоков в системе *AI*, степень синергизма *SI* и мутуализма *MI*. Результаты показали, что исследуемые показатели имеют высокую статистически достоверную корреляцию и составляют группу из трех латентных факторов. Первый фактор включает *N*, *TST*, *AS*, *DC*, *SI*, *L* и *LD*, где центральным показателем является размер сети *N*. Второй латентный фактор базируется в основном на показателе доминирование не прямых связей, а также включает такие показатели как *IE*, *FCI*, *AI* и *CI*. Третий фактор включает *MI* и *C*, где сложность трофической сети является доминирующим показателем. Синергизм трофической сети *SI* коррелирует отрицательно со всеми показателями, в то время как все остальные показатели положительно коррелируют друг с другом. Сложность сети *C* оказалась инвариантным показателем к изменению размера трофической сети, в то время как показатель плотности трофических связей *LD* показал высокую чувствительность к вариации размеров трофических сетей. Результаты наших исследований также подтверждают, что мутуализм трофической сети *MI* является зависимым не от размера сети, а от сложности ее структуры.

Ключевые слова экологический сетевой анализ, трофическая сеть, многофакторный анализ, луговая экосистема, системные показатели трофической сети.

INTRODUCTION

Ecological Network Analysis (ENA) is a growing multidisciplinary analytical tool that makes it possible to study different types of ecological networks, such as food webs, biogeochemical nutrient cycles, mutualistic networks and host-parasitoid webs. Systems ecologists name three main advantages of ENA in the study of ecological systems.

First, ENA is a way of investigating ecological holism (Patten, 1978, 1981, 1982, 1985, Ulanowicz, 1980, 1983, 1986, 1997, 2004; Fath and Patten, 1999; Fath et al., 2007). It considers organisms and their multiple interactions (links, flows) as a whole interconnected system expressed by the network. Moreover, several ENA approaches provide the possibility to study ecosystems as thermodynamically open to energy and matter, for example, Network Environ Analysis (Patten, 1978, 1981, 1982, 1985) and Ascendency Analysis (Ulanowicz, 1980, 1986, 1997). ENA is a core methodology of Holoeology (Patten et al., 1976; Fath and Patten, 1999).

Second, ENA applications make it possible to study networks quantitatively by evaluating a set the system-wide network properties (Fath et al., 2007; Fath and Patten, 1999). Several advanced quantitative approaches have arisen in order to perform ENA, such as: Network Environ Analysis (Patten, 1978, 1981, 1982, 1985); Input-Output Analysis (Hannon, 1973); Ascendency Analysis (Ulanowicz, 1980, 1986, 1997); and Embodied Energy Analysis (Odum, 1983; Herendeen, 1981, 1989). Borrett's (2013) review of ENA literature indicates more than 15000 published scientific papers have addressed assessment of network measures.

Finally, ENA measures represent system-level properties not evident from direct empirical observations (Fath et al., 2007). These properties are hidden because the complex structure and behavior of ecological systems are driven by a multiplicity of invisible interactions among living organisms and non-living matter.

A number of authors have demonstrated that certain measures of systemic network organization are related. Jørgensen (1994) showed high correlations between the system goal functions *exergy* (Jørgensen (1992), *emergy* (Odum, 1988), *ascendency* (Ulanowicz, 1997), and *indirect effects* (Patten, 1984)) in a set of lake models. Patten (1995) showed that these and also *maximum power* (Lotka, 1922) had a common basis in network structure and dynamics. Fath et al. (2001) demonstrated mutual consistency of the following ten system properties: *maximum power* (Lotka, 1922), *maximum storage* (Jørgensen and Mejer, 1979), *maximum empower and emergy* (Odum, 1988), *maximum ascendency* (Ulanowicz, 1997), *maximum dissipation* (Schneider and Kay, 1990), *maximum cycling* (Morowitz, 1968), *maximum residence time* (Cheslak and Lamarra, 1981), *minimum dissipation* (Onsager, 1931; Prigogine, 1995), and *minimum empower to exergy ratio* (Bastianoni and

Marchettini, 1997), suggesting a common pattern for ecosystem development. Borrett (2010), comparing 50 trophic networks, demonstrated interrelatedness of network *homogenization* (Patten et al., 1990) with *network size*, *connectance* and *cycling* (Finn, 1976). Fath (2004, 2007) investigated the behavior of network *synergism* and *mutualism* measures (Patten, 1991, 1992) with increasing system size. Most of these studies acknowledge that further multi-property comparisons based on empirical data are needed to understand the network measures' contributions to ecosystem structure and function (Jørgensen, 2002). Moreover, ENA literature acknowledges limitations associated with network data availability, making direct comparisons of network properties and their interrelations difficult (Borrett et al., 2007; Fath et al., 2007; Finn, 1976; Ulanowicz, 1986). Examples:

(1) Widely used randomly generated networks (Gardner and Ashby, 1970; May, 1972) or hypothetically structured systems do not adequately represent the common structure of ecosystems, unlike empirically based networks (McCann, 2000). Systems ecologists suggest that ecological systems are constrained due to thermodynamic laws as well as by natural history (Lawler, 1978; Jørgensen et al., 1992) as opposed to being pure random structures.

(2) Network simplification by employing subsets that capture too few selected compartments and their interactions (e.g., competition and predator-prey subnetworks) give incomplete and potentially misleading results. Fath et al. (2007) showed that excluding a majority of species and abiotic subsets makes it impossible to quantify the wholeness and consequent indirectness in the ecological system.

(3) Differences in network construction and aggregation make it difficult to directly compare systems, even of the same type and organizational level (Ulanowicz, 1986).

(4) Differences in flow currency and time scales limit comparative conclusions. The actual meaning of compartments (e.g., individuals, species, trophic levels, abiotic categories) makes a difference in interpreting results (Finn, 1976).

(5) Most ENA approaches compare a few particular indices. Repetitions of such quantitative studies remain necessary. Jørgensen (2002) stressed it is important to integrate multiple contributions of different system ecologists in order to understand network organization and formulate a consistent network theory.

(6) Because of limitations in data availability, most approaches do not apply network measures to empirically observed ecological processes and empirically assessed parameters of ecological systems. Numeral authors strongly advocate the use of ENA and network science generally to explain ecological observations (Pimm, 1991; Patten et al., 1997; Jørgensen et al., 1992; Jørgensen, 2002;). Jørgensen (2002) holds that such applications are required to assess how and where theory needs improvement.

In this paper we speak to the above limitations by comparing system-wide properties of 31 empirically described pastoral food webs from nearby geographic locations (Chernivtsi Region, Ukraine). Each web is based on field and laboratory data collected at the same level of organization, with similar details of construction, aggregation, currency, and time scale. Our goals are to compare thirteen ENA measures across these webs and consider how the findings reflect on the structure and function of the 31 ecosystems as operating pasture lands. To achieve them the following specific objectives are considered:

(1) Assess the strength and direction of interrelations between ENA measures pairwise in order to investigate their behavior in relation to each other.

(2) Distinguish network measures which have the similar behavioral patterns while comparing the set of 31 food webs. For this we use multivariate factor analysis techniques, namely Principal Component Analysis (PCA).

MATERIALS AND METHODS

Study Area

The 31 pastoral ecosystems under study are distributed throughout the Chernivtsi Region (47°43' – 48°41' N × 24°55' – 27°30' E) which is located in south western Ukraine (Fig. 1).

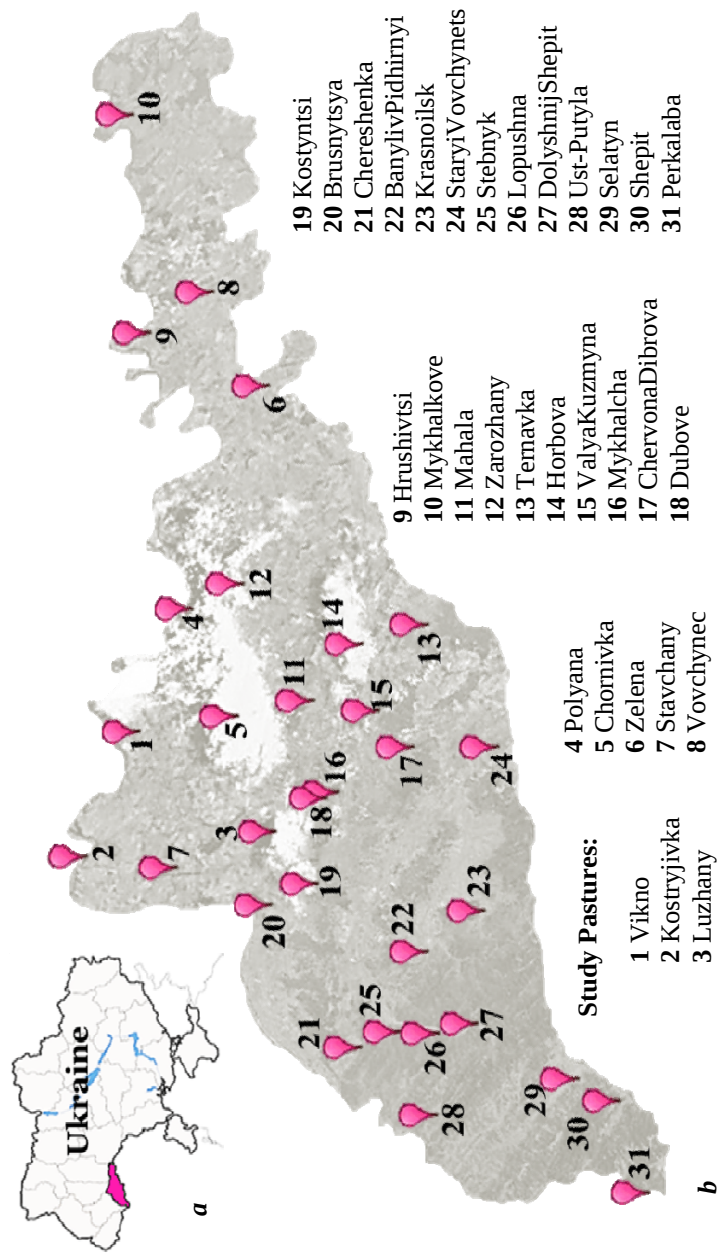


Fig. 1. Map of the study area:
 a – shows a map of Ukraine, where the highlighted is the study area (Chernivtsi Region);
 b – shows the locations and list of the study plots (pastures)

The study area experiences Temperate Continental Climate highly influenced by humid air masses from the Atlantic. Precipitation is highly variable seasonally, with an annual mean of 650–750 mm/year. Complex terrain causes climatic variations in the different physical-geographic zones. In the east it is more continental, and moving from the central foothills toward the southwestern mountains it becomes more severe due to cold and short summers. Physiography includes a wide range of relief types, including flat plains, hills, and mountains with respective mean elevations of 230 m, 350 m and 900 m above sea level.

All the study grasslands, unmanaged since 1992, are used as commons for cattle pasturing by private household farms, which typically have two to three head of cattle per farm. For comparisons between pastures to be valid, sampling and analysis methods were identical for each study pasture.

Sampling

Biological samples for food-web analysis were gathered during peak growing seasons (June – July) in years 2005, 2006, and 2007. Study plots for each of the compared pastures were $10\text{m} \times 10\text{m}$.

Plant and insect specimens were identified to species. Earthworms (subclass Oligochaeta) were separated from the 1 m^3 plots by a standard method, Quantitative Hand Sorting. Microbiological soil analysis was based on cell counts of three microbial groups: Heterotrophic Bacteria, Fungi (Micromycetes), and Ray Fungi (Actinomycetes). Cells were cultured on specific substrates under controlled temperature (T) conditions – Heterotrophic Bacteria: meat-peptone agar, $28 < T < 30\text{ }^\circ\text{C}$; Fungi (Micromycetes): modified Czapek-Dox substrate with streptomycin, $20 < T < 25\text{ }^\circ\text{C}$; Ray Fungi (Actinomycetes): starch-ammonium agar, $28 < T < 30\text{ }^\circ\text{C}$. Cattle density was counted as number of animals/ 100 m^2 .

Several faunal groups were omitted because of available resource limitations. This impacts our food webs as descriptions, but still allows their valid comparative study as our sampling and analysis methods were standardized.

Construction of Trophic Networks

Trophic compartments were defined based on distinct feeding roles they play in the studied pastures. Our basic categories for compartments were plant species, their pollen and nectar, cattle, ontogenetic stages and sexes of insects reflecting distinct trophic roles, earthworms, heterotrophic bacteria, fungi, ray fungi, plant litter, animal litter, detritus, and cattle excrement. To build and visualize our food webs we used Large Network Analysis software *Pajek* (Batagelj and Mrvar, 2010) and Social Network Analysis software *Ucinet 6* (Borgatti, et al., 2002).

Supplementary data associated with this article can be found, in the online version, at Buzhdygan et al. (2012a): at doi:10.1016/j.ecolmodel.2012.02.024.

To construct our trophic networks we formed a square adjacency matrix, $A_{n \times n} = (a_{ij})$, where $i, j = 1, \dots, n$ compartments, oriented from rows (i) to columns (j). A matrix entry $a_{ij} = 1$ signifies a biomass $[M(\text{mass}) \cdot L(\text{length}) \cdot T(\text{time}) \text{ dimensions} = M]$ feeding flow, f_{ij} $[ML^{-2}T^{-1} \text{ (mass /unit area} \cdot \text{time)}]$, directed from row compartment i to column compartment j ; $a_{ij} = 0$ indicates no i to j food transfer ($f_{ij} = 0$).

Each compartment i has a boundary input z_i $[ML^{-2}T^{-1}]$, and output y_i $[ML^{-2}T^{-1}]$ in accordance to the Network Environ Theory (Patten, 1981, 1982).

To quantify adjacency-based relations from qualitative digraphs, we transformed the adjacency matrix, $A_{n \times n}$ into an isomorphic flow matrix $F_{n \times n} = (f_{ij})$, where $i, j = 1, \dots, n$ compartments, oriented from rows (i) to columns (j), using the equiprobability concept from probability theory. According to the Laplace principle of indifference a matrix entry f_{ij} (a biomass feeding flow $[ML^{-2}T^{-1}]$) as well as the boundary output y_i are assigned the probability $1/N_i$, where N_i signifies a number of mutually exclusive feeding flows directed from row compartment i to column compartments ($j = 1, \dots, n$) including a boundary output y_i . Boundary inputs z_i and standing stocks x_i are set equal to 1.

Definition of Trophic Classes

Trophic classes (CI) refers to the functional groups of taxa that share the equivalent predators and prey in term of the trophic roles and positions they occupy. To investigate

the number of trophic classes in our food webs we used the regular equivalence approach drawn from Social Network Theory (Borgatti and Everett, 1993) and applied as a tool in *Ucinet 6* (Borgatti, et al., 2002). The Regular Equivalence algorithm assesses similarity of trophic roles of compartments using binary presence-absence feeding relations (adjacency matrix $A_{n \times n}$) between them. Johnson's Hierarchical Clustering (Johnson, 1967) of equivalence similarity was used to define the separate trophic classes. For more details of the Regular Equivalence algorithm and current aggregation methods see Borgatti and Everett (1993) and Luczkovich et al. (2003).

Simulation of Trophic Networks

For trophic networks the inputs, and interior flows and outputs, they generate are conservative energy and matter. Input vectors, $z_{n \times 1} = (z_i)$, characteristically drive state vectors, $x_{n \times 1} = (x_i)$, from initial conditions, x_0 , through a sequence of changing transient states, $d\bar{x}/dt \neq 0$, where $\bar{x}$ is expected value, to a sequence of unchanging steady states, where $d\bar{x}/dt = 0$. The states in compartment models represent storages (standing stocks) of the transferred substance. In these expressions, t is time and dt its differential. Outputs, $y_{n \times 1} = (y_i)$, are generated by dissipative processes that ultimately return the system to equilibrium, $dx/dt = 0$, if inputs are zeroed, $z = 0$.

A matrix differential equation describing system dynamics can be formulated in terms of the three flow categories: inputs (z), outputs (y), and interior flows (F):

$$dx/dt = F \cdot 1 + z. \quad (1)$$

Here, $F_{n \times n} = (f_{ij})$, and $1_{n \times 1}$ is a vector of ones. In F , $f_{ij} \geq 0$ is the flow from compartment i to j for $i \neq j$, and when $i = j$, $f_{ii} = -T_i$, the throughflow, or total flow, at i . If a link, $a_{ij} = 1$, exists in a qualitative food web, then corresponding flow in a quantitative counterpart model is positive, $f_{ij} > 0$; if $a_{ij} = 0$ then $f_{ij} = 0$ also. A term in each T_i is that compartment's dissipating output, y_i , which thus becomes incorporated in the principal diagonal elements, f_{ii} , of F . Therefore, in effect the term $F \cdot 1$ of equation (1) is dissipative, and offset by the input term, $z \geq 0$, which provides the impetus for change. In general, F is considered empirical; it becomes a linear dynamical process when all the flows are formulated as fractions (c_{ij}) of the donating member of each interacting compartment pair: $f_{ij} = c_{ij} \cdot x_i$. Then, equation (1) becomes:

$$dx/dt = C \cdot x + z, \quad (2)$$

where $C_{n \times n} = (c_{ij})$ is the well-known Jacobian matrix of population and community ecology. By the linear system decomposition property, the solution of this equation can be partitioned into a *zero-input (free) response*, and a *zero-state (forced) response*. In simulations for this investigation we will begin our study systems always at $x_0 = 0$ and generate forced responses for comparative purposes.

For simulation of study networks we used a dynamic web-based simulation and network analysis software, *EcoNet 2.1 Beta*, available at <http://eco.engr.uga.edu/> (Kazanci, 2007).

Network analysis was performed based on the final state of the simulation solution when systems reached a static steady state ($dx_i/dt=0$, when inputs and outputs become equal).

The simulation flow type was based on donor-controlled mass-action kinetics. Thus, the rate of the flow f_{ij} is computed by *EcoNet* as the product of the flow coefficient c_{ij} and the stock value x_i of the originating compartment i . The flow from i to j is $f_{ij} = c_{ij} \times x_i$. A differential mass-energy balance equation for donor-controlled flow type is as follows:

$$dx_i/dt = z_i + \sum_{j(\neq i)} c_{ji} \times x_j - \sum_{i(\neq j)} c_{ij} \times x_i - y_i, \quad (3)$$

where z_i and y_i are boundary inputs and outputs, respectively.

For a more comprehensive introduction to simulation and network analysis in *EcoNet* refer to <http://eco.engr.uga.edu/DOC/econet1.html>, Kazanci (2007), and Schramski et al. (2010).

Assessment of Network Measures

As stated above *EcoNet* drives the system from the given initial conditions to steady state and outputs the ENA measures based on the final state of the solution. The assessed indices are fully documented in literature, but brief descriptions and abbreviations are provided below.

Link Density (LD) is the ratio of the number of links (L) to network size (number of nodes N) (Gardner and Ashby, 1970; May, 1972, 1973; Cohen et al., 1990; Bersier and Sugihara, 1997):

$$LD = L / N. \quad (4)$$

Connectance (C) is the ratio of actual to possible links (Gardner and Ashby, 1970; May, 1972, 1973; Cohen, 1978; Cohen and Briand, 1984; Cohen et al., 1990):

$$C = L / N^2. \quad (5)$$

Total System Throughflow (TST) – sum of compartment throughflows (total amount of flows within a network); dependent on ecosystem structure (Hannon, 1973; Finn, 1976; Han, 1997):

$$TST = \sum T_i, \quad (6)$$

where T_i is the total amount of flow through compartment $i=1, \dots, n$.

Finn Cycling Index (FCI) – fraction of total system throughflow that cycles (Finn, 1976; 1980):

$$FCI = TST_c / TST, \quad (7)$$

where TST_c , the cycled portion, is the weighted sum of cycling efficiencies of all compartments (Kazanci et al., 2009):

$$TST_c = C_1 T_1 + C_2 T_2 + \dots + C_n T_n. \quad (8)$$

Cycling efficiency is $C_i = n_{ii} - 1/n_{ii}$, where n_{ii} is the number of times a flow quantity will return to i before being lost from the system (Finn, 1976).

Indirect Effects Index (IE) – amount of flow that occurs over indirect versus direct connections (Higashi and Patten, 1986, 1989).

$$IE = \sum (N - I - G)z / \sum Gz, \quad (9)$$

N is the dimensionless integral (boundary + direct + indirect) flow matrix:

$$N = I + G^1 + G^2 + \dots + G^m + \dots = (I - G)^{-1} \quad (10)$$

G is the matrix of dimensionless direct flow intensities from i to j :

$$G = (g_{ij}) = (f_{ij}/T_i), \quad (11)$$

where T_i is the total amount of flow through compartment i ,

$I = G^0$ is the boundary input flow intensity; as stated above G^1 is the direct flow intensity matrix, and G^m ($m=2, \dots, \infty$) are the indirect flow intensity matrices (fractions of boundary flows that travel from node i to j over all pathways of lengths m).

The integral matrix N multiplied by boundary input vector z returns the throughflow vector: $T=Nz$.

Synergism Index (SI) – benefit–cost ratio (b/c) (Patten, 1991, 1992) of total positive utility $\sum(+U)$ to total negative utility $\sum(-U)$ in the system specifying pairwise compartment relations (Patten, 1991, 1992; Fath and Patten, 1998):

$$SI = |b/c| = |\sum(U^+) / \sum(U^-)|, \quad (12)$$

where U^+ and U^- are positive and negative partition matrices of the dimensionless integral (boundary + direct + indirect) utility matrix U (Patten, 1991, 1992):

$$U = I + D^1 + D^2 + \dots + D^m + \dots = (I - D)^{-1} \quad (13)$$

D is a direct utility matrix (net-flow intensity matrix) where:

$$D = (d_{ij}) = ((f_{ij} - f_{ji}) / T_i), \quad (14)$$

where d_{ij} can be positive or negative ($-1 \leq d_{ij} \leq 1$) as it represents the direct utility between compartments j and i (net-flow between j and i is expressed relative to the total amount of flow through compartment i (T_i)); $I = D^0$ is the initial intensive utility input matrix; and D^m ($m = 2, \dots, \infty$) are the indirect utilities corresponding to the flows of the same power.

Mutualism Index (MI) – ratio of number of positive (+) to negative (–) signs in network utility analysis matrices specifying kinds of pairwise interactions (Patten, 1991, 1992):

$$MI = \sum \text{sign}(U^+) / \sum \text{sign}(U^-), \quad (15)$$

where U , U^+ and U^- are as described above (Patten, 1991, 1992).

Ascendency (AS) – degree of network development that includes average mutual information (AMI) and total system throughflow (TST) (Ulanowicz, 1986, 1997):

$$AS = TST \times AMI, \quad (16)$$

where AMI (bits) is the degree of organization with which the exchanges between compartments are processed:

$$AMI = \sum p(T_{ij}) \times \log_2[\{p(T_{ij}) / p(T_j)\} / p(T_i)], \quad (17)$$

where T_{ij} is the flow from j to i ;

$p(T_{ij})$ is the joint probability given by:

$$p(T_{ij}) = T_{ij} / TST, p(T_i) = \sum_j p(T_{ij}), \text{ and } p(T_j) = \sum_i p(T_{ij}). \quad (18)$$

Full Development Capacity (DC) – network flow organization, the upper bound of ascendancy. It is calculated as the product of total system throughflow (**TST**) by diversity of flow structure (H_f) estimated using the Shannon (1948) information formula (Ulanowicz, 1986):

$$DC = TST \times H_f, \quad (19)$$

where Shannon flow diversity H_f is based on the individual joint probabilities of flows from each species j to each species i :

$$H_f = \sum (-p(T_{ij}) \times \log_2(p(T_{ij}))), \quad (20)$$

where T_{ij} is the flow from j to i ; and $p(T_{ij})$ is as stated above.

Network Aggradation Index (AI) – the multiplier effect (Samuelson, 1948); the average path length (Finn, 1976), the flow multiplying ability (Han, 1997), the average number of times a unit of input flow passes through the system before exiting (Patten and Fath, 1998; Fath and Patten, 2001; Ulanowicz et al., 2006):

$$AI = TST / \sum z_i, \quad (21)$$

where z_i is a boundary input of compartment $i = 1, \dots, n$, and **TST** is total system throughflow.

While our focus is on the whole network variables summarized above, we incorporate **system size** N (number of nodes), **number of links** L ($\sum_{i \text{ or } j} a_{ij}$), and **number of trophic classes** CI as additional network measures appropriate to comparative interpretations.

Statistical data-analysis

We use the Spearman Rank Order Correlation test in order to assess interrelationships among the network properties under investigation. Spearman correlation coefficients among variables have been used as input in Principal Component (PC) Analysis in order to achieve more interpretable simple structure underlying our dataset. The PC analysis reduces our data into a number of factors (principal components). Each consecutive factor is defined to maximize the variability that is not captured by the preceding factor and all consecutive factors are independent of each other (orthogonal). The decision of when to stop extracting factors basically depends on when there is only very little "random" variability left. To extract number of factors we use the Kaiser (1960) criterion, which is based on retaining only factors with eigenvalues greater than 1. According to confirmatory factor analysis, loadings equal or above 0.7 confirm that independent variables identified are represented by a particular PC factor on the rationale that the 0.7 level corresponds to about half the variance in the indicator being explained by the factor.

Table of Notations

The following abbreviations and statistical notations will be employed in subsequent sections:

Symbol	Description
1	2
General:	
CA	Comparative Analysis
Ecological Network Analysis:	
ENA	Ecological Network Analysis
N	Network size
L	Number of links
CI	Number of trophic classes
LD	Link density

1	2
C	Connectance
TST	Total System Throughflow
FCI	Finn Cycling Index
IE	Indirect Effects Index
SI	Synergism Index
MI	Mutualism Index
AS	Ascendency
DC	Development Capacity
AI	Aggradation Index
Statistical:	
CV	Coefficient of Variation
SD	Standard Deviation
m	Mean Value of a Variable under Investigation
r_s	Spearman's Rank-Order Correlation Coefficient
PCA	Principal Component Analysis
PC	Principal Component (latent factor)
<i>l</i>	Factor (principal component) Loadings (coefficients)

RESULTS

Network Measures: Descriptive Statistics

The 31 empirical pastoral food webs of our study exhibit a range of **sizes** $41 \leq N \leq 135$ ($m = 82$; $SD = 19$; $CV = 24$) and **link numbers** $98 \leq L \leq 977$ ($m = 419$; $SD = 207$; $CV = 49$ %). In general we found 494 compartments and 14525 feeding links between them throughout 31 researched pastoral food webs within the whole study area of Chernivtsi Region.

Link density values vary ($CV = 28$ %) between a low of 2.00 and a high of 7.58 with the mean $m = 4.9$ ($SD = 1.38$) throughout the study 31 food webs. The minimum, maximum and mean values of the network **connectance** **C** within the assessed food webs are $0.03 \leq C \leq 0.09$, $m = 0.06$ ($SD = 0.01$), and $CV = 20$ %.

The range of values of **Finn cycling index** tends to be small all over the 31 food webs ($0.03 \leq FCI \leq 0.1$; $m = 0.05$, $SD = 0.02$; $CV = 37$ %). The **aggradation** measure shows small variability ($CV = 9$ %) and the following descriptive statistics: $2.23 \leq AI \leq 3.38$; $m = 2.82$ ($SD = 0.26$).

All the pastoral food webs show that indirect flows are greater than direct flows by **indirect effects indexes** being greater than one ($1.05 \leq IEI \leq 2.12$) with the mean $m = 1.47$ ($SD = 0.25$) and variability $CV = 18$ %.

Across the Chernivtsi Region study area **total system throughflow** changes in values from 109 to 426 with the mean $m = 232$ ($SD = 67$; $CV = 29$ %). **Ascendency** and **development capacity** vary ($CV = 31$ % for both) in their values all over the study area as follows: $158 \leq AS \leq 728$; $m = 377$, ($SD = 117$) and $441 \leq DC \leq 2017$; $m = 1046$, ($SD = 326$), respectively.

Network **synergism** values show small variability ($CV = 6$ %), ranging $1.6 \leq SI \leq 2.1$, mean $m = 1.8$, ($SD = 0.1$). However, network **mutualism** varies $CV = 25$ % with values ranging from 0.37 to 0.98 ($m = 0.73$; $SD = 0.18$).

The range and variability of network properties of the study area (Chernivtsi Region) are summarized in Tables 1 and 2.

Based on the method of regular equivalence, the trophic compartments in our study food webs are aggregated into the following 15 trophic classes: (1) Grazing Plants; (2) Grazing-Tolerant Plants; (3) Pollen and Nectar; (4) Cattle; (5) Herbivorous Insects; (6) Pollinators; (7) Bloodsucking Parasites of Cattle; (8) Carnivorous Insects; (9) Omnivorous Insects; (10) Nonspecific Insects (consumed in other ecosystems);

(11) Decomposers; (12) Plant Litter; (13) Animal Litter; (14) Cattle Excrement; and (15) Detritus. The variation in number of trophic classes *CI* within the study networks is summarized in Tables 1 and 2.

Table 1

Network properties of the 31 pastoral food webs of this study													
Study pastures	Network Measures												
	N	L	CI	LD	C	TST	FCI	IE	AS	DC	AI	SI	MI
Vikno	86	496	15	5.77	0.07	287.4	0.09	1.86	432.1	1251.7	3.34	1.80	0.81
Kostryzhivka	41	147	15	3.59	0.09	108.6	0.05	1.30	157.8	441.4	2.65	2.02	0.87
Luzhany	69	300	13	4.35	0.06	178.8	0.05	1.31	283.8	794.8	2.59	1.80	0.62
Polyana	80	396	13	4.95	0.06	202.3	0.03	1.18	337.3	930.5	2.53	1.74	0.86
Chornyvka	69	362	15	5.25	0.08	202.1	0.06	1.47	310.1	877.4	2.93	1.79	0.70
Zelena	66	295	14	4.47	0.07	176.8	0.06	1.45	279.7	780.5	2.68	1.88	0.81
Vovchynec	66	299	15	4.83	0.07	202.5	0.10	2.03	284.9	854.5	3.07	1.91	0.74
Stavchany	66	319	15	4.53	0.07	187.3	0.08	1.51	271.2	801.0	2.84	1.94	0.85
Grushivcy	83	286	13	3.45	0.04	229.8	0.04	1.47	399.9	1051.2	2.77	1.80	0.50
Myhalkove	68	255	14	3.75	0.06	197.2	0.07	1.70	318.9	867.5	2.90	1.83	0.81
Magala	69	310	14	4.49	0.07	200.7	0.05	1.35	309.9	867.1	2.91	1.78	0.59
Zarozhany	63	250	12	3.97	0.06	163.4	0.03	1.24	272.1	730.0	2.59	1.81	0.66
Temavka	75	399	15	5.32	0.07	209.9	0.05	1.43	345.1	944.3	2.80	1.75	0.98
Gorbovo	135	977	14	7.24	0.05	425.7	0.07	1.75	728.3	2017.1	3.15	1.65	0.98
Valya Kuzmyna	107	773	13	7.22	0.07	299.3	0.05	1.41	500.6	1404.8	2.80	1.69	0.94
Myhalcha	84	512	15	6.10	0.07	284.2	0.09	2.12	431.0	1251.0	3.38	1.83	0.88
Chervona-Dibrova	102	665	15	6.52	0.06	295.9	0.04	1.32	485.2	1358.5	2.90	1.64	0.81
Dubovo	75	311	15	4.15	0.06	239.8	0.07	1.71	374.7	1036.9	3.20	1.80	0.70
Kostynsy	97	641	15	6.61	0.07	293.7	0.06	1.47	463.2	1320.0	3.03	1.72	0.97
Brusnyca	88	475	14	5.40	0.06	240.8	0.06	1.45	383.1	1093.7	2.74	1.76	0.86
Chereshenka	80	460	14	5.75	0.07	243.1	0.07	1.74	391.6	1085.1	3.04	1.83	0.97
Banyliv Pidgimyj	75	297	14	3.96	0.05	190.8	0.03	1.26	316.0	864.8	2.54	1.82	0.59
Krasnoyilsk	66	242	14	3.67	0.06	170.4	0.03	1.21	284.7	760.3	2.58	1.74	0.54
Staryj Vovchynec	93	496	14	5.33	0.06	252.3	0.03	1.27	434.0	1173.6	2.71	1.69	0.71
Stebnyk	49	98	12	2.00	0.04	109.4	0.03	1.05	178.6	476.8	2.23	2.10	0.57
Lopushna	102	686	14	6.73	0.07	288.2	0.05	1.45	489.1	1345.4	2.83	1.72	0.96
Dolyshnij Shepit	113	856	15	7.58	0.07	342.6	0.06	1.62	582.9	1604.6	3.03	1.69	0.71
Ust-Putyla	84	274	13	3.26	0.04	218.7	0.03	1.23	373.3	998.1	2.60	1.75	0.38
Selatyn	104	540	15	5.19	0.05	318.8	0.04	1.48	524.9	1444.2	3.07	1.71	0.44
Shepit	77	275	13	3.57	0.05	192.7	0.03	1.32	319.0	877.4	2.50	1.90	0.50
Percalab	96	285	14	2.97	0.03	249.0	0.04	1.31	417.4	1146.5	2.59	1.75	0.37

Table 2

Range and variability of network properties of the 31 pastoral food webs of this study

Network Measures	Descriptive Statistics, n = 31				
	<i>m</i>	<i>minimum</i>	<i>maximum</i>	<i>SD</i>	<i>CV, %</i>
N	81.5	41	135	19.4	24
L	418.6	98	977	207.1	49
CI	14.1	12	15	0.93	7
LD	4.90	2.00	7.58	1.38	28
C	0.06	0.03	0.09	0.01	20
TST	232.3	108.6	425.7	67.1	29
FCI	0.05	0.03	0.10	0.02	38
IE	1.47	1.05	2.12	0.25	17
AS	376.8	157.8	728.3	117.3	31
DC	1046.8	441.4	2017.1	326.6	31
AI	2.82	2.23	3.38	0.26	9
SI	1.79	1.64	2.10	0.10	6
MI	0.73	0.37	0.98	0.18	25

Network Measures: Correlations among Variables

Table 3 captures the statistically significant pairwise Spearman (r_s) correlations among system-wide properties that are in interest here. In general, almost all pairwise comparisons among network properties are significantly correlated ($P < 0.05$), with an overall distribution of correlation coefficients $0.37 \leq r_s \leq 0.99$. Pairwise relations among **TST** and **DC**, and also among **DC** and **AS**, approach the perfect Spearman correlation ($r_s = 0.99$). Recalling the definitions of **DC** and **AS** variables, it is clear they both are driven by **TST**, in fact they are scaled **TST**'s, and that explains the near-perfect monotonically increasing relation between them.

Our study shows that 12 of the 13 study network indices are positively correlated to each other and negatively correlated to the network synergism index **SI**, which is a benefit/cost ratio measure in a network. This reveals that **SI** goes counter to other network properties in expressing the nature of network organization.

The sensitivity of system-wide properties to each other can be expressed quantitatively by the number of statistically significant pairwise interrelations (n_k) and qualitatively by the average correlation coefficient (ave_k) of the statistically significant pairwise interrelations (Table 4).

Link density has the largest number of statistically significant relations (it is correlated with each of the studied network indices). It is followed by the network **aggradation** measure, **number of links**, and **indirect effects** index. Less sensitive are the following network measures: **connectance**, **synergism**, **mutualism**, and number of **trophic classes** (each of them correlated with 6 of 13 possible network measures) (Table 4).

Qualitatively the network properties' sensitivity (ave) in the pairwise interrelations to each other is in the following descending order (Table 4):

$$N > TST > DC > AS > SI > L > LD > FCI > AI > MI > CI > IE > C$$

Clustering of the results of non-parametric correlation shows the degrees of similarity among the study network measures based on their pairwise interrelations (Fig. 2). In both cases **TST**, **AS**, and **DC** are joined as the most similar of the network measures assessed. As stated previously, they have almost perfect monotonically increasing correlations among each other. Thus, they form the smallest distance subcluster, which is chained by the **network size** measure. The next closest distance subcluster is formed by the number of **trophic links** and **link density** measure and it is joining the previous subclusters. Separate subclusters are formed by the **indirect effects** measure, **network aggradation** and **Finn's cycling index**. They are chained by a subcluster of **trophic classes' number**, which, in particular, is joined by the network **mutualism index** and **connectance** measure with the larger clustering distance. Network **synergism** demonstrates the longest distance (the smallest similarity) in a linkage hierarchy of the clustering dendrograms.

Correlation matrix of network measures assessed across the study food webs (n=31), showing the Spearman Rank Order Correlation coefficients (r_s) and statistical significance (p) values for each pairwise comparison. Highlighted when $p < 0.05$

[illegible]

Table 4

Sensitivity of each network property to the others under study based on the statistically significant pairwise non-parametric (r_s) correlations among them

Network property k	Sensitivity of each network property k to the others under study ($n = 13$) based on the statistically significant pairwise correlations among them	
	<i>quantitative sensitivity</i> (n_k)*	<i>qualitative sensitivity</i> (ave_k)**
LD	12	0.63
AI	11	0.6
L	11	0.68
IE	10	0.54
TST	8	0.79
DC	8	0.78
AS	8	0.76
N	7	0.79
FCI	7	0.62
C	6	0.53
SI	6	0.7
MI	6	0.55
CI	6	0.55

* *quantitative sensitivity* (n_k) of a k^{th} network property expresses the total number of the pairwise statistically significant correlations of k with the other study network measures ($n = 13$).

** *qualitative sensitivity* (ave_k) of the k^{th} network property shows an average correlation coefficient of the pairwise statistically significant interrelations of k with the other study network measures ($n = 13$).

Principal Component Analysis of nonparametric correlations among the study network properties results in a three-factor solution which explains 91 % of the variation in our data (Figure 3, *a*). The outputs of PCA are factor loadings (Figure 3, *b*), which represent the weights and correlations between each ENA variable and the extracted principal components. Loading-plot projection of the ENA variables on the factor-plane shows the extracted factors' dimensionalities and associated with them network measures (Figure 3, *c*).

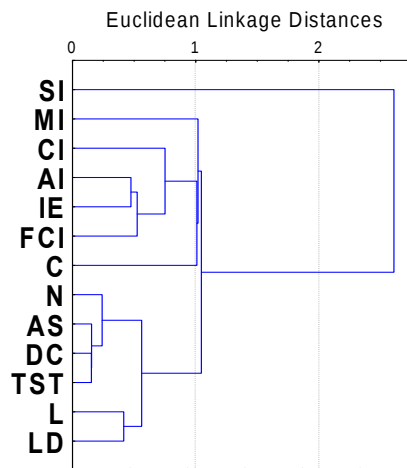


Fig. 2. Clustering dendrogram showing clusters of network measures according to the degree of their pairwise non-parametric correlation

The main principal component (Factor 1) accounts for 56 % of the total variance and is driven by network parameters whose behaviors are highly affected by the structural patterns of the networks. This is because the principal variable defining dimensionality of

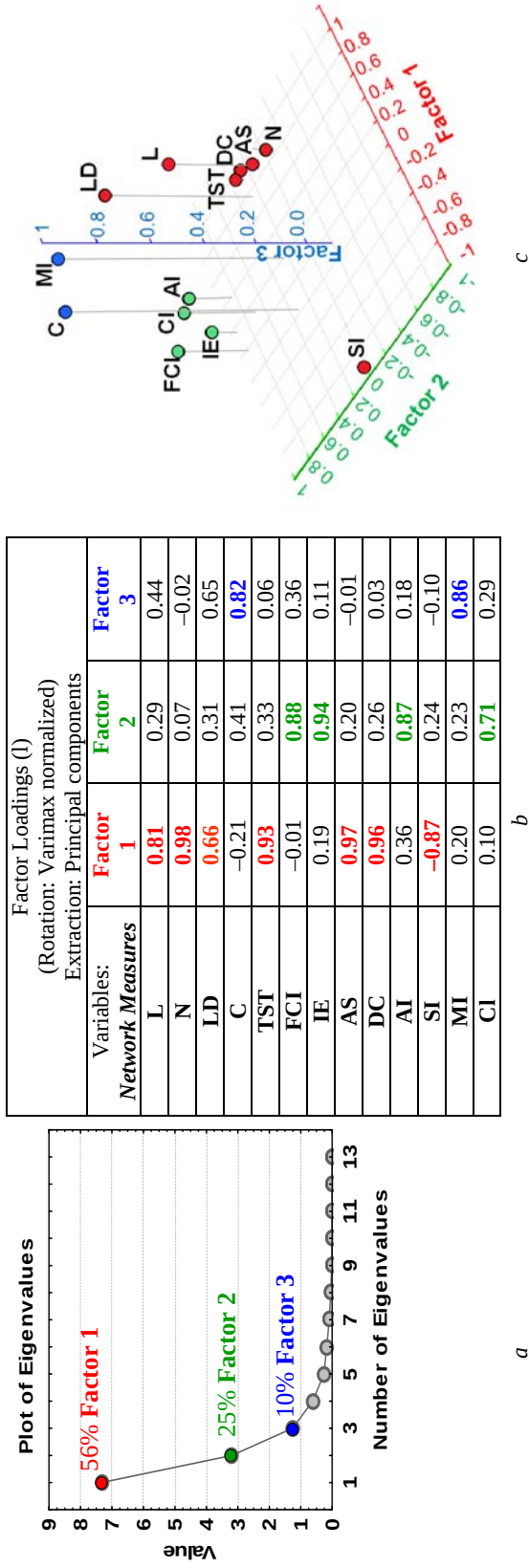


Fig. 3. **Outputs of Principal Component Analysis of the network measures:**
a – plot of eigenvalues with the proportion of total variance (%) extracted by the factor. Number of factors extracted successively and account for less variance overall;
b – factor loadings, which are the weights and correlations between each variable and the factor underlying the data set;
c – loading plot projection of the variables on the factor plane

Factor 1 is network size N which has the highest Factor 1 loading ($l_N = 0.98$). More clearly it can be tracked from loading-plot projections of the ENA variables onto the correlation cycle on the factor plane with the axes of the extracted factor pairwise (Figure 4). The further a point is from the origin of the correlation circle, the greater the correlation of the corresponding variable with the factor axes.

Interrelations between Network Measures: Multivariate Analysis

Ascendency AS , development capacity DC and total system throughflow TST join network size N in reflecting mainly the variations in the latent (unobserved) first principal component (factor loadings are respectively: $l_{AC} = 0.97$, $l_{DC} = 0.96$ and $l_{TST} = 0.93$). All of these three measures are extensive, that is dimensional, network properties, and they are directly dependent on network size (Table 3).

Network synergism SI shows high negative association with other elements in the first latent factor, that is, it is negatively correlated with the other Factor 1 variables (Table 3 and Figure 3, *b*).

Feeding link number L is also an attribute of Factor 1 ($l_L = 0.81$). But not uniquely, as it is also represented in Factor 3 as well (Figure 3, *b*), which explains almost 20 % of the variance in the L measure.

Feeding link density LD measure is secondary for both, factor 1 and factor 3, as its variance is almost equally sheared among these two latent factors (44 % of LD 's variance is explained by factor 1 and 42 % – by factor 2).

The uniqueness of the L and LD measures is expressed by the plot of their loadings into the correlation cycle as the points that approach the edge of the axis of the other than first latent factor (Figure 4, *b*, *c*).

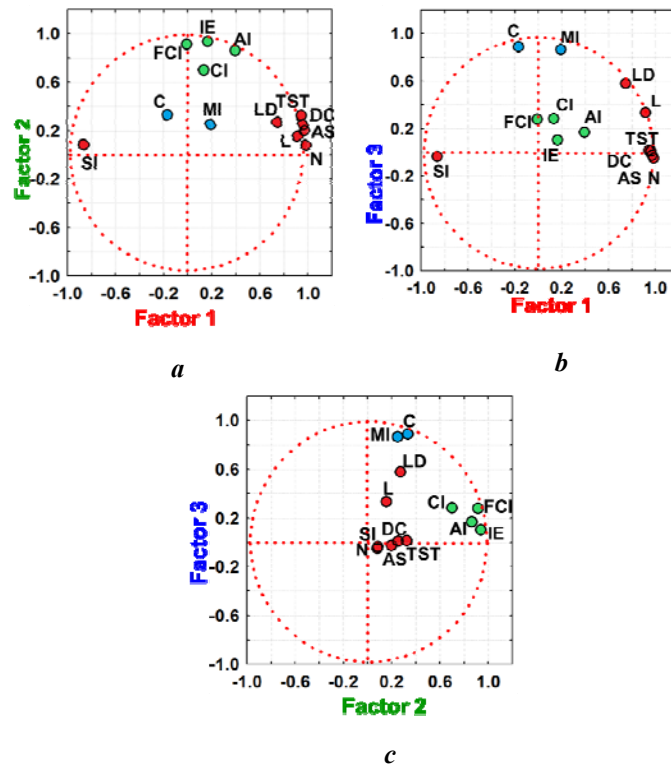


Fig. 4. Loading plot projection of the network measures on the factor-plane onto the correlation cycle, with the pair of factor axes. The further a point is from the origin of the circle, the greater the correlation of the corresponding variable with the factor axes. Loading plot projections are respectively for the pair of factor axes as follows:

a – for Factor 1 and Factor 2; *b* – for Factor 1 and Factor 3; *c* – for Factor 2 and Factor 3

The second principal component (Factor 2) accounts for 25 % of the data variance. It reflects the joint variations of 4 of the 13 studied network measures. The driving variable in defining the dimensionality of Factor 2 is a network measure of indirect effects dominance **IE** ($l_{IE} = 0.94$). Also network cycling measures, such as Finn cycling index **FCI** ($l_{FCI} = 0.88$) and network aggradation index **AI** ($l_{AI} = 0.87$). In addition, number of trophic classes **CI** ($l_{CI} = 0.71$) shows high association with Factor 2.

On the other hand **FCI**, **AI** and **CI** are not highly unique in respect of their variance been explained by second latent factor extracted by PCA from our data (Figure 4, *a*, *c*), namely: almost 13 % of **FCI** value variance and 8 % of **CI** variability is explained by Factor 3, while the 13 % of **AI** data variance is reflected by the first principal component.

Variations in two of the 13 network measures, namely mutualism index **MI** and connectance **C**, are mainly reflected by the third latent factor, which accounts for 10 % of the variability in our data. Both these measures are highly associated with Factor 3 ($l_{MI} = 0.86$; $l_C = 0.82$), but they are also sheared in respect of their variance being explained by other latent factors, as follows: 17 % of connectance variance is explained by Factor 2, while 8 % of network mutualism variance is captured equally by the first and second latent factors (Figure 4, *a*).

DISCUSSION

The above results show that the network measures under investigation are highly intercorrelated amongst each other. Based on this the 13 ENA output variables can be reduced to the three latent factors that account for the main meaningful variability underlying our dataset. In this section we address the explanation of network measure relations within each of extracted factors.

Seven (**N**, **TST**, **AS**, **DC**, **SI**, **L**, and **LD**) of thirteen network measures under study are merged by the main principal component (that is Factor 1), where **network size** shows to be the central defining variable. Network size is measured as the number of compartments. It is fundamental in network organization since compartments and links associated with them explicitly define network topology.

From an ecosystem prospective, the multiplicity of species is considered as a barrier against external stresses (MacArthur, 1955). The diversity–stability concept suggests increasing ecosystem stability with increasing species diversity. The numerous compartments of higher diversity maintain basic ecosystem functions by giving options to replace extinct system elements from the assortment of multiple species.

The next three network measures in defining the first latent factor are **total system throughflow**, **ascendency** and **development capacity**. It shows them to be highly determined by network size. This is consistent with the previous developments, and also the following ones we would like to address.

According to Han (1997) total system throughflow, measured here as the sum of compartment throughflows, is explicitly dependent on ecosystem structure since it counts each flow element each time it passes through a compartment. Finn (1976) also found **TST** to be highly sensitive to the number of compartments in the system model.

From the other side, network **ascendency** measure (**AS**) incorporates aspects of both network size and the constitutive nature of the system. Ulanowicz (1986) indicated that an increase in **AS** is a quantitative sign that the system is growing and developing.

Network **development capacity**, measured here by **DC**, is the upper bound of ascendency and depends on **TST** and the flow structure. According to Ulanowicz (1986), **DC** represents maximal system organization expressed in terms of network flows.

All these three measures (**TST**, **AS** and **DC**) are extensive or dimensional network properties. Therefore it is not surprising that the behaviors of these measures are highly affected by the **structural patterns** of the networks.

Network **synergism**, **SI**, an intensive measure, is also highly represented in Factor 1, showing it to be strongly affected by structural patterns of the study food webs. In our data

intensive synergism decreases with the increase of all other network measures. We previously showed this in a comparison of seven mountain pastoral food webs (Buzhdygan et al., 2012b). Fath (2004), studying large-scale synthetic networks, also found the **SI** measure to be closely tied to structural pattern. In the present study the unit **SI** vector is positioned far away from the other network measures in the loading plot projection of the variables onto the factor plane (Figure 4). This means the influence of **SI** on the positioning of objects is dissimilar from all the other network properties. Moreover, **SI** is negatively correlated with the other properties. It is expected from network theory (Fath and Patten, 1998) that synergism of ecological systems will increase with system development and scale. These authors suggest that the potential for network synergism is especially high in sparsely connected networks since zero elements in the direct transaction matrix fill in with non-zero indirect relations.

Patten (2013), studying a sequence of simple models with 1–10 compartments, of progressively increasing complexity (**N** and **C**), showed that *extensive* network synergism (*intensive SI* weighted by **TST**) increases with system size **N** and connectivity **C**. **SI** increased early in the complexification sequence, but after mid-size was reached and cycling began it then subsequently decreased, giving diminishing returns. It is the latter that are reflected in the negative correlations of **SI** with the other variables in the present study of fully matured food webs (Table 3, Figure 3, *b*). Using synthesized large-scale «cyber-ecosystem» networks, Fath (2004) also found that **SI** values decrease with system size. These and Patten's (2013) results with synthetic models are consistent with our present findings for real empirically described food web systems.

Feeding link number **L** and link density **LD** are also attributes in the first latent factor. It is not surprising that these variables reflect the structural patterns of the study networks as both are known as network topology properties. On the other hand, both are not unique for Factor 1 as they define also the other latent factors. This is explained by their high sensitivity in interrelations to the other network properties, as follows: **L** is correlated with 11 of 12 network variables, while **LD** is correlated with each of the 12 under study. According to network literature, link number and link density are expected to be positive system stability measures. Number of links, **L**, represents the number of all feeding connections among trophic compartments. Odum (1953) stated the amount of choice energy has when flowing through a trophic network is a driver of system persistence. Number of links can be considered as Odum's number of choices for energy to move within the network. According with Puzachenko (1989), feeding links are the ecosystem tools to resist disturbances. On the other hand link density, **LD**, measured here as the number of links per node, shows how much the species contribute to the distribution of energy, matter and information in the system. It is a degree of connectivity between compartments in the network and one of the system complexity measures. **LD** reflects, potentially, how stable a food web may be (Link, 2002). Link density is one of the key elements in the complexity-stability concept. Furthermore, due to Rossberg et al. (2006), link density can be understood as a measure for the average trophic niche breadth in a community. Our findings show both **L** and **LD** to be negatively related to network synergism, **SI**, and positively correlated to all other network properties.

Several studies generalized the idea that link density **LD** tends to remain constant across networks of varying scale (Yodzis, 1980; Cohen and Briand, 1984; Sugihara et al., 1989). But other researchers do not confirm this (Winemiller, 1990; Martinez, 1992; Havens, 1992). Our analyses do not support scale-invariance of **LD** across the studied food webs.

Higashi and Patten (1986, 1989) and Patten (1984) postulated that indirect effects, **IE**, are dominant as a general property of all well connected ecological networks. Cycling is one of the network properties that contribute to this. Our present findings are consistent with this. **IE** is the defining property of the second latent factor, which also network cycling, **FCI** and aggradation, **AI**. Higashi and Patten (1989) and Patten (1991) showed that system cycling (measured by **FCI**) increases the indirect effects dominance (**IE**). The

Finn cycling index quantifies the importance of cycling (Finn, 1976). It measures the fraction of total system throughflow that cycles and is affected by lumping of compartments that exchange flows. The aggradation **AI**, also known as average path length, distinguishes differences between flows in various ecosystems and, because cycles have infinite length, reflects cycling. Han (1997) as well suggested an aggradation index to express flow multiplying ability and cycling. Borrett and Osidele (2007) concluded that cycling plays a central role in the Finn cycling index, ratio of indirect-to-direct flows, and network aggradation. Therefore, it makes sense that dominant indirect effects **IE**, cycling **FCI**, and network aggradation **AI**, are all attributable to a single PCA factor, Factor 2.

From the other side, Finn (1976) suggests that the aggradation measure might also express the difference in number of trophic groups while comparing the ecosystems of similar structure and on the same level of organization, which our networks are. This may explain the high positive correlation of number of trophic classes **CI** with the aggradation measure and also its strong association with Factor 2. Finn (1980) indicates that separating out similar species in a model should have no effect on cycling measures. We consider that the loss of trophic classes, representing distinct feeding roles, might intensively effect cycling properties as well as related indirect effects. We pointed out above that multiplicity of compartments (system size **N**) serves to provide options system needs to survive disturbances by replacing extinct species with others. In pastoral food webs commonly grazed plants cannot be replaced by grazing-tolerant ones because cattle would not feed on them. Then, the community would lose its main consumers (cattle) that determine the system to be a pasture. Thus, besides compartment number, the number of trophic classes also reflects the community ability to maintain basic ecosystem functions.

Some theoretical studies report a hyperbolic decline in network connectance **C** with increasing number of compartments **N** (reviewed by Fonseca and John, 1996). By contrast, Martinez (1992) found that connectance of different-sized food webs was almost constant. Several comparative analyses of empirical food webs show no clear association between **C** and network size (Martinez, 1991; Christian and Luczkovich, 1999; Garlaschelli, 2004). Our results confirm this «constant connectance hypothesis», showing no clear interrelations between network connectance and network size, as it appears to be a scale-invariant property. Despite the fact that connectance **C** and link density **LD** are both measures of system complexity, we found that the last measure is much more sensitive in relation to the other network properties. Recalling the definitions of link density ($LD = L/N$) and connectance ($C = L/N^2$) it is clear that the resolution of **N** causes the smaller range of connectance values across the study food webs, which may be the reason for the small sensitivity of **C**. Such a scale invariance of network connectance measure and low sensitivity to the behavior of other network properties probably causes in the principal component analysis the formation of the separate latent Factor 3, which is driven by **C** and also defined by network mutualism **MI**. Network mutualism (Patten, 1991; Fath, 2007) has received little attention and comparisons of its relationships with the other whole-system properties are quite rare. While comparing the seven mountain pastoral food webs Buzhdygan et al. (2012b) show there are no significant correlations of **MI** with other network measures, except degree of connectance **C**. The present comparison of a larger number and wider range of trophic networks reveals that network mutualism is significantly positively correlated with number **L** and density **LD** of links, and also with the cycling measures, **FCI** and **AI**. Our data show that network mutualism is related to other aspects of network complexity than just simply size and number of feeding links, as the contribution of species to the distribution of network currency (energy, matter, information) reveals to be the most effective on the behavior of network mutualism measure.

SUMMARY AND CONCLUSIONS

Our results show that the 13 network measures under investigation are highly intercorrelated amongst each other, which suggests they express in different ways a general

intuition about the nature of network organization as revealed by their PCA aggregate into three latent factors.

The first latent factor, for which network size appears to be the central defining variable, includes seven of the 13 measures – *N*, *L*, *LD*, *TST*, *AS*, *DC*, and *SI*. Network synergism *SI* is an anomalous variable in being negatively correlated to most of the other network properties which are positively correlated among themselves. The second latent factor is driven by dominant indirect effects *IE*, and also includes cycling measures *FCI* and *AI* and number of trophic classes *CI*.

The third factor includes mutualism *MI* and connectance *C*, the last appearing to be the driving variable. Our data also show that *MI* is more tied to the network complexity than simply to system scale or number of feeding links.

Finally, we conclude with the observation that ecological network analysis methods (NA) appear to have promise for providing new understanding of Complex Adaptive Hierarchical Systems (Patten et al., 2002a, b) of landscape scale, such as the widespread pastoral ecosystems of Ukraine, and giving a quantitative and qualitative basis for their monitoring, prediction and management.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank Stuart J. Whipple, Caner Kazanci, Lindsey K. Tuominen, and Stuart R. Borrett for suggestions on early stages of the manuscript. Thanks also to Qianqian Ma for writing a script to convert data in MATLAB and EcoNet.

REFERENCES

- Bastianoni, S., Marchettini, N., 1997. Emergy/exergy ratio as a measure of the level of organization of systems. *Ecological Modelling* 99, 33–40.
- Batagelj, V., Mrvar, A., 2010. Pajek. <http://vlado.fmf.uni-lj.si/pub/networks/pajek/>
- Bersier, L.-F., Sugihara, G., 1997. Scaling regions for food web properties. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 94, 1247–1251.
- Borgatti, S. P., Everett, M. G., 1993. Two algorithms for computing regular equivalence. *Social Networks* 15, 361–376.
- Borgatti, S. P., Everett, M. G., Freeman, L. C., 2002. UCINET VI. Software for Social Network Analysis. Natick, Analytic Technologies.
- Borrett, S. R., 2013. Characterization of Topics in Network Ecology and the Community that Studies Them. Symposium in Honor of Bernard C. Patten «Systems Ecology: A Network Perspective & Retrospective». April 12–15, 2013. Athens, Georgia, USA.
- Borrett, S. R., Fath, B. D., Patten, B. C., 2007. Functional integration of ecological networks through pathway proliferation. *Journal of theoretical biology* 245, 98–111.
- Borrett, S. R., Osidele, O. O., 2007. Environ indicator sensitivity to flux uncertainty in a phosphorus model of Lake Sidney Lanier, USA. *Ecological Modelling* 200, 371–383.
- Borrett, S. R., Salas, A. K., 2010. Evidence for resource homogenization in 50 trophic ecosystem networks. *Ecological Modelling* 221, 1710–1716.
- Buzhdygan, O. Y., Patten, B. C., Kazanci, C., Ma, Q., Rudenko, S. S., 2012 (a). Dynamical and system-wide properties of linear flow-quantified food webs. *Ecological Modelling* 245, 176–184.
- Buzhdygan, O. Y., Patten, B. C., Rudenko, S. S., 2012 (b). Trophic Network Analysis: Comparison of System-Wide Properties. In: Jordan, F., Jørgensen, S. E. (Eds.), *Models of the Ecological Hierarchy*. Elsevier, Oxford, UK, 181–199.
- Cheslak, E. F., Lamarra, V. A., 1981. The residence time of energy as a measure of ecological organization. In: Mitsch, W. J., Bossermann, R. W., Klopatek, J. M. (Eds.), *Energy and Ecological Modelling*. Amsterdam. Elsevier, 591–600.
- Christian, R. R., Luczkovich, J. J., 1999. Organizing and understanding a winter's seagrass food web network through effective trophic levels. *Ecological Modelling* 117, 99–124.
- Christian, R. R., Baird, D., Luczkovich, J., Johnson, J. C., Scharler, U. M., Ulanowicz, R. E., 2005. Role of network analysis in comparative ecosystem ecology of estuaries. In: Belgrano, A., Scharler, U. M., Dunne, J., Ulanowicz, R. E. (Eds.), *Aquatic Food Webs, An Ecosystem Approach*. Oxford University Press Inc., New York, pp. 25–40.
- Cohen, J. E., Briand, F., Newman, C. M., 1990. *Community food webs: data and theory*. Springer-Verlag, Berlin, Germany.

- Cohen, J. E., 1978. Food webs and niche space. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.
- Cohen, J. E., Briand, F., 1984. Trophic links of community food web. Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA 81, 4105–4109.
- Fath, B. D., 2004. Network analysis applied to large-scale cyber-ecosystems. Ecological Modelling 171, 329–337.
- Fath, B. D., 2007. Network mutualism, positive community-level relations in ecosystems. Ecological Modelling 208, 56–67.
- Fath, B. D., Borrett, S. R., 2006. A MATLAB function for network environ analysis. Environ. Model. & Soft. 21, 375–405.
- Fath, B. D., Patten, B. C., 1998. Network synergism, emergence of positive relations in ecological systems. Ecological Modelling 107, 127–143.
- Fath, B. D., Patten, B. C., 1999. Review of the foundations of Network Environ Analysis. Ecosystems 2, 167–179.
- Fath, B. D., Patten, B. C., 2001. A progressive definition of network aggradation. In: Ulgiati, S., Brown, M. T., Giampietro, M., Herendeen, R. A., Mayumi, K. (Eds.), Proceedings of the Second International Workshop on Advances in Energy Studies, Exploring Supplies, Constraints and Strategies. May 23–27, 2000, Porto Venere, Italy, 551–562.
- Fath, B. D., Patten, B. C., Choi, J. S., 2001. Complementarity of ecological goal functions. Journal of theoretical biology 208, 493–506.
- Fath, B. D., Scharler, U. M., Ulanowicz, R. E., Hannon, B., 2007. Ecological network analysis: network construction. Ecological Modelling 208, 49–55.
- Finn, J. T., 1976. Measures of ecosystem structure and function derived from analysis of flows. Journal of theoretical biology 56, 363–80.
- Finn, J. T., 1980. Flow Analysis of Models of the Hubbard Brook Ecosystem. Ecology 61, 562–571.
- Fonseca, C. R., John, J. L., 1996. Connectance, a role for community allometry. Oikos 77, 353–358.
- Gardner, M. R., Ashby, W. R., 1970. Connectance of large (cybernetic) systems, critical values for stability. Nature 228, 784.
- Garlaschelli, D., 2004. Universality in food webs. The European Physical Journal B – Condensed Matter 38, 277–285.
- Han, B., 1997. On several measures concerning flow variables in ecosystems. Ecological Modelling 104, 289–302.
- Hannon, B., 1973. Structure of ecosystems. Journal of theoretical biology 41, 535–546.
- Havens, K. E., 1992. Scale and structure in natural food webs. Science 257, 1107–1109.
- Herendeen, R. A., 1981. Energy intensities in ecological and economic systems. Journal of theoretical biology 91, 607–620.
- Herendeen, R. A., 1989. Energy intensity, residence time, exergy, and ascendancy in dynamic ecosystems. Ecological Modelling 48 (1–2), 19–44.
- Higashi, M., Patten, B. C., 1989. Dominance of indirect causality in ecosystems. The American Naturalist 133, 288–302.
- Higashi, M., Patten, B. C., 1986. Further aspects of the analysis of indirect effects in ecosystems. Ecological Modelling 31, 69–77.
- Johnson, S. C., 1967. Hierarchical clustering schemes. Psychometrika 32, 241–253.
- Jørgensen, S. E., 1994. Review and comparison of goal functions in systems ecology. Vie Milieu 44, 11–20.
- Jørgensen, S. E., 2002. Integration of Ecosystem Theories: A Pattern, third ed. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Jørgensen, S. E., Mejer, H. F., 1979. A holistic approach to ecological modelling. Ecological Modelling 7, 169–189.
- Jørgensen, S. E., Patten, B. C., Straškraba, M., 1992. Ecosystems emerging: toward an ecology of complex systems in a complex future. Ecological Modelling 62, 1–27.
- Kaiser, H. F., 1960. The application of electronic computers to factor analysis. Educational and Psychological Measurement 20, 141–151.
- Kazanci, C., 2007. EcoNet: A new software for ecological modeling, simulation and network analysis. Ecological Modelling 208, 3–8.
- Kazanci, C., Matamba, L., Tollner, E. W., 2009. Cycling in ecosystems: An individual based approach. Ecological Modelling 220, 2908–2914.
- Lawler, L., 1978. A comment on randomly constructed model ecosystems. The American Naturalist 112, 445–447.
- Link, J. S. 2002. Does food web theory work for marine ecosystems? Marine Ecology Progress Series 230, 1–9.
- Lotka, A. J., 1922. Contribution to the energetics of evolution. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 8, 147–151.
- Luczkovich, J. J., Borgatti, S. P., Johnson, J. C., Everett, M. G., 2003. Defining and Measuring Trophic Role Similarity in Food Webs Using Regular Equivalence. Journal of Theoretical Biology 220, 303–321.

- Martinez, N. D. 1992. Constant connectance in community food webs. *The American Naturalist* 139, 1208–1218.
- Martinez, N. D., 1991. Artifacts or attributes? Effects of resolution on the Little Rock Lake food web. *Ecological Monographs* 61 (4), 367–392.
- May, R. M., 1972 Will a large complex system be stable? *Nature* 238, 413–414.
- May, R. M., 1973. Stability and complexity in model ecosystems. Princeton Univ. Press.
- McCann, K. S., 2000. The diversity-stability debate. *Nature* 405, 228–33.
- Morowitz, H. J., 1968. Energy Flow in Biology; Biological Organization as a Problem in thermal Physics. New York: Academic Press.
- Morris, J. T., Christian, R. R., Ulanowicz, R. E., 2005. Analysis of size and complexity of randomly constructed food webs by information theoretic metrics. In: Belgrano, A., Scharler, U.M., Dunne, J., Ulanowicz, R. E. (Eds.), *Aquatic Food Webs, An Ecosystem Approach*. Oxford University Press Inc., New York, pp. 73–85.
- Odum, E. P., 1953. Fundamentals of ecology. W. B. Saunders Coop., Philadelphia.
- Odum, H. T., 1983. Systems Ecology: An Introduction. Wiley, New York.
- Odum, H. T., 1988. Self-organization, transformity, and information. *Science* 242, 1132–1139.
- Onsager, L., 1931. Reciprocal relations in irreversible processes. *Physical Review* 38, 2265–2279.
- Patricio, J., Ulanowicz, R., Pardal, M. A., Marques, J. C., 2004. Ascendency as an ecological indicator: a case study of estuarine pulse eutrophication. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 60, 23–35.
- Patten B. C. 2013. Systems Ecology and Environmentalism – Getting the Science Right: The Janus Hypothesis. Symposium in Honor of Bernard C. Patten «Systems Ecology: A Network Perspective & Retrospective». April 12–15, 2013, Athens, Georgia, USA.
- Patten, B. C., 1978. Systems approach to the concept of environment. *Ohio Journal of Science* 78, 206–222.
- Patten, B. C., 1981. Environs: the super niches of ecosystems. *American Zoology* 21, 845–852.
- Patten, B. C., 1982. Environs: relativistic elementary particles for ecology. *American Naturalist* 119, 179–219.
- Patten, B. C., 1984. Toward a theory of the quantitative dominance of indirect effects in ecosystems. *Verh. Gesellschaft für Ökologie* 13, 271–284.
- Patten, B. C., 1985. Energy cycling in the ecosystem. *Ecological Modelling* 28, 1–71.
- Patten, B. C., 1991. Network ecology, indirect determination of the life-environment relationship in ecosystems. In: Higashi, M., Burns, T. P. (Eds.), *Theoretical Studies of Ecosystems, The Network Perspective*. Cambridge University Press, New York, 288–351.
- Patten, B. C., 1992. Energy, emergy and environs. *Ecological Modelling* 62, 29–69.
- Patten, B. C., 1995. Network integration of ecological extremal principles: exergy, emergy, power, ascendancy, and indirect effects. *Ecological Modelling* 79, 75–84.
- Patten, B. C., Bosserman, R. W., Finn, J. T., Cale, W. G., 1976. Propagation of cause in ecosystems. In: Patten, B.C. (Ed.), *Systems Analysis and Simulation in Ecology*, vol. IV. Academic Press, New York, 457–579.
- Patten, B. C., Fath, B. D., 1998. Environ theory and analysis: relations between aggradation, dissipation, and cycling in energy-matter flow networks at steady state. In: Ulgiati, S., Brown, M. T., Giampietro, M., Herendeen, R. A., Mayumi, K. (Eds.), *Advances in Energy Studies: Energy Flows in Ecology and Economy*. MUSIS Publisher, Rome, Italy, 483–497.
- Patten, B. C., Higashi, M., Burns, T. P., 1990. Trophic dynamics in ecosystem networks: significance of cycles and storage. *Ecological Modelling* 51, 1–28.
- Patten, B. C., in prep., *Holoeology: The Unification of Nature by Network Indirect Effects*.
- Patten, B. C., Straškraba, M., Jørgensen, S. E., 1997. Ecosystems emerging: 1. conservation. *Ecological Modelling* 96, 221–284.
- Patten, B. C., Fath, B. D., Choi, J. S., 2002a. Complex Adaptive Hierarchical Systems – background. In: Costanza, R. and Jørgensen, S. E. (Eds.), *Understanding and Solving Environmental Problems in the 21st Century*. Elsevier Science Ltd., London. 41–94.
- Patten, B. C., Fath, B. D., Choi, J. S., 2002b. Complex Adaptive Hierarchical Systems – consensus. In: Costanza, R. and Jørgensen, S. E. (Eds.), *Understanding and Solving Environmental Problems in the 21st Century*. Elsevier Science Ltd., London. 95–99.
- Pimm, S. L., 1991. Food web patterns and their consequences. *Nature* 350, 669–674.
- Prigogine, I., 1955. *Introduction to the Thermodynamics of Irreversible Processes*. Wiley & Sons, New York.
- Puzachenko, Y. G., 1989. Ecosystems in the critical state. Nauka, Moscow (in Russian).

- Rossberg, A. G., Yanagi, K., Amemiya, T., Itoh, K., 2006. Estimating trophic link density from quantitative but incomplete diet data. *Journal of theoretical biology* 243, 261–72.
- Samuelson, P. A., 1948. *Economics: An Introductory Analysis*. McGraw–Hill Book Co., New York.
- Schneider, E. D., Kay, J. J., 1990. Life as a phenomenological manifestation of the second law of thermodynamics. *Environment and Resource Studies*. University of Waterloo, Canada.
- Schramski, J. R., Kazanci, C., Tollner, E. W., 2010. Network environ theory, simulation and EcoNet 2.0. *Environ. Model. Softw.* 26, 419–428.
- Shannon, C. E., 1948. A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal* 27, 379–423.
- Sugihara, G., Schoenly, K., Trombla, A., 1989. Scale invariance in food web properties. *Science* 245, 48–52.
- Ulanowicz, R. E., 1980. An hypothesis on the development of natural communities. *Journal of theoretical biology* 85, 223–45.
- Ulanowicz, R. E., 1983. Identifying the structure of cycling in ecosystems. *Mathematical Biosciences* 65, 219–237.
- Ulanowicz, R. E., 1986. *Growth and Development: Ecosystem Phenomenology*. Springer-Verlag, New York.
- Ulanowicz, R. E., 1997. *Ecology, the Ascendant Perspective*. Columbia University Press, New York.
- Ulanowicz, R. E., 2004. A synopsis of quantitative methods for Ecological Network Analysis. *Computational Biology and Chemistry*, 28(5–6), 321–339.
- Ulanowicz, R. E., Jorgensen, S. E., Fath, B. D., 2006. Exergy, information and aggradation: An ecosystems reconciliation. *Ecological Modelling* 198, 520–524.
- Winemiller, K. O., 1990. Spatial and temporal variation in tropical fish trophic networks. *Ecological Monographs* 60, 331–367.
- Yodzis, P., 1980. The connectance of real ecosystems. *Nature* 284, 544–545.

Стаття надійшла в редакцію: 21.04.2016

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

ECOLOGICAL SOIL SCIENCE



V. L. Samokhvalova¹✉ Cand. Sci. (Agri.), Sen. Res. Sci.
Y. V. Skrylnyk¹ Dr. Sci. (Agri.)
L. O. Shedey¹ Cand. Sci. (Agri.), Sen. Res. Sci.
V. I. Lopushnyak² Dr. Sci. (Agri.), Professor
N. V. Oliynyk³ Cand. Sci. (Tech.), Sen. Res. Sci.
P. A. Samokhvalova⁴
O. V. Mandryka¹

UDK 631.41; 631.416.9;
631.52; 641.417.2(282.247.31);
504.53.06: 504.054

¹National Scientific Centre «O. N. Sokolovsky Institute
for Soil Science and Agrochemistry», Chaikovska str., 4,
Kharkiv, Ukraine, 61024

²Lviv National Agrarian University,
Vladimir Velykyj str., 1, Dublany, Zhovkivsky district,
Lvov region, Ukraine, 80381

³Lugansk DS NSC «O. N. Sokolovsky Institute
for Soil Science and Agrochemistry»,
Octobers str., 14, Metalist, Slavyanoserbsk district,
Lugansk region, Ukraine, 93733

⁴V. N. Karazin Kharkov National University,
Svobody square, 4, Kharkov, Ukraine, 61022

FORECASTING THE LEVELS OF TRACE ELEMENTS AND HEAVY METALS CONTENT IN SOILS OF DIFFERENT GENESIS FOR THE ASSESSMENT OF THEIR ENVIRONMENTAL AND PRODUCTIONAL FUNCTIONS

Abstract. Grounded the method for predicting of trace elements (TE) and heavy metals (HM) content in the soil system of different genesis were examined on the example of soils in different natural-climatic zones of Ukraine, contaminated soils in Kharkiv, Donetsk and Lugansk regions, and intensive fertilizer (organo-mineral, organic and mineral system of fertilizers) of soils in Kiev, Kharkiv, Poltava and Lviv region. In the developed methodical approach by using the parameters indicators of the energy state of the soil (calorific value of humus, the reserves of energy in the soil layer of 0–20 cm) using mathematical models and the spread of the algorithm of the method on other soil types of a particular natural-climatic zone in the conditions of technogenic pollution and technological load is predicted the TE and/or HM content in soils of different types, which ensures the rapidity of the assessment and improve the accuracy of the trace element status prediction, energy and humus state of soils of different genesis with the identification of soils ecological differences to predict their quality by assessment of ecological functions for the ranking of energy intensity indicators of the soil.

✉ Tel.: +038057-704-16-69. E-mail: v.samokhvalova@mail.ru

DOI: 10.15421/031607

Scientific elaboration of a method for predicting levels of chemical elements in soils of different types on the natural environment, the effects of man-made pollution and technological load, should be used in the environmental regulation of the TE content and normalization of loads (technogenic, technological) on the soil system, agroecology on issues of organic farming, bioenergy and energy of soil formation; diagnosis, estimation, prediction of humus quality and the of TE status and the danger of excessive accumulation of HM in the soil for indicators of the energy state; the effective environmental management of soils as in natural conditions, and the influence of various anthropogenic factors, taking into account their ecological functions; in research practice – for system research of natural components of the biosphere, the assessment of carbon sequestration in soils and assess of their quality. Distinctive features and advantages of the proposed elaboration in comparison with known methods and approaches are: greater predictability of energy and trace element status, humus and ecological state of the soil as a whole to prevent the degradation of soil organic matter and reduction of risks of influence of HM technogenic pollution; rapidity of obtaining and improving the accuracy of the predictions of the HM and TE content in the soil; universality way to suitability of the method for all soil types in different climatic zones; stimulating further research in the field of energy of soil formation and solution of practical tasks of conservation and restoration of soils functions, identification optimal energy cost and taking into account the ecological functions of soil certain type.

Key words: *soil, trace elements, heavy metals, energy capacity, calorific value of humus, the reserves of energy in the layer 0–20 cm, industrial pollution, technological load, method, prediction.*

УДК 631.41;631.416.9;
631.52; 641.417.2(282.247.31);
504.53.06: 504.054

В. Л. Самохвалова ¹	стар. науч. сотр., канд. с.-х. наук
Е. В. Скрыльник ¹	д-р с.-х. наук
Л. А. Шедей ¹	стар. науч. сотр., канд. с.-х. наук
В. И. Лопушняк ²	д-р с.-х. наук, проф.
Н. В. Олейник ³	стар. науч. сотр., канд. техн. наук
П. А. Самохвалова ⁴	
О. В. Мандрыка ¹	

¹ *Национальный научный центр «Институт почвоведения и агрохимии им. А. Н. Соколовского», ул. Чайковская, 4, г. Харьков, Украина, 61024, тел.: +038057-704-16-69, e-mail: v.samokhvalova@mail.ru*

² *Львовский национальный аграрный университет, ул. Владимира Великого, 1, п. Дубляны, Жовковский район, Львовская обл., Украина, 80381*

³ *Луганская ОС ННЦ «Институт почвоведения и агрохимии им. А. Н. Соколовского», ул. Октябрьская, д. 14, п. Металист, Славяносербский район, Луганская обл., Украина, 93733*

⁴ *Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина, пл. Свободы, 4, г. Харьков, Украина, 61022*

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОВНЕЙ СОДЕРЖАНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ РАЗЛИЧНОГО ГЕНЕЗИСА ДЛЯ ОЦЕНКИ ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ПРОДУКЦИОННЫХ ФУНКЦИЙ

Аннотация. Обоснован способ прогнозирования содержания микроэлементов (МЭ) и тяжелых металлов (ТМ) в почвенной системе на примере обследованных почв разного генезиса природно-климатических зон Украины, загрязненных почв Харьковской и Луганской областей и интенсивно удобренных (органо-минеральная, органическая и минеральная системы удобрения) почв Харьковской, Полтавской и Львовской областей. В разработанном методическом подходе при использовании показателей энергетического состояния почв (теплотворная способность гумуса, запасы энергии в слое 0–20 см), используя разработанные математические модели, и путем экстраполирования алгоритма способа на почвы других типов определенной природно-климатической зоны в условиях техногенного загрязнения и технологической нагрузки, прогнозируется содержание МЭ и/или ТМ в почвах, чем обеспечивается экспрессность оценки и повышение точности прогнозирования элементного статуса, энергетического и гумусового состояния почв различного

генезиса с одновременным выявлением различных экологического состояния почв для прогноза их качества с оценкой экологических функций при ранжировании показателей энергоёмкости почвы.

Ключевые слова: почва, микроэлементы, тяжёлые металлы, энергоёмкость, теплотворная способность гумуса, запасы энергии в слое почвы 0–20 см, техногенное загрязнение, технологическая нагрузка, способ, прогнозирование.

УДК 631.41;631.416.9;
631.52; 641.417.2(282.247.31);
504.53.06: 504.054

В. Л. Самохвалова¹

Є. В. Скрильник¹

Л. О. Шедсй¹

В. І. Лопушняк²

Н. В. Олійник³

П. А. Самохвалова⁴

О. В. Мандрика¹

стар. наук. спів., канд. с.-г. наук

д-р с.-г. наук

стар. наук. спів., канд. с.-г. наук

д-р с.-г. наук, проф.

стар. наук. спів., канд. техн. наук

¹Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії
ім. О. Н. Соколовського», вул. Чайковська, 4, м. Харків, Україна, 61024,
тел.: +038057-704-16-69, e-mail: v.samokhvalova@mail.ru

²Львівський національний аграрний університет,
вул. Володимира Великого, 1, м. Дубляни, Жовківський район,
Львівська обл., Україна, 80381

³Луганська ДС ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії
ім. О. Н. Соколовського», вул. Октябрьська, б. 14, с. Металіст,
Слов'янський район, Луганська область, Україна, 93733

⁴Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна,
пл. Свободи, 4, м. Харків, Україна, 61022

ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНІВ ВМІСТУ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ І ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ҐРУНТАХ РІЗНОГО ГЕНЕЗИСУ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЇХ ЕКОЛОГІЧНИХ ТА ПРОДУКЦІЙНИХ ФУНКЦІЙ

Анотація. Обґрунтовано спосіб прогнозування вмісту мікроелементів (МЕ) та важких металів (ВМ) у ґрунтовій системі на прикладі обстежених ґрунтів різного генезису природно-кліматичних зон України, забруднених ґрунтів у Харківській, Донецькій і Луганській областях та інтенсивно удобрюваних (орґано-мінеральна, орґанічна та мінеральна системи удобрення) ґрунтів у Київській, Харківській, Полтавській та Львівській областях. У розробленому методичному підході шляхом використання параметрів показників енергетичного стану ґрунтів (теплотворна здатність гумусу, запасы енергії у шарі 0–20 см), за математичними моделями та поширенням алгоритму способу на ґрунти інших типів певної природно-кліматичної зони за умов техногенного забруднення і технологічного навантаження, прогнозується вміст МЕ і/або ВМ у ґрунтах різних типів, чим забезпечується експресність оцінки та підвищення точності прогнозування елементного статусу, енергетичного та гумусового стану ґрунтів різного генезису з виявленням відмінностей екологічного стану ґрунтів для прогнозу їхньої якості з оцінюванням екологічних функцій за ранжування показників енергоємності ґрунту.

Ключові слова: ґрунт, мікроелементи, важкі метали, енергоємність, теплотворна здатність гумусу, запасы енергії у шарі 0–20 см, техногенне забруднення, технологічне навантаження, спосіб, прогнозування.

ВСТУП

Відомо, що прогнозування якості ґрунтів різного генезису є комплексною та багатоетапною у вирішенні задачею за фонових умов та антропогенних (техногенних, технологічних) впливів на ґрунти, і передбачає: 1) урахування та оцінювання параметрів показників властивостей ґрунту; 2) науково-обґрунтоване передбачення

трансформацій якості ґрунту за умов високої та низької культури землеробства за використання бонітетів ґрунтів, що кількісно відображають їхній якісний стан; 3) коректне використання результатів прогнозування (Medvedev, Plisko, 2003).

Для нормування та оцінювання якості ґрунтів необхідними є надійні прогнозні оцінки щодо змін процесів, властивостей та їх функцій за фонових умов і впливу зростаючих антропогенних навантажень на ґрунти із одночасним забрудненням надлишком біогенних елементів та ВМ, що призводить до зміни елементного статусу системи ґрунт-рослина, інших ланок трофічних ланцюгів, деградації ґрунтів різного генезису за негативного впливу на їх структуру і функції.

Використання показників енергетичного стану ґрунтів різного генезису, як інтегральних характеристик змін їх властивостей, є важливою складовою прогнозування змін їх функцій. Отже, розробка методичних підходів щодо прогнозування елементного статусу ґрунтів різного генезису за використання показників еколого-енергетичного стану та їх впровадження є актуальною проблемою, що потребує подальшого удосконалення існуючих способів прогнозування, уточнення прогнозів та моделей прогнозу.

Мета дослідження – розробити спосіб прогнозування рівнів вмісту МЕ /ВМ у ґрунтах різного генезису для оцінювання їх екологічних та продукційних функцій за рахунок розширення спектру інформативних діагностичних показників енергетичного стану ґрунтів та встановлення нових закономірних зв'язків з рівнями вмісту хімічних елементів, що надає можливість підвищити точність та експресність прогнозування їх вмісту, енергетичного та гумусового стану ґрунтів різного генезису з виявленням відмінностей екологічного стану ґрунтів за екологічними функціями для прогнозу і нормування їх якості.

Розробку способу спрямовано на: 1) забезпечення більшої прогнозованості енергетичного і мікроелементного статусу, гумусового та екологічного стану ґрунту в цілому для попередження деградації органічної речовини ґрунтів та зниження ризиків впливу техногенного забруднення ВМ; 2) експресність отримання та підвищення точності прогнозованих значень вмісту МЕ і ВМ у ґрунтах; 3) забезпечення універсальності способу завдяки його придатності для всіх типів ґрунтів різних природно-кліматичних зон; 4) стимулювання подальших досліджень щодо енергетики ґрунтоутворення та вирішення практичних завдань збереження показників енергосмності і відновлення функцій ґрунтів, виявлення оптимальних енергетичних витрат та урахування екологічних та продукційних функцій ґрунту певного типу.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Розроблення способу включало:

1) Проведення патентного пошуку згідно з ДСТУ 3575. Об'єкти патентного пошуку – об'єкти авторського права, які запатентовано в Україні та країнах СНД, ЄС в площині поставленої мети. Предмет пошуку – спосіб в цілому; окремі операції (етапи) способу, що є самостійним патентоспроможним об'єктом; способи їх одержання і галузь застосування; обладнання, що використовують при здійсненні способу; методичні підходи щодо прогнозування елементного статусу ґрунтів різних типів, у тому числі і за техногенного забруднення ВМ і технологічного навантаження, за використання методів математичного моделювання для прогнозу стану ґрунтів як компоненти довкілля, включаючи моделі переносу та трансформацій забруднювачів (географічні моделі) та моделі змін стану ґрунтів за впливу забруднення (екологічні моделі); методи екстраполяції та експертних оцінок. Методи досліджень – методи теоретичного аналізу, системний підхід.

2) Польовий етап – ґрунтово-геохімічні дослідження, в тому числі, за умов технологічного навантаження на ґрунти Київської, Харківської, Полтавської та Львівської областей та за умов сталого впливу джерел атмотехногенних емісій

забруднення неорганічної природи Харківської області і промислових об'єктів Донецької та Луганської областей, та проведення серії стаціонарних мікропольових дослідів. Об'єкти дослідження – ґрунти Лісостепової і Степової природно-кліматичних зон України за впливу забруднення ВМ та за його відсутності. Методи досліджень – універсальні загальнонаукові методи, екосистемний та ландшафтно-геохімічні підходи.

Дослідження закономірних зв'язків мікроелементного, гумусового і енергетичного стану ґрунтів різного генезису та відповідно показників ґрунтових властивостей на рухомість МЕ /ВМ було проведено із відбором зразків з орного (0–20 см) шару.

Ґрунтово-геохімічні дослідження щодо техногенного навантаження ВМ на ґрунт проводили за умов сталого та періодичного впливу джерел поліелементного забруднення Зміївської ТЕС ПАТ «Центренерго» НАК «Енергетична компанія України» Харківської області, ВАТ «Укрцинк» і ВАТ «Авдіївський коксохімічний завод» Донецької обл.; промислових об'єктів м. Луганськ та Білокуракинського, Перевальського, Слов'яносербського і Троїцького районів Луганської області.

Також для підтвердження ідеї за розробки нового технічного рішення було використано цифрові матеріали щодо вмісту ВМ у ґрунтах з Екологічних атласів Харківської (2005), Донецької (2007) та Луганської (2004) областей.

Польові дослідження щодо технологічного навантаження проводили в умовах стаціонарного досліді кафедри ґрунтознавства, землеробства та агрохімії Львівського НАУ Західного Лісостепу України з вивчення ефективності впливу орґано-мінеральної, орґанічної та мінеральної систем удобрення у встановленій ефективній кількості співвідношення комбінації ґрунтополіпшувачів на іммобілізацію рухомих форм ВМ та активацію МЕ у ґрунтах із відбором ґрунтових зразків та встановленням закономірностей змін їхнього вмісту та динаміки гумусного стану і трансформації орґанічної речовини у темно-сірому ґрунті польової сівозміни.

Енергоємність чорноземних ґрунтів різного гранулометричного складу за впливу систем удобрення визначено у довгострокових польових дослідженнях у Київській (Миронівська ДС), Харківській (ДП Граково), Полтавській (Полтавська ДС) та Луганській (Луганська ДС) областях. Застосовували мінеральну, орґанічну та орґано-мінеральну системи удобрення, які було збалансовано за внесенням основних елементів живлення, а внесення орґанічних і мінеральних добрив оптимальними дозами проводили за використання чинних методичних рекомендацій (Vlasiuk, Dmytrenko, 1962). відповідно до типу ґрунту і природно-кліматичних умов певної зони (Dobryva ta yikh vykorystannia, 2010).

3) Аналітичний етап – у зразках ґрунтів різних типів (дерново-підзолисті, світло-сірі, сірі, темно-сірі; чорноземи опідзолені, типові, звичайні та південні, каштанові ґрунти тощо) за лабораторно-аналітичних досліджень згідно з чинними ДСТУ та методичною базою визначили: а) вміст рухомих форм МЕ і ВМ (за використання екстрагентів ацетатно-амонійного буферного розчину з рН 4,8 та 1н НСІ згідно з ДСТУ 4770.1 – ДСТУ 4770.9 і МВВ 31-497058-016-2003); б) загальний вміст орґанічної речовини – за методом Тюріна (ДСТУ 4289:2004); в) груповий (за модифікованим методом М. М. Конової та Н. П. Бельчикової згідно з ДСТУ 7855:2015) та фракційний склад гумусу ґрунту (модифікований метод В. В. Пономарьової та Т. А. Плотнової згідно з ДСТУ 7828:2015); г) здійснили препаративне виділення гумусових речовин ґрунту (ДСТУ 7606:2014); д) питому енергоємність ґрунтів і препаратів ГК – за допомогою калориметричної установки В - 08 МА ПУ 1.470.000 за показником питомої теплоти згорання зразків (ДСТУ 7866:2015); є) показники щільності будови ґрунтів за фонових умов, впливу техногенного та технологічного навантаження (ДСТУ ISO 11272-2001).

4) Камеральний етап – оцінювання мікроелементного статусу ґрунтів за експертного оцінювання нормативно-довідкової документації, розрахунок показнику загальних запасів енергії гумусу ґрунту, статистична обробка отриманих даних щодо

гумусового, енергетичного стану ґрунтів в тому числі і за впливу технологічного навантаження, техногенного забруднення ВМ за побудови математичних моделей.

Розрахунок показника *загальних запасів енергії*, що акумульовані гумусом ґрунту, як індикатору енергетичного стану ґрунту, проводили за відомою формулою Д. С. Орлова – Л. А. Гришиної (Orlov, Grishina, 1981; Orlov et al., 2004) у модифікації О. Л. Орлова (Orlov, 2002), що враховує якісний склад гумусу і теплоємність основних його фракцій:

$$Q = (19,96 \text{ ГК} + 9,16 \text{ ФК} + 17,86 \text{ ГЗ}) \times H \times d \times 10 / 100, \quad (1)$$

де Q – запаси енергії, акумульовані гумусом ґрунту, 10^6 кДж /га (або 10^3 МДж /га); 19,96 – теплота згорання гумінових кислот, кДж/г; 9,16 – теплота згорання фульвокислот, кДж /г; 17,86 – теплота згорання гуміну, кДж /г; ГК – вміст гумінових кислот, %; ФК – вміст фульвокислот, %; ГЗ – вміст гуміну, %; H – шар ґрунту, м; d – щільність будови ґрунту, г/см³; 10 – коефіцієнт переведення в 10^6 кДж /га; 100 – перерахування одиниць виміру показників вмісту ГК, ФК та ГЗ у відсотках.

Оцінку екологічного стану ґрунтів щодо мікроелементного статусу та вмісту ВМ проводили згідно з діючими нормативами і методичною базою, використовуючи встановлені фонові рівні вмісту МЕ (ВМ) для ґрунтів певної природно-кліматичної зони України (Fateev, Samokhvalova, 2012). Також для підтвердження ідеї за розробки нового технічного рішення було використано цифрові матеріали звітів лабораторії охорони ґрунтів від техногенного забруднення ННЦ «ІА ім. О. Н. Соколовського» з виконання НТР за 2001–2005 рр., 2006–2010 рр. щодо елементного статусу ґрунтів за фонових умов, впливу техногенного забруднення ВМ за їхнього подальшого узагальнення.

Аналітичні числові дані щодо акумулятивної енергетичної функції гумусових речовин ґрунту – показників питомої внутрішньої енергії або теплотворної здатності гумусу; запасів енергії, що акумульовані гумусом ґрунту, мікроелементного статусу та гумусового стану статистично обробляли із використанням модулів кореляційного, дисперсійного, регресійного та факторного аналізів у рамках пакета *Statistica 10.0*, включаючи розрахунки за рівняннями лінійної, ступеневої і логарифмічної регресії.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Узагальненням результатів проведення ґрунтово-геохімічних досліджень та аналізування отриманих даних щодо мікроелементного статусу ґрунтів різного генезису природно-кліматичних зон України, нами було встановлено, що мікроелементний статус ґрунтів та рухомість МЕ і ВМ обумовлені як рівнями вмісту загального гумусу, його груповим та фракційним складом, так і рівнем гідролітичної кислотності та вмістом фізичної глини у ґрунтах, а баланс між процесами мінералізації і синтезу органічних сполук визначається стійкістю ГК та стабільністю у часі співвідношення $S_{гк}/C_{фк}$ (Samokhvalova et al., 2011; Pat. na korysnu model 95649 UA, 2014).

Встановлено також закономірні зв'язки рухомості більшості МЕ /ВМ у ґрунтах різного генезису з умістом ФК за відсутності та під впливом забруднення ґрунтів ВМ, збільшення інтенсивності процесів мінералізації органічної речовини ґрунту за техногенного впливу (Samokhvalova, Fateev, 2006) та зменшення енергоємності ґрунту у 1,5–3,2 рази (Zholudeva, 2010).

За проведення довгострокових польових досліджень нами було виявлено, що ґрунти різних типів характеризуються певним рівнем енергоємності (Skrylnyk, 2008, 2010). Так, встановлено, що максимальне накопичення енергії у шарі 0–20 см коливається від 0,91 МДж /кг у чорноземі типовому легкосуглинковому слабовилугуваному до 1,17 МДж /кг у чорноземах типових важкосуглинкових та 1,06 МДж/кг у чорноземі звичайному на лесовидному суглинку. Також, результатами

визначання питомої теплоти згоряння препаратів вільної та зв'язаної з рухомими півтораоксидами фракції гумінових кислот (ГК-1) і фракцій ГК-3, що зв'язані з глинистою фракцією і стійкими півтораоксидами, встановлено максимальну кількість енергії у лабільних формах ГК, диференціацію показника згідно з типом ґрунту та його гранулометричним складом (рис. 1), що доводить системний характер гумусу як продукту ґрунтоутворення і є свідченням якості енергетичних зв'язків за закономірних трансформацій енергії та кількісного і якісного складу гумусу ґрунту певного типу.

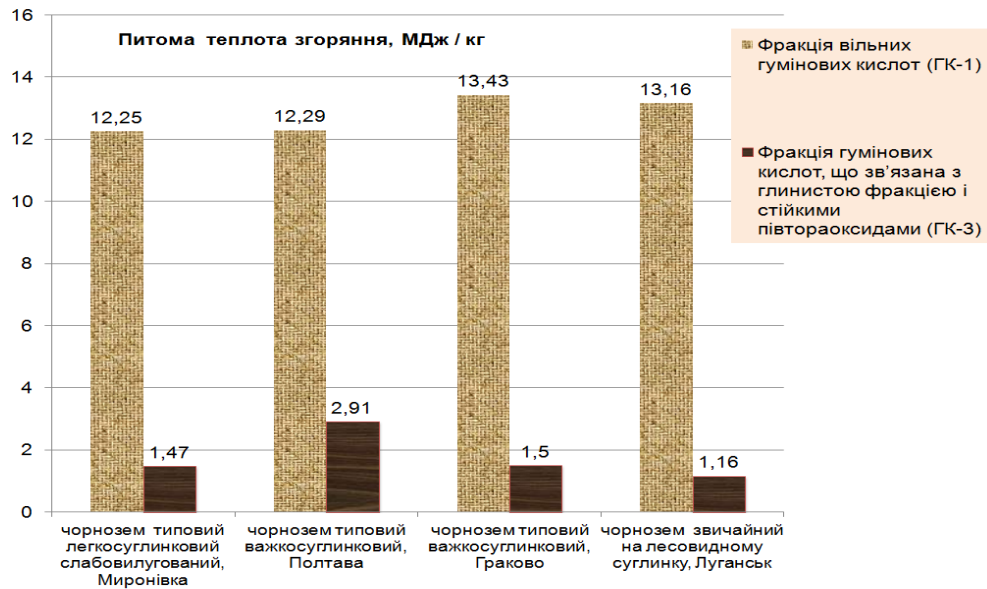


Рис. 1. Енергоємність ГК ґрунтів різного генезису

До того ж нами було встановлено (Skrylnyk, 2010; Shedyey, 2006, 2010; Lopuszniak, 2013) переваги використання органо-мінеральної системи удобрення на ґрунтах різних типів за одночасного підвищення показників їх енергоємності в орному шарі та позитивного впливу на родючість ґрунтів за енергоощадності з регулюванням енергоємності ґрунту. Такий результат забезпечено нагромадженням гумусових сполук у ґрунті та підвищенням частки ГК і негідролізованого залишку з властивою їм найвищою енергоємністю. Підвищення енергетичних показників у шарі ґрунту 0–20 см свідчить про інтенсивні процеси гуміфікації. В той же час показники енергоємності ґрунту перелугу свідчать про встановлення динамічної рівноваги (надходження речовин і енергії перевищує або близьке до їх втрат внаслідок мінералізації) за тривалого виведення земель із сільськогосподарського використання. Найвищими показниками енергоємності характеризувався цілинний ґрунт. Отже, доведено, що технологічне та техногенне навантаження є вагомими факторами впливу на еколого-енергетичний стан ґрунтів різних типів (табл. 1).

Узагальненням даних, отриманих у різних ґрунтово-кліматичних зонах, встановлено, що ефективність прогнозу вмісту ME і BM у ґрунті підвищується саме за додаткового використання показників енергетичного стану ґрунтів та алгоритму, що пропонується у заявленому способі, чим забезпечується його технічний результат – підвищення точності і прогнозованості якісного стану ґрунту; експресність прогнозування елементного статусу ґрунту для оцінювання екологічних функцій за використання показників енергетичного стану ґрунтів різних типів, у тому числі під впливом технологічного навантаження і техногенного забруднення.

Таблиця 1

Енергоємність ґрунтів різного генезису за фонових умов та впливу технологічного навантаження й техногенного забруднення ВМ

Енергоємність (теплотворна здатність гумусу) ґрунтів				
Тип ґрунту	Контроль (без добрив)	Технологічне навантаження (система удобрення)		
		Органічна система	Мінеральна система	Органо- мінеральна система
	МДж / кг			
Чорноземи типові важкосуглинкові	0,96–1,17	1,07–1,23	1,15	1,28
Чорноземи типові легкосуглинкові	0,91–1,06	0,89–0,84	0,73–0,75	0,97
Чорнозем опідзолений важкосуглинковий	1,04 (переліг)	0,93	0,8	0,98
Темно-сірий легкосуглинковий	0,94	0,97	0,94	0,98
Чорнозем звичайний середньосуглинковий	Контроль (без забруднення)		Техногенне навантаження	
	МДж / кг			
	0,97 (рілля)	1,99 (цілинний ступ)	0,62–0,78	

Аналіз існуючої патентної документації свідчить про те, що близьким за технічною суттю до розробленого способу є відомий спосіб визначання реакційної здатності гумусу ґрунту для прогнозу вмісту рухомої органічної речовини та оцінювання родючості ґрунту за впливу антропогенних факторів (Автор. св. SU № 1291545, 1987). Спосіб передбачає визначення вмісту активного гумусу за різницею вмісту загального і пасивного гумусу, ємності обміну активного гумусу ґрунту – за різницею між загальною ємністю катіонів (ЄОК) ґрунту та пасивного гумусу і мінеральної частини ґрунту. За відношенням ЄОК активного гумусу до вмісту активного гумусу оцінюють реакційну здатність гумусу ґрунту.

Недоліки способу: 1) відсутність показників вмісту хімічних елементів у ґрунті, що характеризують специфічність взаємозв'язків з органічними сполуками ґрунту, з можливістю їх відповідного діагностування; 2) відсутність комплексних показників, що більш точно характеризують якість органічної речовини ґрунту і показників точності прогнозних оцінок щодо якості гумусу за різних видів навантажень; 3) трудомісткість і часовитратність процесу виділення активного гумусу збільшує ризик якісного і кількісного хімічного і біологічного його перетворення у ґрунті та, відповідно, значно обмежує можливості використання і збільшує ресурсовитратність реалізації способу.

Відомо інший спосіб прогнозування рівнів вмісту рухомих форм Zn і Cu у ґрунті за антропогенного навантаження (Pat. на korysnu model 58720 UA, 2011) передбачає розрахунок на основі математичних моделей співвідношення мінерального азоту до рухомого фосфору з подальшим визначанням прогнозованого вмісту рухомих форм металів у ґрунті за регресійними рівняннями. Недоліками способу слід вважати: 1) обмеженість його застосування лише на зрошуваному темно-каштановому ґрунті та для прогнозування вмісту лише Zn і Cu, що призводить до зниження точності та збільшення похибок прогнозування вмісту хімічних елементів у ґрунтах різних природно-кліматичних зон; 2) збільшення рухомості металів-токсикантів у ґрунті та їх міграції у суміжні з ґрунтом середовища за систематичного внесення фізіологічно кислих добрив; 3) існуючий ризик негативного впливу на якість органічної речовини ґрунту за рахунок посилення

рухомості органічних сполук, їх мінералізації і деструкції, спрощення їхньої структури. Отже, спосіб характеризується певною кількістю факторів, що впливають на збільшення похибок вимірювань за одночасного зниження прогностичної цінності отриманих даних щодо вмісту МЕ /ВМ у ґрунтах.

Найбільш близьким за механізмом реалізації і результатом, що досягається, є спосіб прогнозування забезпеченості ґрунтів МЕ за математичними моделями (Pat. na korysnu model 89939 UA, 2013). Спосіб включає відбір зразків, їх аналізування з визначанням середнього вмісту вуглецю гумінових (ГК) і фульвокислот (ФК) та співвідношення $C_{ГК} / C_{ФК}$, статистико-математичний аналіз з одержанням регресійних рівнянь та визначання прогнозованого вмісту МЕ (ВМ) у ґрунті.

Недоліками запропонованого способу є: 1) обмеженість використання показника $C_{ГК} / C_{ФК}$ для прогнозування змін якості гумусу за інтенсивного сільськогосподарського використання ґрунтів (Avtor. sv. SU № 1291545, 1987) та збільшення недостовірності отриманих даних за можливої нестабільності у часі співвідношення $C_{ГК} / C_{ФК}$, недоведеності існування ФК, як групи сполук у ґрунтах, у вільному стані (Orlov, 1999); 2) обмеженість використання показника $C_{ГК} / C_{ФК}$ за визначання прогнозованого вмісту рухомих форм МЕ /ВМ, як за оцінювання рівня забезпеченості ґрунтів МЕ, так й небезпеки надлишкового накопичення ВМ у ґрунтах за техногенного і технологічного навантаження (Pat. na korysnu model 95649 UA, 2014), внаслідок впливу на співвідношення $C_{ГК} / C_{ФК}$ вмісту рухомих форм МЕ /ВМ у ґрунтах різного генезису, який неможливо урахувати як через їх високу природну просторову варіабельність, так і за умов забруднення ВМ із збільшенням рухомості ВМ і органічної речовини ґрунту за одночасного дисбалансу вмісту ГК та ФК, зменшення рухомості МЕ, що унеможливорює коректне визначання показника $C_{ГК} / C_{ФК}$ ґрунтів; 4) значна різниця у величинах енергоємності ГК та ФК ґрунтів (ГК – 7,6–8,6 ккал /г, ФК – 3,8–4,3 ккал /г (Tarariko, Nesmashna, 2000, 2007) унеможливорює коректне використання показника $C_{ГК} / C_{ФК}$, як діагностичного та оціночного, призводить до вагомого зниження ефективності прогнозування вмісту ВМ /МЕ у ґрунті за одночасного збільшення трудомісткості і ресурсовитратності реалізації способу та фактору невизначеності у прогнозних оцінках.

Існуюча можливість використання іншого діагностичного показника загального вмісту гумусу у ґрунті, процентний вміст якого є індикатором його потенційної продуктивності (Smirnov, Muravin, 1981), теж має обмеження за рахунок похибки методу 15–20 %, що впливає на точність визначення прогнозованих значень характеристик ґрунту. Тому для прогнозування рівнів вмісту хімічних елементів, гумусового та /або енергетичного стану ґрунту певного типу необхідно систематизувати дані для визначення діагностичних критеріїв оцінювання якості органічної речовини ґрунту, що потребує проведення додаткових досліджень з урахуванням зв'язку продукційної функції ґрунту (родючості) з якісним складом гумусу (Kovda, 1973, 1974; Volobuev, 1974, 1982, 1983) за використання інтегральних показників гумусового стану ґрунтів - енергоємності органічної речовини ґрунту (питома внутрішня енергія гумусу або теплотворна здатність гумусу; загальні запаси енергії у шарі 0–20 см), як більш об'єктивних показників потенційної продуктивності ґрунту, що тісно пов'язані з властивостями ґрунтів, які визначають рухомість та рівень вмісту МЕ /ВМ у ґрунтах різних типів за природних умов, техногенного забруднення та технологічного навантаження. Використання узагальнюючих енергетичних характеристик функціонування ґрунтової системи дозволяє отримати точні прогнозні дані щодо якості ґрунту певного типу (елементний статус, якість гумусу як акумулятору і джерела енергії, енергетичний стан) для оцінювання їх екологічних функцій; здійснювати управління відтворенням енергетичного потенціалу їх органічної речовини та якістю ґрунтів.

Доцільність використання показників енергетичного стану ґрунтів різного генезису для прогнозування їх елементного статусу обумовлена тим, що екологічні та продукційні функції ґрунту певного типу визначаються вмістом енергетично

збагачених продуктів фотосинтезу, що накопичуються гумусом ґрунту у вигляді потенціальної енергії та трофічних сполук, а різні типи ґрунтів відрізняються за здатністю акумулювати або втрачати енергію. Ґрунт, як відновлювальна система та джерело природної енергії, характеризується меншою структурною однорідністю та довгочасним збереженням і поступовістю у вивільненні енергії. Тому стабільність процесів гуміфікації-мінералізації у ґрунтовій системі визначає її динамічну рівновагу та здатність ґрунтового покриву відновлювати енергетичні ресурси внаслідок накопичення і розподілу енергії, що утворилась за фотосинтезу.

Оцінювання характеру та інтенсивності біотичних процесів (розкладання і синтез органічних речовин, біохімічна і мікробіологічна активність ґрунту тощо) ґрунтової системи певного типу, які пов'язані з запасами і трансформацією асимільованої сонячної енергії, що акумулюються у гумусі ґрунтів і рослинах, надає можливість прогнозування біоенергетичного стану ґрунтів за показниками їх біотичних та мінеральних трансформацій. В той же час використання інтегральних кількісних діагностичних характеристик щодо енергетики ґрунтоутворення і функціонально-екологічної діагностики генетичного статусу ґрунтів дає можливість оцінювати якісний стан ґрунту певного типу, робити попередні прогнози втрат ґрунтової енергії. Отже, залучення до використання показників відповідності рівня енергоємності певного типу ґрунту з показниками вмісту МЕ, ВМ та показниками гумусового стану ґрунту (загальний вмісту гумусу, груповий і фракційний склад органічної речовини тощо) забезпечує точність визначення існуючих взаємозв'язків процесів і функцій у ґрунтовій системі. Рациональне використання енергії ґрунту є шляхом збереження і відновлення його базової властивості – родючості, в тому числі, і за технологічного навантаження та ризику і наявності техногенного забруднення.

Урахування змін інтегральних енергетичних показників ґрунту дозволяє здійснювати оцінювання екологічних функцій ґрунту, агротехнологій, систем удобрення та землеробства і агро - та екосистем, що надає можливість визначити перспективні напрями більш повного використання ґрунтових ресурсів, усунення негативних впливів на еколого-енергетичний стан ґрунтів за використання менш енергоємних заходів для відновлення функцій ґрунтів за проявів деградаційних процесів і зменшення витрат антропогенної енергії на їх подолання.

За результатами інформаційно-аналітичних досліджень встановлено існуючі у ґрунтах різних типів залежності показників їх енергоємності (теплотворна здатність гумусу, запаси енергії у шарі 0–20 см), як інтегральних показників гумусового стану ґрунтів, та вмісту МЕ /ВМ (табл. 2–4, рис. 2) та істотні відмінності між вибірками даних, проведено оцінювання впливу фактору техногенного забруднення ВМ та /або технологічного навантаження за запропонованих систем удобрення і доведено достовірність їх впливу на результативну ознаку (вміст МЕ /ВМ у ґрунті) з одержанням відповідних рівнянь залежностей (моделі), на базі яких розраховано прогнозовані значення вмісту рухомих форм МЕ та/або ВМ, наприклад, вміст рухомих форм C_{Fe} , C_{Mn} у ґрунтах опідзоленого ряду (дерново-підзолисті, ясно-сірі, сірі опідзолені та темно-сірі) за формулами 2–3:

$$C_{Fe} = -27,28 - 221,9794 x + 157,112 y, \quad (2)$$

$$C_{Mn} = 200,49 + 803,5154 x - 647,166 y, \quad (3)$$

та чорноземних (чорноземи типові, звичайні і південні) ґрунтах за формулами 4–5:

$$C_{Fe} = -5,18 + 19,1408 x - 4,7695 y, \quad (4)$$

$$C_{Mn} = 70,68 - 85,8516 x + 8,8921 y, \quad (5)$$

де C_{Fe} , C_{Mn} – прогнозований (розрахунковий) вміст рухомих сполук відповідного металу у ґрунті, мг/кг; x – теплотворна здатність гумусу ґрунту, МДж /кг; y – запаси енергії в шарі ґрунту 0–20 см, 10^6 кДж /га (або 10^3 МДж /га).

Встановлені закономірні зв'язки показників властивостей ґрунту представляють на діаграмах (рис. 2, а–е) та у форматі відповідних рівнянь (2–7) і електронних таблиць

отриманих даних (табл. 2–3) та поширюють алгоритм способу на ґрунти інших типів певної природно-кліматичної зони за умов техногенного забруднення і технологічного навантаження.

Таким чином, наприклад, встановлені лінійні залежності вмісту рухомих форм МЕ /ВМ та енергетичних показників ґрунту характеризують наступні рівняння:

1) для ґрунтів опідзоленого ряду (дерново-підзолисті, ясно-сірі, сірі опідзолені та темно-сірі):

$$C_{\text{Мп}} = 200,49 + 803,5154x - 647,166y \quad (6)$$

$$C_{\text{Мп дерн.-підзол. ґрунт}} = 200,49 + 803,5154 \times 0,11 - 647,166 \times 0,414 = 20,95;$$

$$C_{\text{Мп фактичний}} = 20,97$$

$$C_{\text{Мп темно-сірий ґрунт}} = 200,49 + 803,5154 \times 0,61 - 647,166 \times 1,04 = 17,58;$$

$$C_{\text{Мп фактичний}} = 17,6$$

2) для чорноземних (чорноземи типові, звичайні і південні) ґрунтів:

$$C_{\text{Мп}} = 70,68 - 85,8516x + 8,8921y \quad (7)$$

$$C_{\text{Мп чорнозем типовий}} = 70,68 - 85,8516 \times 0,91 + 8,8921 \times 20,007 = 12,56;$$

$$C_{\text{Мп фактичний}} = 12,54$$

$$C_{\text{Мп чорнозем звичайний}} = 70,68 - 85,8516 \times 0,79 + 8,8921 \times 1,74 = 18,3;$$

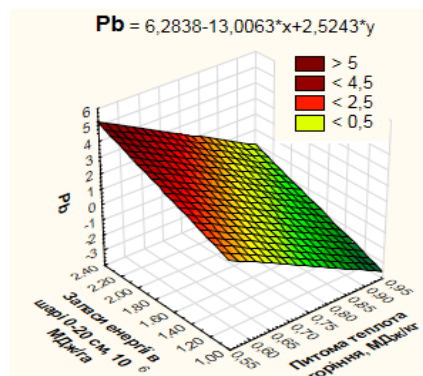
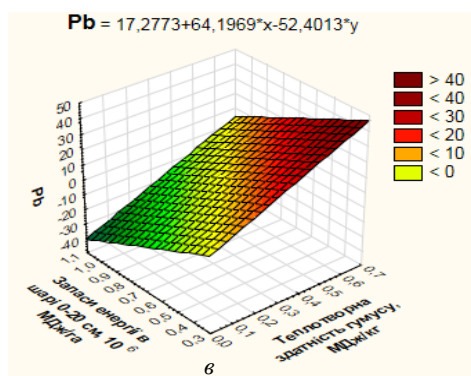
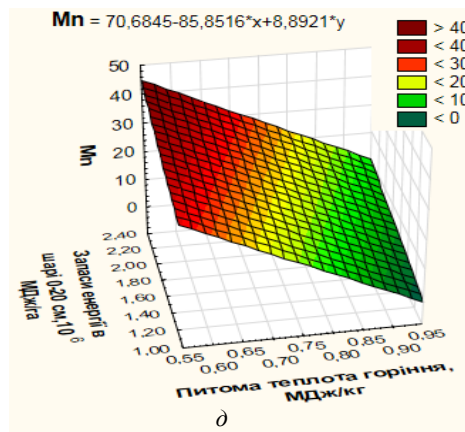
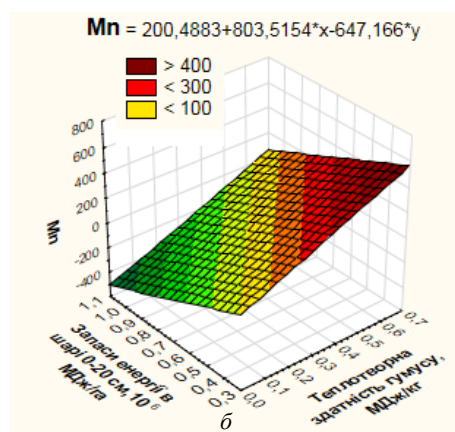
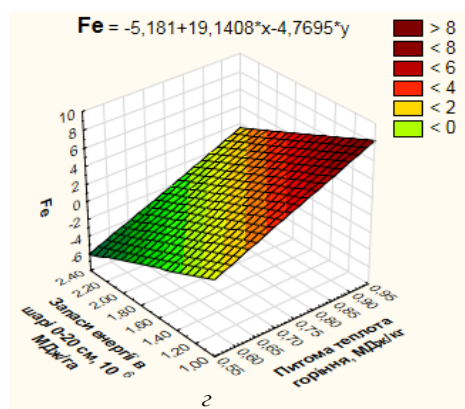
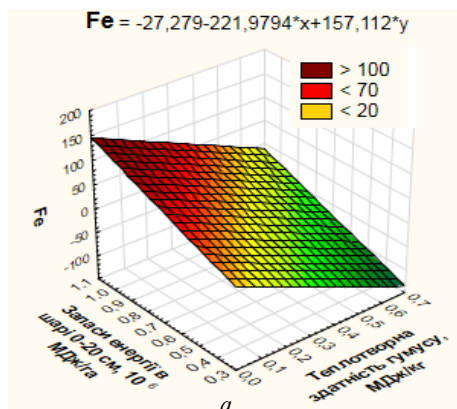
$$C_{\text{Мп фактичний}} = 18,18$$

де $C_{\text{Мп}}$ – прогнозований (розрахунковий) вміст рухомих сполук марганцю у ґрунті, мг/кг; x – теплотворна здатність гумусу ґрунту певного типу, МДж /кг; y – запаси енергії в шарі ґрунту 0–20 см певного типу, 10^6 кДж/га (або 10^3 МДж /га).

Таблиця 2

Вихідні дані гумусового стану ґрунтів та щільності їх будови, вмісту свинцю за фонових умов та впливу техногенного і технологічного навантажень

Тип ґрунту	$C_{\text{заг.}}, \%$	$C_{\text{ГК}}, \%$	$C_{\text{ФК}}, \%$	ГЗ, %	$d, \text{г/см}^3$	Pb, мг/кг ґрунту
<i>За відсутності навантажень (фонові умови)</i>						
Дерново-підзолисті	0,9	0,17	0,2	0,53	1,5	2,4
Сірі опідзолені	1,2	0,27	0,3	0,63	1,5	2,15
Темно-сірий	3,1	1,1	0,54	1,46	1,3	1,2
Чорнозем опідзолений	2,44	1,0	0,31	1,13	1,2	1,95
Чорнозем звичайний	3,9	1,25	0,7	1,95	1,1	0,38
Чорноземи типові	4,8	1,75	0,6	2,45	1,2	0,12
<i>Під впливом техногенного навантаження (забруднення ВМ)</i>						
Чорнозем звичайний забруднений	2,08	0,38	0,5	1,2	1,2	18,5
Чорнозем опідзолений забруднений	1,9	0,2	0,4	1,3	1,2	6,5
Дерново-підзолистий забруднений	0,79	0,1	0,2	0,49	1,5	9,1
<i>Під впливом технологічного навантаження</i>						
Чорнозем опідзолений (контроль)	2,44	1,0	0,31	1,13	1,2	1,5
Чорнозем опідзолений (органомінеральна система удобрення)	2,47	0,99	0,31	1,17	1,2	0,9
Чорнозем опідзолений (мінеральна система удобрення)	2,38	0,93	0,29	1,16	1,2	2,0



Грунти опідзоленого ряду

Чорноземні ґрунти

Рис. 2. Визуалізовані моделі встановлених залежностей показників енергетичного стану ґрунту та рівнів вмісту Fe, Mn та Pb

Використання наведених формул на інших типах ґрунтів, у тому числі і при впливі технологічного навантаження і техногенного забруднення, підтвердило універсальність отриманих рівнянь. Отримані формули розрахунків прогностичних значень вмісту хімічних елементів є універсальними для ґрунтів різних типів, що об'єднані в ряди за ознакою переважання ґрунтового процесу, наприклад, ґрунти опідзоленого ряду, чорноземні ґрунти. Далі поширюючи алгоритм способу на інші типи ґрунтів, так само, проводять розрахунки з одержанням відповідних рівнянь залежностей (моделей), за якими визначають прогнозовані значення вмісту рухомих

форм МЕ /ВМ у ґрунтах як за фонових умов, так і за впливу антропогенних навантажень на ґрунт з внесенням отриманих результатів у таблицю (табл. 4).

Таблиця 3

Зміна показників енергоємності ґрунтів за фонових умов та впливу техногенного і технологічного навантажень

Тип ґрунту	Енергоємність ґрунту	
	Теплотворна здатність гумусу, МДж/кг	Q, запаси енергії в шарі 0–20 см, 10 ³ МДж/га
<i>За відсутності навантажень (фонові умови)</i>		
Дерново-підзолисті	0,106	0,44
Сірі опідзолені	0,188	0,58
Темно-сірий	0,840	1,40
Чорнозем опідзолений	0,820	1,03
Чорнозем звичайний	0,890	1,46
Чорноземи типові	0,913	2,02
<i>Під впливом техногенного навантаження (забруднення ВМ)</i>		
Чорнозем звичайний забруднений	0,790	0,81
Чорнозем опідзолений забруднений	0,650	0,74
Дерново-підзолистий забруднений	0,090	0,37
<i>Під впливом технологічного навантаження</i>		
Чорнозем опідзолений (контроль)	0,99	1,02
Чорнозем опідзолений (органомінеральна система удобрення)	0,98	1,04
Чорнозем опідзолений (мінеральна система удобрення)	0,94	1,00

Так, розрахунковий вміст рухомих форм, наприклад, Мп у ґрунтах підзолистого ряду становить 15,90–20,97 мг/кг за фонових умов; до 45,66 мг/кг ґрунту за технологічного навантаження. Вміст Мп у чорноземних ґрунтах за фонових умов становив до 30,72 мг/кг; за техногенного забруднення ВМ – 22,20 мг/кг ґрунту. Співставлення отриманих розрахункових даних з даними фактичного вмісту МЕ та ВМ у ґрунтах свідчать про високу їх відповідність та точність. Отже, було отримано дані щодо елементного статусу ґрунтів різного генезису за урахування їхньої енергоємності із одночасним забезпеченням точності прогнозу екологічного стану ґрунтів щодо ризику нестачі МЕ та накопичення надлишку ВМ з можливістю прогнозування не тільки мікроелементного статусу, але й енергетичного і гумусового стану ґрунтів різних природно-кліматичних зон з оцінюванням їх якості (табл. 4) за реалізації можливості вирішення зворотної задачі розрахунку кількісних параметрів одного показника на підставі кореляційно пов'язаних з ним відомих інших. Наприклад, теплотворну здатність гумусу та/або запаси енергії для ґрунту певного типу на підставі відомого показника вмісту МЕ і ВМ і /або показників енергоємності органічної речовини ґрунту з метою оцінювання характеру та інтенсивності біотичних процесів ґрунтової системи певного типу.

Розподіл ґрунтів за якістю здійснено за класифікації способом групування масиву даних за ознакою їх енергоємності на якісно зіставні класи із рівними інтервалами з попереднім визначанням їх кількості (N) та урахуванням об'єму вибірки (V) відповідно до відомої формули: $N = 2 \ln V$. Величину інтервалу (A), як ознаку класифікації, визначено діленням розмаху варіації на число інтервалів за відомою формулою:

$$A = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{N}, \quad (8)$$

де $X_{\min}$ та $X_{\max}$ – максимальне і мінімальне значення ознаки класифікації.

Таблиця 4

Розраховані та фактичні параметри елементного статусу ґрунтів різних типів за фонових умов та впливу антропогенних навантажень									
Метал	Прогнозований / фактичний* вміст рухомих форм МЕ та ВМ у ґрунті, мг/кг ґрунту					ГДК			
	ґрунти опідзоленого ряду					Чорноземні ґрунти			
	Дерново-підзолистий	Ясно-сірий	Темно-сірий	Чорнозем типовий	Чорнозем звичайний	Чорнозем південний			
						За відсутності навантажень на ґрунт (фонові умови)			
Fe	13,3 /13,45*	12,3 /12,53*	0,78 /0,71*	1,6 /1,52*	1,75 /1,67*	0,52 /0,5*	–		
Mn	20,95 /20,97*	15,9 /15,67*	17,58 /17,6*	12,56 /12,54*	18,3 /18,18*	30,5 /30,72*	100		
Pb	2,6 /2,65*	2,04 /2,1*	1,7 /1,9*	0,16 /0,12*	0,41 /0,38*	1,63 /1,61*	6,0		
Zn	1,69 /1,69*	1,93 /1,92*	1,09 /1,06*	1,82 /1,8*	0,20 /0,15*	1,05 /1,02*	23		
Cd	0,03 /0,13*	0,15 /0,15*	0,15 /0,15*	0,2 /0,13*	0,16 /0,11*	0,21 /0,2*	–		
Ni	0,25 /0,24*	0,58 /0,56*	0,89 /0,82*	0,7 /0,74*	1,5 /1,51*	0,60 /0,63*	4,0		
Cu	0,36 /0,36*	0,49 /0,5	0,20 /0,22*	0,1 /0,19*	0,02 /0,09*	0,14 /0,19*	3,0		
Cr	0,54 /0,55*	0,58 /0,59*	0,15 /0,18*	0,28 /0,21*	0,36 /0,31*	0,47 /0,44*	6,0		
Co	0,32 /0,31*	0,22 /0,21*	0,1 /0,05*	0,19 /0,11*	0,27 /0,21*	0,55 /0,51*	5,0		
Під впливом органічно-мінеральної системи удобрення (технологічне навантаження)					Під впливом забруднення ВМ (техногенне навантаження)				
Метал	Темно-сірий				Чорнозем звичайний				
Mn	45,42 / 45,66*				22,4 / 22,2*				
Pb	1,13 / 1,15*				10,41 / 10,31*				
Zn	1,56 / 1,59*				54,9 / 54,0*				
Cd	0,11 / 0,11*				1,69 / 1,8*				
Ni	0,83 / 0,82*				25,3 / 24,5*				
Cu	0,19 / 0,19*				22,37 / 22,56*				
Cr	0,19 / 0,19*				66,49 / 66,14*				
Co	0,11 / 0,11*				2,18 / 2,10*				

Так, у нашому випадку – $N = 2 \ln 8 = 4,1$; $A = 0,913 - 0,106 / 4 = 0,20$. Ураховуючи величину інтервалу варіаційний ряд значень розподілено на якісно порівнянні класи (табл. 5). Таким чином, 1-й клас якості об'єднує ґрунти, що мають більший запас енергії, є більш стійкими до зовнішніх впливів та характеризуються більшою продуктивністю; 4-й клас якості об'єднує ґрунти з найменшими показниками енергоємності.

Таблиця 5

Ранжування продуктивної функції ґрунтів за показником енергоємності як критерію їхнього еколого-енергетичного стану

Оцінювання ґрунтів різного генезису за якістю			
Ґрунт	Клас якості	Енергоємність ґрунту	Продуктивна функція (родючість)
Полісся. <i>Дерново-підзолистий</i>	4	<0,11	низька
Лісостеп. <i>Ясно-сірий</i>	4		
Лісостеп. <i>Сірий опідзолений</i>	3	0,31–0,51	середня
Лісостеп. <i>Темно-сірий</i>	3		
Степ. <i>Темно-каштановий</i>	3		
Степ. <i>Чорнозем південний</i>	2	0,51–0,71	висока
Степ. <i>Чорнозем звичайний</i>	1	>0,71	дуже висока
Лісостеп. <i>Чорнозем типовий</i>	1		

Отже, спосіб дозволяє за рівнем енергетичного стану ґрунтів нормувати їх якість, а також коригувати вміст МЕ /ВМ, проведення заходів регулювання запасів органічної речовини ґрунту за різних систем ведення сільського господарства, впливів технологічного навантаження і техногенного забруднення на ґрунт та підтримання і збереження показників його енергоємності як критеріїв визначення його якості. Тобто є можливість керованого впливу на процеси, що сприяють скороченню вільної енергії у ґрунті та забезпечують збільшення ентропії і енергії, що пов'язана з гумусом, що сприяє підвищенню продуктивності ґрунтів.

Науково-технічну розробку доцільно використовувати в екологічному нормуванні вмісту МЕ та нормуванні навантажень (техногенних, технологічних) на ґрунтову систему, агроєкології за вирішення питань органічного землеробства, біоенергетики та енергетики ґрунтоутворення; діагностики, оцінювання, прогнозування якості гумусу і статусу МЕ та небезпеки надлишкового накопичення ВМ у ґрунтах за показниками енергетичного стану; ефективного екологічного менеджменту ґрунтів як за природних умов, так і за впливу різних антропогенних факторів, ураховуючи їх екологічні функції; у науково-дослідній практиці - за системного дослідження природних компонентів біосфери, оцінки секвестрації вуглецю у ґрунтах та нормуванні і оцінки їхньої якості.

ВИСНОВКИ

Розроблено спосіб прогнозування рівнів вмісту МЕ /ВМ у ґрунтах різного генезису для оцінювання їх екологічних та продукційних функцій. Відмінними рисами та перевагами запропонованого технічного рішення, у порівнянні з відомими способами та підходами, є такі: 1) більша прогнозованість енергетичного і мікроелементного статусу, гумусового та екологічного стану ґрунту в цілому для попередження деградації органічної речовини ґрунтів та зниження ризиків впливу техногенного забруднення ВМ; 2) експресність отримання та підвищення точності прогнозованих значень вмісту МЕ / ВМ у ґрунтах; 3) універсальність завдяки придатності способу для всіх типів ґрунтів різних природно-кліматичних зон; 4) можливість використання даного алгоритму для оцінювання та нормування якості ґрунтів різного генезису за використання будь-яких екологічних або продукційних

функцій ґрунту та виявлення оптимальних енергетичних витрат на їх відтворення; 5) стимулювання подальших досліджень щодо енергетики ґрунтоутворення та вирішення практичних завдань збереження і відновлення функцій ґрунтів різного генезису.

* * *

Автори висловлюють щирі подяки патентному повіреному ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського» науковому співробітнику В. М. Горякіній за сприяння та дієву допомогу в підготовці документації щодо розроблення нового технічного рішення та його інформаційно-аналітичного супроводження.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

- Dobryva ta yikh vykorystannia, 2010 [Fertilizers and their use: A Handbook]. Aristey, Kyiv (in Ukrainian).
- Fateev, A. I., Samokhvalova, V. L., 2012. Diahnostyka stanu khimichnykh elementiv systemy hrunt-roslyna [The diagnosis of the chemical elements of the system soil-plant]. KP «Urban Typography», Kharkov (in Ukrainian).
- Kovda, V. A., 1973. Osnovy ucheniya o pochvah. Obshhaya teoriya pochvoobrazovatel'nogo processa [Fundamentals of soils. The general theory of soil-forming process]. Nauka, Moscow (in Russian).
- Kovda, V. A., 1974. Biosfera, pochvy i ih ispolzovanie [The biosphere, soil and their use]. Materials X Intern. Congress of Soil Science. Moscow (in Russian).
- Lopushniak, V. I., 2013. Ahrokhimichni ta ahroekolohichni osnovy system udobrennia silskohospodarskykh kultur u Zakhidnomu Lisostepu Ukrainy [Agrochemical bases and agri-environmental fertilization of crops in western steppes of Ukraine]. Dissertation of doctor of Agricultural Sciences: 06.01.04 – agrochemistry. Kharkiv (in Ukrainian).
- Medvedev, V. V., Plisko, I. V., 2003. Prognoz izmenenij bonitetov pochv Ukrainy [Prognosis of changes in soil fertility Ukraine]. Gruntoznavstvo 4(1–2), 11–18 (in Russian).
- Orlov, D. S., 1999. Pochvennye fulvokisloty: istoriya ih izuchenija, znachenie i realnost [Soil fulvic history of their study, the meaning and reality]. Eurasian Soil Science 9, 1165–1171. (in Russian).
- Orlov, D. S., Birjukova, O. N., Rozanova, M. S., 2004. Dopolnitelnye pokazateli gumusnogo sostojanija pochv i ih geneticheskikh gorizontov [Additional indicators humus status of soils and their genetic horizons]. Eurasian Soil Science 8, 918–926 (in Russian).
- Orlov, D. S., Grishina, L. A., 1981. Praktikum po himii gumusa [Workshop on Chemistry humus]. MGU, Moscow (in Russian).
- Orlov, O. L., 2002. Enerhoiemnist yak kryterii humusovoho stanu gruntiv [Energy intensity as a criterion of soil humus]. Bulletin of Lviv NU. Biology Series 31, 111–115 (in Ukrainian).
- Pat. na korysnu model 58720 UA, 2011. Sposib prohnozuvannia zmin vmistu rukhomykh form tsynku i midi u zroshuvanomu temno-kashtanovomu grunti pry systematychnomu vnesenni mineralnykh dobryv [Pat. for useful model 58720 UA, 2011. Method of predicting changes in the content of mobile forms of zinc and copper in irrigated dark brown soil at regular fertilization]. A. V. Melashych, I. D. Filipiev, R. A. Vozhehova, et al.; U201010994; appl. 13.09.2010; publ. 26.04.2011, Bull. 8 (in Ukrainian).
- Pat. na korysnu model 89939 UA, 2013. Sposib prohnozuvannia zabezpechenosti gruntiv mikroelementamy [Method of predicting soil micronutrients availability]. A. I. Fateev, D. O. Semenov, K. B. Smirnova, et al.; № u201311847; appl. 08/10/2013; publ. 05.12.2014, Bull. 9 (in Ukrainian).
- Pat. na korysnu model 95649 UA, 2014. Sposib prohnozuvannia vmistu rukhomykh form vazhkykh metaliv ta mikroelementiv u gruntovii systemi dlia efektyvnosti remediatsii i vykorystannia [Pat. for useful model 95649 UA, 2014. The method of forecasting the content of mobile forms of heavy metals and trace elements in soil remediation system for efficiency and the using]. V. L. Samokhvalova, V. I. Lopushniak, A. I. Fateev, V. M. Horiakina, № u201408753; publ. 25.12.2014; Bul. 24 (in Ukrainian).
- Rozrobyty systemu operatyvnoi informatsii shchodo stanu gruntiv v ekolohichno chystykh ahrozonakh ta opratsiuvaty zakhody z polipshennia yikh produtsiinykh i ekolohichnykh funktsii [Develop a system of timely information on the state of soil in clean ahrozonah and work out measures to improve their ecological functions and produtsiinyh: report on research 01.02.02-

- 031 / NSC «ISSAR name Sokolovsky»]. Guiding. M. M. Miroshnichenko; Kharkiv, 0106U004783 (in Ukrainian).
- Samokhvalova, V. L., Fateev, A. I., 2006. Vplyv tekhnogennoho polielementnoho zabrudnennia vazhkymy metalamy na orhanichnu rechovynu gruntu [Influence of technogenic-element heavy metal pollution on soil organic matter]. Scientific Bulletin of Chernivtsi NU 293. Series Biology, 152–163 (in Ukrainian).
- Samokhvalova, V. L., Fateev, A. I., Luchnykova, E. V., 2011. Ekoloho-heokhimichna otsinka fonovoho ravnia vmistu riznykh form mikroelementiv gruntu [Ecological-geochemical assessment of background levels of various forms of micronutrient in soil]. Journal of LNU I. Franko. Biology Series 55, 125–133 (in Ukrainian).
- Shediei, L. O., Shevchenko, N. H., 2006. Enerhopotentsial chornozemu opidzolenoho za tradytsiinoi, orhanichnoi i resursozberihaiuchoi system zemlerobstva [Podzolic chernozem energy potential for traditional, organic farming systems and resource Agrochemistry and soil science]. Spec. issue to the VII Congress of the Ukrainian Soil Science Society and agrochemists. Kharkov. 3, 161–163 (in Ukrainian).
- Skrylnyk, E. V., 2008. Vmist, sklad, enerhoiemi- nist humusu ta yikh zmina [The content, composition, humus energy and their change]. Bulletin of Agricultural Science of Southern region of Ukraine 9, 36–40 (in Ukrainian).
- Skrylnyk, E. V., 2010. Transformatsiia humusovoho stanu gruntiv ta yikh enerhoiemnosti pid vplyvom riznykh system udobrennia [The transformation of soil humus and their power consumption under various fertilization systems]. Bulletin TSNZ APV Kharkiv region 7, 184–194 (in Ukrainian).
- Smirnov, P. M., Muravin, E. A., 1981. Agrohimiia [Agrochemicals]. Kolos, Moscow (in Russian).
- Tarariko, Y. O., Nesmashna, O. Y., 2000. Enerhetychna kharakterystyka osnovnykh typiv gruntiv Ukrainy zalezho vid sposobiv yikh vykorystannia [Energy characteristics of the main types of soil Ukraine depending on their uses]. Journal of Agricultural Sciences 4, 18–22 (in Ukrainian).
- Tarariko, Y. O., Nesmashna, O. Y., Lychuk, H. I., 2007. Otsinka ta rehuliuвання enerhoi- emnosti gruntiv [Assessment and regulation of energy intensity of soils]. Ukrainian fitotse- nology collection 25, 41–47 (in Ukrainian).
- Vlasiuk, P. A., Dmytrenko, P. O., 1962. Dovidnyk ahronoma po udobrenniu [Reference agronomist by fertilizing]. Derzhsilhosp- vydav, Kyiv (in Ukrainian).
- Volobuev, V. R., 1974. Vvedenie v jenergetiku pochvoobrazovaniia [Introduction to the energetics of soil]. Nauka, Moscow (in Russian).
- Volobuev, V. R., 1982. Otsenka produktivnosti agrocenozov s ispol'zovaniem jenerge- ticheskikh kriteriev [Evaluation of produc- tivity agrotcenozov using energy criteria]. Eurasian Soil Science 7, 83–88 (in Russian).
- Volobuev, V. R., 1983. Agroenergetika – aktualnaja nauchnaja i prakticheskaja problema [Agroenergetik is an actual scientific and practical problem]. Eurasian Soil Science 6, 83–89 (in Russian).
- Vyznachyty bioenerhetychni kharakterystyky gruntiv Stepovoi i Lisostepovoi zon Ukrainy dlia rozrobky ahrotekhnologii vidtvorennia humusu i optymizatsii enerhetychnoho ta ekolohichnoho stanu gruntiv [Identify bioenergetic characteristics of soil steppe and steppe zones of Ukraine to develop agricultural technologies play humus and energy and environmental optimization of soil: report on research 01.03.02 / 043 / NSC «ISSAR name Sokolovsky»]. Guiding. I. D. Zholudeva. Kharkiv. 0106U002945 (in Ukrainian).
- Avtor. sv. SU 1291545, 1987. Spособ opredelelnija reakcionnoj sposobnosti pochvy [Certificate of authorship SU 1291545, 1987. The method for determining the reactivity of soil]. E. A. Golovachev, A. A. Bacula, T. F. Kravec; applicant and patentee Ukrainian Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry by A. N. Sokolovsky; № 381 879 / 30-15; appl. 06/12/1984; publ.23.02.1987, Bul. 7 (in Russian).

Стаття надійшла в редакцію: 21.01.2016

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

ECOLOGY AND SPACE



D. K. Mozgovoy  Cand. Sci. (Tech.)

UDK 004.9

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

MONITORING OF THE DROUGHTS CONSEQUENCE BY HIGH RESOLUTION SATELLITE IMAGES

Abstract. The State of California is one of the least abundant with fresh water in the United States, while having high water consumption – the drought in the state has reached catastrophic proportions. January 2015 was the driest month in California for the whole period of observations since 1895. Two thirds of the state's population depend on the centralized water supply – about 25 million people and more than 400 thousand hectares of agricultural land.

The level of ground waters and the snow cover have become record low – this can be explained by pumping groundwater out for irrigation of agricultural land. The water level in the reservoirs of California is close to the critical notch. State authorities are forced to tighten measures to save water, the supply of which is sometimes insufficient to satisfy the priority needs of citizens.

The solution of the problem of rational use and protection of water resources can only be based on an integrated systemic approach to the study of spatial and temporal patterns of natural and anthropogenic factors on the quality and quantity of surface water with the use of satellite and ground data. In the study of the water regime of land one of the most important input parameters of hydrological models is the surface area of the reservoirs.

Regular receiving of information about this parameter with the use of ground data is challenging and labor intensive. Using satellite data can greatly simplify this task and accomplish it with shorter latent periods, more frequently and at lower costs. The results of satellite monitoring of certain areas of California shown to assess the impact of the drought in 2011–2015 on the large freshwater bodies, based on high resolution satellite images.

To quantify the effects of drought in 2011–2015 on selected large freshwater bodies (Lake Folsom and Lake Oroville) processing of multispectral images was performed.

Changes of Lake Oroville in 2011–2015 according to high resolution satellite images was detected. The shift of the coastline near Foreman Creek amounted to 2.5 km. The shift of the coastline near Lampkin Road amounted to over 1.2 km.

Changes of Lake Folsom in 2011–2015 according to the high resolution satellite images was detected. The shift of the coastline near the Beal's Point made 1.2 km. The shift of the coastline near Peninsula Campground made over 3.4 km.

Large-scale consequences of drought shown for lakes Oroville and Folsom are also typical for other fresh water bodies of California, the majority of which have the status of water reservoirs, and also for water bodies of other US states. For instance, Lake Mead covering 90 % of water

 Tel.: +38095-499-76-55. E-mail: m-d-k@i.ua

DOI: 10.15421/031608

ISSN 1726-1112. Ecology and noospherology. 2016. Vol. 27, no. 1–2

89

requirements of Las Vegas has the water level by 145 feet below normal. It is expected that this level will go down by another 20 feet by June, 2015. This is not only about water, but also about electricity supply – dams of hydropower plants are almost dry. Therefore, in the recent years an acute necessity has appeared for creation of a web-service for regular space monitoring of fresh water bodies – now this has become possible owing to availability of satellite images and modern technologies of their processing. The users of such a service may be:

- state regulating structures (water supplying enterprises, forest, environment, agricultural services and so on);
- state and private companies of water transport (unbiased evaluation of the consequences of the drought for fresh water navigation);
- tourist companies (monitoring of recreational territories);
- municipal services, private companies, farmers (carrying out measures for minimizing water consumption);
- TV and radio companies and other mass media (propaganda of rational water use);
- population living near territories affected by the drought (obtaining of unbiased and reliable information as for the scale and severity of the consequences of the drought).

Keywords: *monitoring of the drought, satellite picture, supervised classification, coast line offsets.*

УДК 004.9

Д. К. Мозговий

канд. техн. наук

*Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара,
пр. Гагаріна, 72, м. Дніпропетровськ, Україна, 49010,
тел.: + 38095-499-76-55, e-mail: m-d-k@i.ua*

МОНІТОРИНГ НАСЛІДКІВ ПОСУХИ ПО СПУТНИКОВИМ ЗНІМКАМ ВИСОКОГО ПРОСТОРОВОГО РОЗРІЗНЕННЯ

Анотація. Виконано аналіз супутникових знімків високого просторового розрізнення з метою оцінки впливу посухи 2011–2015 рр. на великі прісноводні водойми штату Каліфорнія, США. Виявлено істотні зсуви берегової лінії озер Оровіль і Фолсом.

Ключові слова: *моніторинг посухи, супутникові знімки, контрольована класифікація, зсуви берегової лінії.*

УДК 004.9

Д. К. Мозговой

канд. техн. наук

*Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара,
пр. Гагарина, 72, г. Днепропетровск, Украина, 49010,
тел.: + 38095-499-76-55, e-mail: m-d-k@i.ua*

МОНИТОРИНГ ПОСЛЕДСТВИЙ ЗАСУХИ ПО СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ ВИСОКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Аннотация. Выполнен анализ спутниковых снимков высокого пространственного разрешения с целью оценки влияния засухи 2011–2015 гг. на крупные пресноводные водоемы штата Калифорния, США. Выявлены существенные смещения береговой линии озер Оровиль и Фолсом.

Ключевые слова: *мониторинг засухи, спутниковые снимки, контролируемая классификация, смещения береговой линии.*

ВВЕДЕНИЕ

По данным ООН, рост потребления пресной воды, вызванный увеличением численности населения и последствиями изменений климата, ведет к растущей нехватке водных ресурсов. За последние 40 лет количество пресной воды на каждого

человека в мире уменьшилось на 60 %. В течение последующих 25 лет предполагается дальнейшее уменьшение еще в 2 раза. Вместе с этим резко увеличился расход воды населением на бытовые нужды, особенно в развитых странах, в частности, в США. При ежегодной потребности на выращивание пищи на каждого человека в год, равной 400 000 литров, в США используется 1 700 000 литров. При минимальной потребности в воде для бытовых нужд (в том числе в питьевой воде) 50 литров в день, в США потребляется воды в 8 раз больше, т. е. 400 литров в день. В США запасы воды, накопленные еще со времени ледникового периода, выкачиваются со скоростью, на 25 % большей, чем скорость их возобновления. В некоторых районах превышение расхода над восстановлением достигает 160 %. Как и почва, грунтовые воды восстанавливаются очень медленно – примерно 1 % в год.

Штат Калифорния является в США одним из наиболее малообеспеченных пресной водой при высоком водопотреблении – засуха в этом штате достигла катастрофических масштабов. Январь 2015 г. стал самым засушливым месяцем в Калифорнии за все время наблюдений с 1895 года. От централизованного снабжения водой зависят две трети населения штата – это около 25 млн. человек и более 400 тыс. гектаров сельскохозяйственных земель. Рекордно низкими стали уровень грунтовых вод и высота снежного покрова – это можно объяснить выкачиванием подземных вод для ирригации сельскохозяйственных угодий. Уровень воды в водохранилищах Калифорнии приблизился к критически низкой отметке. Власти штата вынуждены ужесточать меры по экономии воды, которой не хватает порой на первоочередные нужды граждан.

Решение проблемы рационального использования и охраны водных ресурсов возможно только на основе комплексного системного подхода к изучению пространственно-временных закономерностей влияния природных и антропогенных факторов на качество и объем поверхностных вод с использованием спутниковых и наземных данных. При изучении водного режима суши одним из важных входных параметров гидрологических моделей является площадь поверхности водоемов. Регулярное получение информации о данном параметре по наземным данным является сложной задачей и требует большого объема работ. Использование спутниковых данных позволяет существенно упростить эту задачу и выполнять ее с большей оперативностью и периодичностью при меньших затратах (Mozgovoy, Voloshin, 2006, 2007; Mozgovoy et al., 2007).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для количественной оценки последствий засухи 2013–2015 гг. в Калифорнии были выбраны крупные пресноводные водоемы – озеро Оровиль и озеро Фолсом. Источниками информации о состоянии данных водоемов за указанный период были многоспектральные спутниковые снимки высокого пространственного разрешения (0,5 м), доступные в сети Интернет.

Для определения динамики изменения площади водной поверхности озер Оровиль и Фолсом был выполнен поиск и последующая обработка снимков, которая включала следующие этапы (Dolinets, Mozgovoy, 2007; Mozgovoy, 2012):

- предварительные операции (выбор области интереса, поиск снимка по дате);
- создание обучающей выборки;
- контролируруемую классификацию;
- клапирование и просеивание классов;
- морфологическую фильтрацию бинарного изображения;
- векторизацию бинарного изображения и расчет площади водной поверхности;
- визуализацию изменений на цифровой карте, экспорт векторного слоя в kml-файл.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На рис. 1 показаны изменения озера Оровиль в районе Форман-Крик за 2011–2015 гг. по спутниковым данным высокого разрешения. Смещение береговой линии составило 2,5 км.



Рис. 1. Изменения озера Оровиль в районе Форман-Крик за 2011–2015 гг.

На рис. 2 показаны изменения озера Оровиль в районе Лампкин-роуд за 2011–2015 гг. по спутниковым данным высокого разрешения. Смещение береговой линии составило более 1,2 км.

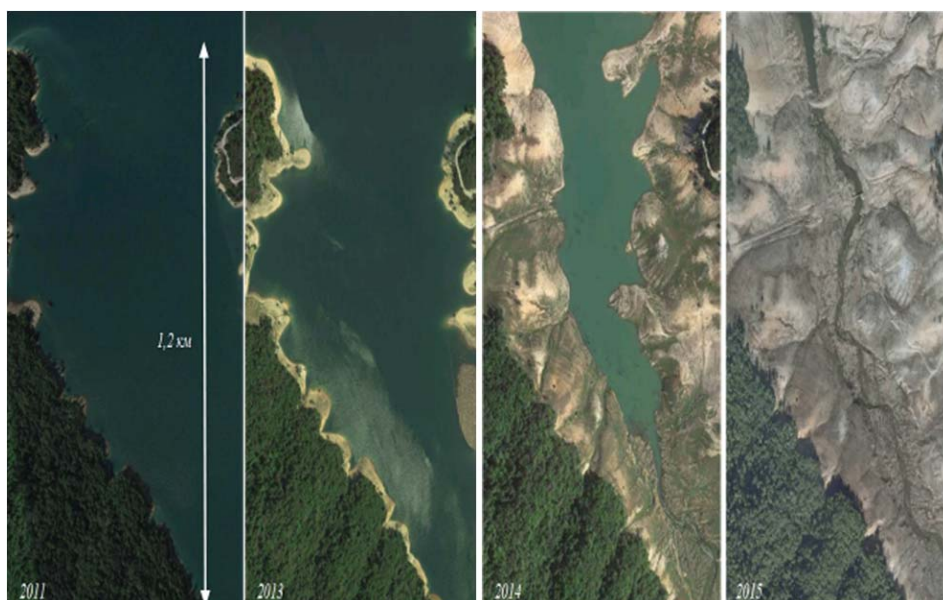


Рис. 2. Изменения озера Оровиль в районе Лампкин-роуд за 2011–2015 гг.

Приведенные выше катастрофические последствия многолетней засухи наблюдались практически на всем участке береговой линии озера Оровиль.

На рис. 3 показаны изменения озера Фолсом в районе Билс-поинт за 2011–2015 гг. по спутниковым данным высокого разрешения. Смещение береговой линии составило 1,2 км.

На рис. 4 показаны изменения озера Фолсом в районе Peninsula Campground за 2011–2015 гг. по спутниковым данным высокого разрешения. Смещение береговой линии составило более 3,4 км.



Рис. 3. Изменения озера Фолсом в районе Билс-поинт за 2011–2015 гг.

ВЫВОДЫ

Масштабные последствия засухи, показанные на примере озер Оровиль и Фолсом, характерны и для других крупных пресноводных водоемов Калифорнии, большая часть из которых имеет статус водохранилищ, а также для водоемов в других штатах США.

Например, озеро Мид, обеспечивающее водой Лас Вегас на 90 %, содержит на 145 футов воды меньше, чем обычно. Речь идет не только о воде, но и об обеспечении электричеством – плотины ГЭС почти пересохли. Поэтому в последние годы

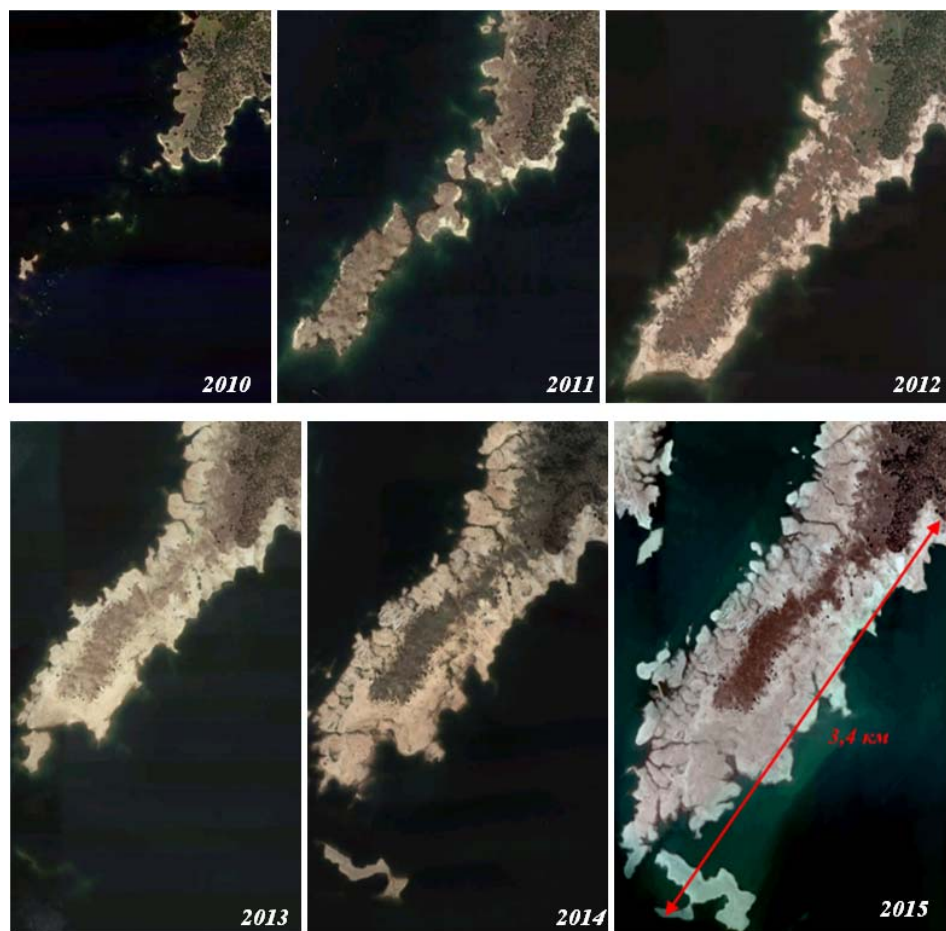


Рис. 4. Изменения озера Фолсом в районе Peninsula Campground за 2011–2015 гг.

возникла острая необходимость создания веб-службы регулярного космического мониторинга пресноводных водоемов. Сейчас это стало возможным благодаря доступности спутниковых снимков и современным технологиям их обработки (Mozgovoy, 2015; Skoroden, Mozgovoy, 2016). Пользователями такой службы могут являться (Mozgovoy et al., 2016; Mozgovoy, Vasilyev, 2016):

- государственные контролирующие структуры (водоснабжающие предприятия, лесная, экологическая, аграрная служба и т.п.);
- государственные и частные компании водного транспорта (объективная оценка последствий засухи на судоходство);
- туристические компании (мониторинг территорий массового отдыха);
- муниципальные службы, частные компании, фермеры (проведение мероприятий по минимизации водопотребления);
- телерадиокомпании и др. средства массовой информации (пропаганда рационального водопользования);
- население, проживающее вблизи территорий, пострадавших от засухи (получение объективной и достоверной информации относительно масштабов и тяжести последствий засухи).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

- | | |
|---|--|
| Dolinets, Y., Mozgovoy, D., 2007. Specialists training in ERS. Advanced Space | Technologies For The Humankind Prosperity. International Conference. |
|---|--|

- Dnepropetrovsk, Yuzhnoe State Design Office.
- Mozgovoy, D. K., 2006. Molodezhnyy kosmicheskyy eksperiment po giperspektralnoy syemke [Youth space experiment on hyperspectral survey]. XV naukovotekhnichna konferentsiya «Naukovi problemi rozrobki, modernizatsii ta zastosuvannya informatsiynovimiryuvalnikh sistem kosmichnogo i nazemnogo bazuvannya». Zhitomir (in Russian).
- Mozgovoy, D. K., 2007. Ispolzovaniye dannykh nablyudeniya Zemli dlya monitoringa prirodnnykh resursov [The use of Earth observation data for monitoring of natural resources]. Naukovi chitannya «Kosmichni tekhnologii na korist stiykogo rozvitku i bezpeki suspilstva». Dnipropetrovsk (in Russian).
- Mozgovoy, D. K., 2012. Pidvishchennya informativnosti sputnikovoi z'yomki malorozmirmikh ob'ektiv zemnoi poverkhni [Increase of informative surveys of small satellite Earth surface objects]. Programa naukovoi konferentsii za pidsumkami naukovo-doslidnoi roboti universitetu za 2012 rik. Dnipropetrovsk (in Ukrainian).
- Mozgovoy, D. K., 2015. Obrabotka sputnikovyykh snimkov pri reshenii prikladnykh zadach [Processing of satellite imagery in addressing applications]. Mezhdunarodnyy nauchno-prakticheskyy forum «Nauka i biznes». Dnepropetrovsk, 191–194 (in Russian).
- Mozgovoy, D. K., 2015. Sputnikovyy monitoring lesnykh pozharov i zasukhi [Satellite monitoring of forest fires and droughts]. Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Peredovyie metody obrabotki i analiza kosmicheskoy informatsii». Dnepropetrovsk, 48–53 (in Russian).
- Mozgovoy, D. K., Parshina, O. I., Voloshin, V. I., Bushuev, Y. I., 2007. Remote Sensing and GIS Application for Environmental Monitoring and Accidents Control in Ukraine. Geographic Uncertainty in Environmental Security. Dordrecht, Springer, NATO Public Diplomacy Division, 259–270.
- Mozgovoy, D. K., Vasilyev, V. V., 2016. Kontrol prirodnnykh i antropogennykh protsessov s pomoshchyu veb-servisa Landsat viewer [Control of natural and anthropogenic processes via web service Landsat viewer]. Mezhdunarodnyy nauchno-prakticheskyy forum «Nauka i biznes». Dnepropetrovsk, 62–67 (in Russian).
- Mozgovoy, D. K., Vasilyev, V. V., Chemenko, M. V., 2016. Geoinformatsionnyye veb-servisy EOS DA [GIS Web services EOS DA]. Mezhdunarodnyy nauchno-prakticheskyy forum «Nauka i biznes». Dnepropetrovsk, 54–61 (in Russian).
- Mozgovoy, D. K., Voloshin, V. I., 2006. Metodika syemki beregovykh liniy [Coastlines shooting technique]. Sbornik tezisov. Shestaya Ukrainskaya konferentsiya po kosmicheskim issledovaniyam. Krym (in Russian).
- Mozgovoy, D. K., Voloshin, V. I., 2007. Tekhnologiya syemki pribrezhnykh zon [Coastal survey technology]. Sovremennyye problemy ratsionalnogo prirodopolzovaniya v pribrezhnykh morskikh akvatoriyakh Ukrainy. Tezisy dokladov Mezhdunarodnoy konferentsii molodykh uchenykh. Sevastopol, pp. 21–22 (in Russian).
- Skoroden, Ya. A., Mozgovoy, D. K., 2016. Analiz masshtabov navodneniy po dannym DZZ [Analysis of flood alleviation on remote sensing data]. TXVIII Mizhnarodna molodizhna naukovopraktichna konferentsiya «Lyudina i Kosmos». Dnepropetrovsk (in Russian).

Стаття надійшла в редакцію: 17.05.2016
Рекомендує до друку: канд. техн. наук В. В. Хуторний

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. Shrift – Times New Roman 12 points, indention – 0,8 cm.

When setting the type it is necessary to distinguish between hyphen and dash and to use double angle brackets.

It is obligatory to set a space between initials and a surname. Text materials should be made in the text editor MS Word 2003, 2007, as a document Word (*.doc).

Mathematical formulae and equations should be made in equation editor Microsoft Equation, chemical – in the editor ISIS Draw.

3. Use the units of International Measurement System.

4. The structure of the article:

- UDC index in the upper left corner of the page;
- initials and surnames of all authors (preferably not more than 4 persons), indicating the scientific degree and the academic status of each author;
- the full name and the address of the organization in which the research was conducted (in Ukrainian, Russian and English), e-mail address, telephone number for hot link with the author;
- the title of the article in Ukrainian, Russian and English, which briefly informs about the substance of it and content 13 words at the most;
- the annotation is expanded in English (600–700 words), it should contain the information about the aim, methods, data, scientific novelty, practical importance, key words (6–8 words); the annotation is reduced in Ukrainian and Russian, where the results, main conclusions and key words (6–8 words) are given;
- the body text of the article should content the following parts: Introduction; Data and methods of the research; Results and their discussion; Conclusions; References.

Tables should be numerated according to their mentioning in the text. Give a brief title at the top of each table. Statistical and other detailed information is given as a note below. Table data should be made in the table editor MS Word 2003, 2007.

Number illustrations according to their discussion in the text. Point at the foot of the illustration its title. The illustrations in the article should have the separate electronic copy. Diagrams and graphic charts should be made in Microsoft Excel, Statistica program packages, schemes – in Visio program package. Save them in the format of these programs as separate files (e.g., petrov_ris1).

The best file formats for scanning the images are TIFF, JPEG, EMF. All elements of text in the images (graphic charts, diagrams, schemes) if it is possible should have a font Times New Roman or Times New Roman Cyr (in a particular instance Courier). Keep each image in a separate object. The images after scanning when printing should be clear, as well as original one.

- gratitude as appropriate is given in the end of the article before the list of references;
- list of used literature. References to the literature should be given in the semicircular brackets with the name of quoted author (or the title of the source if there are more than three authors) and the publication date. In the list of references every Ukrainian-language and Russian-language source should be given through the transliteration in English letters indicating the English translation in square brackets, as well as in semicircular brackets – the original source of language;
- who (from editorial board) recommends the article for publication.

5. Separately the electronic data about the authors which content the information about the surname, name and middle name in full, academic degree, academic rank, workplace (full and

6. Working at the revision an author should take into account all the notes, retype and send all the materials to the address of the colleague of editors up to the date, noted by an editor. Articles that come after the revision later than in 3 months will be considered as new ones.

Sent materials are not returned back. The editorial board preserves a right to correct and abridge the text or send the script back for revision in the case of nonobservance of the above rules.

Authors take the responsibility for the content of the materials.

ДО УВАГИ АВТОРІВ !

При оформленні статті до надсилання в редакцію просимо дотримуватися таких правил:

1. Надіслати на адресу редакційної колегії два роздрукованих екземпляри статті, на електронну адресу – електронну версію.

Стаття має бути ретельно перевірена, підписана всіма авторами і супроводжуватися письмовою рекомендацією, підписаною доктором наук відповідного профілю та експертним висновком про можливість відкритої публікації поданої статті.

Обсяг статті – не більше 10 сторінок машинопису (одна сторінка у форматі журналу містить до 4500 знаків, включаючи пропуски).

Обсяг ілюстрацій і таблиць не повинен перевищувати 30 % обсягу статті.

2. Усі текстові матеріали роздрукувати через 1,5 інтервала, залишаючи з кожного краю сторінки відступи 2 см, шрифт – Times New Roman 12 пунктів, абзацний відступ – 0,8 см. При наборі статті необхідно розрізняти дефіс і тире, а також застосовувати поліграфічні «ялинки». Між ініціалами та прізвищем обов'язково залишати пропуск. Текстові матеріали підготувати в редакторі MS Word 2003, 2007 як документ Word (*.doc). Математичні формули і рівняння готуйте в редакторі рівнянь Microsoft Equation, а хімічні – у редакторі ISIS Draw.

3. Використовуйте одиниці Міжнародної системи вимірювань.

4. Структура статті:

- індекс УДК у верхньому лівому куті сторінки;
- ініціали та прізвища усіх авторів (бажано не більше 4 особи), із зазначенням вченого ступеня та звання кожного автора;
- повна назва і адреса організації, у якій виконувалися дослідження, подати українською, російською та англійською мовами, а також указати *e-mail*, телефон для оперативного зв'язку з автором;
- назва статті українською, російською та англійською мовами, яка повинна коротко інформувати про її зміст і містити не більше 13 слів;
- анотація: розширена – англійською мовою (600–700 слів), повинна містити інформацію про мету, методику, результати, наукову новизну, практичну значимість, ключові слова (6–8 слів); скорочені – українською та російською мовами, в яких коротко описують результати, 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 Суг (в окремих випадках Courier). Кожне зображення зберігайте в окремому об'єкті. Зображення після сканування при роздрукуванні повинно бути чітким, не гіршим за чіткість основного тексту.

- подяки при необхідності подаються наприкінці статті перед списком використаної літератури;

- список використаної літератури. Посилання на літературні джерела слід подавати в напівкруглих дужках із зазначенням прізвища цитованого автора (або назви джерела, якщо авторів більш ніж три) та року видання. У списку використаних джерел кожне україномовне чи російськомовне джерело слід подавати транслітерацією англійськими літерами із зазначенням у квадратних дужках перекладу англійською мовою, а також у напівкруглих дужках – оригінальну мову джерела;

- ким з членів редакційної колегії рекомендовано статтю до публікації.

5. Окремо подаються відомості про авторів в електронному вигляді, які містять інформацію про прізвище, ім'я та по батькові повністю, науковий ступінь, вчене звання, місце роботи (повна та скорочена назва організації), посада, місто, країна, контактні телефони та електронна пошта) українською, російською та англійською мовами.

6. При поверненні статті на доопрацювання автор зобов'язаний урахувати всі зауваження редактора і надіслати виправлені та передруковані матеріали на адресу редакційної колегії в указаний термін. Статті, повернуті після доопрацювання пізніше ніж через 3 місяці, розглядаються як нові надходження.

Подані матеріали не повертаються. Редакція зберігає за собою право виправляти та скорочувати текст, а також повертати рукопис на доопрацювання у разі недотримання наведених вище правил.

Відповідальність за зміст поданих матеріалів несуть автори.

Науковий журнал

ЕКОЛОГІЯ ТА НООСФЕРОЛОГІЯ
2016. Т. 27, № 1–2

Українською, російською та англійською мовами

Засновники:

ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ім. О. ГОНЧАРА,
ТОВ «АГЕНТСТВО «ТЕЛЕПРЕСІНФОРМ»

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 21139-10939 ПР від 19.01.15 р.

Літературне редагування та коректура – А. О. Черненко
Художньо-технічне оформлення та комп'ютерна верстка – В. А. Горбань

Підписано до друку 14.06.2016 р. Формат 70×108 1/16. Папір офсетний.
Друк плоский. Гарнітура Times New Roman. Умовн. друк. арк. 28.
Замовлення № . Тираж 200 прим.
