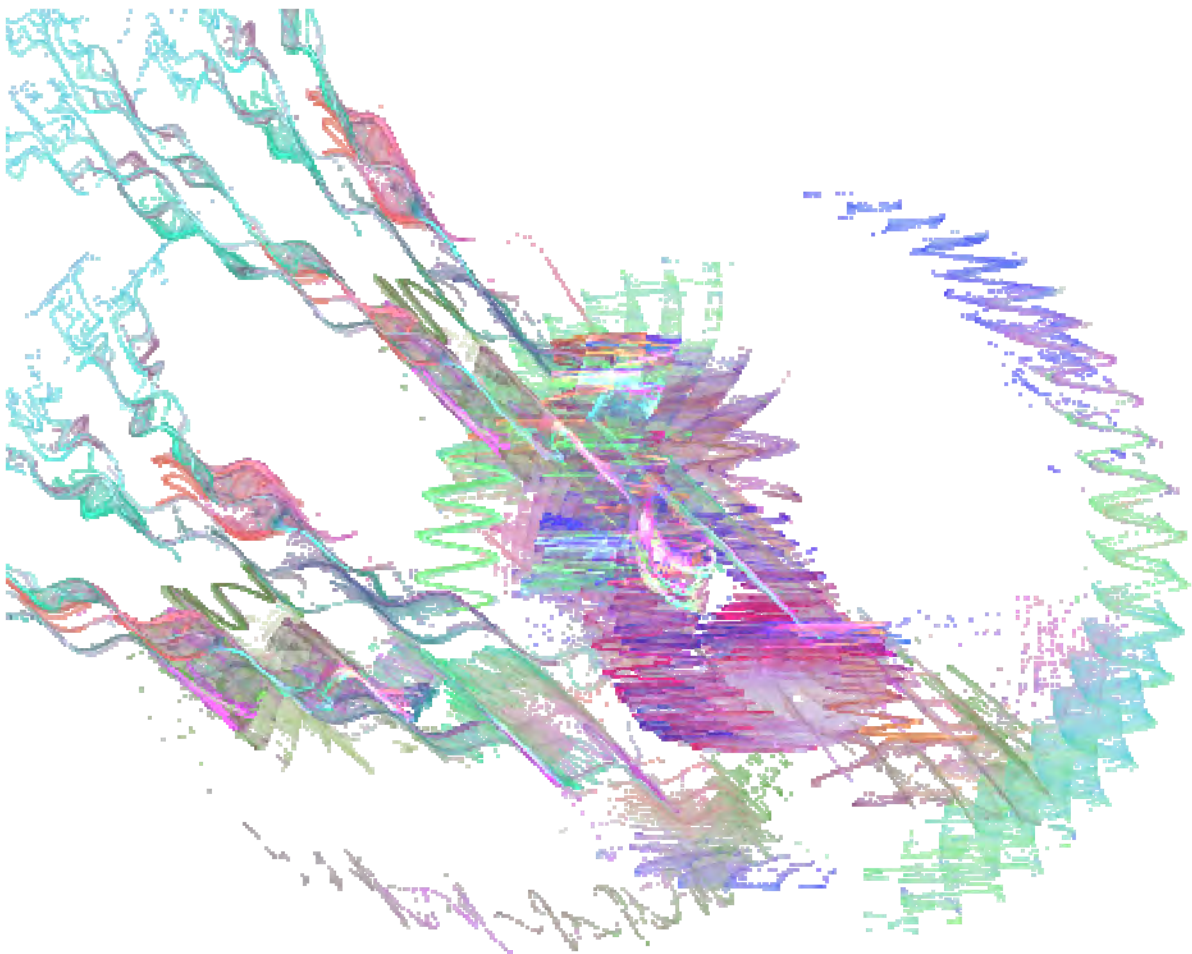


ISSN 1726-1112 (Print)
ISSN 2310-4309 (Online)

ECOLOGY AND NOOSPHEROLOGY

Volume 29(2)





ECOLOGY AND NOOSPHEROLOGY

ISSN 1726-1112 (Print)
ISSN 2310-4309 (Online)

Aims and scope. The journal «Ecology and Noospherology» publishes peer-reviewed original research articles and reviews on topical problems of ecology and noospherology. This journal is devoted to fundamental and applied environmental research, consolidation of intellectual and scientific potential for the development of ecology, environmental protection, preservation of human health and life. Articles will be published in which materials contribute to the development of such fundamental and applied areas as ecology, botany, zoology, soil science, microbiology, hydrology, climatology and other areas of modern natural science.

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief:

Prof., D. Sc., *V. M. Zverkovsky*, Department of Geobotany, Soil Science and Ecology, Oles Honchar Dnipro National University, Ukraine.

Deputy Editors:

Prof., Ph. D., *J. M. Recio Espejo*, Department of Botany, Ecology and Physiology of Plants, University of Cordoba, Spain;

Prof., Ph. D., *J. G. Ray*, School of Biosciences, Mahatma Gandhi University, India;

Prof., D. Sc., *V. G. Radchenko*, Institute for Evolutionary Ecology of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine;

Prof., D. Sc., *V. I. Parpan*, Ukrainian Research Institute of Mountain Forestry, Ukraine.

Executive Editor:

As. Prof., Ph. D., *V. A. Gorban*, Department of Geobotany, Soil Science and Ecology, Oles Honchar Dnipro National University, Ukraine.

Editorial Board:

Prof., Ph. D., *P. C. Abhilash*, Institute of Environment & Sustainable Development, Banaras Hindu University, India;

Prof., Ph. D., *C. B. Barrera*, Department of Physical Geography and Regional Geographic Analysis, Seville University, Spain;

Prof., D. Sc., *N. A. Bilova*, Department of Commodity Science and Trade Enterprise, University of Customs and Finance, Ukraine;

Prof., D. Sc., *A. V. Bogovin*, Forage Production and Grass Farming Department, NSC «Institute of Agriculture, NAAS», Ukraine;

Prof., D. Sc., *N. K. Chertko*, Department of Soil Science and Land Information Systems, Belarusian State University, Belarus;

Prof., D. Sc., *Ya. P. Didukh*, Department of Geobotany and Ecology, M. G. Kholodny Institute of Botany of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine;

Prof., D. Sc., *I. G. Emelyanov*, National Museum of Natural History at the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine;

Prof., D. Sc., *I. Yu. Kostikov*, Department of Botany, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine;

Prof., D. Sc., *S. S. Kostyshyn*, Department of Ecology and Biomonitoring, Uryi Fedkovych Chernivtsi National University, Ukraine;

Prof., D. Sc., *M. P. Kozlovskyy*, Institute of Ecology of the Carpathians of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine

Prof., D. Sc., *I. A. Maltseva*, Bogdan Khmelnytsky Melitopol State Pedagogical University, Ukraine;

Prof., D. Sc., *S. L. Mosyakin*, M. G. Kholodny Institute of Botany of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine;

Prof., D. Sc., *M. V. Netsvetov*, Phytocology Department, Institute for Evolutionary Ecology of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine;

Prof., D. Sc., *V. V. Nykyforov*, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Ukraine;

As. Prof., Ph. D., *V. A. Nikorych*, Department of Agrotechnology and Soil Science, Uryi Fedkovych Chernivtsi National University, Ukraine;

Prof., Ph. D., *F. D. del Olmo*, Department of Physical Geography and Regional Geographic Analysis, Seville University, Spain;

Prof., D. Sc., *V. D. Romanenko*, Institute of Hydrobiology of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine;

Prof., D. Sc., *S. S. Rudenko*, Department of Ecology and Biomonitoring, Uryi Fedkovych Chernivtsi National University, Ukraine;

Prof., D. Sc., *V. V. Schwartau*, Department of Plant Nutrition Physiology, Institute of Plant Physiology and Genetics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine;

Prof., D. Sc., *Y. V. Tsaryk*, Department of Zoology, Ivan Franko Lviv National University, Ukraine;

Prof., D. Sc., *N. M. Tsvetkova*, Department of Geobotany, Soil Science and Ecology, Oles Honchar Dnipro National University, Ukraine;

Prof., D. Sc., *I. Kh. Uzbek*, Department of General Husbandry and Agriculture, Dnipro State Agrarian and Economic University, Ukraine.

Literary Editors: *V. N. Plastun*. **Cover Design:** *A. O. Huslysty*. **Text Layout:** *V. A. Gorban*.

Publication information. Ecology and Noospherology, ISSN 1726-1112 (Print), ISSN 2310-4309 (Online). The subscription price is available on request on the journal's website (www.en.dp.ua). Subscriptions are accepted only on a prepaid basis and refer to a calendar year. Journal issues are sent by standard mail. Current rates are available upon request. Requirements for non-receipt of the journal should be presented within six months from the date of sending.

Approved by the Scientific Council of Oles Honchar Dnipro National University, Gagarin Ave., 72, Dnipro, 49010, Ukraine



Peculiarities of introduction of *Araliaceae* Juss. in botanical gardens (Kyiv, Ukraine)

A. P. Morozko*, O. Y. Leshchenko*, O. V. Kolesnichenko*, Y. V. Lykholat**, M. Zemnianska***,
D. I. Bidolakh****, O. N. Tsarenko*****

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

***Wroclaw University of Environmental and Life Sciences, Wroclaw, Poland

****Separated Subdivision of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

«Berezhany Agrotechnical Institute», Berezhany, Ukraine

*****M. G. Kholodny Institute of Botany of National Academy of Science of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Article info

Received 12.10.2018

Received in revised form
20.10.2018

Accepted 26.10.2018

National University of Life and
Environmental Sciences of
Ukraine, Rodimtsev General st., 19,
Kyiv, 03041, Ukraine.
Tel.: (044) 527-85-47
E-mail:
anasteziya.morozko@gmail.com

Oles Honchar Dnipro National
University, Gagarin Ave., 72,
Dnipro, 49010, Ukraine.

Wroclaw University of
Environmental and Life
Sciences, C. K. Norwida st., 25,
Wroclaw, 50-375, Poland.

Separated Subdivision of
National University of Life and
Environmental Sciences of
Ukraine «Berezhany
Agrotechnical Institute»,
Academic st., 20, Berezhany,
47501, Ukraine.

M.G. Kholodny Institute of
Botany, NAS of Ukraine, 2,
Tereshchenkivska St., Kyiv,
01004, Ukraine.

Morozko, A. P., Leshchenko, O. Y., Kolesnichenko, O. V., Lykholat, Y. V., Zemnianska, M., Bidolakh, D. I., & Tsarenko, O. N. (2018). Peculiarities of introduction of *Araliaceae* Juss. in botanical gardens (Kyiv, Ukraine). *Ecology and Noospherology*, 29(2), 63–70. doi:10.15421/031811

The results of physiological, morphological, anatomical peculiarities of introduced plants of *Araliaceae* Juss. have been given. Study of seasonal growth and development peculiarities of *Araliaceae* Juss. showed that most of these plants were introduced successfully but the process was complicated by climatic conditions of the area in city Kiev. According to a comprehensive assessment a large number of studied species were highly evaluated for decorative effect. Introduced species of family *Araliaceae* Juss. are characterized by high-level adaptation to local soil and climatic conditions in Botanical gardens of Kiev. The vast majority of them bloom but not all can form seeds. Thus, among the introduced plants only five representatives of genus *Acanthopanax* – *Acanthopanax lasiogyne*, *Acanthopanax divaricatus*, *Acanthopanax sieboldianus*, *Acanthopanax trifoliatum* and *Acanthopanax wardii* have high level of adaptation. To determine the prospect of cultivating research species we assessed the degree of winter resistance by the 5-point M. K. Vechova scale on the basis of visual observations in conditions of the open ground. The level of adaptation of plants was evaluated in the city Kyiv using the estimation scale measured in points and in percentages. Results of researches showed that the species have a high resistance to the effects of adverse factors. All types of this family are promising for introduction into culture and can be widely used in various branches of the national economy. A comprehensive assessment of the decorative effect of ornamental plant species was carried out by the O. G. Horoshyh and O. V. Horoshyh scales, according to which the decorative effect of the vast majority of studied species was highly appreciated. The results of our study shows that the introduced species of *Araliaceae* Juss. have a good prospect for further their use in ornamental gardening, urban greening and landscape design in private territories of citizens.

Keywords: adaptive index; adaptation success; decorative effect; reproductive ability; winter resistance

Introduction

Recently technogenic impact and climate change affect the state of living organisms: plants (Lykholat & Hryhoryuk, 2005; Khromykh et al., 2018; Prisedsky et al., 2017), animals and people (Peregrym et al., 2014). In these conditions, introduction of introduced species into landscaping enhances the range of local spectrum of species having transformative environment properties (Alexeyeva et al., 2016).

In Ukraine, as well as throughout the world centers of plant protection and introduction are botanical gardens

constantly increasing their diversity (Afanasyeva et al., 1997; Kilpatrick, 2014; Shalimov, 2008). Despite such a positive dynamics in the increased species diversity, it should be noted the introduction of rare plant species, as well as the introduction into the culture of any other group of plants, always occurs with losses associated with different objective and subjective reasons (Fedorov, 1982; Frei et al., 2014; Fujimaki et al., 2012; Heylighen, 2007), which is reflected on their external functional state (Karapetyan, Bukhov, 1986; Vorobyev, 1986; Endress, 2002).

Therefore, during the introduction process for the further effective development of the collection of rare and introduced species of plants, more attention should be paid to the biomorphological, geographic and cenotic analysis of the studied species currently represented in collections of botanical gardens, in order to identify the most promising groups for further active use in landscaping on the basis of their features (Sokolov, 1957; Peregrym et al., 2014; Umair et al., 2017; Zaman et al., 2018; Zhang et al., 2018).

A large number of species originating from the Far East introduced in Ukraine. This is due to the fact that most of them have medicinal traits. The attention to oriental medicine causes by constant interest in the study of characteristics and therapeutic properties of these plants.

From this perspective, representatives of Araliaceae Juss. are of considerable interest (Eyde, Tseng, 1971; Davydov, Krikorian, 2000; Shang, Lowry, 2007), so the purpose of our research was the study of their introduction process in Kyiv' botanical gardens.

Materials and methods

Investigated species grow in collecting plantations within the city of Kyiv. Researched area includes Botanical Gardens of the city – M. M. Gryshko National Botanical Garden of National Academy of Science of Ukraine (M. M. Gryshko NBG), A.V. Fomin Botanical Garden of Kyiv National T. Shevchenko University (A.V. Fomin BG), Botanical Garden of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (BG of NULES) (Fig.1).

The climate of Kiev is moderately continental. The average annual temperature of ground air is 7.3 °C with an age range of 5.1 to 9.7 °C. The average minimum air temperature reaches -3.6 °C and the absolute is 32.2 °C; average maximum +11.6 °C, absolute +39.4 °C. The sum of the average daily air temperatures higher than + 5 °C and equals 3020 °C, above + 10 °C and equals 2695 °C. The meteorological period of vegetation continues averagely 207 days (Fig. 2).

The data of the average monthly temperature was used from the web-site of Central Geophysical Observatory of B. I. Sreznovsky [<http://www.cgo.kiev.ua/>]. The change in the minimum average annual temperature prevails over the maximum.



Fig. 1. Location of Botanical gardens on the territory of Kiev:

- 1 – A. V. Fomin Botanical Garden of Kyiv National T. Shevchenko University;
- 2 – M. M. Gryshko National Botanical Garden of National Academy of Science of Ukraine;
- 3 – Botanical Garden of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

In the changing climate of Kiev, there are trends that suggest that over the past 20 years the average temperature in January and February has increased by almost 2.5 degrees. On a global scale, the number of cold days and nights has decreased and the number of warm days and nights has increased.

Winter period characterizes by alternation of frost with thaws. In average during the winter there are 8–10 thaws lasting from 5 to 30 days. Sometimes they can cause premature vegetation of plants. The duration of growing season is 190–205 days. The average annual amount of precipitation is 550–700 mm, the evaporation does not exceed 400–450 mm.

The average rainfall is 655,3 mm/year with fluctuations ranging from 594.7 to 732.4 mm/year. Considering on difficult complex of terrain and significant general slope of the territory the precipitation for plants is ineffective. In average, there are about 100 days with snow cover in height from 10 to 30 cm (max. 75 cm) in Kiev. During long thaws the snow cover disappears. It should be noted, that in some years there are significant fluctuations in the distribution of precipitation in months and in their total amount for the year.

The main soil-forming material is loess which locates on a depth of 130–170 cm. The mechanical composition is medium loam. The loess is pale yellow in color, loamy, well sorted

Average monthly air temperature in Kiev, separate years

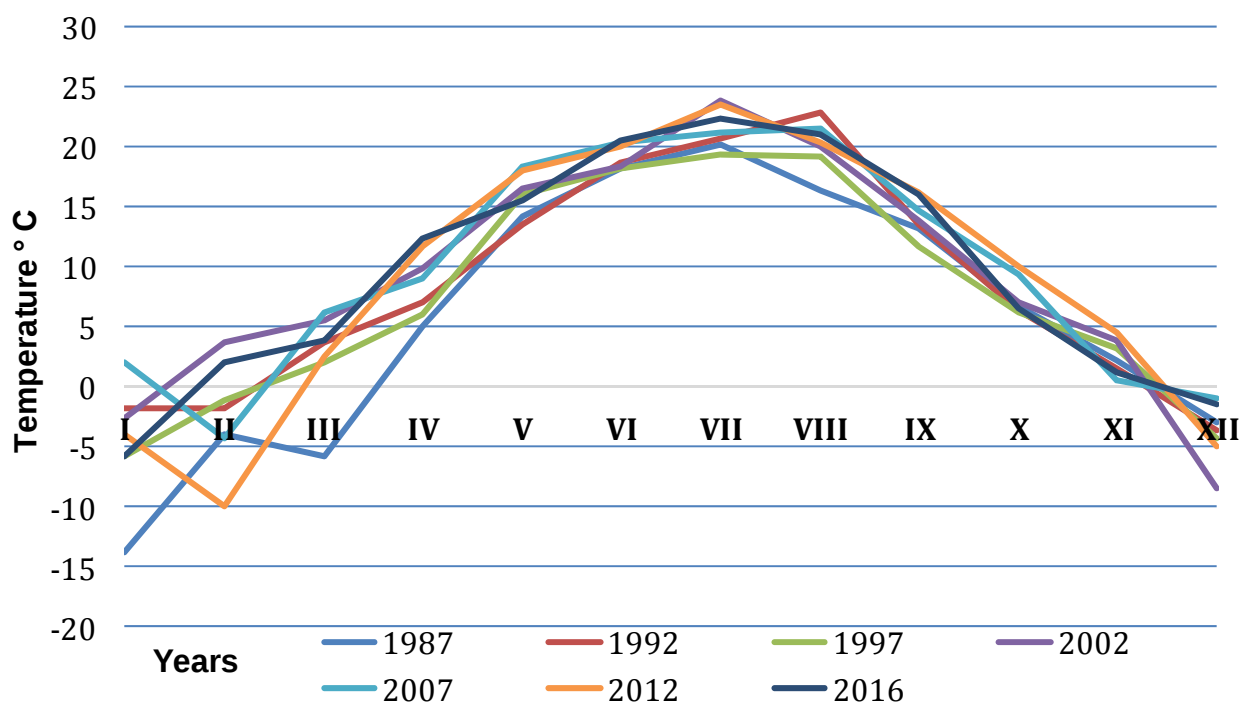


Fig. 1. The climate of Kiev

class of rockiness with developed porosity and lack of lamination. Carbonation is a characteristic feature of loess. Podzolized chernozem was formed on the base of loess.

In the stand of trees dominate such species as European hornbeams (*Carpinus betulus* L.) and English oak (*Quercus robur* L.). Grow such species as English field maple (*Acer comprestre* L.) and Norway maple (*Acer platanoides* L.), small-leaved lime (*Tilia cordata* Mill) and European ash (*Fraxinus excelsior* L.). On the territory of botanical gardens growth old-aged oaks over 200 years old.

In the grass cover in the summer dominant herbaceous plant is *Impatiens parviflora* DC. Among other herbaceous species prevail *Carex capillaris* L., *Aegopodium podagraria* L., *Asarum europaeum* L., *Galeobdolon luteum* Huds., *Stellaria holostea* L., *Viola odorata* L., *Polygonatum multiflorum* (L.) All., *Galium odoratum* (L.) Scop.

In spring there are several types of ephemeroïds – plants that vegetate, bloom and yield only in the spring months and later dry up. They represented by *Anemone ranunculoides* L., *Ficaria verna* L., *Corydalis cava* (L.) Schweigg. & Körte., *C. solida* (L.) Clairv., *C. intermedia* (L.) Merat, *Gagea lutea* (L.) Ker-Gawl. and *G. minima* (L.) Ker Gawl., *Cardamine quinquefolia* (M.Bieb.) Schmalh., *Dentaria bulbifera* L. and *Scilla bifolia* L.

Plant observations were conducted on the territory of Botanical gardens of Kiev from August 2011 to September 2014. The age of trees was determined according to the materials of the last inventory. Height was set by using of the altimeter. Decorative qualities of species were estimated by 5-point scale of O. A. Kalinichenko (Table 1).

Comprehensive evaluation of decorative effect of decorative species of plants was conducted according to the scale of O. G. Horoshyh and O. V. Horoshyh (Kohn, Kurdiuk, 1994) (Table 2).

For determining the prospect of cultivating researched species we assessed the degree of resistance to winter conditions by 5 point scale N. K. Vehov (O. O. Kalinichenko, 1991) on the basis of visual observations in open ground (Table 3).

Table 1

Scale for assessing of decorative effect
(O. O. Kalinichenko, 1991)

Points	Decorative effect	Features
1	Negative	External appearance of plants reduces their overall decorative effect.
2	Zero	Decorative qualities are imperceptible, plants have not expressiveness on the general background of plantings.
3	Inconspicuous	Decorative qualities are noticeable, but indistinct and do not increase the decorative effect of plants.
4	Sufficient	Decorative qualities are distinct, plants how up well on the general background of plantings.
0	High	Decorative qualities give the plants a great attractiveness, causing an observer a great emotional feeling, admiration.

Table 2

Scale for comprehensive assessing of decorative effect

Points	Decorative effect
To 14	Low
15–28	Medium
29–42	High

Scale for assessing decorative attributes for O. G. Good and O. V. Good ones.

Table 3
Scale for assessing of winter-resistance

Points	Visual characteristics
0	complete freezing and destruction of plants
1	terminal leader is completely damaged, but the plant lives and continues to grow from the lateral branches or can renewed from sprouts
2	half of length of the terminal leader is damaged
3	the damage does not cover more than a quarter (1/4) of length of the terminal leader
4	no damage of the terminal leader, a new sprout develops from the apical bud

The degree of drought resistance was determined by the 6-point scale of S. S. Pyatnitskiy (Kolesnichenko et al., 2010) (Table 4).

Table 4
Scale for assessing of drought-resistance

Points	Visual characteristics
0	Plant dies under drought
1	Leaves dropped off and dry off on the shoots
2	More than half of leaves on plant and part of shoots dry off
3	Less than half of the leaves dry off
4	In the afternoon the leaves lose turgor, but after night it is restored
5	Plant does not suffer from drought

Adaptation success researched species was determined by methodology of O. O. Kalinichenko which took into account reproductive capacity, winter and drought tolerance. The level of adaptation was established by score scale in points and percentages (%) (Table 5).

Table 5
Scale for assessing of adaptation success of species (Adaptive index, O.O. Kalinichenko, 1991)

Level of adaptation, points	Adaptive rate amplitude, %
Not adapted (0)	0
Low (I)	1–25
Medium (II)	26–50
Good (III)	51–75
High (IV)	76–100

Results and discussion

Representatives of family *Araliaceae* Juss. are shrubs, trees and vines. They attract attention to flowers during the flowering period, the shape and color of leaves. Assessment of the decorative nature of the studied species, presented in Table 6.

During the visual assessment of the decorative items we took into account the architectonics of the body, wreaths, leaves, flowers and fruits. The results of the assessment of the decorative effect of *Araliaceae* Juss tree species on the basis of visual observations are given in Table 7.

During the observations of *Araliaceae* Juss. representatives in the beginning of vegetation we found damages from frost on branches of some species – *Aralia mandshurica* on the territory of the BG of NULES and on the territory of the O. V. Fomin BG (Fig. 2, 3). At the same time 3 affected shoots were detected in one plant. We can conclude that degree of winter resistance of these species according to the 5-point scale M. K. Vehova is 3 points.

Table 6
Results of assessment of decorative effect of plants *Araliaceae* Juss.

Specie	Points				
	1	2	3	4	5
<i>Acanthopanax lasiogyne</i>				+	
<i>Acanthopanax sessiliflorum</i>					+
<i>Acanthopanax divaricatus</i>					+
<i>Acanthopanax sieboldianus</i>					+
<i>Acanthopanax trifoliatum</i>					+
<i>Acanthopanax wardii</i>					+
<i>Aralia cordata</i>					+
<i>Aralia mandshurica</i>					+
<i>Hedera cjlchica</i>					+
<i>Hedera helix</i>			+		
<i>Eleutherococcus senticosus</i>					+
<i>Kalopanax septemlobus</i>					+

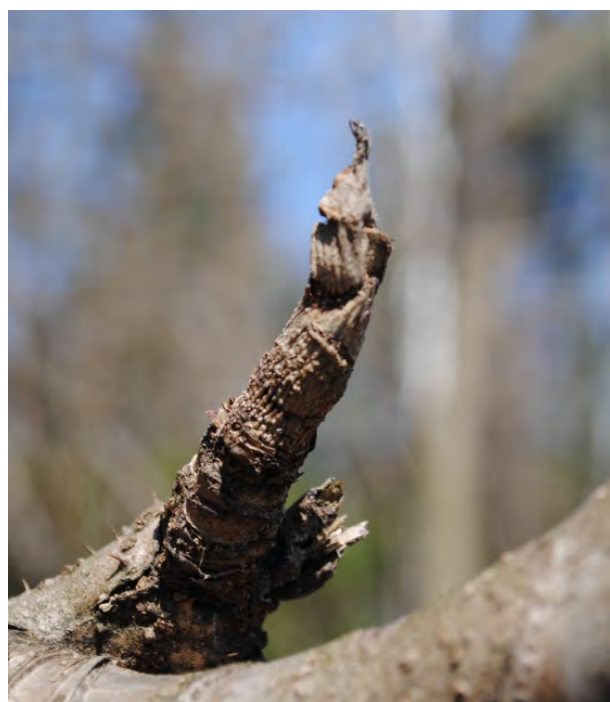


Fig. 2. Freeze-damaged branch of *Aralia mandshurica*

Another case of branch frost-damage was fixed in *Eleutherococcus senticosus* on the territory of the M. M. Gryshko NBG (Fig. 4).

The widest variety of woody species of family *Araliaceae* Juss. presented on the territory of the M. M. Gryshko NBG and A. V. Fomin BG. There are 9 species of plants of investigated family grow in open soil (Table 8).

According to the results of research was fixed the level of adaptation of species *Araliaceae* Juss. under conditions of the National Botanical Garden of the M. M. Gryshko NBG. Consequently, it weren't found representatives of the family *Araliaceae* Juss. which adapted weakly or not adapted at all (adaptive index is not lower than 36 %). Established that characterized by the highest rate of adaptation and ability of reproduction, so this specie of plant under conditions of city Kiev has first place by adaptation index.

The results of the studies indicate that *Aralia mandshurica* and *Eleutherococcus senticosus* more successful adapted under conditions of the BG of NULES compared with other species (80 %). However, plants of *Hedera helix* adapted weakly and the adaptive index is only 20 % (Table 9). In general, this specie is characterized by a low level of adaptation on the territory of Kiev – does not bloom and therefore does not form fruit (not capable to generative reproduction).

Table 7
Results of comprehensive assessment of decorative effect of plants *Araliaceae* Juss.

Specie	Architectonics					Leaves			Flowers				Fruits			Overall decorative effect			
	Crown		Trunk			Form and size	Changing colour	Time to cover the leaves	Colour	Leaves assessment	Form, size, colour	Scent	Time and rescundating of flowering	Flowers assessment	Form and size		Color, abundance, length of staying on plant	Fruits assessment	
	Form	Density	Stipple	Colour of crown	Colour of branches														
<i>Acanthopanax lasiogyne</i>	2	2	2	2	1	8	3	2	2	3	10	2	1	2	5	1	2	3	27
<i>Acanthopanax sessiliflorum</i>	2	2	2	2	2	9	3	1	2	3	9	2	1	2	5	3	2	4	29
<i>Acanthopanax sieboldianus</i>	2	3	2	3	2	11	3	2	2	3	11	2	1	2	5	3	2	4	32
<i>Acanthopanax divaricatus</i>	2	1	2	2	2	8	3	2	2	3	10	2	1	2	5	2	2	4	28
<i>Acanthopanax trifoliatius</i>	2	3	2	2	2	11	3	2	2	3	9	2	1	2	5	2	2	4	30
<i>Acanthopanax wardii</i>	2	3	2	2	2	11	3	2	2	3	9	2	1	2	5	2	2	4	30
<i>Aralia cordata</i>	3	3	3	2	2	13	3	2	3	3	11	1	1	1	3	1	1	2	29
<i>Aralia mandshurica</i>	3	3	3	3	2	14	3	3	3	3	12	1	1	1	3	1	1	2	31
<i>Hedera helix</i>	3	3	2	3	2	13	3	2	3	3	11	–	–	–	–	–	–	–	24
<i>Hedera cjlchica</i>	3	3	2	3	2	13	3	2	3	3	11	1	1	1	3	1	1	3	30
<i>Eleutherococcus senticosus</i>	3	3	3	3	2	14	3	2	3	3	11	2	1	2	5	2	2	4	34
<i>Kalopanax septemlobus</i>	3	3	3	3	3	15	3	2	3	3	11	1	1	1	3	1	1	2	31



Fig. 3. Frost cleft and brunch freezing of *Aralia mandshurica*



Fig. 4. Branch freezing of *Eleutherococcus senticosus*

Table 8
Characteristic of state of tree species of *Araliaceae* Juss. growing on the territory of M.M. Gryshko NBG

Tree specie	Quantity, pcs.	Age, years	Winter-resistance, points	Drought-resistance, points	Reproductive ability, points	Adaptive index, % and points
<i>Acanthopanax lasiogyne</i>	1	60	4	4	5	80, IV
<i>Acanthopanax sessiliflorum</i>	42	63	4	5	3	60, IV
<i>Aralia cordata</i>	30	48	3	4	3	36, II
<i>Eleutherococcus senticosus</i>	17	59	4	5	4	80, III
<i>Kalopanax septemlobus</i>	2	64	4	4	4	64, III
<i>Oplopanax elatus</i>	2	60	3	4	4	48, II
<i>Panax ginseng</i>	5	64	5	3	3	45, II

Table 9Characteristic of state of tree species of *Araliaceae* Juss. growing on the territory of BG of NULES

Specie	Quantity, pcs.	Age, years	Height, m	Winter-resistance, points	Drought-resistance, points	Reproductive ability, points	Adaptive index, % and points
<i>Acanthopanax sessiliflorum</i>	1	34	4,0	4	5	3	60, III
<i>Aralia mandshurica</i>	3	32	3,5	4	5	4	80, IV
<i>Eleutherococcus senticosus</i>	1	34	2.5	4	5	4	80, IV
<i>Kalopanax septemlobus</i>	3	34	18	4	4	4	64, III
<i>Hedera helix</i>	2	10	2	4	5	1	20, I

On the territory of the O. V. Fomin BG the largest variety of representatives are plants of genus *Acanthopanax* that

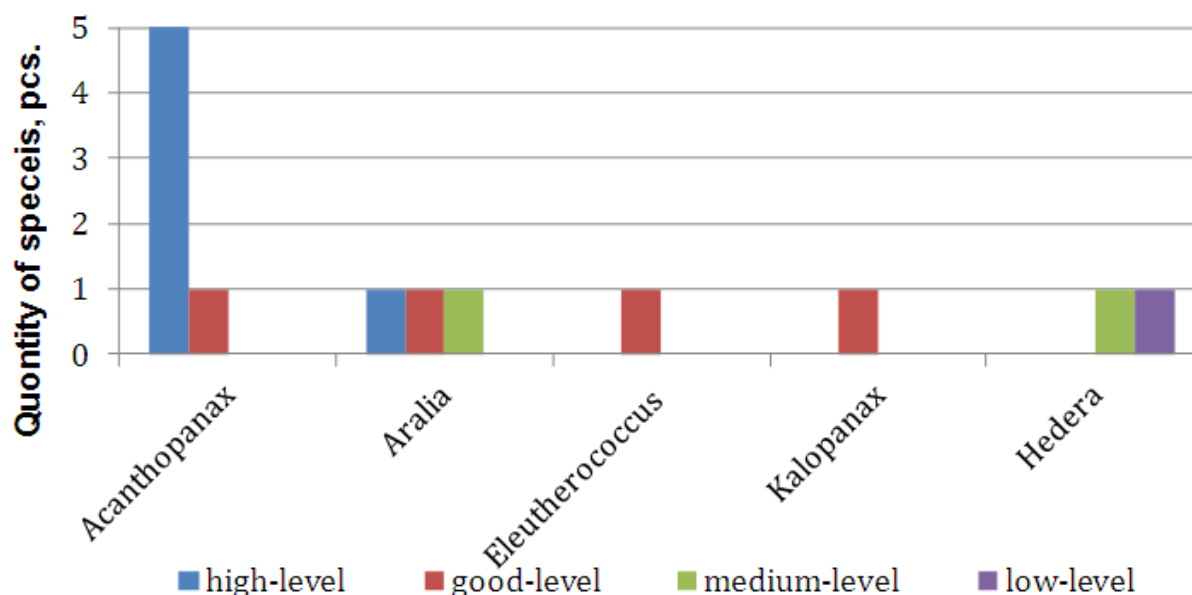
characterized by a high level of adaptation (Table 10). As in the previous cases plants of genus *Hedera* are low-adapted.

Table 10Characteristic of state of tree species of *Araliaceae* Juss. growing on the territory of O. V. Fomin BG

Species	Quantity, pcs	Age, years	Height, m	Winter-resistance, points	Drought-resistance, points	Reproductive ability, points	Adaptive index, % and points
<i>Acanthopanax divaricatus</i>	1	44	1,5	4	5	4	80, IV
<i>Acanthopanax sessiliflorum</i>	1	74	3	4	5	3	60, III
<i>Acanthopanax sieboldianus</i>	1	57	1,4	4	5	4	80, IV
<i>Acanthopanax trifoliatum</i>	2	44	1,6	4	4	4	60, IV
<i>Acanthopanax wardii</i>	1	38	1,8	4	4	4	64, IV
<i>Eleutherococcus senticosus</i>	1	46	2,4	4	5	4	80, IV
<i>Hedera helix</i>	2	42	x	4	5	1	20, I
<i>Hedera cjlchica</i>	1	42	x	4	4	2	32, II

Thus, among the introduced plants only five representatives of genus *Acanthopanax* – *Acanthopanax lasiogyne*, *Acanthopanax divaricatus*, *Acanthopanax sieboldianus*,

Acanthopanax trifoliatum and *Acanthopanax wardii*. have high level of adaptation. From the other species only *Aralia mandshurica* has reached a high level of adaptation (Fig. 5).

**Fig 5.** Comparative assessment of the level of adaptation of species of *Araliaceae* Juss. on the territory of Botanical gardens of Kiev

Conclusions

According to a comprehensive assessment a large number of studied species were highly evaluated for decorative effect. Thus, introduced species *Araliaceae* Juss. have good perspective for further usage in ornamental gardening, landscaping of urban areas and private territories. Introduced

species of family *Araliaceae* Juss. in Botanical gardens of Kiev characterized by high-level adaptation to local soil and climatic conditions. The vast majority of them bloom but not all can form seeds. Results of researches showed that they have a high resistance to the effects of adverse factors. All types of this family are promising for introduction into culture and can be widely used in various branches of the national economy.

References

- Afanasyeva, E. V., Bulah, P. E., Golovko, R. P. (1997). Katalog rasteniy centralnogo botanicheskogo sad im. N. N. Gryshko [Catalog of plants of the Central Botanical Garden of names N. N. Grishko] (in Russian).
- Alexeyeva, A. A., Lykholat, Y. V., Khromykh, N. O., Kovalenko, I. M., & Boroday, E. S. (2016). The impact of pollutants on the antioxidant protection of species of the genus *Tilia* at different developmental stages. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology, ecology*, 24(1), 188–192.
- Davydov, M., Krikorian, A. (2000). *Eleutherococcus senticosus* (Rupr. & Maxim.) Maxim. (Araliaceae) as an adaptogen: a closer look. *J. of Ethnopharmacology*, 72, 345–393.
- Endress, P. K. (2002). Morphology and angiosperm systematics in the molecular era. *Bot. Rev.*, 68, 535–548.
- Eyde, R. H., Tseng, C. C. (1971). What is the primitive flora structure of Araliaceae? *J. Arnold Arbor.*, 52, 205–239.
- Fedorov, A. A. (1982). Zhizn rasteniy. V 6 tomakh [The life of plants. In 6 volumes]. *Tsvetkovye rasteniya*, 120–133 (in Russian).
- Frei, E. R., Ghazoul, J., Matter, P., Heggli, M., Pluess, A. R. (2014). Plant population differentiation and climate change: Responses of grassland species along an elevational gradient. *Global Change Biology*, 20(2), 439–455.
- Fujimaki, Y. (2012). Seeds and fruits eaten by birds. *Forest Protection*, 328, 27–28.
- Heylighen, F. (2007). The Global Superorganism: an evolutionary-cybernetic odel of the emerging network society. *Social Evolution and History*, 6(1), 58–120.
- Kalinichenko, A. A. (1981). Ocenka adaptatsii i celesoobraznosti introdukcii drevesnykh rasteniy [Assessment of the adaptation and feasibility of the introduction of woody plants]. *Bulletin of the main botanical garden*, 108, 3–8 (in Russian).
- Karapetyan, N. V., Bukhov, N. G. (1986). Peremennaya fluorestsentsiya khlorofilla kak pokazatel fiziologicheskogo sostoyaniya rasteniy [Variable chlorophyll fluorescence as an indicator of the physiological state of plants]. *Fiziologiya rasteniy*, 33, 1013–1026 (in Russian).
- Kilpatrick, J. (2014). *Fathers of Botany. The discovery of Chinese plants by European missionaries.* Kew & Chicago, 254.
- Kohno, N. A., Kurdiuk, A. M. (1994). Teoreticheskie osnovy i oput introdukcii drevesnykh rastenii v Ukraine [Theoretical foundations and experience of the introduction of woody plants in Ukraine] (in Russian).
- Kolesnichenko, O. V., Slyusar, S. I., Yacodchuk, O. M. (2010). Katalog derevnykh roslyn botanichnogo sadu NUBiP Ukrainy [Catalog of tree-species of botanical garden NULES Ukraine]. NUBiP Ukrainy, Kyiv (in Ukrainian).
- Khromykh, N., Lykholat, Y., Shupranova, L., Kabar, A., Didur, O., Lykholat, T., Kulbachko, Y. (2018). Interspecific differences of antioxidant ability of introduced *Chaenomeles* species with respect to adaptation to the steppe zone conditions. *Biosystems Diversity*, 26(2), 132–138.
- Lykholat, Yu. V. & Hryhoryuk, I. P. (2005). Vykorystannya dernoutvoryuyuchykh trav dlya diahnostryky rivnya zabrudnennya navkolyshnoho seredovyscha vazhkymy metalamy [Use of turf herb for the diagnosis of environmental pollution by heavy metals]. *Dopovidi Natsionalnoyi akademiyi nauk Ukrayiny*, 8, 196–200 (in Ukrainian).
- Peregrym, M. M., Bezsmertna, O. O., Erysova, A. V. (2014). Vydy «Chervonoyi knyhy Ukrayiny» u kolektsionomu fondi dilyanky «Ridkisi ta znykayuchi roslyny pryrodnoyi flory Ukrayiny» Botanichnogo sadu imeni akad. O. V. Fomina [Species from the Red Data Book of Ukraine in «Rare and endangered plants of the natural flora of Ukraine» collection of the O. V. Fomin Botanical Garden]. *Chornomorsk. bot. j.*, 10(1), 120–126.
- Prisedsky, Y., Kabar, A., Lykholat, Y., Martynova, N., Shupranova, L. (2017). Activity and isoenzyme composition of peroxidase in Japanese quince vegetative organs under steppe zone conditions. *Biologija (Lietuvos mokslo akademija)*, 63(2), 185–192.
- Shalimov, I. V. (2008). Katalog roslyn Zaporizkoho miskoho dytyachoho botanichnogo sadu [Catalog of plants of Zaporizhzhya city children's botanical garden]. *Zaporizhzhya (in Ukrainian)*.
- Shang, C. B., Lowry, P. P. II. (2007). Araliaceae. *Flora of China*, 13, 435–491.
- Sokolov, S. Y. (1957). Introdukcija rasteniy i zelenoe stroitelstvo [Introduction of development and green building], 6(5), 34–42 (in Russian).
- Umair, M., Altaf, M., Abbasi, A. M. (2017). An ethnobotanical survey of indigenous medicinal plants in Hafizabad district, Punjab-Pakistan. *PLoS One*, 12(6).
- Vorobyev, G. I. (1986). *Lesnaya encyklopediya* [Forest Encyclopedia]. *Soviet encyclopedia*, 2 (in Russian).
- Zaman, S. U., Ali, K., Khan, W., Ali, M., Jan, T., Nisar, M. (2018). Ethno-botanical and geo-referenced profiling of medicinal plants of Nawagai Valley, District Buner (Pakistan). *Biosystems Diversity*, 26(1), 46–61.
- Zhang, G., Yatskievych, G., Hooper, E. A. (2013). *Flora of China.* Science Press, 2(3), 234–235.



ECOLOGY AND NOOSPHEROLOGY

ISSN 1726-1112 (Print)
ISSN 2310-4309 (Online)
Ecol. Noospher., 29(2), 71–75
doi: 10.15421/031812

Ecological features of enzyme activity distribution in edaphotops of technogenic landscapes

V. I. Chorna, I. V. Wagner, V. V. Katsevych

Dniprovsk State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

Article info

Received 15.10.2018
Received in revised form
22.10.2018
Accepted 27.10.2018

*Dniprovsk State Agrarian and
Economic University,
str. Serhiy Yefremov, 25, Dnipro,
49000, Ukraine.
Tel.: +38-097-268-38-71
E-mail: v.ch.49a@gmail.com*

Chorna, V. I., Wagner, I. V., & Katsevych, V. V. (2018). Ecological features of enzyme activity distribution in edaphotops of technogenic landscapes. *Ecology and Noospherology*, 29(2), 71–75. doi:10.15421/031812

Specific features of distribution total, available phosphorus concentrations and levels of phosphatase enzymatic activity at the layers of artificial soil, sod-lithogenic soils onto gray-green and red-brown clays and on loess-like loams in the Nikopol manganese ore basin are established. It is presented general assessment of technosol status by evaluation of phosphatase enzyme activity; this enzyme enriches the soil with mineral phosphorus and thereby improves its availability for living organisms. Among current bioindication methodology, soil enzymatic method is the most reliable and promising because enzymatic activity serves a stable indicator of soil biogenicity in comparison with other indicators. Soil enzymatic activity determines both intensity and targeting of biogeochemical processes. High correlation between concentrations of soluble phosphorus and phosphatase activity values by layers of artificial soil ($r = 0.87$), sod-lithogenic soils onto gray-green ($r = 0.77$), red-brown clays ($r = 0.62$) and onto loess-like loam ($r = 0.95$) was determined. Tendency of decreasing hydrolytic enzyme activity, phosphatase, with depth in all types of artificial soil studied was established. High efficiency of the enzymatic activity study in diagnostics of soil fertility dynamics under impact of various anthropogenic and natural ecosystems was determined. Advantages of using this method are capability to determine rapidly the changes occurring in ecosystems in the early stages of degradation processes and prediction of their targeting and, accordingly, their intensity. It has been found that levels of phosphatase activity and values of mobile phosphorus compounds in complex biogeocoenotic systems are sensitive quantitative indicators of changes in environmental conditions in man-made environment, and they generate good data about processes occurred within the soil column. The use of phosphatase activity level can be a reliable and promising method on biomonitoring of technogenic edaphotops.

Keywords: reclamation; technosol; soil enzymes; phosphatase

Екологічні особливості ферментативної активності едафотопів техногенних ландшафтів

В. І. Чорна, І. В. Вагнер, В. В. Кацевич

Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро, Україна

Визначено особливості розподілу концентрації загального рухомого фосфору і рівней ферментативної активності фосфатази по шарах педоземів, дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених і червоно-бурих глинах та на лесоподібних суглинках Нікопольського марганцеворудного басейну. Представлено загальну оцінку стану техноземів за активністю гідролітичного ферменту фосфатази, яка збагачує ґрунт мінеральним фосфором і таким чином поліпшує забезпеченість ним живих організмів у доступній формі. Установлено високу кореляційну залежність між концентрацією розчинного фосфору і рівнем активності ґрунтової фосфатази по шарах педоземів ($r = 0,87$), дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених ($r = 0,77$) і червоно-бурих глинах ($r = 0,62$) та лесоподібних суглинках ($r = 0,95$). Установлено, що рівень фосфатазної активності і вміст рухомих сполук фосфору складних біогеоценотичних систем є чутливим кількісним показником на зміни екологічних умов техногенного середовища і надає реальні уявлення про процеси, які відбуваються в товщі едафотопів. Використання рівня

фосфатазної активності може бути надійним і перспективним напрямом біомоніторингу едафотопів техногенно-порушених ландшафтів.

Ключові слова: рекультивация; техноземи; ґрунтові ферменти; фосфатаза

Вступ

Техногенне навантаження та довготривале добування корисних копалин в Україні призвело до значних змін довкілля та перетворення природних компонентів у природно-техногенні. Найбільш доцільним з екологічної точки зору є відновлення порушених земель шляхом рекультивации (Demidov et al., 2013; Wagner, Chorna, 2017).

Рекультивация земель передбачає антропогенне формування педоземів (едафотоп з насипним родючим шаром ґрунту) і літоземів (складені нетоксичними геологічними породами пізнього пліоцен-плейстоценового періоду: лесоподібні суглинки, червоно-бура, сіро-зелена глина тощо) (Voloch, Uzbek, 2010).

Зональні чорноземи, як біологічне тіло природи, є продуктом тривалої тісної взаємодії абіотичних та біотичних чинників на материнську породу. Функціональну залежність між чинниками ґрунтогенезу, їх речовинно-енергетичний вплив на материнську породу можливо досліджувати в сучасних умовах на рекультивованих літоземах з урахуванням природної еволюції самозаростання винесених на поверхню порід та антропогенно спрямованого фітомеліоративного фактора (Voloch, 2010; Loza, Chorna, 2017; Katsevych, Gritsan, 2018).

Важливим фактором ґрунтоутворення є ферментативна активність ґрунтів. Важливу роль у формуванні ґрунтової родючості відіграють ґрунтові ферменти (Gonchar, 2006), які каталізують багаточисельні реакції перетворення органічної речовини ґрунту: гідроліз, розщеплення, окиснення та інші реакції, у результаті яких ґрунти збагачуються доступними для рослин і мікроорганізмів поживними речовинами (Shvakova, 2013). Ферменти – це обов'язкова частина біологічної складової ґрунту. Головні джерела ґрунтових ферментів – ґрунтові мікроорганізми, у меншій мірі – корені рослин і ґрунтові тварини. Ґрунт характеризується певним рівнем ферментативної активності, яка обумовлена вмістом ферментів (Sardar, 2007). Ферменти характеризуються строгою специфічністю дії і високою активністю, яка залежить від багатьох факторів: температури, вологості, рН ґрунту, кількості гумусу, мінерального складу, фізико-хімічних і біологічних показників ґрунту, вмісту інгібіторів ферментів, органічної речовини як поживного субстрату для мікроорганізмів (Svakova, 2013; Gonchar, 2006).

Серед існуючих методів біоіндикації ґрунтів ферментативний метод є найбільш надійним та перспективним, оскільки активність ферментів порівняно з іншими показниками слугує стійким показником біогенності ґрунтів (Gonchar, 2012). Ферментативна

активність ґрунтів визначає інтенсивність і спрямованість біохімічних процесів, від яких залежить родючість ґрунту. Фосфатаза забезпечує ґрунт мінеральним фосфором і тим самим підвищує забезпеченість ним живих організмів у доступній формі.

Метою досліджень було вивчення особливостей розподілення активності фосфатази, загального і доступного фосфору у профілях техноземів – педоземі, дерново-літогенних ґрунтах на сіро-зелених і червоно-бурих глинах та на лесоподібному суглинку Нікопольського марганцеворудного басейну (м. Покров).

Матеріали та методи досліджень

Дослідження активності фосфатази, загального і доступного фосфору проводили в науково-дослідній лабораторії гідроекології Дніпровського державного аграрно-економічного університету. Зразки відбирали на дослідних ділянках науково-дослідного стаціонару з рекультивации земель Дніпровського державного аграрно-економічного університету (м. Покров, Дніпропетровська область) (Demidov et al., 2013; Tarika, 2006; Matychenkov, 2012), із закладанням ґрунтових розрізів з названих типів техноземів. Проби відбирали по шарах 0–10, 10–20 ... 90–100 см у триразовій повторюваності. Активність фосфатази вимірювали методом Haziev (2005), Acosta-Martinez (2007). Для визначення активних форм фосфору і загального вмісту фосфору у ґрунтах використовували метод Kirsanova у модифікації ЦІАНО.

Статистичну обробку одержаних результатів проведено за допомогою програми Statistica 7.0.

Результати та їх обговорення

Експериментальні дані з визначення концентрації загального фосфору представлені в табл. 1.

Аналізуючи отримані результати, слід відзначити, що в педоземах валовий вміст фосфору змінюється за профілем і має максимальне значення в орному шарі (1,364 г/кг) з наступним зниженням у шарах 60–70 см на 45 %. У техноземі на лесоподібних суглинках встановлено збільшення концентрації загального фосфору починаючи з глибини 30–40 см. У дерново-літогенних ґрунтах на червоно-бурих глинах в орному та підорному шарах спостерігається постійний вміст загального фосфору з незначним підвищенням на 10 % у шарах 60–90 см. У техноземах на сіро-зелених глинах валовий вміст фосфору в орному шарі має значення 0,931 г/кг, потім зменшується, а на глибині 70–90 см зростає на 40 % відносно шару 0–10 см.

Таблиця 1

Вміст загального фосфору в дерново-літогенних ґрунтах на червоно-бурих глинах, педоземах, сіро-зелених глинах і лесоподібних суглинках за профілем ($M \pm m$)

Шар ґрунту, см	Вміст загального фосфору в техноземах, г/кг			
	на педоземах	на лесоподібних суглинках	на червоно-бурих глинах	на сіро-зелених глинах
0–10	1,364 ± 0,119	0,739 ± 0,071	0,617 ± 0,059	0,921 ± 0,087
10–20	0,946 ± 0,084	0,695 ± 0,063	0,616 ± 0,060	0,528 ± 0,51
20–30	0,922 ± 0,089	0,659 ± 0,069	0,614 ± 0,058	0,327 ± 0,033
30–40	0,901 ± 0,090	1,125 ± 0,111	0,408 ± 0,039	0,516 ± 0,050
40–50	0,876 ± 0,079	1,023 ± 0,101	0,667 ± 0,061	0,698 ± 0,063
50–60	0,745 ± 0,069	1,134 ± 0,111	0,617 ± 0,059	0,674 ± 0,064
60–70	0,734 ± 0,070	1,111 ± 0,099	0,685 ± 0,064	0,611 ± 0,059
70–80	0,875 ± 0,074	1,200 ± 0,118	0,664 ± 0,065	1,140 ± 0,111
80–90	0,943 ± 0,090	1,156 ± 0,116	0,725 ± 0,071	1,304 ± 0,122

За даними І. В. Матиченкова (Matychenkov, 2012), вміст фосфору в нижніх горизонтах значно менший, ніж у верхніх. Відомо, що значна частина фосфору знаходиться в ґрунті у вигляді фосфор-органічних сполук. Збільшення вмісту фосфору у нижніх горизонтах деяких ґрунтів безпосередньо пов'язане зі складом гірських порід.

Аналізуючи дані вмісту розчиненого фосфору за профілем чотирьох типів рекультоземів (рис. 1), слід відмітити, що найбільший рівень концентрації зафіксовано в орному шарі педозему, найменший – у техноземі на лесоподібному суглинку. У техноземах на червоно-бурих

та сіро-зелених глинах суттєвих змін доступного фосфору з глибиною нами не виявлено.

Оцінка ґрунтів за вмістом рухомих сполук фосфору залежить від типу ґрунтів. Відомі градації ґрунтів за ступенем забезпеченості рухомими формами фосфору показано в табл. 2. Рівень забезпеченості досліджуваних ґрунтів рухомими формами фосфору за допомогою класифікаційних градацій за Кірсановим (ГОСТ 26207-91), Чириковим (ГОСТ 26204-91) та Мачигінім (ГОСТ 26205-91) включає такі оцінки: дуже низький, середній, підвищений, високий, дуже високий.

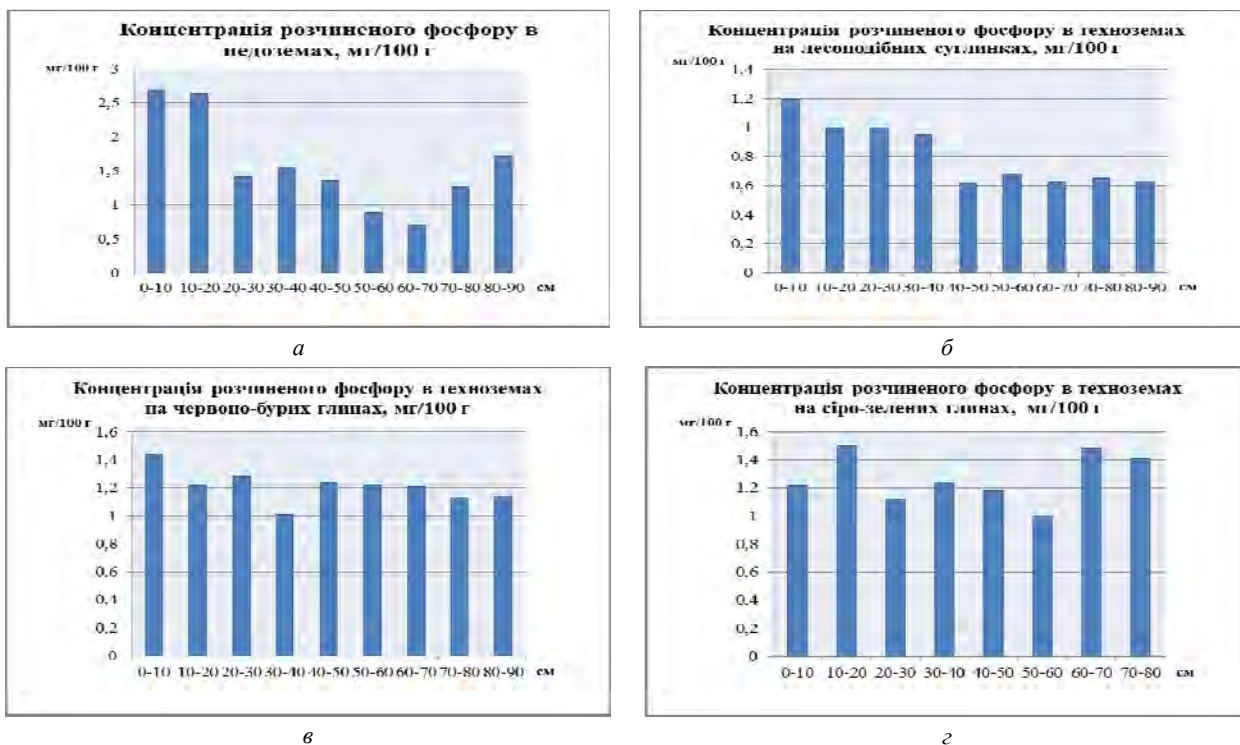


Рис. 1. Вміст розчиненого фосфору у профілі педозему (а), технозему на лесоподібному суглинку (б), на червоно-бурих (в) та сіро-зеленій глині (г)

Таблиця 2

Класифікаційні градації ґрунтів за ступенем забезпеченості рухомими формами фосфору

Ступінь забезпечення ґрунтів	За Кірсановим, (мг/100 г)	За Чириковим, (мг/100 г)	За Мачигінім, (мг/100 г)
Дуже низький	До 2,5	До 2	До 1
Низький	2,5–5	2–5	1–1,5
Середній	5–10	5–10	1,5–3
Підвищений	10–15	10–15	3–4,5
Високий	15–25	15–20	4,5–6
Дуже високий	> 25	> 20	> 6

Розглянувши класифікаційні градації ґрунтів за Кірсановим бачимо, що експериментально встановлені показники забезпеченості рухомими формами фосфору дуже низькі у всіх профілях; за Чириковим – спостерігається аналогічна тенденція; за Мачигінім ступінь забезпеченості досліджуваних ґрунтів рухомими формами фосфору характеризується як середній.

Одним із важливих показників, що характеризують продуктивність ґрунтів, є ферментативна активність. Дослідження в цій галузі проводились багатьма вченими (Galstyan, 1982; Shechovtsova, 2011), які визначали високу ефективність дослідження цього показника для діагностики динаміки родючості ґрунтів за різних антропогенних і природних впливів на екосистеми. Перевагою використання цього методу є можливість швидкого визначення змін, що відбуваються в екосистемах

на ранніх стадіях розвитку деградаційних процесів, прогноз їх спрямованості і відповідно ступінь проявлення. Досліджуваний нами фермент відноситься до класу гідролаз, які відіграють істотну роль у гідролітичному розщепленні органічних речовин, збагачуючи ґрунт доступними для рослин поживними елементами. Фосфатаза бере участь у розкладанні фосфорної кислоти і мобілізації доступного рослинам фосфору.

Експериментальні дані про зміни активності фосфатази у профілях досліджуваних ґрунтів представлені на рис. 2.

Активність фосфатази має найбільше значення в шарах 0–10 та 10–20 см в усіх досліджуваних структурах, причому в порядку зменшення активності досліджувані ґрунти розташовуються в такій послідовності: педоземі, техноземі на сіро-зелених глинах, техноземі на червоно-бурих глинах і лесоподібних суглинках. За оцінкою

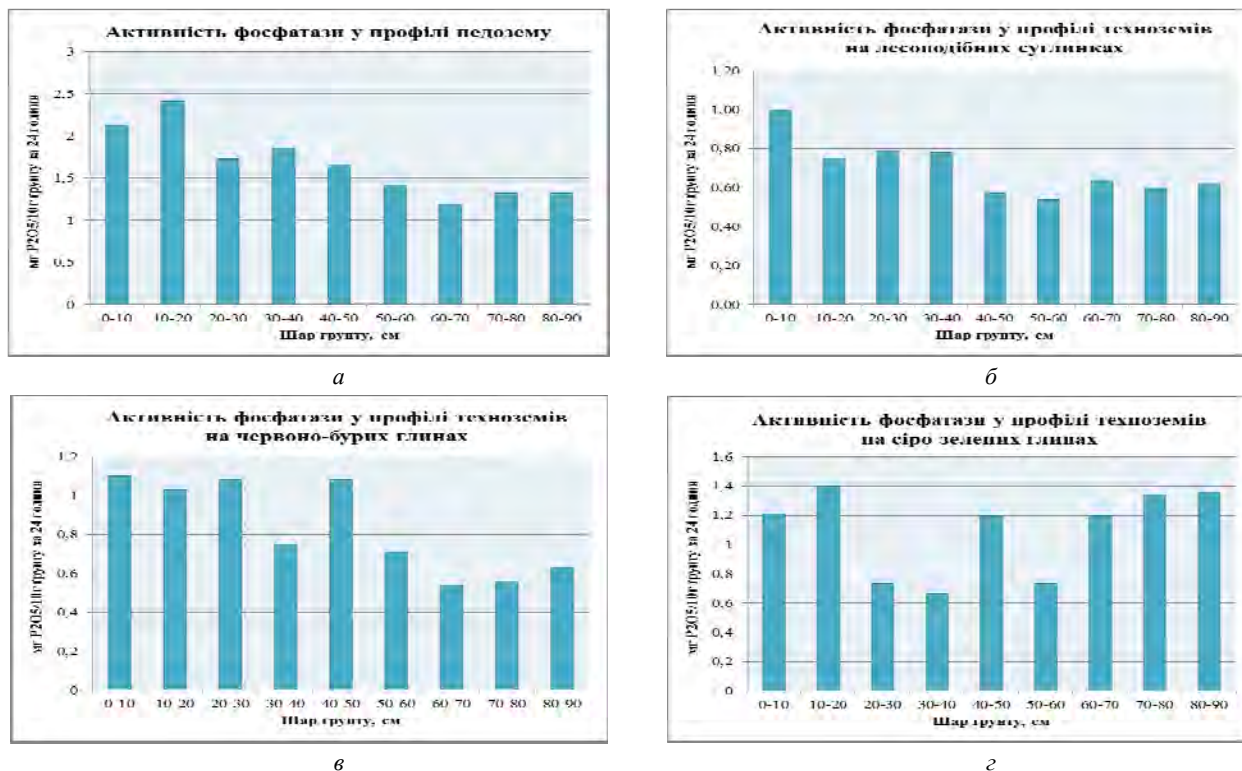


Рис. 2. Активність фосфатази у профілі педозему (а), технозему на лесоподібному суглинку (б), на червоно-бурих (в) та сіро-зеленій глині (г)

Козлова, ґрунти за ступенем забезпечення фосфатазою класифікуються як бідні в техноземах і середні – у педоземах (Kozlov, 1964). Аналізуючи залежність активності фосфатази по шарах педозему та дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених, червоно-бурих глинах та лесоподібному суглинку, слід відмітити тенденцію зниження активності з глибиною. Установлено пряму залежність активності фосфатази та концентрації рухомого фосфору з коефіцієнтом кореляції 0,87, що характеризується як високий у педоземі. Відповідний коефіцієнт кореляції у профілі технозему на лесоподібному суглинку становив – 0,95 як дуже високий; на червоно-бурих глинах – 0,62 за рахунок суттєвого зниження активності фосфатази у нижніх шарах технозему; на сіро-зеленій глині – 0,77.

Висновки

1. Активність фосфатази визначена в усіх шарах педоземів та дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених та червоно-бурих глинах та лесоподібному суглинку досліджуваних профілів техноземів, але варіює за рівнем активності в залежності від глибини шару і типу технозему.
2. Установлено високу ступінь кореляційної залежності між вмістом доступного фосфору та рівнем активності фосфатази, ферментом, відповідальним за мінералізацію органічного фосфору і надходження мінерального фосфору в коріння рослин у всіх чотирьох типах ґрунтів ($r = 0,62-0,95$).
3. Установлено, що біохімічна діагностика за гідролітичним ферментом фосфатазою, що виконує деструкційну функцію, дозволяє надати оцінку інтенсивності процесу мінералізації і спрямованості змін родючості ґрунтів на різних типах техноземів.
4. Рівень фосфатазної активності складних біогеоценотичних систем є чутливим кількісним показником на зміни екологічних умов техногенного середовища і надає реальне уявлення про процеси, що відбуваються в товщі едафотопів.

5. Використання рівня ферментативної активності є надійним і перспективним напрямом біомоніторингу едафотопів техногенно порушених ландшафтів.

Подяки

Дослідження виконане за фінансової підтримки Міністерства освіти і науки України у рамках держбюджетної теми № 0117U004291 «Розробка сучасної концепції відновлення біотичного потенціалу рекультивованих земель для раціонального землекористання».

References

- Acosta – Martinez, V. (2007). Microbial communities and enzymatic activities under different management in semiarid soils. *Appl. Soil Ecol.*, 38, 249–260.
- Demidov, A. A., Kobets, A. S., Gritsan, Yu. I., Zhukov, A. V. (2013). *Prostranstvennaya agroekologiya i rekultivatsiya zemel* [Spatial agroecology and land reclamation]. Dnepropetrovsk (in Russian).
- Galstyan, A. Sh. (1982). Ob ustoychivosti fermentov pochv [On the stability of soil enzymes]. *Eurasian Soil Science*, 4, 108–110 (in Russian).
- Gonchar, N. V. (2006). Invertazna aktivnist yak pokaznyk stupenya okulturenosti edafotopiv tekhnogennuch landshaftiv [Invert activity as an indicator of the degree of culturedness of edaphotops of technogenic landscapes]. *Gruntoznavstvo*, 7(3-4), 128–132 (in Ukrainian).
- Katsevych, V. V., Hrytsan, Yu. I. (2018). Edafichna kharakterystyka demovo-litohennykh ґруntiv na siro-zelenykh hlynakh na zasadakh ekolohichnoi mikromorfologii [Edaphic characteristics of soddy-lithogenic soil on grey-green clays on the basis of environmental micromorphology]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahromoi akademii. Silske hospodarstvo. Ekolohiia*, 4, 131–136 (in Ukrainian).
- Khaziev, F. Kh. (2005). *Metody pochvennoy enzymologii* [Methods of Soil Enzymology]. Moscow (in Russian).
- Loza, I. M., Chorna, V. I. (2017). Ekolohichne otsynuvannya yakosti rekultivatsiyi zemel karyeru vydobutku marhantsevoyi

- rudu shchodo mozhyvosti isnuvannya gruntovykh bezkhibetnykh [Environmental evaluation of suitability of recultivated land in a manganese quarry for the existence of soil biota]. *Biosystems Diversity*, 25(4), 318–322 (in Ukrainian).
- Matychenkov, I. V. (2012). Izuchenie vzaimovliyaniya kremnievyykh, fosfornykh, azotnykh udobreniy v sisteme pochva-rasteniye [Study on interaction of silicon, phosphorous, and nitrogen fertilizers in soil-plant system]. Avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. boil. nauk. Moscow (in Russian).
- Sardar, K. (2007). Soil Enzymatic Activities and Microbial Community Structure with Different application rates of Cd and Pb. *Journal of Environmental Sciences*, 19(7), 834–840.
- Shechovtsova, O. G. (2011). Biologichna aktivnist urbanizovanykh gruntiv Mariupolia [Biological activity of the urbanized soils of Mariupol]. *Gruntoznavstvo*, 12(1-2), 88–91 (in Ukrainian).
- Tarika, O. H. (2006). Ahroekologichne obgruntuvannya osvoinnia i vykorystannya lesopodobnoho suhlynku pry rekultyvatsii zemel v Nikopolskomu marhantsevorudnomu baseini [Agroecological substantiation of the development and use of forest loam in the reclamation of land in the Nikopol manganese ore basin]. Avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. s/h nauk: spets. 03.00.16 – «Ekolohiia». Dnipropetrovsk (in Ukrainian).
- Volokh, P. V., Uzbek, I. Kh. (2010). Suchasnyi hruntohenez na rekultyvovanykh litozemakh zony Stepu Ukrainy [Modern soil genesis on reclaimed lithozems of the steppe of Ukraine]. *Visnyk Dnipropetrovskoho derzhavnoho ahromoho universytetu*, 1, 39–47 (in Ukrainian).
- Wagner, I. V., Chorna, V. I. (2017). Vplyv aktivnykh form kremiyu na biomassy s/g kultur pid chas ich vuroshuvannya na technogenno-porushenych gruntach nikopolskogo-argancevorudnogo basseinu [The effect of active forms of silicon on the biomass of agricultural crops during their growth period on technogenically altered soils of the Nikopol Manganese Ore Basin]. *Biosystems Diversity*, 25(2), 74–82 (in Ukrainian).



The reduction of hexavalent chromium and nitrates by *Desulfuromonas* YSDS-3, isolated from the soil of Yasiv sulfur mine

O. M. Chayka, T. B. Peretyatko

Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine

Article info

Received 23.09.2018

Received in revised form

29.09.2018

Accepted 30.09.2018

Ivan Franko National University
of Lviv, Hrushevskoho Str., 4,
Lviv, 79005, Ukraine.
Tel.: +38-067-336-47-44
E-mail: O-Chajka@i.ua

Chayka, O. M., & Peretyatko, T. B. (2018). The reduction of hexavalent chromium and nitrates by *Desulfuromonas* YSDS-3, isolated from the soil of Yasiv sulfur mine. *Ecology and Noospherology*, 29(2), 76–82. doi:10.15421/031813

Such compounds as compounds of hexavalent chromium, nitrates and nitrites are one of the most distributed pollutants of the environment. The compounds of Cr (VI) are found in the soil, water and territories adjacent to mining enterprises in elevated concentrations. The hexavalent chromium has toxic, mutagenic and carcinogenic effect on living forms. Some sulfur-reducing bacteria are attractable for scientists attention like potential purification agents to clear the wastewater from organic and inorganic pollutants. In this way, the purpose of our work is to study the patterns of the reduction of compounds of hexavalent chromium and nitrate by *Desulfuromonas* sp. YSDS-3, isolated from the soils of the Yasiv sulfur mine. Bacteria were cultivated in modified Postgate C medium. To study the influence of Cr (VI) and NO_3 on the sulfidogenic activity and the growth of bacteria they were grown in Postgate C medium containing sulfur (32 mM) and different concentrations of $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (0,1–1 mM) and KNO_3 (5–15 mM), as well as without sulfur for 10 days. The biomass of bacteria, Cr (VI), Cr (III) and nitrites content was measured spectrophotometrically. Agar was used for the immobilization of the cells. The ability of *Desulfuromonas* sp. YSDS-3 to utilize different electron acceptors, has been studied. It has been established that bacteria can grow in media with presence of ferrum (III) citrate (at concentrations of 0.5 mM, 1 mM and 5 mM), MnO_2 (at concentrations of 1 mM, 2 mM and 3 mM), KNO_3 (at concentrations of 5 mM, 10 mM, 15 mM) and cysteine (at a concentration of 3 mM). In a medium with potassium bichromate bacteria grow well at concentration of 0.1 mM. Perhaps, increase of $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ concentration from 0.5 to 1 mM leads to the suppression of growth and sulfidogenic activity of *Desulfuromonas* sp. YSDS-3. The quantitative measurement of Cr (VI) and Cr (III) ions in the cell-free medium had been shown that hexavalent chromium was completely reduced to Cr (III) in the presence of less than 0.5 mM of $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. At the same time, the increase of $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ caused a decrease of reduction effectivity. It has been found that culture of *Desulfuromonas* sp. YSDS-3 is able to reduce nitrates and nitrites completely. At the same time, the process of sulfur reduction was oppressed in conditions of simultaneous presence of KNO_3 and sulfur in the medium. There are various methods of wastewater purification from Cr (VI): the addition of aerobic or anaerobic consortia of microorganisms; treatment of sewage with various sorbents, such as natural glauconites, activated carbon, brown coal, etc. The most promising methods of the environment purification from pollutants are considered to be biological methods with exertion of microorganisms. For this purpose, in modern biotechnological approaches different methods of immobilization of microorganisms with organic and inorganic carriers are widely used. It has been found some patterns of chromium reduction by the cells of *Desulfuromonas* sp. YSDS-3, immobilized in agar. The model solution contained 0.5 mM Cr (VI) as an electron acceptor, and sodium lactate as a donor of electrons. It has been shown that the mode of Cr (VI) usage by immobilized *Desulfuromonas* sp. YSDS-3 cells was similar to the one by the liquid culture. The immobilized microbiota has a number of advantages, compared to the traditional method of artificial biological treatment of sewage in aerotanks: the immobilized cells can be easily removed from the reaction medium; all the carriers are adapted for repeated use; the immobilization of microbial enzymatic biomass enables the increase of the catalytic activity of some enzymes. It has been shown that it is possible to use the immobilized *Desulfuromonas* sp. YSDS-3 cells time after time to purify the environment from Cr (VI) pollutant. The cells of *Desulfuromonas* sp. YSDS-3 (the amount of cells was 1 g/L) completely reduced Cr (VI) to Cr (III) after 72 hours in the conditions of model medium addition containing 0.5 mM $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. After re-injection of 0.5 mM $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ in 72 hours, the reduction efficiency was about 70 %.

Subsequent addition of 0.5 mM Cr (VI) led to lower reduction rate of Cr (VI): nearby 57 %. The rate of reduction of Cr (VI) depends on the concentration of the immobilized cells. With the increase of the amount of immobilized cells (2 g/L, 3 g/L, 5 g/L), it was observed more intense reduction of Cr (VI). The working concentration of the cells of *Desulfuromonas* sp. YSDS-3 about 5 g/L is the fit amount of bacteria for the most efficient reduction of Cr (VI). After the third introduction of the model solution, the reduction efficiency was 67 % after 72 hours of incubation. The duration and intensity of chromium reduction were directly dependent on the concentration of immobilized cells: if the amount of fixed cells was higher, the recovery process was more effective. The immobilized *Desulfuromonas* sp. YSDS-3 cells can completely detoxicate Cr (VI) in amount of 0.5 mM in 72 hours. The increase of the concentration of the cells accelerates the process of chromate utilization in the model solution. So, *Desulfuromonas* sp. YSDS-3 is promising for an aerobic treatment of the sewage from chromium-containing compounds.

Keywords: sulfur-reducing bacteria; elemental sulfur; chromate ion; sulfidogenic activity; immobilized microorganisms

Відновлення сполук шестивалентного хрому і нітрату бактеріями *Desulfuromonas* SP.YSDS-3, виділених із ґрунту Язівського родовища сірки

О. М. Чайка, Т. Б. Перетятко

Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, Україна

У даній роботі проаналізовано результати досліджень відновлення сполук шестивалентного хрому і нітрату бактеріями *Desulfuromonas* sp.YSDS-3. Досліджено здатність *Desulfuromonas* sp. YSDS-3 використовувати різні акцептори електронів (MnO_2 , KNO_3 , ферум (III) цитрат, калій біхромат) у процесі росту. Установлено вплив сполук Cr (VI) та NO_3^- на ріст і сульфидогенну активність бактерій *Desulfuromonas* sp. YSDS-3. Встановлено деякі закономірності відновлення хромат-йону залитими в агар клітинами *Desulfuromonas* sp. YSDS-3.

Ключові слова: сірководновлювальні бактерії, елементна сірка, хромат-йон, сульфидогенна активність, іммобілізовані клітини

Вступ

Сірководновлювальні бактерії відновлюють елементну і полісульфідну форми сірки до гідроген сульфід у місцях, збагачених сіркою (сірководобувних регіонах, безкисневих осадах морських та прісноводних водойм, гідротермальних джерелах, вулканічних гарячих джерелах), використовуючи молекулярний водень або органічні субстрати як донори електронів. Деякі представники сірководновлювальних бактерій, крім елементної сірки, як акцептор електронів можуть використовувати метали зі змінною валентністю (Fe (III), Mn (IV), нітрати, цистеїн, метіонін, малат, фумарат, трихлоретилен чи тетрахлоретилен (Lovley, 1993; An, Picarda, 2015).

Гідроген сульфід, що утворився в процесі сіркоредакції, здатний осаджувати йони важких металів (Co^{2+} , Ni^{2+} , Cd^{2+} , Fe^{3+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Hg^{2+} та ін.) у формі неорганічних сульфідів, сприяючи очищенню водойм від цих йонів (Lovley, 1993). Сірководновлювальні бактерії є високоефективними біокаталізаторами мікробно-анодних паливних елементів, що забезпечують генерування електричного струму під час окиснення органічних сполук (Bilyu, Vasylyv, Hnatysh, 2014).

Сполуки Cr (VI) виявляють у підвищених концентраціях у ґрунті, воді, особливо на територіях, прилеглих до індустріальних міст і підприємств гірничодобувної промисловості. Сполуки шестивалентного хрому, нітрати і нітрити – одні з найбільш поширених забруднювачів навколишнього середовища. Шестивалентний хром виявляє токсичну, мутагенну та канцерогенну дію на живі організми, пришвидшує процеси апоптозу (EPA, 1998).

Існують різні способи очищення стічних вод від Cr (VI): використання консорцій мікроорганізмів; оброблення стічних вод різними сорбентами – природними

глауконітами, активованим вугіллям, бурим вугіллям тощо (Camargo, et. al., 2003, Horton, et. al. 2006, Sholiak, Peretyatko, Gudz, S. P., 2014, Smith, Gadd, 2000, Vasylynych, 2011, Shanna, Forster, 1996, Anyanwu, Ezaka, 2011). Найбільш перспективними методами очищення навколишнього середовища від поллютантів вважають біологічні методи з використанням мікроорганізмів (Smith, Gadd, 2000).

Анаеробні процеси використовуються для очищення стоків уже більше 100 років. Перевагами використання анаеробних процесів є мала потреба у поживних речовинах внаслідок нагромадження анаеробними мікроорганізмами невеликої біомаси; зниження витрат електроенергії та, на відміну від аеробних систем, анаеробні не дуже вибагливі до обмеження акцептора електронів, тому завантаження систем може бути вищим, ніж для аеробних систем (Seghezze, 1998). Основними недоліками застосування очисних систем на основі анаеробних мікроорганізмів є низька швидкість їх росту і невелика біомаса.

Сірководновлювальні бактерії привертають увагу науковців як потенційні агенти очищення стічних вод від поллютантів органічної і неорганічної природи, тому метою роботи було дослідити закономірності відновлення сполук шестивалентного хрому і нітрату бактеріями *Desulfuromonas* sp.YSDS-3, виділених з ґрунту Язівського родовища сірки.

Матеріали та методи досліджень

У роботі використовували сірководновлювальні бактерії *Desulfuromonas* sp. YSDS-3, виділені з ґрунту Язівського родовища сірки (Яворівський район, Львівська область, Україна) (Chayka, Peretyatko, Gudz, 2010). Бактерії вирощували у модифікованому середовищі Постгейта С такого складу (г/л): KH_2PO_4 – 0,5; NH_4Cl – 1,0; $\text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ – 0,06;

MgCl₂ · 6 H₂O – 0,05; натрій лактат – 6; дріжджовий екстракт – 1,0; натрій лимоннокислий – 0,3; аскорбінова кислота – 1,0; елементна сірка – 1,0, вода дистильована до 1 л; pH 7,5 (Postgate, 1984). Середовище стерилізували за 0,75 атм протягом 30 хв і розливали у пробірки (25 мл), закривали стерильними гумовими корками. Середовище засівали суспензією клітин у концентрації 0,2 г/л і культивували за 30 °C упродовж 5–14 діб. Біомасу клітин визначали турбідиметрично на фотоелектроколориметрі КФК – 3 (λ =340 нм, ℓ = 3 мм). Вміст гідроген сульфід у визначали фотоелектроколориметрично за утворенням метиленової сині (Sugiyama, 2002).

Для дослідження здатності *Desulfuromonas* sp. YSDS-3 відновлювати Fe (III), MnO₂, NO₃⁻, Cr (VI), цистеїн і трихлоретилен їх вирощували у середовищах без сірки, до якого додавали Fe (III) цитрат (у концентрації 0,5 мМ, 1 мМ і 5 мМ), MnO₂ (у концентрації 1 мМ, 2 мМ і 3 мМ), KNO₃ (у концентрації 5 мМ, 10 мМ і 15 мМ), K₂Cr₂O₇ (у концентрації 0,1 мМ, 0,5 мМ і 1 мМ), цистеїн (у концентрації 3 мМ) і трихлоретилен (у концентрації 0,1 мМ, 0,5 мМ), і культивували протягом 10 діб. Контролем слугувало середовище з елементною сіркою.

Для дослідження впливу сполук Cr (VI) та NO₃⁻ на *Desulfuromonas* sp. YSDS-3 їх вирощували у середовищі Постгейта С з елементною сіркою (32 мМ) і різними концентраціями K₂Cr₂O₇ (0,1–1 мМ) і KNO₃ (5–15 мМ), а також без сірки упродовж 10 діб.

Для одержання фіксованих в агарі клітин *Desulfuromonas* sp. YSDS-3 бактерії центрифугували протягом 30 хв за 6000 г. Клітини відмивали ізотонічним розчином натрій хлориду. Клітини у концентрації 1, 3, 5 г/л вносили в 2%-й розчин агару. Агаризований розчин рівномірним шаром розливали у чашки Петрі. Після застигання агару зафіксовані клітини формували у вигляді кубиків (10×10 мм) та вносили у модельний розчин. Модельний розчин містив 0,5 мМ Cr (VI) як акцептор електронів та лактат натрій як донор електронів.

Вміст Cr (VI) визначали колориметрично (λ =540 нм, ℓ = 10 мм) за дифенілкарбазидним методом (Marchart, 1964). Для визначення Cr (III) використовували хромазуrol S (λ =590 нм, довжина ℓ = 10 мм) (Honchar, et. al., 2008).

Вміст нітриту в культуральній рідині визначали спектрофотометрично (λ =540 нм, ℓ = 10 мм) з використанням п-нафтилендіамінхлориду. Концентрацію нітриту визначали після діазотування нітриту в культуральній рідині. Як відновник використовували цинковий порошок (Granger, Taintor, Boockvar, 1996).

Індол визначали за методом Ковача (Derzhavna farmakopeia Ukrainy. I vydannia, 2001).

Результати представлені як середнє значення з поправкою на стандартну похибку (M±m). Достовірність описаних результатів визначали за t-критерієм Ст'юдента (Gumec'kij, Paljanycja, Chaban, 2004). Статистичне опрацювання результатів проводили, використовуючи програми «Microsoft Excel 2010», «Origin 6.1».

Результати та їх обговорення

З ґрунту Язівського родовища сірки виділено паличкоподібні сірковідновлювальні бактерії *Desulfuromonas* sp. YSDS-3, які добре ростуть у синтетичному середовищі з елементною сіркою за температури 25–30 °C і pH 6,5–7,5 (Chayka, Peretyatko, Gudz, 2010).

Дослідили здатність *Desulfuromonas* sp. YSDS-3 використовувати різні акцептори електронів у процесі росту в рідкому модифікованому середовищі Постгейта С, донором електронів у ньому був лактат, а акцепторами – MnO₂, KNO₃, ферум (III) цитрат, калій біхромат. Встановлено, що бактерії ростуть у середовищі з ферум (III) цитратом (за концентрації 0,5 мМ, 1 мМ і 5 мМ), MnO₂ (за концентрації 1 мМ, 2 мМ і 3 мМ), KNO₃ (за концентрації

5 мМ, 10 мМ, 15 мМ) і цистеїном (за концентрації 3 мМ) (рис. 1). У середовищі з калій біхроматом бактерії ростуть за його концентрації 0,1 мМ (рис. 1). Зростання концентрації K₂Cr₂O₇ до 0,5 мМ призводило до пригнічення росту бактерій удвічі. З даних літератури відомо, що більшість штамів бактерій роду *Desulfuromonas* не відновлюють Cr (VI) і NO₃⁻ як акцептори електронів. Бактерії *D. carbonis*, і *D. palmitatis* можуть відновити 50 мМ ферум (III) цитрату і 20 мМ MnO₂ (An, Picarda, 2015).

Відомо, що сульфатвідновлювальні бактерії *Desulfomicrobium* sp. CrR3 ростуть за концентрації K₂Cr₂O₇ 1 мМ і нітрату 12 мМ (Sholiak, Peretyatko, Gudz, 2013).

У результаті дослідження впливу сполук KNO₃ на ріст і утворення гідроген сульфід *Desulfuromonas* sp. YSDS-3 встановлено, що після чотирьох діб культивування нітрату і нітриту повністю відновлюються бактеріями. Найбільшу біомасу бактерії нагромаджували у середовищі з елементною сіркою і KNO₃ (1 г/л). Однак за таких умов (з KNO₃) бактерії нагромаджували у 2 рази менше гідроген сульфід, ніж у середовищі з елементною сіркою (рис. 2). Отже, одночасна наявність двох акцепторів електронів, KNO₃ і елементної сірки супроводжувалась інгібуванням сіркоредукції.

У середовищі з елементною сіркою і K₂Cr₂O₇ у концентрації 0,1 мМ бактерії нагромаджували 0,8 г/л біомаси на 10-ту добу (рис. 3, а). Зростання концентрації K₂Cr₂O₇ до 0,5 мМ у середовищі з елементною сіркою призводило до пригнічення росту бактерій (рис. 3, а). За концентрації K₂Cr₂O₇ 1 мМ біомаса бактерії не зростала (рис. 3, а). Кількісне визначення йонів Cr (VI) і Cr (III) у культуральній рідині показало, що за концентрації 0,1 мМ і 0,5 мМ K₂Cr₂O₇ бактерії повністю відновлювали йони шестивалентного хрому до тривалентного, а за концентрації 1 мМ лише – 38 % від початкової концентрації K₂Cr₂O₇ (рис. 3, б). Одержані результати вказують на те, що за концентрації 0,5–1 мМ K₂Cr₂O₇ пригнічує ріст і сульфидогенну активність *Desulfuromonas* sp. YSDS-3. Відомо, що бактерії *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., *Escherichia coli* і *Staphylococcus* sp., виділені з води очисних споруд, толерантні до високої концентрації Cr (VI) (до 500 мкг/мл) (Owlad, et. al., 2009). Для сульфатвідновлювальних бактерій *Desulfomicrobium* sp. CrR3 Cr (VI) у концентрації 0,5–1 мМ не впливала на ріст бактерій. Збільшення концентрації Cr (VI) до 2–3 мМ пригнічувало ріст бактерій удвічі. Сульфатвідновлювальні бактерії *Desulfotomaculum reducens* sp. nov. MI-1 можуть відновити лише 60 мкМ Cr (VI) (Kofanov, Ohnianlyk, 2009.).

Дослідження впливу K₂Cr₂O₇ на ріст *Desulfuromonas* sp. YSDS-3 у середовищі з калій біхроматом без елементної сірки показало, що в концентрації 0,1 мМ і 0,5 мМ K₂Cr₂O₇ пригнічує ріст у 1,5 і 3 рази відповідно порівняно із контролем. За концентрації K₂Cr₂O₇ 1 мМ бактерії не росли (рис. 4).

Кількісне визначення йонів Cr (VI) і Cr (III) у культуральній рідині показало, що за концентрації K₂Cr₂O₇ 0,1 мМ бактерії повністю відновили йони шестивалентного хрому до тривалентного, а за концентрації 0,5 мМ і 1 мМ бактерії відновили лише 0,3 мМ (рис. 4). Очевидно, пригнічення нагромадження біомаси і гідроген сульфід у обумовлено токсичним впливом K₂Cr₂O₇ на бактерії. Одержані результати вказують на те, що досліджувані бактерії можуть відновлювати високотоксичний шестивалентний хром до малотоксичного Cr (III).

У сучасних біотехнологічних підходах щодо розроблених біологічних методів очищення забруднених вод широко використовуються різні методи іммобілізації мікроорганізмів на носіях (Owlad, et. al., 2009). Порівняно з традиційним методом штучного біологічного очищення стічних вод в аеротенках іммобілізована мікробіота має низку переваг: іммобілізовані клітини легко вилучити з реакційного середовища, носії пристосовані до

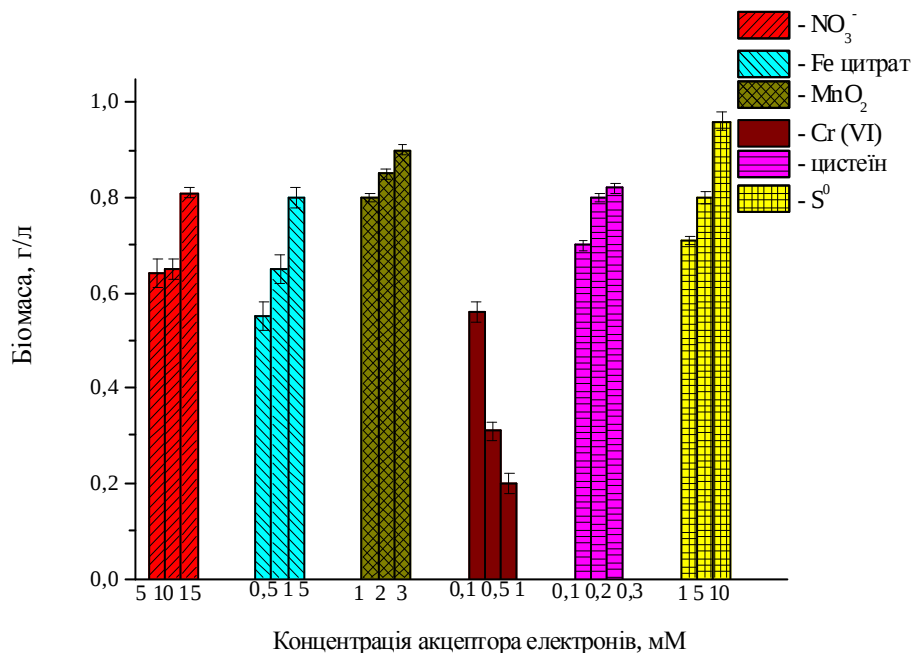


Рис. 1. Нагромадження біомаси *Desulfuromonas* sp. YSDS-3 за наявності в середовищі різних акцепторів електронів

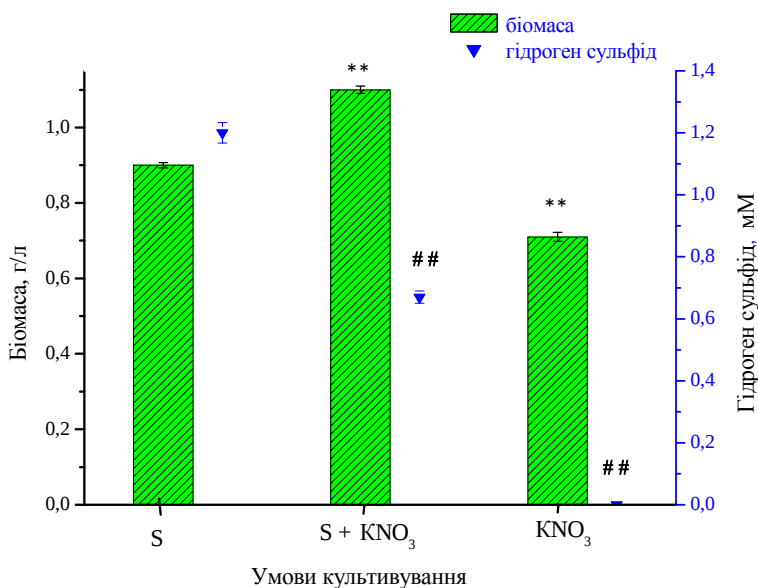


Рис. 2. Нагромадження біомаси і гідроген сульфід *Desulfuromonas* sp. YSDS-3 у середовищах з елементною сіркою, KNO₃ і елементною сіркою і лише з KNO₃.

Примітка. * $P < 0,01$ – вірогідні зміни концентрації гідроген сульфід порівняно з контролем; ## $P < 0,01$ – вірогідні зміни біомаси порівняно з контролем.

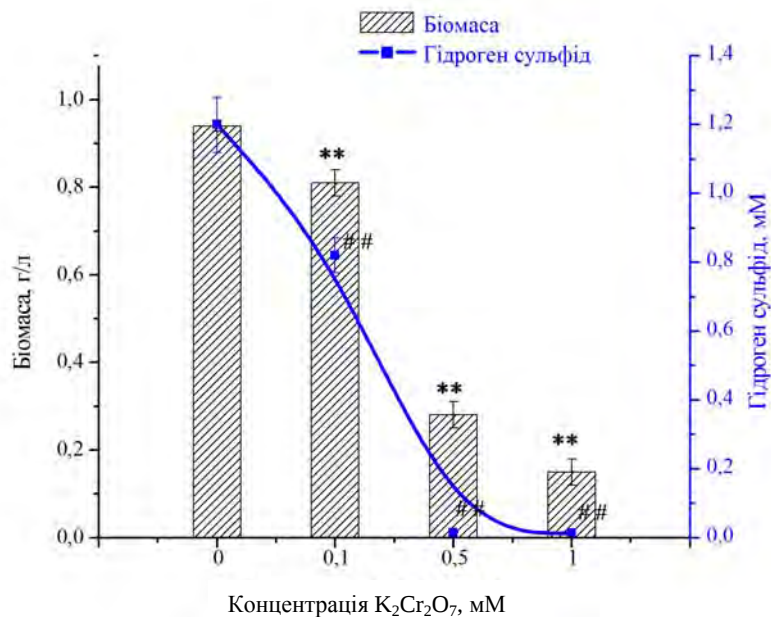
багаторазового використання, іммобілізація мікробної ферментативної біомаси дає змогу підвищити каталітичну активність ферментів (Owlad, et. al., 2009).

Дослідили деякі закономірності відновлення хроматйону залитими в агар клітинами бактерій *Desulfuromonas* sp. YSDS-3. Закономірності використання Cr(VI) залитими в агарі клітинами бактерій *Desulfuromonas* sp. YSDS-3 є подібними до використання Cr(VI) нефіксованими клітинами (табл. 1).

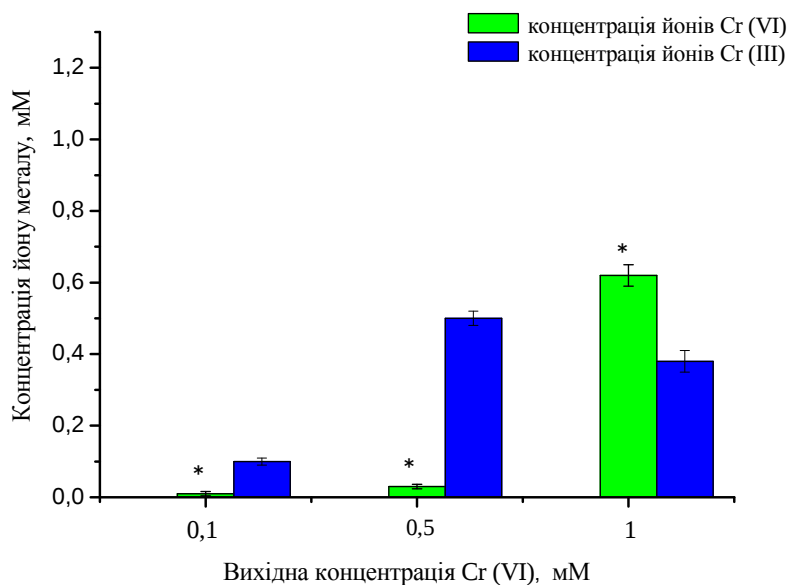
Швидкість відновлення Cr(VI) залежить від концентрації клітин, залитих в агар (рис. 5). Перевагами використання іммобілізованих клітин порівняно із суспензійними є їх багаторазове застосування. Іммобілізовані в агар клітини *Desulfuromonas* sp. YSDS-3

можуть кількаразово використовуватись для очищення середовища від Cr(VI). Як видно з рис. 5, клітини *Desulfuromonas* sp. YSDS-3 у концентрації 1 г/л, після внесення модельного середовища, яке містило 0,5 мМ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, повністю відновили Cr(VI) до Cr(III) через 72 години. Після повторного внесення 0,5 мМ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ на 72-ту годину ефективність відновлення становила 70 %. З наступним внесенням 0,5 мМ Cr(VI) спостерігали ще меншу інтенсивність відновлення Cr(VI) – 57 %.

Із зростанням концентрації залитих в агар клітин у модельний розчин, що містив 0,5 мМ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, спостерігали більш інтенсивне відновлення Cr(VI) (рис. 5). Уже через 24 год. *Desulfuromonas* sp. YSDS-3 нагромадили 0,49 мМ Cr(III). Повторне внесення 0,5 мМ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$



a



б

Рис. 3. Нагромадження біомаси, гідроген сульфід (а) та використання йонів Cr (VI) (б) *Desulfuromonas* sp. YSDS-3 у середовищах з елементною сіркою і $K_2Cr_2O_7$ і без додавання калій біхромату.

Примітка. * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$ – вірогідні зміни біомаси і концентрації йонів Cr (VI) порівняно з контролем; ## $P < 0,05$; # $P < 0,01$ – вірогідні зміни концентрації гідроген сульфід порівняно з контролем.

призводило до сповільнення використання Cr (VI) клітинами бактерій удвічі. З наступним внесенням 0,5 mM Cr (VI) ефективність відновлення становила 67 %.

Найбільш ефективно бактерії *Desulfuromonas* sp. YSDS-3 відновлюють Cr (VI) за концентрації клітин 5 г/л (рис. 5). Після 24 годин бактерії повністю відновили Cr (VI). Після повторного внесення 0,5 mM $K_2Cr_2O_7$ бактерії повністю відновили Cr (VI) через 72 год. А після третього внесення середовища – спостерігали незначне зменшення інтенсивності відновлення хрому Cr (VI), за цих умов у середовищі бактерії нагромадили 0,48 mM Cr (III).

Існують численні методи очищення хромвмісних стічних вод: іонообмінні, сорбційні, мембранні, електрохімічні, біологічні (Owlad, et. al., 2009). Кожен з методів має свої недоліки: мембранний – низька хімічна

стійкість мембран в агресивних середовищах, постійне забруднення; сорбційний – ускладнення регенерації та повторного використання сорбенту, чим вища якість очищення, тим більша вартість; іонообмінний – концентрацію розчину слід контролювати; електрохімічний – утворення осадів. Біологічний метод є один з найефективніших під час очищення стічної води від йонів неорганічних сполук. Він має свої переваги та недоліки, один з яких – достатньо тривалий час окиснення забруднювальних речовин (Owlad, et. al., 2009). Ліквідувати ці недоліки можна за допомогою методів інтенсифікації процесу шляхом іммобілізації клітин.

Сірководновловальні бактерії *Desulfuromonas* sp. YSDS-3, виділені з ґрунту Язівського родовища сірки за відсутності елементної сірки, як акцептори електронів

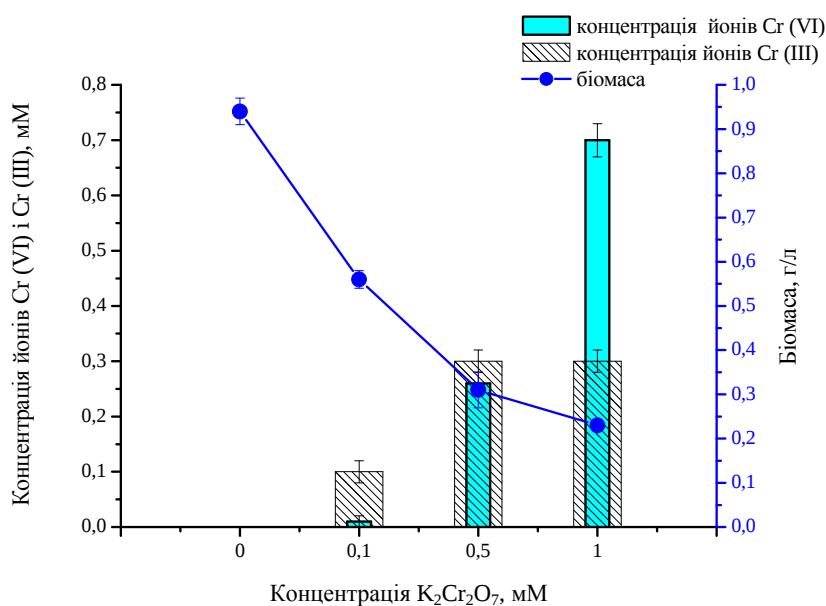


Рис. 4. Нагромадження біомаси та використання йонів Cr (VI) *Desulfuromonas* sp. YSDS-3 за різної концентрації $K_2Cr_2O_7$. Примітка. * $P<0,05$; ** $P<0,01$ – вірогідні зміни біомаси і концентрації йонів Cr (VI) порівняно з контролем.

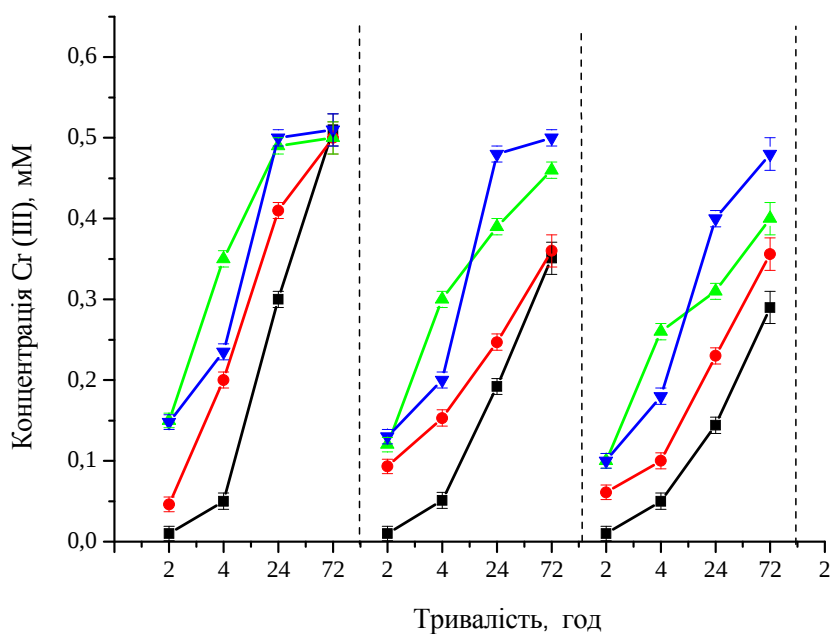


Рис. 5. Використання 0,5 мМ Cr (VI) залитими в агар клітинами бактерій *Desulfuromonas* sp. YSDS-3 за різної концентрації клітин: (-■-) – 1 г/л, (-●-) – 2 г/л, (-▲-) – 3 г/л, (-▼-) – 5 г/л. Після кожних 72 год інкубації вносили модельний розчин Cr (VI), вихідна концентрація Cr (VI) 0,5 мМ

Таблиця 1

Відновлення Cr (VI) до Cr (III) суспензійними та іммобілізованими клітинами *Desulfuromonas* sp. YSDS-3*

Тривалість культивування/інкубування, год	Суспензійні клітини <i>Desulfuromonas</i> sp. YSDS-3		Імобілізовані клітини <i>Desulfuromonas</i> sp. YSDS-3	
	Концентрація йонів хрому, мМ			
	Cr (VI)	Cr (III)	Cr (VI)	Cr (III)
0	0,51±0,02	0	0,51±0,02	0
2	0,45 ± 0,01	0,01±0,001	0,45± 0,01	0,01±0,001
4	0,42 ± 0,01	0,021±0,001	0,4± 0,01	0,05±0,001
24	0,3 ±0,001	0,18±0,002	0,28±0,001	0,13±0,002
72	0	0,51±0,01	0	0,51±0,02

* Вихідна концентрація клітин – 1 г/л.

можуть використовувати Fe (III), Mn (IV), Cr (VI), NO_3^- , Cr_2O_7^- .

Досліджено вплив $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ і KNO_3 на нагромадження біомаси і гідроген сульфід *Desulfuromonas* sp. YSDS-3. За наявності у середовищі калій біхромату у концентрації 0,5 мМ і 1 мМ і елементної сірки пригнічується нагромадження гідроген сульфід і біомаси. За вмісту $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ у середовищі менше 0,5 мМ шестивалентний хром повністю відновлюється до Cr (III). Підвищення концентрації $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ приводить до зниження інтенсивності процесу його відновлення. Одночасна наявність у середовищі елементної сірки і KNO_3 супроводжується зниженням сульфідогенної активності бактерій.

Досліджено відновлення сполук шестивалентного хрому іммобілізованими клітинами сірковідновлювальних бактерій *Desulfuromonas* sp. YSDS-3. Тривалість та інтенсивність процесу відновлення хрому залежали від концентрації фіксованих клітин, чим вища концентрація іммобілізованих клітин, тим ефективніший процес відновлення.

Отже, іммобілізовані в агар клітини бактерій *Desulfuromonas* sp. YSDS-3 упродовж 72 год. здатні до повної детоксикації 0,5 мМ Cr (VI). Збільшення концентрації клітин пришвидшує процес використання хромату у модельному розчині. Досліджені бактерії *Desulfuromonas* sp. YSDS-3 є перспективними для анаеробного очищення стічних вод від хромвмісних сполук.

Таким чином, сірковідновлювальні бактерії *Desulfuromonas* sp. YSDS-3 за біохімічними властивостями відрізняються від описаних в літературі і можуть представляти практичний інтерес, зокрема для очищення середовища від елементної сірки, нітратів і шестивалентного хрому.

References

An, T. T., Picarda, F. W. (2015). *Desulfuromonas carbonis* sp. nov., an Fe (III)-, S^0 and Mn (IV)-reducing bacterium isolated from an active coalbed methane gas wel. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 65, 1686–1693.

Anyanwu, C. U., Ezaka, E. (2011). Growth Responses of Chromium (VI) Tolerant Bacteria to Different Concentrations of Chromium. International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS, 11(05), 41–44.

Bilyy, O., Vasylyv, O., Hnatysh, S. (2014). The Anode Biocatalyst with Simultaneous Transition Metals Pollution Control. In: Prof. Chin-Tsan Wang (Ed). Technology and Application of Microbial Fuel Cells: In Tech, 33–54.

Camargo, F. A., Bento, F. M., Okeke, B. C., Frankenberger, W. T. (2003). Chromate reduction by chromium-resistant bacteria isolated from soils contaminated with dichromate. J. Environ. Qual, 32, 1228–1233.

Derzhavna farmakopeia Ukrainy. I vydannia (2001). [The State Pharmacopoeia of Ukraine]. First Edition, Kharkiv (in Ukrainian).

EPA (U.S. Environmental Protection Agency) (1998). Toxicological review of hexavalent chromium. Washington DC, 77.

Granger, D. L., Taintor, R. R., Boockvar, K. S. (1996). Measurement of nitrate and nitrite in biological samples using nitrate reductase and Griess reaction. Methods in Enzymology, 268, 142–151.

Gumec'kyj, R. Ja., Paljanycja, B. M., Chaban, M. E. (2004). Matematychni metody v biologii: teoretychni vidomosti,

prohramovanyi praktykum, kompiuterni testy [Mathematical methods in biology: theoretical knowledge, practical programmable, computer tests]. Lviv, Type Center LNU (in Ukrainian).

Honchar, T. M., Ksheminska, H. P., Patsay, I. O., Huta, O. M., Gonchar, M. V. (2008). Assay of chromium (III) in microbial cultures using chromazurol S and surfactants for monitoring chromatere mediation processes. Biotechnology, 1(4), 85–94.

Horton, R. N., Apel, W. A., Thompson, V. S., Sheridan, P. P. (2006). Low temperature reduction of hexavalent 5 chromium by a microbial enrichment consortium and a novel strain of *Arthrobacter aurescens*. II BMC Microbiology, 6, 5–12.

Kofanov, V. I., Ohnanyk, M. S. (2009). Normatyvno-metodychne zabezpechennia vyznachennia yakosti vody pry otsintsi vplyvu na navkolyshnie seredovyshe [Regulatory and methodical provisions for water quality determination at environmental impact assessment]. Ecology of the environment and life safety, 4, 15–23 (in Ukrainian).

Lovley, D. R. (1993). Dissimilatory metal reduction. Annu. Rev. Microbiol., 47, 263–290.

Marchart, H. (1964). Über die Reaktion von Chrom mit Diphenylcarbazid und Diphenylcarbazol. Analytica Chimica Acta, 196(30), 11–17.

Owlad, M., Aroua, M. K., Ashri, W., Daud, W., Baroutian, S. (2009). Removal of hexavalent chromium-contaminated water and wastewater: a review. Water Air Soil Pollut., 200, 59–77.

Postgate, J. R. (1984). The sulfate- reducing bacteria. 2nd ed. Cambridge University: Cambridge.

Seghezzo, L., Zee man, G., van Lier, J. B. et al. (1998). A review: the anaerobic treatment of sewage in UASB and EGSB reactors. Bioresour. Technol, 65, 175–190.

Shanna, D. C., Forster, C. F. (1996). Cleaning of sewages from salts of chrome by carbon absorbent. Water S. Afr., 2, 153–160.

Sholiak, K. V., Peretyatko, T. B., Gudz, S. P. (2013). Aktseptory elektroniv dlia sulfatvidnovliuvalnykh bakterii *Desulfomicrobium* sp. y protsesi oksyennia orhanichnykh spolk [Electron acceptors for sulphate-reducing bacteria *Desulfomicrobium* sp. in the process of oxidation of organic compounds]. Studia Biologica, 7(2), 57–64 (in Ukrainian).

Sholiak, K. V., Peretyatko, T. B., Gudz, S. P. (2014). Patent Ukrainy na korysnu model № 71666. Sposib ochystky stichnykh vod vid shestyvvalentnoho khromu mikroorhanizmy [Method of sewage purification from hexavalent chromium with microorganisms] With Publ. 25.07, 4 (in Ukrainian).

Smith, W. L., Gadd, G. M. (2000). Reduction and precipitation of chromate by mixed culture sulphate reducing bacterial biofilms. Appl. Microbiol., 88, 983–991.

Sugiyama, M. (2002). United States Patent, № 6340596. Reagent composition for measuring hydrogen sulfide and method for measuring hydrogen sulfide.

Vasylynych, T. M. (2011). Ochyschennia stichnykh vod shkirianoho vyrobnytstva vid ioniv khromu [Cleaning of sewage from the production of chrome ions]. Herald of Khmelnytskyi national university, 1, 228–231 (in Ukrainian).

Chayka, O., Peretyatko, T., Gudz, S. (2010). Sirkovidnovliuvni bakterii vodoim Yavorivskoho sirkovoho rodovyscha [Sulfur reducing bacteria of Yazivske sulfur deposit]. Scientific Bulletin of the Uzhgorod University. Series Biology, 28, 52–55 (in Ukrainian).



Diagnostic role of soil physical properties of forest biogeocoenoses of the Ukrainian steppe zone

V. A. Gorban

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Article info

Received 08.10.2018

Received in revised form
15.10.2018

Accepted 20.10.2018

Oles Honchar Dnipro
National University,
Gagarin Ave., 72, Dnipro,
49010, Ukraine.
Tel.: +38-050-362-45-90
E-mail: vad01@ua.fm

Gorban, V. A. (2018). Diagnostic role of soil physical properties of forest biogeocoenoses of the Ukrainian steppe zone. Ecology and Noospherology, 29(2), 83–88. doi:10.15421/031814

For the current stage of the development of soil science it is relevant to search for objectively existing interactions between the various soil properties. Solving this issue most appropriately should be based on the establishment of pedotransfer functions. Pedotransfer functions appeared at the time of the birth of quantitative soil science, when one of the properties of the soil tried to predict others when it became clear that everything in the soil is interrelated when it was established that there is a well-defined number of fundamental, basic properties of the soil, which is basically defines its other properties. Accordingly, the purpose of our work is to establish the diagnostic value of the individual soil physical properties of forest biogeocoenoses of the steppe by means of determining the existing interconnections between them and other properties and characteristics of these soils. The solution of this issue is one of the tasks of developing research on the soil physical properties of forest biogeocoenoses of the Ukrainian steppe zone. The diagnostic value of granulometric and structural-aggregate composition, density and permeability for determining the general state of soils due to the existence of certain interactions between the indicated parameters and other soil properties is considered. The granulometric composition is a fundamental soil characteristic that determines not only the physical state, but also all the main soil properties and regimes of forest biogeocoenoses of the Ukrainian steppe zone. The structural and aggregate composition is an important complex diagnostic feature of chernozem, which helps to reveal the peculiarities of their genesis under the influence of forest vegetation, in particular as a result of changes in the content and composition of organic matter, exchange cations, the influence of root vegetation systems, etc. The soil density, due to existing interactions with other soil properties, is an important diagnostic feature that reflects the features of their genesis and regimes, which determines the specificity of the ecological functions of the soils of forest biogeocoenoses of the Ukrainian steppe zone. Water permeability can be considered as a complex characteristic of soils, which to a certain extent reflects their granulometric composition, porosity, structural and aggregate composition, determines the features of the water-air regime. The differences of physical properties of zonal chernozems and chernozems, the genesis of which are connected with artificial and natural forest biogeocoenoses within the steppe zone of Ukraine, are analyzed. The relevance of the further search for relationships between physical indicators that are easily and promptly analyzed, and other soil properties for expanding diagnostic possibilities with respect to their genesis is pointed out.

Keywords: granulometric composition; structural and aggregate composition; density; water permeability; interconnections; influence of forest vegetation

Діагностичне значення фізичних властивостей ґрунтів лісових біогеоценозів степової зони України

В. А. Горбань

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Розглянуто діагностичне значення гранулометричного та структурно-агрегатного складу, щільності та водопроникності для визначення загального стану ґрунтів унаслідок існування певних взаємозв'язків між зазначеними показниками та

іншими ґрунтовими властивостями. Проаналізовано відмінності фізичних властивостей зональних чорноземів та чорноземних ґрунтів, генезис яких пов'язаний із штучними та природними лісовими біогеоценозами в межах степової зони України. Зазначено актуальність подальшого пошуку взаємозв'язків між фізичними показниками, які легко та оперативно аналізуються, та іншими властивостями ґрунтів для розширення діагностичних можливостей відносно їх генезису.

Ключові слова: гранулометричний склад; структурно-агрегатний склад; щільність; водопроникність; взаємозв'язки; вплив лісової рослинності

Вступ

Для сучасного етапу розвитку ґрунтознавства актуальним є пошук об'єктивно існуючих взаємозв'язків між різноманітними властивостями ґрунтів. Вирішення цього питання найбільш доречно повинно базуватися на встановленні педотрансферних функцій. Термін «педотрансферна функція» в наукову літературу вперше ввів J. Bouma та H. A. J. van Lanen (1987), а згодом J. Bouma (1989) використовував цей термін для позначення математичних функціональних залежностей, які дозволяють перетворювати інформацію про основні ґрунтові (педо-) властивості в інформацію про характеристики переносу (трансфер) вологи в ґрунті (Shein, Arkhangelskaya, 2006), тобто ці функції забезпечують «переведення даних, які ми маємо, в ті, які нам потрібні» (Medvedev, Laktionova, 2011).

Як зазначають Є. В. Шеїн та Т. О. Архангельська (Shein, Arkhangelskaya, 2006), педотрансферні функції з'явилися в часи зародження кількісного ґрунтознавства, коли за одними властивостями ґрунту намагалися передбачити інші, коли стало зрозуміло, що все в ґрунті взаємопов'язано, коли було встановлено, що є цілком визначений ряд фундаментальних, базових властивостей ґрунту, який в основному визначає його інші властивості.

Виходячи з цього, метою нашої роботи є встановлення діагностичного значення окремих фізичних властивостей ґрунтів лісових біогеоценозів степу за допомогою визначення існуючих взаємозв'язків між ними та іншими властивостями і характеристиками зазначених ґрунтів. Вирішення цього питання є одним із завдань розвитку досліджень фізичних властивостей ґрунтів лісових біогеоценозів степової зони України (Gorban, 2016).

Гранулометричний склад – це відносний вміст у ґрунті елементарних ґрунтових часток різноманітного діаметру, незалежно від їх мінералогічного та хімічного складу (Shein, 2009). Гранулометричний склад виражається передусім у вигляді масових відсотків фракцій гранулометричних часток різноманітного розміру (Теорія ..., 2007). Гранулометричний склад є однією з фундаментальних характеристик будь-якого ґрунту. Відповідно до сучасної концепції ієрархії рівнів структурної організації ґрунтів (Rozanov, 1975; Voronin, 1986) гранулометричний склад відповідає рівню елементарних ґрунтових часток, усаджених від материнської породи та змінених у процесі ґрунтоутворення. Гранулометричний склад є доволі сталою характеристикою ґрунтів, а його зміни у ґрунтових горизонтах пов'язані з проявом процесів лесиважу, опідзолення, оглинення, метаморфозу (Karpachevsky, 2005).

В. В. Медведєв та Т. М. Лактіонова (Medvedev, Laktionova, 2011) зазначають, що гранулометричний склад характеризує одну з найважливіших властивостей ґрунтів – їх полідисперсність. Співвідношення в ґрунтах елементарних часток різноманітних розмірів формує основні властивості та функції ґрунтів – продуктивні та екологічні. Інакше кажучи, здатність ґрунтів трансформувати речовини та енергію, взаємодіяти з водою, повітрям, речовинами, що потрапляють до ґрунту, з коренями рослин і в цілому, формування та функціонування ґрунту як природного компоненту в значній мірі залежить від його гранулометричного складу (Medvedev, Laktionova, 2011).

Л. О. Карпачевський (Karpachevsky, 2005) підкреслює, що багато властивостей ґрунтів функціонально пов'язані з їх гранулометричним складом. Однак ця пряма функціональна залежність порушується тим, що різні ґрунти відрізняються за мінеральним складом, а для різних мінералів функціональний зв'язок між розміром їх зерен та властивостями різний. Функціональна залежність також змінюється залежно від вмісту в ґрунті гумусу. Деякі властивості ґрунтів разом з гранулометричним складом визначаються гумусом, тому вибір властивостей ґрунтів, які можуть коригувати дані про гранулометричний склад, є дуже актуальним завданням. Гранулометричний склад визначає багато інших властивостей ґрунту, як фізичних, так і хімічних. Упаковка часток створює пористість ґрунтів, питома поверхня залежить від кількості мулистих часток, а сама питома поверхня ґрунтів визначає взаємодію коренів рослин та ґрунту, вилучення поживних речовин з ґрунту, вміст доступної рослинам води та ін. Саме питома поверхня ґрунтів привертає зараз увагу дослідників як показник їх гранулометричного складу. Гранулометричний склад в тій чи іншій мірі впливає на такі ґрунтові властивості: щільність, вологосміст, коефіцієнт фільтрації, пористість, максимальна гігроскопічність, вологість в'янення, найменша вологосміст. Отже, гранулометричний склад ґрунтів – одна з основних властивостей, яка визначає багато інших властивостей. Він відповідає за такі екологічні функції ґрунту, як розповсюдження рослин, забезпечення рослин водою та поживними елементами (Karpachevsky, 2005).

О. Л. Бельгард (Belgard, 1960) вважав гранулометричний (механічний) склад ґрунтів однією з найважливіших характеристик лісорослинних умов, який здійснює вирішальний вплив на фізичні властивості ґрунтів та хімічні процеси, що в них відбуваються. Перехід від ґрунтів легкого до ґрунтів більш важкого гранулометричного складу зумовлює зростання їх родючості (Belgard, 1971).

Гранулометричний склад виступає базовою характеристикою, часто разом із структурним складом та щільністю, для побудови педотрансферних функцій. Як зазначають В. В. Медведєв та Т. М. Лактіонова (Medvedev, Laktionova, 2011), гранулометричний склад враховується при моделюванні таких педотрансферних функцій: агрегація; деагрегація; ґрунтово-гідрологічні властивості; фізичні, фізико-механічні та технологічні властивості; міграція вологи та тепла; гумусово-аккумулятивна здатність; запас та доступність поживних речовин; біологічна активність. К. І. Лукьященко та Т. О. Архангельська (Lukyashchenko, Arkhangelskaya, 2018) відзначають, що врахування гранулометричного складу дозволяє значно підвищити достовірність та точність моделювання температуропровідності ґрунтів.

Дослідження гранулометричного складу чорноземів під лісовими насадженнями в умовах степу показало відсутність суттєвого переміщення часток (Stadnichenko, 1960). Разом з тим детальні дослідження степових ґрунтів під штучними та природними лісами, виконані Н. А. Біловою та А. П. Травлєєвим (Belova, Travleyev, 1999), свідчать про певну диференціацію ґрунтового профілю на елювіальні та ілювіальні горизонти внаслідок прояву лесиважу, в результаті якого спостерігається міграція мулистих часток з верхніх горизонтів до нижніх. При цьому зазначається, що під штучними лісонасадженнями виявлено лише зачаткові ознаки цього процесу, а найбільш чіткі його

ознаки пов'язані з ґрунтами природних лісів степу, які характеризуються рядом особливостей, відмінних від зональних чорноземів (Travleyev, 1972, 1977; Belova, Travleyev, 1999 та ін.). У першу чергу це позначається на водному режимі, оскільки від гранулометричного складу у значній мірі залежать величини ґрунтово-гідрологічних констант – гігроскопічної та максимальної гігроскопічної вологи, максимальної молекулярної вологоємності (Kachinsky, 1970). Суттєві коливання гранулометричного складу ґрунтів зумовлюють зміни типу лісорослинних умов (Gorban, 2009), що може відбиватися на загальному стані лісового біогеоценозу.

Таким чином, гранулометричний склад є фундаментальною ґрунтовою характеристикою, яка визначає не лише фізичний стан, а й усі основні властивості та режими ґрунтів лісових біогеоценозів степової зони України.

Структурно-агрегатний склад – це певний внутрішньогоризонтний рівень організації ґрунтового тіла, що відображає особливості ґрунтоутворення певної місцевості, який можна охарактеризувати розміром, формою, щільністю укладання структурних одиниць, зовнішніми та внутрішніми властивостями, а також специфічною динамікою, що також відображає коливання факторів агрегації та деагрегації (Voronin, 1986; Medvedev, 2008).

П. Є. Соловійов (Solovyov, 1967) зазначає, що структура ґрунту знаходиться в тісній залежності від гранулометричного складу. Під впливом деревної рослинності структура ґрунту з грудкувато-пилюватої у відкритому степу перетворюється під лісом в грудкувато-зернисту та навіть зернисту. Тонкі корені деревних рослин, пронизуючи ґрунт у всіх напрямках, сприяє цим утворенню агрегатних окремоностей. Таким чином, коренева система є одним з факторів утворення структури ґрунту та підвищення її водоміцності. Органічна речовина, що утворюється при розкладанні деревних рослин, посилює цементацию агрегатів та робить їх більш міцними. Водоміцність структурних агрегатів у ґрунтах під широколистяним лісом значно вища, ніж у ґрунтах відкритого степу. Кількість водоміцних агрегатів у них у верхніх горизонтах коливається в межах від 50 до 96 %, у той час як у ґрунтах відкритого поля таких агрегатів не більше 20 %. Найкращою структурою та найбільшою її водоміцністю характеризуються ґрунти під лісом. Їх структура знаходиться в тісній залежності від підвищеного вмісту в них перегнійних речовин та насиченості їх поглинутими катіонами – кальцієм та магнієм. Одночасно з цим інтенсивні мікробіологічні процеси, які відбуваються в ґрунтах під лісом, також сприяють формуванню доброї, стійкої проти розмивання водою, структури ґрунту. Структурність ґрунту та водоміцність його агрегатів зумовлюються співвідношенням фракцій гранулометричного та структурного аналізу (Solovyov, 1967).

Результати досліджень А. Г. Линді (Lyndya, 1973) свідчать, що під природним байрачним лісом кількість водоміцних агрегатів вища, ніж під степовою рослинністю. Зокрема, у верхньому горизонті зональних чорноземів міститься 66 % водоміцних агрегатів, а в ґрунтах липово-ясеневої діброви цей показник дорівнює 82 %. Збільшення водоміцності агрегатів верхнього гумусового горизонту зумовлене впливом деревно-чагарникової рослинності на ґрунти байрачних лісів (Lyndya, 1973).

П. Г. Адеріхін та ін. (Aderikhin et al., 1983) відзначають, що під впливом смугових лісових насаджень в умовах степу ґрунти відрізняються високою агрегованістю, водоміцністю структурних агрегатів у верхній частині профілю. Коефіцієнт водоміцності становить 0,63–0,87 для агрегатів розміром понад 1,0 мм та 0,82–0,91 – для агрегатів понад 0,25 мм. Чорноземи лісових смуг за структурністю перевершують перелогові чорноземи. При наближенні до лісової смуги в орному горизонті чорноземного ґрунту збільшується грудкуватість

(від 18–28 до 44–46 %) та водоміцність агрегатів (Aderikhin et al., 1983).

Дослідження Н. А. Білової (Belova, 1997) свідчать, що лісова рослинність у степу сприятливо впливає на зональні ґрунти, які покращують свої фізичні властивості, агрегованість, збільшують пористість. Установлено, що більшість лісових рослин порівняно зі степовими характеризуються в 2,0–2,5 рази більшою здатністю до структуроутворення. Коефіцієнт структурності лісових рослин досягає показника 6,4 на відміну від 2,4 на степовій цілині (Belova, 1997).

У результаті досліджень впливу насаджень різних типів світлової структури на зональні чорноземи І. А. Іванько (Ivanko, 2016) було встановлено, що найбільшу агрегованість ґрунтової маси зі стійкими показниками коефіцієнта структурності за профілем і високими значеннями водоміцності структурних ґрунтових агрегатів виявлено для насаджень тінювого і напівтінювого типів світлової структури, при більш високих значеннях – у насажденні дуба звичайного. Відзначено, що порівняно зі степовими ґрунтами в насадженнях тінювого і напівтінювого типів найбільше зростає водотривкість тонких фракцій структурних агрегатів (1–0,5 і 0,5–0,25 мм). Разом з тим порівняно з контрольними ділянками степових цілининних ґрунтів у верхньому біогенному ґрунтовому горизонті (0–10 см) у тінювих насадженнях вміст гумусу зростає в середньому на 0,8 %, у напівтінювих – на 0,4 %, у полежахисних насадженнях напівосвітленого і освітленого типів – на 0,2–0,3 % (Ivanko, 2016).

Таким чином, структурно-агрегатний склад є важливою комплексною діагностичною ознакою чорноземів, яка допомагає розкрити особливості їх генезису під впливом лісової рослинності, зокрема внаслідок змін у вмісті та складі органічних речовин, обмінних катіонів, впливу кореневих систем рослинності та ін.

Щільність – це маса абсолютно сухого ґрунту в одиниці об'єму ґрунту зі всіма властивими природному ґрунту порожнинами (Теорія ..., 2007).

О. Ф. Вадюніна та З. О. Корчагіна (Vadyunina, Korchagina, 1986) відзначають, що щільність є однією з найважливіших фізичних характеристик, що позначається на водному, повітряному, тепловому режимах ґрунтів. Знати щільність ґрунту непорушеного складання необхідно для вирішення цілого ряду практичних завдань: обчислення пористості, обчислення на визначеній площі маси ґрунтових нашарувань, запасів води, поживних речовин, гумусу, мікроелементів, норм поливу при зрошенні та ін. За щільністю складання верхніх горизонтів складають уявлення про окультуреність ґрунтів. Сильно ущільнений в сухому стані ґрунт має великий опір розвитку кореневої системи рослин. У перезволоженому щільному ґрунті створюються несприятливі умови для рослин внаслідок зайнятості майже всього об'єму пор водою і нестачі пор аерації. Щільний ґрунт погано або зовсім не фільтрує воду. Вода, що надходить на поверхню ґрунту, не проникає всередину, а стікає, викликаючи процеси ерозії. Щільність сухого ґрунту непорушеного складання залежить від гранулометричного складу, структури, її водної та механічної міцності, пористості, вологості. Вона змінюється в просторі і в часі, особливо у верхніх горизонтах, що піддаються постійному впливу кліматичних, біологічних і антропогенних факторів (Vadyunina, Korchagina, 1986).

А. Д. Воронін (Voronin, 1986) зазначає, що щільність складання сухого ґрунту в ґрунтових горизонтах або шарах залежить від гранулометричного складу й агрегованості ґрунтів, від щільності складання агрегатів і характеру їх утаковки. Це дуже динамічна і в той же час інформативна величина, оскільки дає уявлення про співвідношення твердої частини і порожнин у ґрунті. Тому її широко використовують як при ґрунтово-генетичних дослідженнях, так і для агротехнічної і ґрунтово-

меліоративної оцінки ґрунтів. У цілому щільність складання сухого ґрунту вниз за профілем зростає. Це пов'язано з тиском верхньої товщі ґрунту на нижні шари. Однак іноді ця тенденція порушується появою шарів з підвищеною або зниженою щільністю, що може бути наслідком особливостей як ґрунтотвірного процесу (ілювіальний та елювіальний горизонти), так і вихідної неоднорідності ґрунтотвірної породи (Voropin, 1986).

Дослідженнями І. І. Назаренка та ін. (Nazarenko et al., 2000) встановлено, що залежність рівноважної щільності верхніх горизонтів основних ґрунтів України від фізико-хімічних факторів є зворотною. Ступінь тісноти кореляції високий для вмісту обмінного кальцію, гумусу, суми обмінних основ, помітний для вмісту обмінного магнію та ступеня насиченості основами (Nazarenko et al., 2000).

В. В. Медведєв та ін. (Medvedev et al., 2004) відмічають, що щільність складання доволі часто використовується при створенні педотрансферних моделей. Зокрема, виявлено зв'язок між рівноважною щільністю та вмістом гумусу (коефіцієнт кореляції дорівнює -0,64). Установлено існування зв'язку між щільністю та вмістом фізичної глини, найменшою вологоємністю, а також з особливостями водно-повітряного режиму (вбиранням, фільтрацією, аерацією та ін.). Зазначається, що отримані педотрансферні моделі є важливим інструментом, за допомогою якого можна пояснити та формалізувати деякі аспекти генезису щільності складання та її впливу на інші властивості та режими (Medvedev et al., 2004).

За даними І. Є. Олега (Oleg, 1996), щільність верхніх горизонтів ґрунтів байрачних лісів лежить у межах 1,1–1,2 г/см³, завдяки чому вони відрізняються збільшеними величинами загальної пористості та пор аерації. Н. А. Білова (Belova, 1997) відзначає, що верхні горизонти ґрунтів під природними байрачними лісами, внаслідок своєї високої агрегованості, відрізняються дуже незначною щільністю, що забезпечує можливість цих ґрунтів до вбирання величезної кількості вологи.

Таким чином, щільність ґрунтів, внаслідок існуючих взаємозв'язків з іншими ґрунтовими властивостями, є важливою діагностичною ознакою, яка відображає особливості їх генезису та режимів, зумовлює специфічність прояву екологічних функцій ґрунтів лісових біогеоценозів степової зони України.

Водопроникність – це процес надходження води в ґрунт при певному напорі, який включає стадію вбирання (інфільтрації) – проникнення води в не насичений вологою ґрунт, та наступну стадію фільтрації – пересування води в насиченому вологою ґрунті (Теофіл ..., 2007).

Інтенсивність і характер водопроникності ґрунту залежать від його гранулометричного та механічного складу, від структурності, щільності складання, пористості, вологості ґрунту та тривалості їх зволоження (Kachinsky, 1970; Nazarov, 1970). На величину і характер водопроникності у великій мірі впливає пористість ґрунту, а саме величина, форма і спрямованість пір, що, у свою чергу, пов'язано з гранулометричним складом і структурністю. У ґрунтах легкого гранулометричного складу (піщаних, супіщаних), а також безструктурних водопроникність залежить лише від складання гранулометричних елементів; у ґрунтах структурних вона обумовлена розмірами агрегатів, їх розміщенням відносно один одного і головним чином – водомістністю. Водопроникність зменшується з часом, оскільки при насиченні ґрунту водою відбувається руйнування структури, поступове ущільнення за рахунок замулювання порового простору (Vadyunina, Korchagina, 1986). Водопроникність залежить від хімічного складу і особливо від водорозчинних сполук, здатних або нездатних коагулювати ґрунтові колоїди (Rode, Smirnov, 1972).

Показник водопроникності значно залежить від водно-фізичних властивостей ґрунтів і впливає на їхній гідрологічний режим. Оподи під впливом сили тяжіння

всмоктовуються та просочуються по порах і тріщинах. У процесі всмоктування частина води заповнює різні пори, інша частина фільтрується у глибинні горизонти, ще інша випаровується з поверхні, а також стікає по схилах, утворюючи поверхневий стік. Отже, чим менша водопоглинальна здатність ґрунтів, тим більше води залишається на їхній поверхні і, відповідно, тим сильніша ерозія. Надходження ж меншої кількості води у ґрунт супроводжується зниженням продуктивності як окремих популяцій, так і біогеоценозів загалом. Погіршення водно-фізичних характеристик ґрунту призводить до деградації лісового біогеоценозу, що виявляється в посиленні в ньому ерозійних процесів, унаслідок чого простежується змивання підстилки та гумусового шару ґрунту. Це впливає на здатність лісу до поновлення, посилює процеси деградації, що призводить до незворотних змін у лісових біогеоценозах (Shcherbina, 2002).

Водопроникність – одна з головних рис характеристики ґрунту. Вона зумовлює життєдіяльність біоти та визначає водний баланс того чи іншого ґрунту. Від водопроникності залежить інтенсивність поверхневого стоку, а відповідно, і режим зволоження ґрунту, що має важливе значення в пізнанні життя лісу та під час розробки заходів щодо підвищення продуктивності лісових насаджень. Водопроникність, забезпечуючи сприятливий водно-повітряний режим у ґрунті, є одним із найсуттєвіших чинників його родючості (Gorban, 2007).

Для чорноземів виявлена чітка залежність водопроникності від гранулометричного складу. Найменші показники при цьому характерні для чорноземів легкого гранулометричного складу, з підвищенням у складі ґрунту часток фізичної глини вбирання та фільтрація збільшуються, а разом з ними покращується міцність структури, що відображається на коефіцієнті загасання водопроникності (Medvedev et al., 2011).

А. П. Травлєєв та ін. (Travleyev et al., 1991) відзначають, що інфільтрація в зональних чорноземах звичайних характеризується відносно помірними показниками. У той же час водопроникність у лісосузі з дуба звичайного майже в 10 разів вища порівняно з цілинним степом, що зумовлено кращою агрегованістю лісових ґрунтів (Belova, 1997).

Таким чином, водопроникність можна розглядати як комплексну характеристику ґрунтів, яка в певній мірі відображає їх гранулометричний склад, пористість, структурно-агрегатний склад, зумовлює особливості водно-повітряного режиму.

Висновки

У роботі розглянуто деякі показники фізичного стану ґрунтів (гранулометричний склад, структурно-агрегатний склад, щільність та водопроникність), які можуть використовуватися для комплексної діагностики загального стану ґрунтів. Детально наведено характеристику існуючих взаємозв'язків між зазначеними показниками та іншими властивостями ґрунтів лісових біогеоценозів степової зони України. У подальшому необхідно активізувати роботи щодо виявлення та встановлення особливостей взаємозв'язків між показниками, які легко та оперативно діагностуються (наприклад, електрофізичні показники), та іншими ґрунтовими властивостями.

References

- Aderikhin, P. G., Belgard, A. L., Zonn, S. V., Krupenikov, I. A., & Travleyev, A. P. (1983). Vliyaniye lesnoy rastitelnosti na chernozemy [Influence of forest vegetation on chernozems]. Russian black earth – 100 years after Dokuchaev. Moscow, 117–126 (in Russian).
- Belgard, A. L. (1960). Vvedenie v tipologiyu iskusstvennykh lesov stepnoy zony [Introduction to the typology of

- artificial steppe zone forests]. Artificial forests of steppe zone of Ukraine. Kharkov state university, Kharkov (in Russian).
- Belgard, A. L. (1971). Stepnoe lesovedenie [Steppe forestry]. Forestry industry, Moscow (in Russian).
- Belova, N. A. (1997). Ekologiya, mikromorfologiya, antropogenez lesnykh pochv stepnoj zony Ukrainy [Ecology, micromorphology, antropogenesis of forest soils in the Steppe zone of Ukraine]. Dnepropetrovsk University Press, Dnepropetrovsk (in Russian).
- Belova, N. A., Travleyev, A. P. (1999). Estestvennye lesa i stepnye pochvy (ecologiya, mikromorfologiya, genesis) [Forest and steppe soils (ecology, micromorphology, genesis)]. Dnepropetrovsk (in Russian).
- Bouma, J. (1989). Using soil survey data for quantitative land evaluation. *Adv. Soil Sci.*, 9, 177–213.
- Bouma, J., van Lanen, H. A. J. (1987). Transfer functions and threshold values: from soil characteristics to land qualities. *Proc. of the Int. Workshop on Quantified Land Evaluation Procedures*, Washington, DC, USA. 106–110.
- Gorban, V. A. (2016). Fizychni vlastyivosti gruntiv ta pidstylok lisovykh bioheotsenoziv stepovoyi zony Ukrainy [Physical properties of soils and litter forest biogeocoenoses of the steppe zone of Ukraine]. *Bioheotsenolohichni doslidzhennya lisiv stepovoyi zony Ukrainy*. Svidler A. L., Dnipro. 142–154 (in Ukrainian).
- Gorban, V. A. (2009). Vplyv eolovo-gruntovykh vidkladiv na komponenty ta strukturni elementy lisovykh kulturbioheotsenoziv stepovoyi zony Ukrainy [Influence of the eolian sediments on the components and structural elements of the artificial forest ecosystems in the Ukrainian steppe areas]. *Gruntoznavstvo*, 10(1-2), 90–94 (in Ukrainian).
- Gorban, V. A. (2007). Zv'язok vodopronyknosti gruntiv z inshymy ikhnimy fizychnymy vlastyvostiamy u lisovykh ugrupovanniakh Prysmaria [The relation of soils water infiltration with other physical properties of Prisma region wood edaphotopes]. *Visnyk of L'viv univ. Biology series*, 43, 161–165 (in Ukrainian).
- Ivanko, I. A. (2016). Ekolohichna rol svitlovoyi struktury u formuvanni shtuchnykh lisovykh nasadzen u stepoviy zoni Ukrainy [Ecological role of light structure in the formation of artificial forest plantations in the steppe zone of Ukraine]. *Bioheotsenolohichni doslidzhennya lisiv stepovoyi zony Ukrainy*. Svidler A. L., Dnipro. 155–171 (in Ukrainian).
- Kachinsky, N. A. (1970). *Fizika pochvy* [Soil Physics]. Moscow (in Russian).
- Karpachevsky, L. O. (2005). *Ekologicheskoe pochvovedenie* [Ecological soil science]. GEOS, Moscow (in Russian).
- Lukyashchenko, K. I., Arkhangel'skaya, T. A. (2018). Modelirovaniye temperaturoprovodnosti pochv razlichnogo granulometricheskogo sostava [Modeling the thermal diffusivity of soils of different grain size distribution]. *Eurasian Soil Science*, 2, 179–186 (in Russian).
- Lyndya, A. G. (1973). O polozhitel'nom vliyaniy lesnoy rastitelnosti na nekotoryye fizicheskiye svoystva pochv [On the positive influence of forest vegetation on some physical properties of soils]. *DSU, Dnepropetrovsk. Voprosy stepnogo lesovedeniya*, 4, 30–33 (in Russian).
- Medvedev, V. V. (2008). *Struktura pochvy (metody, genesis, klassifikatsiya, evolyutsiya, geografiya, monitoring, okhrana)* [Soil structure (methods, genesis, classification, evolution, geography, monitoring, protection)]. Publishing House «13 Press», Kharkiv (in Russian).
- Medvedev, V. V., Laktionova, T. N. (2011). Granulometricheskij sostav pochv Ukrainy (geneticheskij, ekologicheskij i agronomicheskij aspekty) [Texture of Ukrainian Soils (genetic, environmental and agronomical aspects)]. *Apostrof*, Kharkiv (in Russian).
- Medvedev, V. V., Laktionova, T. N., Dontsova, L. N. (2011). *Vodnye svoystva pochv Ukrainy i vlagobespechennost selskokhozyajstvennykh kultur* [Soil water properties of Ukraine and agricultural crops water supply]. *Apostrof*, Kharkiv (in Russian).
- Medvedev, V. V., Lyndina, T. E., Laktionova, T. N. (2004). *Plotnost slodzeniya pochv (geneticheskij, ekologicheskij i agronomicheskij aspekty)* [Soils bulk density (genetic, ecological and agronomical aspects)]. 13th Printing House, Kharkiv (in Russian).
- Nazarenko, I. I., Berbet, N. A., Cherpinka, V. R. (2000). *Ravnovesnaia plotnost i pogloshchayushchij kompleks osnovnykh pochv Ukrainy* [Equilibrium bulk density and adsorption complex of main soils in Ukraine]. *Eurasian Soil Science*, 10, 1238–1241 (in Russian).
- Nazarov, G. V. (1970). *Zonalnyye osobennosti vodopronitsayemosti pochv SSSR* [Zonal features of the permeability of the soil of the USSR]. Leningrad (in Russian).
- Oleg, I. E. (1996). *Ekologicheskaya rol fizicheskikh svoystv lesnykh pochv stepnogo Pridneprov'ya* [Ecological role of physical properties of forest soils of the steppe Dnieper]. Thesis for the degree of candidate of biological sciences (03.00.16 – Ecology). Dnipropetrovsk (in Russian).
- Rode, A. A., Smirnov, V. N. (1972). *Pochvovedeniye* [Soil Science]. Moscow (in Russian).
- Rozanov, B. G. (1975). *Geneticheskaya morfologiya pochv* [Genetic soil morphology]. Moscow (in Russian).
- Shcherbina, Yu. G. (2002). *Vliyaniye fizicheskikh kharakteristik pochvy i polnoty drevostoya na sostoyaniye lesnykh biogeotsenozov Chernomorskogo poberezh'ya Kavkaza* [The influence of the physical characteristics of the soil and the completeness of the stand on the state of the forest biogeocoenoses of the Black Sea coast of the Caucasus]. *Gruntoznavstvo*, 3(3-4), 21–26 (in Russian).
- Shein, E. V. (2009). *Granulometricheskij sostav pochv: problemy metodov issledovaniya, interpretatsii rezul'tatov i klassifikatsii* [Soil granulometric composition: problems of research methods, interpretation of results and classifications]. *Eurasian Soil Science*, 3, 309–317 (in Russian).
- Shein, E. V., Arkhangel'skaya, T. A. (2006). *Pedotransfernyye funktsii: sostoyaniye, problemy, perspektivy* [Pedotransfer functions: state of the art, problems, and outlooks]. *Eurasian Soil Science*, 10, 1205–1217 (in Russian).
- Solovyov, P. Ye. (1967). *Vliyaniye lesnykh nasazhdeniy na pochvoobrazovatelnyy protsess i plodorodiye stepnykh pochv* [The influence of forest plantations on the soil-forming process and the fertility of steppe soils]. Moscow (in Russian).
- Stadnichenko, V. G. (1960). *Pochvy iskusstvennykh lesov stepnoy zony USSR* [Soils of artificial forests of the steppe zone of the Ukrainian SSR]. *Iskusstvennyye lesa stepnoy zony Ukrainy*. Kharkov, 75–84 (in Russian).
- Teorii i metody fiziki pochv (2007) [Theories and techniques of soil physics]. Ed. E. V. Shein, L. O. Karpachevskij. Moscow (in Russian).
- Travleyev, A. P. (1972). *Materialy k nomenklature i klassifikatsii lesnykh pochv podzony nastoyashchikh stepey* [Materials to the nomenclature and classification of forest soils of the subzone of these steppes]. *DSU, Dnepropetrovsk. Voprosy stepnogo lesovedeniya*, 3, 16–21 (in Russian).
- Travleyev, A. P. (1977). *Kharakteristika pochv lesnykh kul'turbioheotsenozov nastoyashchikh stepey USSR* [Characteristics of the soil of forest cultures and biogeocoenoses of real steppes of the Ukrainian SSR]. *Voprosy stepnogo lesovedeniya i okhrany prirody*. *DSU, Dnepropetrovsk*. 8–21 (in Russian).
- Travleyev, A. P., Belova, N. A., Travleyev, L. P. (1991). *Vodnyye i mikromorfologicheskiye svoystva pochv stepnykh biogeotsenozov Prismaarskogo monitoringa*

[Water and micromorphological properties of the soils of the steppe biogeocenoses of the Prisamarie monitoring]. Kadastryye issledovaniya stepnikh BGTS Prisamar'ya Dneprovskogo, ikh antropogennaya dinamika i okhrana. DSU, Dnepropetrovsk. 4–20 (in Russian).

Vadyunina, A. F., Korchagina, Z. A. (1986). Metody issledovaniia fizicheskikh svoystv pochvy [Methods of study of the physical properties of soil]. Moscow (in Russian).

Voronin, A. D. (1986). Osnovy fiziki pochv [Basics of soil physics]. Moscow University Press, Moscow (in Russian).



Environmental evaluation of remediated lands quality of manganese quarry lands (Zaporizhsky and Olexandrovsky opencast workings) on humus content and salinity

I. M. Loza, O. Y. Pakhomov

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Article info

Received 29.10.2018
Received in revised form
05.11.2018
Accepted 08.11.2018

*Oles Honchar Dnipro
National University,
Gagarin Ave., 72, Dnipro,
49010, Ukraine.
Tel.: +38-095-230-85-29
E-mail: irinaloza23@gmail.com*

Loza, I. M., & Pakhomov, O. Y. (2018). Environmental evaluation of remediated lands quality of manganese quarry lands (Zaporizhsky and Olexandrovsky opencast workings) on humus content and salinity. *Ecology and Noospherology*, 29(2), 89–96. doi:10.15421/031815

Environmental protection, rational use of natural resources and ensuring the ecological safety of human life are integral conditions of sustainable economic and social development of European Union. Mining industry is one of the powerful factors that leads to degradation of various native landscapes. Withdrawal of agricultural land from intended use results from the minerals extraction. Instead them man-made landscapes (dumps and quarries) are formed, as well as destructive territories characterized by subsidence, contamination with toxic compounds, decrease of species richness and biological diversity. Disturbed territories formed during mining process are usually partially restored with remediation. Remediation process consist of two stages: technical and biological. In the result of technical stage implementation, substrates with different potential fertility having different environmental properties and quality are formed. However, in quality assessment of remediated soils insufficient attention is paid to restoration of the soil environmental properties, namely their suitability for existence of soil biota, which ensures the soil sustainability and vitality. Purpose of the presented work was to assess quality of remediated lands in condition of Ordzhonikidzevsky manganese quarry (Olexandrovskiy and Zaporizhskiy careers) on the possibility of their use and suitability for soil biota existence, as well as providing recommendations for further rational economic use of them. Data on chemical properties of reclaimed soil were collected on the sites of performed recultivation. Humus content was determined according to DSTU 4289: 2004, analysis of water extraction was carried out according to GOST 26425-85, GOST 26426-85, GOST 26427-85, GOST 26428-85. The study is novel in that it is proposed to take into account environmental conditions for existence of soil invertebrates which play a crucial role in formation of agro-system stability mechanisms. The main indicators determining the productivity of remediated lands and the degree of their suitability for soil biota existence are values of actual acidity and salinity degree. An assessment of the reclaimed lands quality on the Ordzhonikidzevsky ore mining and processing enterprise was carried out on the example of Zaporizhsky and Olexandrovsky opencast workings on the possibility of their economic use and suitability for the soil biota existence, as well as recommendations for further rational use. It was found that studied areas by the main characteristics are suitable for the further settlement and successful existence of soil biota. It is concluded that as a result of the technical stage of reclamation, an artificial reclaimed soil was obtained, which, according to the main characteristics, is similar to native zonal soils located in this area prior to mining; the recultivated soil has somewhat less fertility and greater salinity of lower horizons, but it is able to perform ecological functions and can not only be used for economic purposes, but also perform ecological role, serving as an environment for existence of soil invertebrates.

Keywords: remediated soil quality; salinity; mining industry; ecosystem assessment; technogenesis; soil invertebrates

**Екологічне оцінювання якості рекультивації земель
Олександрівського та Запорізького кар'єрів видобутку
марганцевої руди щодо вмісту гумусу та водорозчинних солей**

Охорона навколишнього середовища, раціональне використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки життєдіяльності людини – невід’ємні умови сталого економічного та соціального розвитку європейських держав. Одним із потужних чинників, що призводить до деградації різних природних ландшафтів, є діяльність видобувної промисловості. У результаті видобутку корисних копалин з використання вилучаються землі господарського призначення. На їх місці формуються техногенні ландшафти (відвали і кар’єри), а також деструктивні території, для яких характерні просідні явища, забруднення токсичними сполуками, зниження видового багатства і біологічного різноманіття угруповань таких ділянок. Порушені території, утворені в процесі вуглевидобутку, частково відновлюють шляхом рекультивації, під час якої використовують субстрати з різною потенційною родючістю, що мають різні екологічні властивості та якість. Збір даних щодо властивостей рекультивованих земель здійснювали по ділянках виконаної рекультивації. Вміст гумусу визначали за ДСТУ 4289:2004, аналіз водної витяжки проводили згідно з ГОСТ 26425-85, ГОСТ 26426-85, ГОСТ 26427-85, ГОСТ 26428-85. У статті наведено оцінку якості рекультивованих земель Олександрівського та Запорізького кар’єрів Орджонікідзевського гірничо-збагачувального комбінату (ступеня засолення, вмісту гумусу) на можливість їх господарського використання та придатності для існування ґрунтової біоти, а також надано рекомендації щодо їх подальшого раціонального використання. У ході досліджень виявлено, що за основними фізико-хімічними характеристиками досліджена територія рекультивації придатна для подальшого заселення та успішного існування ґрунтової біоти. Зроблено висновок, що в результаті технічного етапу рекультивації одержано штучний рекультивований ґрунт, який за характеристиками схожий із первинними зональними ґрунтами, розташованими на даних ділянках до проведення гірничих робіт; встановлено, що рекультивований ґрунт має меншу родючість та більшу засоленість горизонтів, однак здатний виконувати екологічні функції, слугуючи середовищем для існування ґрунтової біоти.

Ключові слова: якість рекультивованих ґрунтів; засоленість, видобувна промисловість; екосистемна оцінка; техногенез; ґрунті безхребетні

Вступ

Невід’ємною умовою сталого економічного та соціального розвитку європейських держав є охорона навколишнього середовища, раціональне використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки життєдіяльності людини. У зв’язку з цим особливо актуальним є вирішення екологічних проблем техногенно порушених територій Східної Європи (Pecharova et al., 2011; Keesstra et al., 2016; Khaledian et al., 2012). Одним із потужних чинників, що призводить до деградації різних природних ландшафтів, є діяльність видобувної промисловості. У результаті видобутку корисних копалин з використання вилучаються землі господарського призначення. На їх місці формуються техногенні ландшафти – відвали і кар’єри, а також деструктивні території, для яких характерні просідні явища, підйом і вихід на денну поверхню високомінералізованих ґрунтових вод, відведення на поверхню кислот шахтних вод, забруднення токсичними сполуками, зниження видового багатства і біологічного різноманіття угруповань таких ділянок (Kul’bachko et al., 2011, 2015, 2016; Jachimko 2012). Порушені території, утворені в процесі вуглевидобутку, частково відновлюють шляхом рекультивації. В Україні найбільш поширеною моделлю рекультивації сульфідних порід є засипання їх суглинками, глиною, піском шаром 1–1,5 м із подальшим нанесенням на ці екрани 0,6–0,8 м родючого ґрунту. На початковому етапі проводять коригування ландшафту і здійснюють нанесення родючого шару ґрунту. Основними агрохімічними характеристиками, які визначають продуктивність рекультивованих земель і ступінь їх придатності для існування біоти, є величина актуальної кислотності (рН) і ступінь засоленості.

Унаслідок інтенсивного промислового засвоєння території Дніпропетровщини набули змін морфології природних ландшафтів. Замість природних місць існування біоти виникли «промислові пустелі». Проблема спустелювання визнана світовою спільнотою як найсучасніша проблема всього людства. Особливо актуальна вона для посушливих регіонів України, зокрема для півдня Дніпропетровської області. У процесі виконання гірничо-технічного етапу рекультивації використовують субстрати з різною потенційною родючістю, які мають різні екологічні властивості, а отже і

якість. Американське суспільство ґрунтознавців визначає термін «якість ґрунту» як здатність ґрунту функціонувати в межах екосистеми при забезпеченні біологічної продуктивності, підтримці якості докільця і сприятливих умов існування тварин і рослин (Karas, 2011). Таким чином, біологічна продуктивність рекультивованих ґрунтів є одним з декількох аспектів при визначенні якості ґрунту. Дослідники відзначають, що шахтна порода часто має високі значення щільності, низький коефіцієнт структурності, а також високу мінералізацію її водних витяжок, що в сукупності обумовлює надзвичайно низьку придатність таких субстратів для існування біоти (Kulbachko et al., 2016). Тому шахтну породу перекривають рекультиваційним шаром, який складається з нетоксичного матеріалу (незасолені лесоподібні суглинки, глини). Наступним етапом відновлювальних робіт є нанесення родючого шару ґрунту. На території степової України для цього іноді використовують гумусовану масу чорнозему звичайного або безчорноземні варіанти насипок.

Заключним етапом відновлення порушених земель є біологічний етап рекультивації. Його різновидами є різні способи фіторекультивації з використанням трав’янистих, деревних і чагарникових насаджень (Lovinska et al., 2018), спрямовані на формування екологічно збалансованих ландшафтів. На цьому етапі рекультивації важливу роль у створенні механізмів стійкості екосистем відіграють чисельні живі організми, що оселяються в ґрунті (Maltseva, Baranova, 2014), зокрема ґрунтова мезофауна, представники її сапротрофного комплексу – дощові черв’яки, енхітреїди, двопарноногі багатоніжки тощо (Pakhomov, Shulman 2017; Shulman et al., 2017; Brygadyrenko, 2016, 2018). Ці безхребетні в результаті трофо-метаболічної діяльності вносять значний екологічний внесок у перетворення ґрунтових властивостей. Їх називають «екосистемними інженерами», тобто організмами, здатними за допомогою своєї життєвої активності впливати на середовище проживання і ґрунтові угруповання біоти, а також викликати сукцесії екосистем. Доведено зростання ефективності відновлення рекультивіземів при збагаченні їх копролітами дощових черв’яків, при одночасному поліпшенні якості насипних ґрунтів (Albrecht et al., 1998; Atiyeh et al., 2002; Blouin et al., 2013; Brevik, Sauer 2015). У сучасних умовах існує тенденція оцінювати ефективність рекультивації порушених земель за принципом досягнення

максимального ефекту і мінімізації витрат з урахуванням взаємозв'язку всіх елементів екосистеми.

Серед біоти важливу роль у створенні механізмів стійкості агросистем відіграє ґрунтова мезофауна, зокрема представники її сапротрофного комплексу – Lumbricidae, Diplopoda тощо. Ці тварини завдяки своїй трофо-метаболическій діяльності вносять значний екологічний внесок у перетворення ґрунтових властивостей, виступаючи як ґрунтозахисний біологічний фактор органічного землеробства. Можливість існування безхребетних у ґрунтах екосистем дуже тісно пов'язана з екологічними характеристиками (зволоженість, засоленість ґрунту, його механічний склад, наявність підстилки тощо. Ґрунтові тварини впливають на педогенез, родючість і структурованість ґрунту, регуляцію водного режиму та клімату, кругообіг речовин тощо, але при цьому, незважаючи на високу екологічну значущість, майже не враховуються екологічні умови існування безхребетних у ґрунті, особливо це стосується території гірничих розробок.

Метою представленої роботи була оцінка якості рекультивованих земель Орджонікідзевського гірничо-збагачувального комбінату на прикладі Олександрівського та Запорізького кар'єрів (Нікопольський район Дніпропетровської області) на можливість їх господарського використання і придатності для існування ґрунтової біоти, а також надання рекомендацій щодо подальшого раціонального господарського використання. Предметом представлених досліджень є оцінка якості проведення рекультивації ґрунтів з метою виявлення умов для існування представників зооценологічного блоку. Об'єктом дослідження є фізико-хімічні властивості рекультивованих ґрунтів ОГЗК Олександрівського та Запорізького кар'єрів (потужність насипного гумусованого шару, вміст гумусу в насипному шарі, засолення насипного родючого шару і підстилаючої породи (ступінь), склад і властивості підстилаючих порід).

Матеріали та методи досліджень

Обстежена територія рекультивації Запорізького кар'єру розташована на території Покровської сільської ради, вона займає площу 8,9 га та призначається для використання в орних угіддях. Територія належить до Апостолівського природно-сільськогосподарського району, провінція Степова посушлива. Обстежена площа рекультивації представлена однією ділянкою. Для проведення досліджень у межах даної ділянки було закладено два ґрунтових розрізи. Нанесений шар гумусованої чорноземної маси являє собою суміш гумусового та перехідних горизонтів чорнозему звичайного. Потужність чорноземного шару дорівнює 56–60 см. У середньому глибина насипного родючого шару становить 58,0 см. Чорноземний шар частини території не несе ознак засолення. Нижче плужної підшви чорнозем ущільнений. По всьому профілю наявні карбонати кальцію у вигляді білуватих вкраплень. Породи, що підстилають чорноземний шар, представлені сумішшю лесових суглинків та червоних глин.

Обстежена площа Олександрівського кар'єру становить приблизно 10,0 га. Як картографічна основа при проведенні польового обстеження використовувались плани гірничих робіт масштабу 1:5 000. Кожна ділянка розбивалась на квадрати, в кутах яких закладались шурфи і свердловини. Кількість закладених шурфів та свердловин – 2, кількість відібраних зразків – 30 (10 у трикратній повторності). Агрохімічні аналізи зразків ґрунтів і порід виконані в лабораторії ДП «Дніпропетровський науково-дослідний та проектний інститут землеустрою». Аналіз водної витяжки проводили згідно з ГОСТ 26425-85 «ґрунти. Методи визначення йону хлориду в водній витяжці», ГОСТ 26426-85 «ґрунти. Методи визначення

йону сульфату в водній витяжці», ГОСТ 26427-85 «ґрунти. Метод визначення натрію та калію у водній витяжці», ГОСТ 26428-85 «ґрунти. Методи визначення кальцію та магнію в водній витяжці».

Коротка характеристика гірничо-технічного етапу рекультивації. Гірничо-технічна рекультивація обстежених ділянок була виконана ПАТ «ОГЗК» і включала в себе такі етапи:

1. Зняття родючого шару ґрунту (чорнозему) валовим способом з наступним складуванням у бурти.
2. Переформування і розрівнювання відвалів розкривних порід надрудної товщі, що складаються у відпрацьованому просторі кар'єру валовим способом.
3. Витримування до 3 років вирівняної поверхні відвалів з метою просідання порід.
4. Ремонт поверхні після просядок.
5. Нанесення родючого шару ґрунту.
6. Оранка рекультивованих земель.

Клімат та умови зволоження ґрунтів. Район Нікопольського марганцеворудного басейну за вологозабезпеченістю відноситься до посушливого. Гідротермічний коефіцієнт 0,8–0,9. Середньорічні опади становлять 401 мм. Середньорічна кількість опадів – 7–20 мм, при цьому максимум їх спостерігається у червні–липні (17–20 мм). Середньорічна температура повітря +8,8 °С. Тривалість активних температур більше +5 °С становить 214 днів, їх сума – 3487 °С. Тривалість температур більше +10 °С – 178 днів, сума цих температур – 3216 °С. Для температурного режиму характерні значні перепади, що приводить до інтенсивного вивітрювання гірничих порід рекультивованих земель з вивільненням елементів мінерального живлення рослин. Неприятливі кліматичні показники – тривалі бездощові періоди з відносною вологістю повітря до 30 % та сильні посушливі вітри. Зволоження рекультивованих ґрунтів відбувається тільки за рахунок атмосферних опадів. Обстежена площа рекультивації Олександрівського кар'єру розташована на території Покровської сільської ради, займає площу 10,0 га і призначається для використання в орних угіддях. Територія належить до Апостолівського природно-сільськогосподарського району, провінція Степова посушлива Правобережна. Нахил поверхні обстеженої ділянки не перевищує 1°. Мікрорознижень та інших деформацій поверхні від просядок ґрунту не виявлено. Обстежена площа рекультивації є однією ділянкою.

Характеристика оціночних одиниць. Бонітування ґрунтів – це порівняльна оцінка їх родючості, яка визначає ступінь придатності ґрунтів для вирощування сільськогосподарських культур. При проведенні оцінки непорушених земель за оціночну одиницю прийнято агровиборничу групу ґрунтів єдиного для країни номенклатурного списку. Стосовно рекультивованих ґрунтів виділити подібні оціночні групи і скласти єдиний список не є можливим, оскільки параметри фактичної рекультивації не завжди відповідають проектним параметрам. Згідно з проектними даними у рекультивованих земель має бути насипний гумусований шар потужністю 50 см, який підстиляється незасоленими лесоподібними суглинками на глибину 150 см. Збір даних щодо властивостей рекультивованих земель здійснюється по ділянках виконаної рекультивації. Дані одержували з матеріалів ґрунтово-агрохімічного дослідження. Механічний склад рекультивованих ґрунтів Олександрівського кар'єру характеризували як склад шару насипного чорнозему плюс склад підстилаючих порід. Дослідження ґрунтових умов проводилося шляхом закладання серії ґрунтових розрізів. Збір і обробку даних проведено за такими показниками: 1) потужність насипного гумусованого шару, см; 2) вміст гумусу в насипному шарі, %; 3) засолення насипного родючого шару і підстилаючих порід (ступінь); 4) склад і властивості підстилаючих порід.

Вміст гумусу визначали за ДСТУ 4289:2004 «Якість ґрунту. Метод визначення органічної речовини» Аналіз водної витяжки проводили згідно з ГОСТ 26425-85 «ґрунти. Методи визначення йону хлориду у водній витяжці», ГОСТ 26426-85 «ґрунти. Методи визначення йону сульфату у водній витяжці», ГОСТ 26427-85 «ґрунти. Метод визначення натрію та калію у водній витяжці», ГОСТ 26428-85 «ґрунти. Методи визначення кальцію та магнію у водній витяжці». Гранулометричний склад насипного шару ґрунту визначали згідно з ГОСТ 12536-79 «ґрунти. Методи лабораторного визначення зернового (гранулометричного) складу».

З метою бонітування складають шкалу балів бонітету, причому за 100 балів приймають найкращий (найродючіший) ґрунт району бонітування. Для врахування ґрунтових процесів, які значуще впливають на врожайність, але недостатньо виявляються з використанням кількісних показників, застосовують коригуючі коефіцієнти, специфічні для конкретних територій. Для розрахунку балів бонітування рекультивованих земель на перших етапах використовують три перших показники, інші показники родючості застосовуються як поправкові коефіцієнти. Розраховані бали бонітету порівнюють з балами еталонного зонального ґрунту і роблять висновки щодо цінності даного ґрунту з позиції вирішення сільськогосподарських культур, а також використовують для проведення економічних розрахунків грошової оцінки земель.

За даними ґрунтового обстеження на місці ділянок рекультивації Олександрівського та Запорізького кар'єрів раніше були сформовані чорноземи південні середньосуглинкові та чорноземи звичайні малогумусові неглибокі важкосуглинкові. Як еталон для бонітування рекультивованих земель, що використовуються в орних угіддях, приймається в даній зоні чорнозем звичайний малогумусовий неглибокий важкосуглинковий. Цей ґрунт характеризується такими основними показниками: глибина гумусових горизонтів (Н+Нр) – 54 см; вміст гумусу в орному шарі – 3,5 %; вміст фізичної глини в орному шарі – 54,8 %. Бал бонітету – 84, з урахуванням екологічного коефіцієнту – 41. Вищенаведені дані необхідні для оцінки рекультивованих земель. Представлені ґрунти добре забезпечені нітрогеном та фосфором, високо – калієм, вони мають нейтральну реакцію ґрунтового розчину. Карбонати знаходяться на глибині 35–45 см, засолення відсутнє. Ґрунтоутворюючими породами є леси та лесоподібні суглинки. Таким чином, чорноземи звичайні малогумусові неглибокі важкосуглинкові належать до категорії найбільш цінних земель універсального використання. Оцінка ефективності рекультивації земель є складовою частиною ґрунтово-агрохімічного обстеження і включає бонітування рекультивованих ґрунтів.

Результати та їх обговорення

Характеристика рекультивованих ґрунтів Олександрівського кар'єру. Підстилаючі породи. Породи, що підстилають чорноземний шар, не відрізняються строкатістю і представлені техногенною сумішшю лесових суглинків і червоно-бурих глин. Підстилаючі породи Олександрівського кар'єру (за даними хімічних аналізів) містять водорозчинні солі вище порогу токсичності на глибині 30–100 см. Підстилаючі породи є слабо- та середньозасоленими за сульфатним типом.

Якість родючого шару ґрунту. При селективному знятті гумусового шару зонального ґрунту, який у подальшому використовують для рекультивації, відбувається його змішування з безгумусовим лесоподібним суглинком, в результаті чого родючий шар ґрунту збіднюється на поживні для рослин речовини, особливо на доступний нітроген, стає більш карбонатним і

містить 1,6–2,0 % гумусу, тобто у 1,5–2 рази менше, ніж в орному шарі первинного ґрунту. Нанесений чорноземний шар являє собою суміш гумусового і перехідних горизонтів чорнозему південного. Він має сірувато-коричневе, місцями плямисте забарвлення, обумовлене вкрапленнями палевого лесоподібного суглинку. Вміст гумусу в шарі 0–10 см коливається від 2,1 до 2,3 % і в середньому становить 2,2 %. Потужність чорноземного шару – від 56 см до 67 см. У середньому глибина насипного родючого шару становить 62 см. Засолення водорозчинними солями вище порогу токсичності в орному шарі досліджених ґрунтів не виявлено (табл. 1). Нижче плужної підшови ґрунт ущільнений. По всьому його профілю наявні карбонати кальцію.

Визначення впливу підстилаючих порід на продуктивність рекультивованих земель. Багаторічними дослідженнями Дніпропетровського сільськогосподарського інституту на рекультивованих землях Орджонікідзевського ГЗК виявлено негативний вплив засолених порід на продуктивність рекультивованих земель. В умовах Олександрівського кар'єру коефіцієнт впливу дорівнює 0,76.

Засолення рекультивованих ґрунтів. Аналіз водних витяжок рекультивованих ґрунтів Олександрівського кар'єру виявив наявність водорозчинних солей вище порогу токсичності в підстилаючих породах. Рекультивовані ґрунти за типом засолення є слабозасоленими солончакуватими на площі 6,1 га (засолені на глибині 30–80 см) та середньозасоленими солончакуватими на площі 3,9 га. Тип засолення – сульфатний (табл. 1).

Оцінка рекультивованих ґрунтів. Бонітування рекультивованих земель на агроекологічній основі здійснюють за ґрунтово-екологічними індексами. Такий підхід надає можливість урахувати практично весь комплекс абіотичних та біотичних чинників у системі техногенний едафотоп – рослина. Згідно з роботами М. О. Бекаревича продуктивність рекультивованих едафотопів визначається такими чинниками, як вміст гумусу та поживних речовин, потужність насипного гумусованого шару, фізичні властивості підстилаючих порід у метровому шарі, вміст водорозчинних солей та карбонатів тощо. Дослідженнями встановлено, що продуктивність рекультивованих ґрунтів у процесі їх експлуатації не досягає рівня продуктивності не порушених ґрунтів.

Характеристика рекультивованих ґрунтів Запорізького кар'єру. Підстилаючі породи. До порід, що підстилають родючий шар ґрунту на обстеженій території, відносяться лесові плейстоценові відклади (до 3 ярусів), червоно-бурі пліоценові глини та техногенна суміш вищеназаних порід. У складі підстилаючих порід досліджених територій переважає техногенна суміш лесових суглинків та червоних глин. Лесові породи слабо- та середньозасолені. Тип засолення – сульфатний та хлоридно-сульфатний.

Якість родючого шару ґрунту. У результаті проведення гірничих робіт родючий шар рекультивованого ґрунту збіднюється на поживні для рослин речовини, стає більш карбонатним і містить у 1,5–2,0 рази менше гумусу, ніж орний шар первинного ґрунту (Mueller et al., 2016). Потужність гумусованого шару в середньому становить 58 см порівняно із 54 см для зональних ґрунтів. Вміст гумусу в насипному шарі в середньому становить 2,2 % порівняно зі значенням 3,5 см для зональних ґрунтів. Нижче плужної підшови ґрунт ущільнений.

Визначення впливу підстилаючих порід на продуктивність рекультивованих земель. Багаторічними дослідженнями Дніпропетровського сільськогосподарського інституту на рекультивованих землях Орджонікідзевського ГЗК в умовах Запорізького кар'єру не виявлено негативного впливу засолених порід на продуктивність рекультивованих земель.

Таблиця 1

Результати аналізу водорозчинних сполук рекультивованих ґрунтів Олександрівського кар'єру ПАТ «ОГЗК»

№ розрізу	Індекс горизонтів	Глибина відбору зразка, см	Водна витяжка, %мг-екв на 100 г ґрунту								
			сухий залишок	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH водний
1	H+Hp+Ph	0–10	0,106 ± 0,07	–	0,83 ± 0,03	0,29	0,40	0,73	0,73	0,06	6,78
	H+Hp+Ph	20–30	0,078 ± 0,01	–	0,56 ± 0,02	0,15	0,54	0,73	0	0,52	6,56
	H+Hp+Ph	40–50	0,106 ± 0,03	–	0,74 ± 0,03	0,29	0,50	0,62	0,82	0,09	7,02
	H+Hp+Ph	58–67	0,404 ± 0,03	–	0,56 ± 0,02	0,73	4,75	2,50	2,08	1,46	7,16
	Pk	90–100	0,387 ± 0,02	–	0,56 ± 0,02	0,80	4,31	2,06	3,09	0,52	7,98
2	H+Hp+Ph	0–10	0,087 ± 0,04	–	0,62	0,11	0,40	0,62	0,21	0,30	6,82
	H+Hp+Ph	20–30	0,104 ± 0,05	–	0,74	0,32	0,50	0,73	0,83	0	7,12
	H+Hp+Ph	40–50	0,281 ± 0,07	–	0,60	0,55	3,21	1,98	1,14	1,24	7,54
	H+Hp+Ph	48–56	0,526 ± 0,05	–	0,56	0,94	6,20	2,29	2,18	3,23	7,56
	Pk	90–100	0,620 ± 0,04	–	0,50	0,89	7,77	2,60	2,60	3,96	8,12

У результаті проведеної рекультивації було одержано штучні ґрунти, що характеризуються такими основними показниками: глибина гумусових горизонтів (H+Hp) – 62 см; вміст гумусу в орному шарі – 2,2 %; вміст фізичної

глини в орному шарі – 45,3 %. Бал бонітету – 62, з урахуванням екологічного коефіцієнту – 30, у той час як бал бонітету природних ґрунтів становить 41 (табл. 2).

Таблиця 2

Результати розрахунків балів бонітету за властивостями рекультивованих ґрунтів Олександрівського кар'єру ПАТ «ОГЗК»

Назва ґрунтів	Властивості ґрунтів та їх оцінка в балах									Бал по властивостях ґрунтів	Поправкові коефіцієнти на:		Остаточний бал	
	глибина гумусових горизонтів			вміст гумусу в орному шарі			вміст фізичної глини				підстилення	засолення	Без екологічного коефіцієнта	З екологічним коефіцієнтом 0,49
	фактична, см	бал	частковий вплив	фактична, %	бал	частковий вплив	фактична, %	бал	частковий вплив					
Чорнозем звичайний малогумусовий неглибокий важкосуглинковий	54	–	–	3,5	–	–	54,8	–	–	–	–	–	84	41
Рекультивовані ґрунти (у середньому по ділянці)	62	114	95	2,2	63	47	45,3	94	53	91	0,90	0,76	62	30

Засолення рекультивованих ґрунтів. Аналіз водних витяжок показав, що у складі катіонів домінуюча роль належить кальцію та магнію. Катіони натрію наявні в низькій концентрації та в орному шарі сягають максимального значення 1,07 мг-екв/100 г ґрунту на глибині 23–30 см рекультизму. Але це значення одиничне, і в більшості випадків концентрація катіонів натрію в орному шарі не перевищує 0,32 мг-екв/100 г ґрунту. У складі аніонів переважають сульфати, а хлориди та карбонати займають підпорядковане положення (табл. 3).

На глибині 90–100 см обох ґрунтових профілів спостерігається деяке підвищення концентрації натрію до 0,25 і 0,79 мг-екв/100 г ґрунту, але на цій глибині токсична дія натрію не виявляється. Згідно з показниками сухого залишку, вираженими у відсотках, засолення в орному шарі

рекультизму не спостерігається, оскільки ці показники не перевищують 0,30 % на глибині 0–10 см обох ґрунтових розрізів. У підстилюючій породі розрізу 1 на глибині 90–100 см показник сухого залишку сягає 0,30 %, що характеризує породу на цій глибині як слабозасолену, однак це в подальшому не вплине на генезу рекультизму, оскільки в умовах вододілу майже відсутній вплив підґрунтових вод на ґрунтовий профіль. Результати аналізу водної витяжки ґрунтового розрізу 2 показали відсутність засолення по всьому профілю рекультизму.

Також у ході аналізу водних витяжок рекультивованих ґрунтів не спостерігалась наявність водорозчинних солей вище порогу токсичності у насипному чорноземному шарі на всій території ділянки. Для визначення балу бонітету рекультивованих ґрунтів Запорізького кар'єру були використані наведені показники їх властивостей (у середньому по ділянці).

Таблиця 3

Результати аналізу хімічних властивостей ґрунтів ПАТ «ОГЗК», Запорізький кар'єр (2016 р., n = 5; $\bar{x} \pm SD$)

№ розрізу	Глибина відбору зразка, см	Індекс горизонту	сухий залишок, %	Водна витяжка					
				аніонно-катионний склад, мг-екв/100 г ґрунту					
				HCO ³⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
1	0–10	H+Hr+Ph	0,076 ± 0,012	0,06 ± 0,011	0,73 ± 0,030	0,44 ± 0,022	0,73 ± 0,051	0,42 ± 0,024	0,08 ± 0,011
	20–30	H+Hr+Ph	0,110 ± 0,011	0,83 ± 0,012	0,17 ± 0,011	0,62 ± 0,023	0,83 ± 0,032	0,72 ± 0,031	0,07 ± 0,010
	40–50	H+Hr+Ph	0,338 ± 0,015	0,58 ± 0,040	0,58 ± 0,024	4,16 ± 0,162	2,91 ± 0,064	2,29 ± 0,051	0,12 ± 0,012
	56–62	H+Hr+Ph	0,196 ± 0,025	0,58 ± 0,010	0,62 ± 0,032	1,64 ± 0,050	1,14 ± 0,020	1,66 ± 0,036	0,04 ± 0,010
	90–100	Pk	0,300 ± 0,012	0,58 ± 0,031	0,60 ± 0,030	3,23 ± 0,142	1,98 ± 0,015	2,18 ± 0,042	0,25 ± 0,010
2	0–10	H+Hr+Ph	0,208 ± 0,010	0,69 ± 0,031	0,69 ± 0,021	1,75 ± 0,036	1,56 ± 0,022	1,25 ± 0,020	0,32 ± 0,010
	20–30	H+Hr+Ph	0,275 ± 0,032	0,71 ± 0,020	0,73 ± 0,031	2,75 ± 0,052	1,98 ± 0,026	1,14 ± 0,010	1,07 ± 0,022
	40–50	H+Hr+Ph	0,218 ± 0,003	0,44 ± 0,024	0,73 ± 0,02	2,10 ± 0,040	1,98 ± 0,020	1,25 ± 0,011	0,04 ± 0,010
	56–63	H+Hr+Ph	0,178 ± 0,001	0,48 ± 0,031	0,69 ± 0,011	1,71 ± 0,025	1,56 ± 0,021	1,25 ± 0,024	0,07 ± 0,010
	90–100	Pk	0,187 ± 0,002	0,58 ± 0,041	0,73 ± 0,030	1,46 ± 0,010	0,94 ± 0,011	1,04 ± 0,010	0,79 ± 0,031

Проведені дослідження свідчать, що одержані в результаті рекультивациі штучні ґрунти за балом бонітету схожі із зональними чорноземами звичайними малогумусовими неглибокими важкосуглинковими. Остаточний бал бонітету рекультивованих ґрунтів

становить 43, у той час як бал природних ґрунтів дорівнює 41 (табл. 4). Цей факт свідчить про те, що рекультивациіні роботи на дослідженій території гірничих розробок ПАТ «ОГЗК» (на прикладі Запорізького кар'єру) були проведені на належному рівні.

Таблиця 4

Результати розрахунків балів бонітету за властивостями рекультивованих ґрунтів Запорізького кар'єру ПАТ «ОГЗК»

Назва ґрунту	Властивості ґрунтів та їх оцінка в балах									Бал за властивостями ґрунтів	Поправкові коефіцієнти на:		Остаточний бал		
	Глибина гумусових горизонтів			Вміст гумусу в орному шарі			Вміст фізичної глини				Бал за властивостями ґрунтів	підстилення	засолення	Без екологічного коефіцієнта	З екологічним коефіцієнтом 0,49
	фактична, середнє, см	бал	частковий вплив	фактичний, середнє, %	бал	частковий вплив	фактичний, середнє, %	бал	частковий вплив						
Чорнозем звичайний малогумусовий неглибокий важкосуглинковий	54	НЗ	НЗ	3,5	НЗ	НЗ	54,8	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	84	41	
Рекультивовані ґрунти (у середньому по ділянці)	58	107	89	2,2	63	47	52,9	100	55	90	0,97	1,00	87	43	

Примітка. НЗ – не застосовується.

У результаті проведення гірничих робіт родючий шар рекультивованого ґрунту збіднюється на поживні для рослин речовини, стає більш карбонатним і містить у 1,5–2,0 разу менше гумусу, ніж орний шар первинного ґрунту. Потужність гумусованого шару в середньому становить 58 см порівняно із 54 см для зональних ґрунтів. Вміст гумусу в насипному шарі в середньому становить 2,2 % порівняно зі значенням 3,5 см для зональних ґрунтів. Аналіз водних витяжок не виявив наявності водорозчинних солей вище порогу токсичності у підстиляючих породах (табл. 3). По всьому профілю ґрунту містяться карбонати кальцію.

Для рекультивованих ґрунтів характерна менша кількість гумусу, але слід очікувати, що в процесі проведення біологічного етапу рекультивациі вони поступово збагатяться на органічну речовину, у результаті чого кормова база для ґрунтових тварин у подальшому покращиться. Також відбудеться поліпшення окремих екологічних характеристик ґрунту, зокрема збільшиться його шпаруватість, що є дуже важливим для оптимізації властивостей ґрунту важкого механічного складу. Ці самі положення стосуються майбутнього сільськогосподарського використання дослідженої ділянки. Можна прогнозувати,

що після проведення біологічного етапу рекультивації, тобто після засівання рекультивованих ґрунтів екологічно стійкими багаторічними травами (люцерна жовта (*Medicago falcata* L.), стоколос безостий (*Bromus inermis* L.), пирій повзучий (*Elytrigia repens* L.); стоколос безостий (*Bromus inermis* L.), люцерна синьогібридна (*Medicago varia* Mart.)), відбудеться подальше поліпшення екологічних властивостей ґрунту.

Проведені дослідження показали, що рекультиваційні роботи на території гірничих розробок ВАТ «ОГЗК» (на прикладі Олександрівського та Запорізького кар'єрів) проведені на належному рівні. У результаті проведення гірничих робіт родючий шар рекультивованого ґрунту збідається на поживні для рослин речовини, стає більш карбонатним і містить у 1,5–2 рази менше гумусу, ніж орний шар первинного ґрунту. Потужність гумусованого шару в середньому становить 58–62 см. Вміст гумусу в насипному шарі в середньому складає 2,2 %. Механічний склад орного шару ґрунту – середньосуглинковий. Нижче плужної підшови ґрунт ущільнений. Засолення водорозчинними солями вище порогу токсичності в орному шарі досліджених ґрунтів не виявлено. Аналіз водних витяжок виявив наявність водорозчинних солей вище порогу токсичності у підстилюючих породах. Рекультивовані ґрунти Олександрівського кар'єру за типом засолення є слабозасоленими солончакуватими на площі 6,1 га та середньозасоленими солончакуватими на площі 3,9 га. Тип засолення – сульфатний. По всьому профілю ґрунту наявні карбонати кальцію. Рекультивовані ґрунти Запорізького кар'єру не мають ознак засолення.

Рекомендації щодо поліпшення рекультивованих земель. Перш ніж розпочати використання рекультивованих земель в орних угіддях, необхідно провести ремонт рекультивованих земель (при необхідності) та біологічну рекультивацію (обов'язково). На біологічному етапі поліпшуються агрофізичні властивості (структура, шпаруватість, повітряний режим, водопроникність), агрохімічні (збагачення гумусом і поживними речовинами), хімічні (винесення із ґрунту легкорозчинних солей). Це досягається завдяки вирощуванню протягом 3–5 років солевитривалих багаторічних трав. Для цього рекомендуємо використання таких травосумішей: люцерна жовта (*Medicago falcata* L.) + стоколос безостий (*Bromus inermis* L.) + пирій повзучий (*Elytrigia repens* L.); стоколос безостий (*Bromus inermis* L.) + люцерна синьогібридна (*Medicago varia* Mart.). Технологічна низка робіт з біологічної рекультивації повинна розроблятися окремим робочим проектом.

Висновки

У результаті технічного етапу рекультивації одержано штучний рекультивований ґрунт, який за характеристиками є схожим із первинними зональними ґрунтами, розташованими на даній ділянці до проведення гірничих робіт, і, хоча має дещо меншу родючість та більшу засоленість нижніх горизонтів, може використовуватись для господарських цілей. Поправкові коефіцієнти на підстилення та засолення не змінюють значно результати оцінювання ґрунту, що свідчить про близькість його основних фізичних та хімічних характеристик до зонального природного чорнозему. Результати дослідів свідчать про те, що в штучно створеному ґрунті території рекультивації Олександрівського та Запорізького кар'єрів ВАТ «ОГЗК» у майбутньому складуться екологічні умови, сприятливі для існування ґрунтових безхребетних. Можна прогнозувати, що після проведення біологічного етапу рекультивації, який полягає у засіванні рекультивованих ґрунтів екологічно стійкими багаторічними травами, відбудеться подальше поліпшення екологічних властивостей ґрунту та складуться оптимальні умови для існування угруповань безхребетних тварин,

притаманних природним зональним ґрунтам, що приведе до їх подальшої натуралізації, підвищення екологічної стійкості та продуктивності.

Висновки

Представлена робота проводилась у НДІ біології Дніпровського національного університету ім. О. Гончара. Матеріали є частиною досліджень у рамках держбюджетних тем Міністерства освіти і науки України: д/б № 1-325-17 «Екологічні основи зоопертинентного впливу тварин на процеси оптимізації природних і порушених екосистем в умовах сучасного природокористування», д/б № 1-290-15 «Зоогенні механізми екосистемних сервісів та розробка екологічних принципів їх збереження і відновлення», а також договірної роботи з ДП «Дніпропетровський науково-дослідний та проектний інститут землеустрою». Автори виражають подяку інженерам Назімову С. С., Неклесі А. О., провідному спеціалісту Міщенко Л. В. за допомогу та співробітництво у науково-дослідній роботі.

References

- Albrecht, A., Angers, D. A., Beare, M. H., Blanchart, E. (1998). Soil aggregation, soil organic matter and soil biota interactions: implications for soil fertility recapitalization in the tropics. *Cahiers Agricultures*, 7(5), 357–363.
- Atiyeh, R. M., Lee, C., Edwards, A., Arancon, N. Q., Metzger, J. D. (2002). The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresource Technology*, 84(1), 7–14.
- Blouin, M., Hodson, M. E., Delgado, E. A. (2013). A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. *Journal of European Soil Science*, 64(1), 161–182.
- Brevik E. C., Sauer T. J. (2015). The past, present, and future of soils and human health studies. *Soil*, 1(1), 35–46.
- Brygadyrenko V. V. (2016). Influence of litter thickness on the structure of litter macrofauna of deciduous forests of Ukraine's steppe zone. *Visnik Dnipropetovsk University. Series Biology, Ecology*, 24(1), 240–248.
- Jachimko B. (2012). The influence of lignite mining on water quality. in: Voudouris K, Voutsas D. (eds) *Water Quality Monitoring and Assessment*. InTech, Croatia, 373–390.
- Karaca A. (2011). *Biology of Earthworms, Soil Biology* 24, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Keesstra, S. D., Bouma, J., Wallinga, J., Tittonell, P., Smith, P., Cerdà, A., Montanarella, L., Quinton, J. N., Pachepsky, Y., van der Putten, W. H., Bardgett, R. D., Moolenaar, S., Mol, G., Jansen, B., Fresco L. O. (2016). The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals. *Soil*, 2(1), 111–128.
- Khaledian, Y., Kiani, F., Ebrahimi, S. (2012). The effect of land use change on soil and water quality in Northern Iran. *Journal of Mountain Science*, 9(6), 798–816.
- Khaledian, Y., Kiani, F., Ebrahimi, S., Brevik, E. C., Aitkenhead-Peterson, J. (2017). Assessment and monitoring of soil degradation during land use change using multivariate analysis. *Land Degradation and Development*, 28(1), 128–141.
- Kul'bachko, Y., Loza, I., Pakhomov, O., Didur, O. (2011). The zoological remediation of technogen faulted soil in the industrial region of the Ukraine Steppe zone. *Sustainable Agricultural Development, Springer Science+Business Media, New York*, 115–123.
- Kulbachko, Y. L., Didur, O. A., Loza, I. M., Kryuchkova, A. I. (2016). Effects of saprophages (Earthworms, Lumbricidae, and Millipedes, Diplopoda) on ecosystem services implementation: optimization of some ecological functions in remediated soil. In: *Issues of the ecosystem services provided by animals under anthropogenic pressure within*

- Ukrainian steppe. East West Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH, 62–87.
- Kul'bachko, Y. L., Didur, O. O., Loza, I. M., Pakhomov, O. E., Bezrodnova, O. V. (2015). Environmental aspects of the effect of earthworm (Lumbricidae, Oligochaeta) tropho-metabolic activity on the pH buffering capacity of remediated soil (Steppe zone, Ukraine). *Biology Bulletin*, 42(10), 899–904.
- Lovinska, V., Sytnyk, S., Kharytonov, M., Loza, I. (2016). Features of pine stands function in Dnieper North Steppe, Ukraine. *The Journal Agriculture and Forestry*, 62(1), 155–163.
- Maltseva, I. A., Baranova, O. A. (2014). Algae of technogen ecotopes of iron-ore plant. *Algology*, 24(3), 350–353.
- Pecharová, E., Martis, M., Kašparová I. (2011). Environmental approach to methods of regeneration of disturbed landscapes. *Journal of Landscape Studies*, 4(2), 71–80.



Dynamics of grass stand formation in poplar plantations on different types of reclamations of disturbed lands of Western Donbass

O. M. Masiuk

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Article info

Received 22.09.2018

Received in revised form
29.09.2018

Accepted 01.10.2018

Oles Honchar Dnipro
National University,
Gagarin Ave., 72, Dnipro,
49010, Ukraine.
Tel.: +38-095-401-14-65
E-mail: almas63636@gmail.com

Masiuk, O. M. (2018). Dynamics of grass stand formation in poplar plantations on different types of reclamations of disturbed lands of Western Donbass. Ecology and Noospherology, 29(2), 97–103. doi:10.15421/031816

The purpose of our research was to study the long-term dynamics of the herbage cover at different stages of growth and development of poplar plantations on the types of artificial soils of the forest reclamation area. The object of research is flora phytotoxic dumps of «Blagodatna» coal mine, where imported substrates such as sand-clay, clay loam, red-brown earth and humic soil in various combination were applied to create reclamations layer on the surface of the mine dumps (Dnipropetrovsk region, Pavlograd region). Type 1: 30 cm of soil mass of typical chernozem (SMTC), 50 cm of red-brown earth, 80 cm of alluvial sand-clay and sand, and deeper there is the coal mine solid; type 2: 30 cm of SMTC, 80 cm of sand, and mine solid deeper; type 3: 30 cm of SMTC, 60 cm of alluvial sand-clay, 60 cm of clay, and deeper there is mine solid; type 4: 40 cm of SMTC, 30 cm of red-brown earth, 40 cm of sand and mine solid deeper; type 5: 55 cm of alluvial sand-clay, deeper there is mine solid. Stationary observations were carried out in poplar plantations of 8-, 16-, 27- and 34-year-old age on permanent trial plots. They were presented with a black poplar and seven hybrid poplars. The research has established that climatic conditions, influence of surrounding phytocenoses of undisturbed lands, inheritance by pedozems of seed material of grass plants with a fertile layer of the soil set the direction of succession on the way of formation of zonal herbal group. The long-term growth of the role of the arid element indicates the formation of a structure close to the zonal flora. The formation of the flora of technical soils in poplar plantations occurs in four stages: the first is pioneer plant communities, which begins with the completion of the technical phase of reclamation and confined to the stages of forest formation; the second is a simple grouping that is associated with the development of the stand until the closure of canopy and inter-row soil cultivation; the third is a complex grouping that is fraught with pole wood stage of stand development and partial getting sparse; the fourth in our studies, is partially closed when gradually tree plants disappear and their influence disappears. In addition to the influence of tree vegetation, its age and stage of development, the formation of lower layers of biogeocenoses is significantly influenced by the conditions stipulated by the stratigraphy and the power of artificial substrates, as well as the elements of the landscape, both created initially and formed as a result of the fragmentary subsidence of the dump territory. These factors, depending on their dynamic changes, regulate correlation between various groups of biotomorphs, climamorphs, trofomorphs, hygromorphs, heliomorph and zenomorphs in the grass cover. Created forest vegetation conditions on the plateau and the upper third of the dump do not meet the needs of hybrid poplars under conditions of acute shortage of moisture, which are characteristic of the steppe zone. Fast-growing poplar hybrids can be used as a pioneer culture up to 15–20 years of age.

Keywords: reclamations of disturbed lands; flora of phytotoxic dumps; biological ecomorphic analysis of the poplar plantations

Динаміка формування травостою в тополевіх насадженнях на різноякісних варіантах рекультивації порушених земель Західного Донбасу

Проведено біоєкоморфічний аналіз флори, який виявив особливості формування травостою в тополевих насадженнях на різних стадіях їх розвитку, культивованих в різних типах лісорослинних умов, створених штучними ґрунтами при рекультивативній фітотоксичних відвалів. Стаціонарні спостереження проводилися в тополевих насадженнях 8-, 16-, 27- і 34-річного віку на постійних пробних ділянках. Було встановлено, що кліматичні умови, вплив оточуючих фітоценозів непорушених земель, успадкування педоземами насінного матеріалу трав'яних рослин з родючим шаром ґрунту задають напрям сукцесії на шляху формування зонального трав'янистого угруповання. Формування флори техноземів в тополевих насадженнях проходить в чотири стадії.

Ключові слова: рекультивативна порушених земель; травостій; біоєкоморфічний аналіз; *Populus*

Вступ

Для усунення ряду негативних екологічних наслідків, що виникають у результаті діяльності вугледобувної промисловості, у Західному Донбасі проводилася рекультивативна земель: на шахтних відвалах створювалися штучні едафотопи і проводилося їх озеленення. В озелененні використовувалися понад тридцять видів і гібридів деревно-чагарникової рослинності. Особливий інтерес представляли насадження тополь, які на ранніх етапах розвитку вважалися перспективними і рекомендувалися для освоєння відновлених територій (Travleyev et al., 1988; Masyuk, 1988). На сьогоднішній момент вони знаходяться в стадії відмирання та поступової загибелі.

Метою проведених нами досліджень було вивчення багаторічної динаміки розвитку трав'яного покриву на різних стадіях росту та розвитку деревостану тополі на варіантах штучних ґрунтів ділянки лісової рекультивативної.

Об'єкти та методи досліджень

Об'єкт досліджень – флора фітотоксичних відвалів кам'яновугільної шахти «Благodatна», де для створення рекультивативного шару застосовувалася насипка на поверхні шахтних відвалів із привезених субстратів, представлених супісками, суглинками, червоно-бурими глинами, гумусованими ґрунтами в різноманітному сполученні (Дніпропетровська обл., Павлоградський р-н). Териконник шахти «Благodatна» був відсипаний у 1971–1975 рр. і в кінцевому результаті представляє собою відвал, складений знизу «пустою» шахтною породою, на поверхні якої були створені одно-, дво- та тріярусні штучні ґрунти на площі 11,4 га та загальним схилом в сторону русла р. Самари 6–8° південно-західної експозиції.

Наводимо опис варіантів рекультивативного шару (стратиграфія зверху вниз), які визначали різні лісорослинні умови для вивчених тополевих насаджень. Варіант 1 – 30 см – ґрунтова маса чорнозему звичайного (ГМЧЗ), 50 см – червоно-бурій суглинок, 80 см – давньоалювіальні супіски та пісок, глибше – шахтна порода; варіант 2 – 30 см ГМЧЗ, 80 см – пісок, глибше – шахтна порода; варіант 3 – 30 см ГМЧЗ, 60 см – давньоалювіальні супіски, 60 см – глина, глибше – шахтна порода; варіант 4 – 40 см ГМЧЗ, 30 см – червоно-бурій суглинок, 40 см – пісок, глибше – шахтна порода; варіант 5 – 55 см давньоалювіальні супіски, глибше – шахтна порода. Стаціонарні спостереження проводилися в тополевих насадженнях 8-, 16-, 27- і 34-річного віку на постійних пробних ділянках. Вони були представлені тополею чорною і сімома гібридними тополями – сортів Новоберлінський, Полтавський, Львівський, Дружба, Кременчуцький, Дивовижний, Лубенський селекції Н. В. Старової і Н. С. Крупця (Starova, 1980; Melikhov, 1985), які зростали в різних лісорослинних умовах, штучно створених на відвалі.

У процесі досліджень використано такі геоботанічні методи досліджень: стаціонарний, описовий, метод

пробних площ, проведено біоєкоморфічний аналіз (Belgard, 1950, 1971; Programma i metodika..., 1974; Tarasov, 2005; Yaroshenko, 1961). Видовий склад визначався за «Визначником вищих рослин України» (Opredelitel' vysshikh rasteniy Ukrainy, 1987).

Результати та їх обговорення

Перший етап комплексних досліджень проводився у восьмирічному віці насаджень (Masyuk, 1988, 1989, 1991). У результаті досліджень було встановлено, що кращі показники росту і розвитку деревостану були досягнуті тополею Новоберлінською на варіантах з нанесенням ґрунтової маси чорнозему на гірські породи. Це підтверджувалося лісотаксацийними показниками, надземною продуктивністю, вертикально-фракційним розподілом фракцій фітомаси деревостану, фізичними і водними властивостями техноземів. Інтенсивне формування трав'яного покриву описано в період стадії розвитку насаджень до змикання крон з проведенням у міжряддях механізованої культивативної верхнього шару ґрунту, спрямованої на поліпшення його водно-фізичних властивостей і боротьбу з травостоєм як головним конкурентом за абіотичні ресурси. Тут було враховано і вплив деревної рослинності на розвиток нижнього ярусу біогеоценозу, і освоєння травостоєм різноякісних едафічних ресурсів педоземів та літоземів (за класифікацією Yeterovskaya et al., 2008), оскільки гірські породи є «стерильними» по відношенню до родючого шару чорнозему звичайного, який був джерелом насіннєвого матеріалу як правонаступник природно-історичного тіла.

Трав'яний покрив на всіх варіантах характеризувався незначною кількістю видів – 7, доміантними з них були *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Artemisia absinthium* L. З великою перевагою в його складі знаходилися багаторічні рослини з довго- та короткокореневищними підземними органами, вегетативно рухливі та вегетативно малорухливі. За класифікацією екоморф О. Л. Бельгарда (Belgard, 1950), вони були представлені геофітами та гемікриптофітами, мезотрофами, ксеромезофітами, сціогеліофітами та геліофітами. Рудеральна рослинність переважала (з незначною долею степових рослин).

Кількість видів на початкових стадіях освоєння рекультивованих територій невелика, оскільки в піонерну групу входять найбільш агресивні експеренти, здатні швидко захоплювати штучні субстрати.

Другий етап комплексних досліджень проводився в 16-річному віці насаджень (Masyuk, 2006, 2008). До цього часу відбулася деградація насаджень, яка проявлялася в повному (тополя Дивовижна) або частковому (зрідження становило 20–40 %) випаданні деревостану.

Найбільш стійкою виявилася тополя Новоберлінська, продуктивність якої залежала від потужності і стратиграфії штучного ґрунту та індивідуальних генетичних особливостей даного сорту. Гібрид проявив ознаки альтеристивного гетерозису, і продуктивність біомаси у нього формувалася за рахунок адитивного

ефекту і адаптивних можливостей. В умовах нашого експерименту (варіант 5) в запропонованих едафічних умовах він відчував себе дискомфортно через обмеження життєвого простору і дефіцит продуктивної вологи, обумовлений незадовільними водно-фізичними властивостями штучних ґрунтів.

Динамічні зміни трав'яного покриву реєструвалися в період стадії розвитку насадження – жердняк, в якому сім років у міждрядях не проводились агротехнічні заходи догляду (табл. 1).

Травостій під пологом тополі Новоберлінської 16-річного віку сформований багаторічниками (коливання в межах 57–75 %) і має складну структуру. Превалюють вегетативно нерухливі (38–56 %) та вегетативно рухливі (43–50 %) види.

На даній території панують гемікриптофіти 43–75 % в залежності від варіанта. Велику роль відіграють геофіти (22–29 %) і терофіти, які переживають несприятливі умови у вигляді насіння або виводкових бруньок. Це позитивно впливає на зберігання життєздатності, але потрібен більший час для відновлення вегетативних органів за сприятливих умов.

Характеризуючи геліоморфи, прослідковується така закономірність: у міру випадання дерев з деревостану відбувається плавний перехід від домінування сціогеліофітів 70–63 % (варіанти 1, 2, 3, 5; кількість дерев знаходилась у діапазоні від 1300 до 2400 на 1 га) до домінування геліофітів 71 % (варіант 4; кількість дерев 610 на 1 га).

Аналізуючи флористичний склад за адаптаціями до водного режиму, відмічено сильний вплив деревостану тополі, а саме зімкнутість крон у насадженні. Зменшення цього показника, який залежить від ступеня зріджування насадження, приводить до зміни ксеромезофітної (57 %) на мезоксерофітну рослинність (71 %). Наявність ксерофітів 11–13 % (варіанти 3, 5) та мезофітів 11 % (варіант 5) має локальний характер і пов'язаний з незатіненими галявинами (посухостійкі умови) або з підпогозовими місцезростаннями, де менше випаровування води.

До умов, які формуються на даних ділянках, більш адаптованими виявились мезотрофні рослини, це відмічається як на педоземах (варіанти 1–4), так і в літоземі (варіант 5). Їх часткова участь складала 56–63 %. Треба зазначити наявність олігомезотрофів, олігомегатрофів, мегатрофів.

Аналізуючи адаптацію рослин до біогеоценозу у цілому, слід зазначити домінування рудеральних видів, оскільки антропогенний фактор суттєво впливає на склад ценозу, що залежить від штучно створених елементів ландшафту, едафотопів, деревних насаджень. Крім того, характеризується значною кількістю степових та лучних видів, що дозволяє віднести трав'яні рослини до рудерально-степово-лучних ценозів.

Третій етап комплексних досліджень проводився в 27- та 34-річному віці (Masyuk, 2013; Masyuk, Gorban, 2017). До цього часу слід констатувати повну загибель насаджень тополі, за винятком тополі Новоберлінської на варіантах з участю родючого шару ґрунту, який представлений одиничними екземплярами з явними ознаками суховерхості.

У 27-річному віці експериментальні насадження мали свої флористичні особливості. На літоземах травостій був повністю знищений пожежею, а на педоземах він мав наступну характеристику.

За проєкційним покриттям у травостій переважав пирій повзучий (60 %). В травостій переважали багаторічники – 79 % та дворічники – 21 %. Домінуючими біоморфами були стрижнекореневі (42 %), довгокореневищні (36 %) та коренепаросткові (14 %) види. На короткокореневищні приходилося 7 %. Серед біоморф за Раункієм у досліджених едафічних умовах переважали гемікриптофіти (74 %) та геофіти (26 %). По відношенню

до живлення переважали мезотрофи (64 %) та мегатрофи (36 %). Основну масу видів складали ксеромезофіти (50 %) та мезоксерофіти (35 %), зустрічалися гігромезофіти (8 %) та ксерофіти (7 %). По відношенню до світла домінуючими були геліофіти (56 %) та сціогеліофіти (44 %). Екологічний аналіз показав, що в травостій переважали пратанти (55 %) та рудеранти (37 %). Степанти представлені на 8 %.

Порівнюючи травостій під пологом тополі Новоберлінської 34-річного віку на п'яти варіантах відсіпки, можна відмітити, що переважали гемікриптофіти. Це є досить позитивною характеристикою, оскільки щорічний опад не тільки збагачує ґрунт органікою, а й захищає бруньки відновлення, що знаходяться на рівні ґрунту від несприятливих умов як холодною малосніжною зимою, так і посушливим літом, що є характерною рисою для степів. Бруньки добре зберігаються і достатньо швидко відновлюють трав'яний покрив при настанні сприятливих умов. Установлено, що зростає роль геофітів, порівняно з травостоєм під пологом тополі Новоберлінської 16-річного віку. Це сприяє ще кращому зберіганню та відновленню трав'яного покриву, адже не тільки опад захищає бруньки відновлення, а й шар ґрунту, під яким знаходяться бруньки відновлення у геофітів.

У трав'яному покриві превалювали багаторічники (40–70 %), у наявності були дворічники (10–35 %) та однорічники (5–35 %), і це свідчить, що на даний час ценоз тут сформований і має складну структуру.

Більшість рослин на даній території за темпами вегетативного розмноження відносяться до вегетативно нерухливих (40–60 %) та вегетативно рухливих (30–50 %) видів, які сумарно становили 82–90 %.

Аналізуючи ценоморфічний склад угруповання, можна сказати, що переважали рудеральні види, серед яких значна кількість степових та лучних видів, що дозволяє віднести ділянку до рудерально-степово-лучних ценозів. Зменшується вплив деревної рослинності на формування травостою.

Аналізуючи флористичний склад за адаптаціями до водного режиму, можна зазначити панування видів, частково вимогливих до зволоження – ксеромезофітів та мезоксерофітів. Їх сукупна частка становила 80–100 %, що характерно для степових ценозів.

Розглядаючи трофоморфи, слід зазначити домінування мезотрофів. Це свідчить про середній вміст поживних речовин у ґрунті. Але зростає роль мегатрофів, і це засвідчує, що вміст доступних поживних речовин поступово зростає.

Характеризуючи геліоморфи, можна зробити висновок про превалювання видів, частково вимогливих до світла, але все ж таки тяжіючих до великої кількості світла. Велика частка участі і геліофітів – рослин, що не витримують затінення. Все це аргументується розрідженням початково створеного деревного ярусу і наявністю порослевих угруповань білої акації, клену явіра, тополі, що частково затінюють полог.

Висновки

1. Кліматичні умови, вплив оточуючих фітоценозів непорушених земель, успадкування педоземами насінного матеріалу трав'яних рослин з родючим шаром ґрунту задають напрям сукцесії на шляху формування зонального трав'янистого угруповання. Багаторічне зростання ролі аридного елемента свідчить про формування структури, близької до зональної флори.

2. Формування флори техноземів у тополевих насадженнях проходить у чотири стадії (за Manakov et al., 2011): перша – піонерне рослинне угруповання, яке починається із завершення технічного етапу рекультивативної і приурочене до стадії формування деревостану; друга – просте угруповання, пов'язане із розвитком деревостану до змикання крон дерев та

Таблиця 1
Екоморфний аналіз травостою під пологом тополі Новоберлінської

Рослинний вид	Варіант відсипки	Вік деревостану	Біоморфи		Екоморфи (за Бельгардом)					
			за Раункієром	за Серебряковим	за Раменським	ценоморфи	гігро- морфи	трофо- морфи	геліоморфи	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Пирій повзучий <i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski.	1–5 1, 3, 4, 5	16 34	G	Бр., д/кш.	вр	StPrRu	KsMs	MsTr	ScHe	
Полин гіркий <i>Artemisia absinthium</i> L.	1–4 1, 3, 4, 5	16 34	HKr	Бр.,к/кш або д/кш,ст/к.,- пуч/к	ввр	Ru	KsMs	MsTr	He	
Піщанка клейка <i>Arenaria uralensis</i> Pall. ex Spreng.	1, 2 1, 3	16 34	T, HKr	Од.,Дв. ст/к	ввр	(Ps)StRu	KsMs	Og-MsTr	He	
Пижмо звичайне <i>Tanacetum vulgare</i> L.	1, 2 1, 3	16 34	HKr	Бр.,д/кш.	вр	StPr	KsMs	Og-MgTr	He	
Берізка польова <i>Convulvus arvensis</i> L.	1, 2 1, 3	16 34	G	Бр.,виткий, к/пар.	вр	Ru	MsKs	MsTr	ScHe	
Сокирки польові <i>Consolida regalis</i> S.F. Gray	1–3 1–4	16 34	T	Од.,ст/к	ввр	Ru	MsKs	MsTr	ScHe	
Дивина борошніста <i>Verbascum lychnitis</i> L.	1, 2, 4 1, 3, 5	16 34	HKr	дв., ст\к	ввр	(Pr).StRu	MsKs	Og-MsTr	ScHe	
Тонконіг вузьколистий <i>Poa angustifolia</i> L	3, 5 2, 4	16 34	HKr	Бр.,д\кш.,пуч\д ер.	вр	StPr	KsMs	Ms.- MgTr(Alk)	ScHe	
Тонконіг сплюснутий <i>Poa compressa</i> L.	3–5 4, 5	16 34	HKr	Бр.,д\кш., пуч\дер	вр	(Sil)RuSt	MsKs	Og-MsTr	ScHe	
Молочай прутоподібний <i>Euphorbia virgultosa</i> Klokov.	3	16	HKr	Бр., к/П	вр	RuPr	MsKs	MsTr	ScHe	
Шавлія дібровна <i>Salvia nemorosa</i> L.	3 4	16 34	HKr	Бр., кауд.,ст/к	ввр	St	Ks	MgTr	He	

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Роман напівфарбувальний <i>Anthemis tinctoria</i> L.	3, 4 1, 4, 5	16 34	НКГ	Дв., ст\к.	внр	RuSt	MsKs	MsTr	He
Шавлія кільчата <i>Salvia verticillata</i> L.	4 5	16 34	НКГ	Бр., д\кш., ст\к	вр	StRu	MsKs	MsTr	ScHe
Морква дика <i>Daucus carota</i> L.	4 5	16 34	Т, НКГ	Дв., од., ст\к	внр	(St)PrRu	MsKs	Og.-MgTr	ScHe
Ляденець польовий <i>Lotus argvensis</i> Pers.	5	16	НКГ	Бр., ст\к	внр	(Ru)SilPr	Ms	MsTr	ScHe
В'язіль барвистий <i>Coronilla varia</i> L.	5 1, 2, 4, 5	16 34	G	Бр., д\кш.	вр	(Ru)SilPr	KsMs	MgTr	ScHe
Люцерна хмелеподібна <i>Medicago lupulina</i> L.	5	16	Т, НКГ	Од., Дв., ст\к	внр	StPr	KsMs	MsTr	He
Буркун лікарський <i>Melilotus officinalis</i> (L.) Desf.	5	16	НКГ	Дв., ст\к	внр	(Ru)StPr	KsMs	MsTr	He
Чистець прямий <i>Stachys recta</i> L.	5	16	НКГ	Бр., ст\к	внр	StRu	Ks	MsTr	He
Амброзія полинолиста <i>Ambrosia artemisifolia</i> L.	5	16	Т	Од., яр	внр	Ru	MsKs	Og.-MgTr	ScHe
Латук татарський <i>Lactuca tatarica</i> (L.) C.A. Mey.	1, 2, 4	34	G	Бр., к\лар.	вр	Ru	KsMs	MsTr	He
Холодок багатолістий <i>Asparagus polyphyllus</i> Steven.	2	34	НКГ	Бр., к\кш., пуч\к	вмр	PrSt	MsKs	MsTr	He
Куколиця біла <i>Melandrium album</i> (Mill.) Garke.	2	34	НКГ	дв., ст\к	внр	SiIPr	KsMs	Og.-MsTr	ScHe
Тонконіг дібровний <i>Poa nemoralis</i> L.	2	34	НКГ	Бр., пух\дер	вмр	Sil	KsMs	MsTr	ScHe

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Молочай польовий <i>Euphorbia agria</i> M. Bieb.	2, 5	34	НКГ	Бр., к\П	вр	РуSt	Ks	MsTr	He
Незабудка дрібноквіткова <i>Myosotis micrantha</i> Pall. Ex Lehm.	2, 3	34	T	Од., ст\к	внр	Ру	MsKs	OgTr	He
Різак звичайний <i>Falcaria vulgaris</i> Bernh.	2, 3	34	НКГ	дв., ст\к	внр	StRu	KsMs	MgTr	He
Чистець непомічений <i>Stachys neglecta</i> Klovov.	2	34	T	Од., Дв., ст\к	внр	Ру	MsKs	MsTr	ScHe
Жовтозілля звичайне <i>Senecio vulgaris</i> L.	3, 4	34	НКГ	Од., пуч\к.	внр	Ру	Ms	MsTr	He
Осот звичайний <i>Cirsium vulgare</i> (Savi) Ten.	5	34	НКГ	дв., ст\к	внр	Ру	KsMs	MgTr	ScHe

Примітки. G – геофіти; НКГ – гемікриптофіти; T – терофіти; Ch – хамефіти; Од – одноквіткові; Дв – двоквіткові; Бр – багаторічні; вр – вегетативно малорухливий; вр – вегетативно рухливий; внр – вегетативно нерухливий; St – степа; Ру – рудерант; Рг – пратант; Pal – палюдант; Sil – сильвант; MsTr – мезотрофи; MgTr – метатрофи; OgTr – оліготрофи; Ks – ксерофіти; Ms – мезофіти; Hg – гігрофіти; ScHe, HeSc – види, частково вимогливі до світла. Sc – сциофіти; He – геліофіти; 1–5 – варіанти відсіпки.

міжрядною обробкою ґрунту; третя – складне угруповання, пов'язане з жердняковою стадією розвитку деревостану та частковим його зрідженням; четверта – у наших дослідженнях частково замкнутий, коли поступово випадають деревні рослини та зникає їх вплив.

3. Крім впливу деревної рослинності, її віку та стадії розвитку, на нижні яруси біогеоценозів велике значення для їх формування мають едафічні умови, обумовлені стратиграфією та потужністю штучних субстратів, а також елементи ландшафту, створені як від самого початку, так і сформовані в результаті фрагментарного просідання території відвалу. Ці фактори регулюють у трав'яному покриві залежно від їх динамічних змін співвідношення різних груп біоморф, кліматорф, трофаторф, гігморф, геліоморф та ценоморф.

4. Створені лісорослинні умови на плато та верхній третині відвалу не відповідають потребам гібридних тополь в умовах гострого дефіциту вологи, які характерні для степової зони. Швидкорослі гібриди тополь можливо використовувати як піонерні культури до 15–20-річного віку.

References

- Belgard, A. L. (1950). Lesnaya rastitelnost yugo-vostoka USSR [Forest vegetation of the southeast of the Ukrainian SSR]. Kiev (in Russian).
- Belgard, A. L. (1971). Stepnoye lesovedeniye [Steppe forestry]. Lesnaya promyshlennost, Moscow (in Russian).
- Manakov, Yu. A., Strelnikova, T. O., Kupriyanov, A. N. (2011). Formirovaniye rastitel'nogo pokrova v tekhnogennykh landshtafakh Kuzbassa [Formation of vegetation in the man-made landscapes of Kuzbass]. Novosibirsk (in Russian).
- Masyuk, A. N. (1988). Produktivnost lesnykh kultur na rekultivirovannykh zemlyakh Zapadnogo Donbassa [Productivity of forest cultures on the reclaimed lands of Western Donbass]. Monitoringovyye issledovaniya lesnykh yekosistem stepnoy zony, ikh okhrana i ratsional'noye ispol'zovaniye. DSU, Dnepropetrovsk, 109–117 (in Russian).
- Masyuk, A. N. (1989). Topol chernyy kak pionernaya kultura pri osvoyenii rekultivirovannykh zemel v Zapadnom Donbasse [Topol black as a pioneer culture in the development of reclaimed land in Western Donbass]. Ekologicheskkiye aspekty okhrany i ratsional'nogo ispol'zovaniya biologicheskikh resursov. DSU, Dnepropetrovsk, 33–40 (in Russian).
- Masyuk, A. N. (1991). Osobennosti nakopleniya energii i zolnykh veshchestv v biogeogorizontakh topolya Novoberlinskogo na rekultivirovannykh zemlyakh [Features of the accumulation of energy and ash substances in the biogeo-horizons of the Novoberlinsky poplar on recultivated lands]. Kadastryvyye issledovaniya stepnykh biogeotsenozov Prissamarya Dneprovskogo, ikh antropogennaya dinamika i okhrana. DSU, Dnepropetrovsk, 147–156 (in Russian).

- Masyuk, A. N. (2006). Analiz pervichnoy produktivnosti 16-letnego drevostoya topolya sorta Novoberlinskiy na rekultivirovannykh zemlyakh [Analysis of the primary productivity of a 16-year-old tree stand of the Novoberlinsky variety of poplars on reclaimed lands]. Gruntoznavstvo, 7(3-4), 97–110 (in Russian).
- Masyuk, A. N. (2008). Osobennosti raspredeleniya kornevoy sistemy topolya novoberlinskogo v tekhnomezakh s raznoy stratigrafiyey v usloviyakh ogranichennogo edaficheskogo prostranstva [Peculiarities of the distribution of the root system of the Novoberlinsky poplar in technozems with different stratigraphy under conditions of limited edaphic space]. Gruntoznavstvo, 9(3-4), 93–100 (in Russian).
- Masyuk, A. N. (2013). Prichiny gibeli topolevykh nasazhdeniy na rekultivirovannykh zemlyakh Zapadnogo Donbassa [Causes of the death of poplar plantations on the reclaimed lands of Western Donbass]. Materialy mezhdunarodnoy prakticheskoy konferentsii «Prirodno-tekhnogennyye kompleksy: rekultivatsiya i ustoychivoye funktsionirovaniye». Novosibirsk – Novokuznetsk, 147–149 (in Russian).
- Masyuk, O. M., Gorban, V. A. (2017). Osoblyvosti humusonakopychennyya v tekhnomezakh pid topolevymy nasadzhennymy v umovakh Zakhidnoho Donbassu [Specific features of accumulation of humus in technozems under poplar plantations in the conditions of the Western Donbass]. Gruntoznavstvo, 18(3-4), 57–66 (in Ukrainian).
- Melikhov, I. S. (1987). Puti geneticheskogo uluchsheniya lesnykh drevesnykh rasteniy [Ways of genetic improvement of forest woody plants]. Nauka, Moscow (in Russian).
- Opredelitel' vysshikh rasteniy Ukrainy (1987) [The determinant of higher plants of Ukraine]. Ed. Yu. N. Prokudin. Kiev (in Russian).
- Programma i metodika biogeotsenoticheskikh issledovaniy (1974) [Program and methods of biogeocenotic studies]. Ed. N. V. Dylis. Moscow (in Russian).
- Starova, N. V. (1980). Seleksiya ivovykh [Willow Breeding]. Moscow (in Russian).
- Tarasov, V. V. (2005). Flora of Dnipropetrovsk and Zaporizhzhia regions [Flora Dnipropetrovskoyi ta Zaporizkoyi oblastey]. Lira, Dnipropetrovsk (in Ukrainian).
- Travleyev, A. P., Ovchinnikov, V. A., Zverkovsky V. N. (1988). Biogeotsenoticheskyy pokrov Zapadnogo Donbassa, yego tekhnogennaya dinamika i optimizatsiya [The biogeocenotic cover of Western Donbass, its man-made dynamics and optimization]. Dnepropetrovsk (in Russian).
- Yaroshenko, P. D. (1961). Geobotanika. Osnovnyye ponyatiya, napravleniya i metody [Geobotany. Basic concepts, directions and methods]. Moscow, Leningrad (in Russian).
- Yeterevskaya, L. V., Momot, G. F., Lechtier, L. V. (2008). Rekultyvovani hrunt: pidkhody do klasyfikatsiyi i systematyky [Recultivated soils: approaches to classification and systematics]. Gruntoznavstvo, 9(3-4), 147–150 (in Ukrainian).



ECOLOGY AND NOOSPHEROLOGY

ISSN 1726-1112 (Print)
ISSN 2310-4309 (Online)
Ecol. Noospher., 29(2), 104–110
doi: 10.15421/031817

The method of determining the plants phytoindicator traits adaptive changes coefficient

E. G. Tyulkova, L. P. Avdashkova

Belarusian trade and economic university of consumer cooperatives, Gomel, Belarus

Article info

Received 03.09.2018
Received in revised form
12.09.2018
Accepted 15.09.2018

*Belarusian trade and economic
university of consumer
cooperatives,
October ave., 50, Gomel,
246029, Belarus.
Tel.: +375-29-316-44-83
E-mail: tut-3@mail.ru*

Tyulkova, E. G., & Avdashkova, L. P. (2018). The method of determining the plants phytoindicator traits adaptive changes coefficient. *Ecology and Noospherology*, 29(2), 104–110. doi:10.15421/031817

One of the key environmental problem is the study of protective and adaptive reactions of plants to technogenic conditions. When carrying out a comparative analysis of plants implementation results adaptive mechanisms the quantitative assessment of these processes is great importance. Currently, calculation formulas have been developed to assess the adaptive potential of a particular cultivar, taking into account their yield. In this case, it is necessary to use the average yield of the variety and culture for the entire period of cultivation to quantify the value of the adaptive potential realization. There is a graphical method of determining the value of adaptive potential plants implementation using curves variability phytoindicator features of the studied plants (length, width, area, shape index sheet, the annual growth of trees, the chlorophyll fluorescence induction index etc.), growing under man-made conditions, and the curves of plants these signs variability in background conditions. The value of the adaptive capacity implementation in this case may be defined as the percentage area overlap of the variability phytoindicator characteristic the object in technogenic conditions curve and variability phytoindicator the control test object curve. However, this method provides for the contribution of only the adaptive changes degree and does not take into account the depth of differences in the phytoindicator characteristics the object in technogenic conditions and the control object. To assess changes in the plants parameters under the influence adverse factors environment possible with use the analysis method of growth in ontogenesis lamina dynamics in the contaminated territories. The method involves study the parameters average dynamics (length, width, perimeter and leaf area) of leaves groups (at least five in the group), located on hanging branches on the world four sides, depending on the distance from the road edge and the each group leaves height above the soil surface. Further, statistical modeling reveals multifactorial regularities of the influence of the accounting sheet height above the soil surface, the distance from the road to the accounting leaves individual parameters change. Given the adaptive changes genetic nature developed discrete-systematic approach to the plants adaptive capacity analysis, which allows us to analyze data about the adaptive reactions genetic nature and to obtain new information about the management at different levels of living organisms organization, including the biosphere. Since these methods do not provide for the definition a single quantitative criterion that allows comparative analysis of the several plants phytoindicator parameters dynamics, this was the purpose of this work.

Keywords: vegetation; technogenesis; adaptive changes; phytoindicator signs

Способ определения величины коэффициента адаптивных изменений фитоиндикаторных признаков растений

Е. Г. Тюлькова, Л. П. Авдашкова

Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации, Гомель, Беларусь

В статье рассматривается способ количественного определения величины коэффициента адаптивных изменений параметров растений под влиянием факторов внешней среды, в т.ч. техногенных, относительно фоновых условий. Итоговый коэффициент адаптивных изменений предлагается определять как сумму коэффициентов адаптивных изменений

относительно всех исследуемых параметров, количество которых связано с целями, задачами, техническими возможностями конкретного исследования. Такой подход позволяет рассчитать единый количественный критерий, позволяющий провести сравнительный анализ нескольких исследуемых фитоиндикаторных параметров анализируемых растений.

Ключевые слова: растительность; техногенез; адаптивные изменения; фитоиндикаторные признаки

Введение

Одной из ключевых экологических проблем на современном этапе является изучение защитно-адаптивных реакций растений на техногенные условия. При проведении сравнительного анализа результатов реализации адаптивных механизмов растений большое значение имеет количественная оценка этих процессов.

В настоящее время разработаны расчетные формулы для оценки адаптивного потенциала отдельного сорта культурных растений с учетом их урожайности (Aseeva, 2015). В данном случае для количественной оценки величины реализации адаптивного потенциала необходимо использовать среднюю урожайность сорта и культуры за весь период выращивания.

Существует графический способ определения величины реализации адаптивного потенциала растений с использованием кривых варибельности фитоиндикаторных признаков исследуемых растений (длина, ширина, площадь, индекс формы листа, годовой прирост деревьев, индекс индукции флуоресценции хлорофилла и др.), произрастающих в техногенных условиях, и кривых варибельности этих же признаков растений в фоновых условиях (Besel, 2001). Величину реализации адаптивного потенциала в таком случае возможно определить как процент площади перекрывания кривой варибельности фитоиндикаторного признака исследуемого объекта в техногенных условиях и кривой варибельности фитоиндикаторного признака контрольного тест-объекта. Однако такой способ предусматривает вклад только степени адаптивных изменений и не учитывает глубину различий фитоиндикаторных признаков объекта в техногенных условиях и контрольного объекта.

Для проведения оценки изменений параметров растений под влиянием неблагоприятных факторов среды возможно использование способа анализа динамики роста в онтогенезе листовых пластинок на загрязненных территориях (Mazurkin, 2016). Способ предусматривает изучение средней динамики параметров (длина, ширина, периметр и площадь листа) групп листьев (не менее пяти в группе), расположенных на висячих ветвях по четырем сторонам света, в зависимости от расстояния от края автомобильной дороги и высоты расположения каждой группы листьев над поверхностью почвы. Далее статистическим моделированием выявляют многофакторные закономерности влияния высоты расположения учетного листа над поверхностью почвы, расстояния от дороги на изменение отдельных исследуемых параметров учетных листьев.

С учетом генетической природы адаптивных изменений разработан дискретно-системный подход к анализу адаптивного потенциала растений, который позволяет анализировать данные о генетической природе адаптивных реакций и получать новую информацию об управлении ими на различных уровнях организации живых организмов, включая биосферный (Zhuchenko, 2008).

Поскольку перечисленные способы не предусматривают определения единого количественного критерия, позволяющего провести сравнительный анализ динамики фитоиндикаторных параметров нескольких растений, это явилось целью данной работы.

Объекты и методы

Поставленная задача решается путем определения величины коэффициента адаптивных изменений

фитоиндикаторных признаков растений на основании наличия площади перекрывания кривых варибельности признаков в техногенных и фоновых условиях.

Способ включает расчет величины коэффициента адаптивных изменений на основании определения вероятности и коэффициента глубины адаптивных изменений. При этом величина вероятности адаптивных изменений равна площади фигуры, заключенной между графиками плотностей распределения техногенной и фоновой вероятностей, а для определения коэффициента глубины адаптивных изменений необходимо сравнить интервалы наиболее вероятных значений показателя в техногенной зоне и в фоновых условиях. Итоговую величину коэффициента адаптивных изменений устанавливают по следующей формуле:

$$АП = \sum_{i=1}^n P_i \times G_i,$$

где n – количество показателей; P_i – вероятность адаптивных изменений i -го параметра; G_i – коэффициент глубины адаптивных изменений i -го параметра.

Таким образом, предлагаемый способ позволяет количественно определить величину коэффициента адаптивных изменений параметров растений под влиянием факторов внешней среды, в т.ч. техногенных, относительно фоновых условий.

Результаты и их обсуждение

Для проведения количественной оценки величины коэффициента адаптивных изменений на начальном этапе необходимо выявить наличие для каждого исследуемого параметра (например, длина, ширина, площадь, флуктуирующая асимметрия листовой пластинки, зольность и т.д.) различий между значениями в техногенных и фоновых условиях. Для этого вначале проверяется гипотеза о нормальном законе распределения параметров, затем – гипотеза о равенстве дисперсий нормальных выборок (в Excel – двухвыборочный F-тест для дисперсий), далее в зависимости от наличия различий между дисперсиями – гипотезы о равенстве математических ожиданий при неизвестных и равных дисперсиях и о равенстве математических ожиданий при неизвестных и неравных дисперсиях (в Excel – двухвыборочный t-тест с одинаковыми или различными дисперсиями).

На предварительном этапе обработки данных по параметрам асимметрии листовых пластинок необходимо убедиться во флуктуирующем характере асимметрии каждого признака и отсутствии или наличии направленной асимметрии и антисимметрии, а также достоверности различий между параметрами листа в техногенной и фоновой зонах и характере корреляционной связи между конкретными параметрами асимметрии листа отдельно с каждой стороны.

Для установления наличия или отсутствия направленной асимметрии проверяется гипотеза о равенстве показателя симметрии на левой и правой стороне листовых пластинок с помощью критерия Колмогорова-Смирнова. Для наличия или отсутствия антисимметрии определяется эксцесс коэффициента флуктуирующей асимметрии, и он проверяется на значимость. Для территорий, значения эксцесса которых положительны, антисимметрия отсутствует. В случае отрицательного эксцесса проверяется гипотеза о его значимости для подтверждения отсутствия антисимметрии.

Значение предлагаемого коэффициента адаптивных изменений, характеризующих адаптивный потенциал растений, определяется как произведение вероятности и коэффициента глубины адаптивных изменений всех исследованных параметров листа. При этом вероятность характеризует частоту отклонений исследуемых параметров от фоновых значений, т.е. количество фактически адаптированного материала; глубина – во сколько раз значительны эти отклонения по сравнению с фоновыми условиями.

Фигура, заключенная между графиками плотностей распределения вероятностей техногенных и фоновых условий, содержит те значения показателя листовых пластинок техногенной зоны, которые отличаются от фоновых значений и являются адаптированными к данным техногенным условиям. Площадь такой фигуры P_i равна вероятности адаптивных изменений листовых пластинок относительно i -го параметра.

Значения вероятности адаптивных изменений (P) по каждому параметру находятся как разность между площадью под кривой плотности нормального распределения признака в техногенных условиях, равной 1, и площадью перекрывания техногенной и фоновой кривых функций плотностей распределения вероятностей

$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}$, где a – среднее значение параметров; σ – стандартное отклонение параметров в техногенных и фоновых условиях.

Пусть для определенности рассуждений $f_1(x)$ – плотность распределения, a_1 – математическое ожидание,

σ_1 – стандартное отклонение, $F_1(x) = \int_{-\infty}^x f_1(x)dx$ –

интегральная функция распределения параметра фоновых условий, $f_2(x)$ – плотность распределения, a_2 – математическое ожидание, σ_2 – стандартное отклонение,

$F_2(x) = \int_{-\infty}^x f_2(x)dx$ – интегральная функция распределения

параметра техногенной зоны. Интегральная функция нормального распределения связана с функцией Лапласа

$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$, значения которой находятся в MS

Excel с помощью функции НОРМ.РАСП. Для вычисления вероятности того, что нормально распределенная случайная величина X будет принимать значения в промежутке $(\alpha \beta)$, используется формула

$P(\alpha \leq X \leq \beta) = \Phi\left(\frac{\beta-a}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{\alpha-a}{\sigma}\right)$, где a –

математическое ожидание; σ – среднее квадратическое отклонение.

Для нахождения в общем случае точек пересечения

графиков функций $f_1(x) = \frac{1}{\sigma_1\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a_1)^2}{2\sigma_1^2}}$ и

$f_2(x) = \frac{1}{\sigma_2\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a_2)^2}{2\sigma_2^2}}$ решается уравнение

$$f_1(x) = f_2(x) \Rightarrow \frac{1}{\sigma_1\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a_1)^2}{2\sigma_1^2}} = \frac{1}{\sigma_2\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a_2)^2}{2\sigma_2^2}}.$$

После преобразований получается квадратное уравнение

$$(\sigma_1^2 - \sigma_2^2)x^2 + (2\sigma_2^2 a_1 - 2\sigma_1^2 a_2)x + (\sigma_1^2 a_2^2 - \sigma_2^2 a_1^2 + 2\sigma_2^2 \sigma_1^2 \ln(\sigma_2 / \sigma_1)) = 0$$

Решения x_1, x_2 ($x_1 < x_2$) уравнения являются точками пересечения графиков.

Для параметров проводимого исследования математические ожидания неотрицательны. Предварительно выявлены возможные формы фигуры пересечения графиков плотностей распределения для различных параметров листовой пластинки:

1) фигура состоит из одной части, когда техногенная кривая находится слева от фоновой (рис. 1):

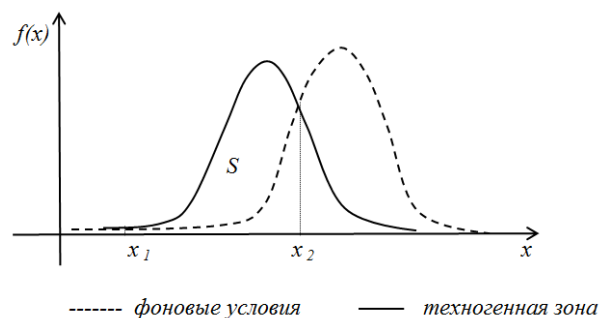


Рис. 1. Графики функций законов распределения исследуемого параметра листовых пластинок в случае нахождения техногенной кривой слева от фоновой

В этом случае площадь вычисляется по формуле

$$P_i = S = \left[\Phi\left(\frac{x_2 - a_2}{\sigma_2}\right) - \Phi\left(\frac{x_1 - a_2}{\sigma_2}\right) \right] - \left[\Phi\left(\frac{x_2 - a_1}{\sigma_1}\right) - \Phi\left(\frac{x_1 - a_1}{\sigma_1}\right) \right];$$

2) фигура состоит из одной части, когда техногенная кривая находится справа от фоновой (рис. 2):

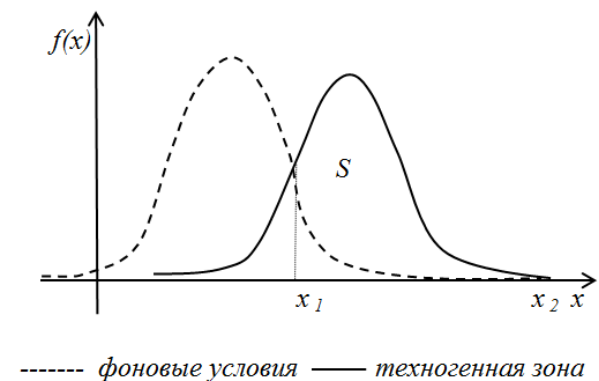


Рис. 2. Графики функций законов распределения исследуемого параметра листовых пластинок в случае нахождения техногенной кривой справа от фоновой

В этом случае площадь вычисляется по формуле

$$P_i = S = \left[\Phi\left(\frac{x_2 - a_2}{\sigma_2}\right) - \Phi\left(\frac{x_1 - a_2}{\sigma_2}\right) \right] - \left[\Phi\left(\frac{x_2 - a_1}{\sigma_1}\right) - \Phi\left(\frac{x_1 - a_1}{\sigma_1}\right) \right];$$

3) фигура состоит из двух частей, когда дисперсия техногенной зоны больше дисперсии фоновой (рис. 3):

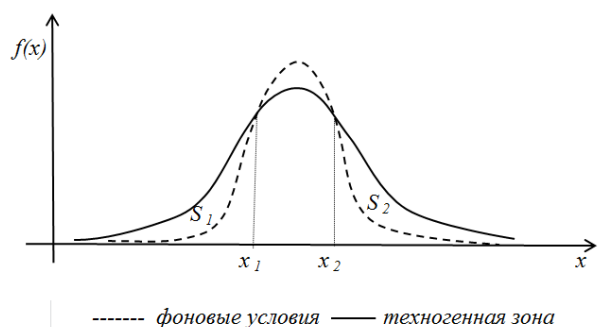


Рис. 3. Графики функций законов распределения исследуемого параметра листовых пластинок в случае, когда дисперсия техногенной зоны больше дисперсии фоновой

В этом случае площадь вычисляется по формулам

$$(P_i)_1 = S_1 = \left[\Phi\left(\frac{x_2 - a_2}{\sigma_2}\right) - \Phi\left(\frac{-\infty - a_2}{\sigma_2}\right) \right] - \left[\Phi\left(\frac{x_2 - a_1}{\sigma_1}\right) - \Phi\left(\frac{-\infty - a_1}{\sigma_1}\right) \right];$$

$$(P_i)_2 = S_2 = \left[\Phi\left(\frac{+\infty - a_2}{\sigma_2}\right) - \Phi\left(\frac{x_2 - a_2}{\sigma_2}\right) \right] - \left[\Phi\left(\frac{+\infty - a_1}{\sigma_1}\right) - \Phi\left(\frac{x_2 - a_1}{\sigma_1}\right) \right].$$

С целью выявления, насколько отличаются значения i -го параметра адаптированных листовых пластинок относительно фоновых, предлагается использовать коэффициент глубины адаптивных изменений Γ_i .

Коэффициент глубины адаптивных изменений Γ_i для i -го параметра находится по формуле $\Gamma_i = \frac{b-a}{b} = 1 - \frac{a}{b}$, где всегда $a < b$. Для сравнения значений параметра в фоновых условиях и техногенной зоне используются интервалы их наиболее вероятных значений (далее – интервалы), построенные по правилу трех сигм: $(a_1 - 3\sigma_1; a_1 + 3\sigma_1)$, $(a_2 - 3\sigma_2; a_2 + 3\sigma_2)$.

Возможны следующие варианты расположения интервалов (рис. 4):

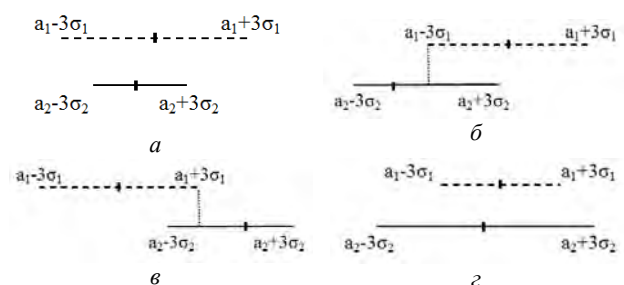


Рис. 4. Взаимное расположение интервалов наиболее вероятных значений параметра техногенной зоны относительно фоновых условий

1) интервал значений параметра техногенной зоны целиком содержится в интервале фоновых условий (рис. 4, а). В этом случае коэффициент глубины адаптивных изменений Γ_i рассчитывается по формуле

$$\Gamma_i = 1 - \frac{\min(a_1, a_2)}{\max(a_1, a_2)};$$

2) интервал значений параметра техногенной зоны находится левее относительно интервала фоновых условий (рис. 4, б). В этом случае коэффициент глубины адаптивных изменений Γ_i рассчитывается по формуле

$$\Gamma_i = 1 - \frac{(a_1 - 3\sigma_1) + (a_2 - 3\sigma_2)}{2a_1};$$

3) интервал значений параметра техногенной зоны находится правее относительно интервала фоновых условий (рис. 4, в). В этом случае коэффициент глубины адаптивных изменений Γ_i рассчитывается по формулам

$$\Gamma_i = 1 - \frac{a_1}{(a_1 + 3\sigma_1) + (a_2 + 3\sigma_2)};$$

4) интервал значений параметра фоновых условий целиком содержится в интервале техногенной зоны (рис. 4, г). В этом случае коэффициент глубины адаптивных изменений Γ_i рассчитывается по формуле:

$$(\Gamma_i)_1 = 1 - \frac{(a_1 - 3\sigma_1) + (a_2 - 3\sigma_2)}{2a_1};$$

$$(\Gamma_i)_2 = 1 - \frac{a_1}{(a_1 + 3\sigma_1) + (a_2 + 3\sigma_2)}.$$

Как уже отмечалось, итоговую величину коэффициента адаптивных изменений устанавливают по следующей формуле:

$$AP = \sum_{i=1}^n AP_i = \sum_{i=1}^n P_i \times \Gamma_i,$$

где n – количество показателей;

P_i – вероятность адаптивных изменений i -го параметра;

Γ_i – коэффициент глубины адаптивных изменений i -го параметра.

Заметим, что в случае когда для i -го параметра дисперсия техногенной зоны больше дисперсии фоновой (рис. 4, г), коэффициент адаптивных изменений относительно этого параметра равен

$$AP_i = \sum_{k=1}^2 (P_i)_k \times (\Gamma_i)_k.$$

В качестве примера конкретного осуществления расчета приведем результаты определения коэффициента адаптивных изменений листовых пластинок березы повислой *Betula pendula* Roth., произрастающей в окружении ОАО «Гомельский химический завод» (Республика Беларусь, Гомель), с учетом морфометрических параметров и зольности (табл. 1–3).

Таблица 1

Длина, ширина, площадь и коэффициент флуктуирующей асимметрии (КФА) листовых пластинок березы повислой *Betula pendula* Roth.

№ листа	Морфометрические параметры листовых пластинок							
	ОАО «Гомельский химический завод»				Национальный парк «Припятский»			
	Длина	Ширина	Площадь	КФА	Длина	Ширина	Площадь	КФА
1	58,21	38,54	1786,8	0,038	62,98	42,61	1855,09	0,094
2	73,04	35,72	2158,65	0,060	65,62	49,48	2290,83	0,024
3	65,65	39,95	1849,7	0,066	57,22	42,72	1746,96	0,058
4	57,68	37,04	2010,48	0,043	64,82	47,17	2261,42	0,079
5	69,07	38,1	1865,81	0,082	65,08	39,83	2033,32	0,032
6	63,53	36,84	1699,39	0,102	70,92	49,37	2380,72	0,043
7	72,37	31,54	2005,34	0,049	67,74	51,67	2481,84	0,060
8	59,11	37,93	1688,94	0,098	71,00	46,69	2498,81	0,068
9	59,32	32,41	1831,09	0,109	56,84	42,12	1807,85	0,008
и т.д.								
150	49,75	38,52	1371,03	0,085	59,48	40,3	1768,84	0,024

Для проведения количественной оценки величины коэффициента адаптивных изменений на начальном этапе выявили наличие различий между исследуемыми параметрами в техногенных и фоновых условиях. В результате получено, что

наблюдаемые t -значения больше критических (1,97 для длины, ширины, площади; 2,002 – для сухой биомассы; 2,1 – 2,2 – для зольности при равных и различных дисперсиях), что указывает на наличие различий между сравниваемыми средними величинами.

Таблица 2

Сухая биомасса листовых пластинок березы повислой *Betula pendula* Roth.

№ листа	Сухая биомасса листовых пластинок, мг	
	ОАО «Гомельский химический завод»	Национальный парк «Припятский»
1	140,5	168,0
2	142,9	157,1
3	138,6	156,5
4	139,4	170,2
5	136,5	175,1
6	142,5	172,0
7	141,8	169,2
8	142,7	160,2
9	140,9	165,3
и т.д.		
30	144,6	158,3

Таблица 3

Зольность листовых пластинок березы повислой *Betula pendula* Roth.

№ листа	Зольность листовых пластинок, %	
	ОАО «Гомельский химический завод»	Национальный парк «Припятский»
1	2,5	2,5
2	2,0	2,6
3	2,7	1,8
4	2,8	1,5
5	2,5	1,6
6	2,7	2,0
7	2,5	2,0
8	2,0	2,0
9	2,4	1,8

На предварительном этапе обработки данных по параметрам асимметрии листовых пластинок убедились во флуктуирующем характере асимметрии каждого признака и отсутствии или наличии направленной асимметрии и антисимметрии, а также достоверности различий между параметрами листа в техногенной и фоновой зонах и характере корреляционной связи между конкретными параметрами асимметрии листа отдельно с каждой стороны.

Как уже отмечалось, значение коэффициента адаптивных изменений, характеризующих адаптивный

потенциал растений, определили как произведение вероятности и коэффициента глубины адаптивных изменений всех исследованных параметров листа.

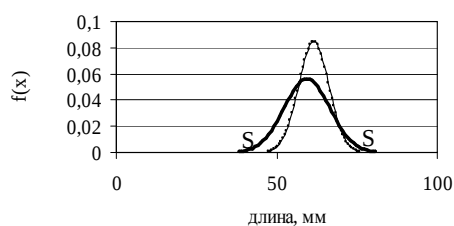
Для длины и зольности листа березы повислой *Betula pendula* Roth., произрастающей в окружении ОАО «Гомельский химический завод» и на территории национального парка «Припятский», в табл. 4 представлены функции плотностей распределения вероятностей.

На рис. 5 изображены области перекрывания функций плотности распределения исследуемых параметров листа.

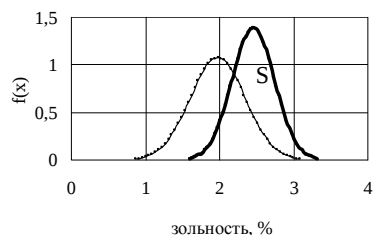
Таблица 4

Законы распределения для длины и зольности листовых пластинок березы повислой *Betula pendula* Roth.

Место отбора проб	Законы распределения	
	для длины	для зольности
ОАО «Гомельский химический завод»	$f(x) = \frac{1}{7,09\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-59,40)^2}{2 \cdot 7,09^2}}$	$f(x) = \frac{1}{0,29\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-2,5)^2}{2 \cdot 0,29^2}}$
Национальный парк «Припятский»	$f(x) = \frac{1}{4,71\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-61,55)^2}{2 \cdot 4,71^2}}$	$f(x) = \frac{1}{0,37\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-2,0)^2}{2 \cdot 0,37^2}}$



— ОАО «Гомельский химический завод»
 — Национальный парк «Припятский»
 а



— ОАО «Гомельский химический завод»
 — Национальный парк «Припятский»
 б

Рис. 5. Графики функций законов распределения длины (а) и зольности (б) листовых пластинок березы повислой *Betula pendula* Roth., произрастающей в техногенных и фоновых условиях

Если распределение исследуемого параметра не является нормальным, используем логнормальное распределение (для коэффициента флуктуирующей асимметрии).

В случае коэффициента флуктуирующей асимметрии (обозначим ее X) получили, что гистограмма распределения вероятностей (рис. 6) и проверка на значимость асимметрии и эксцесса нормального

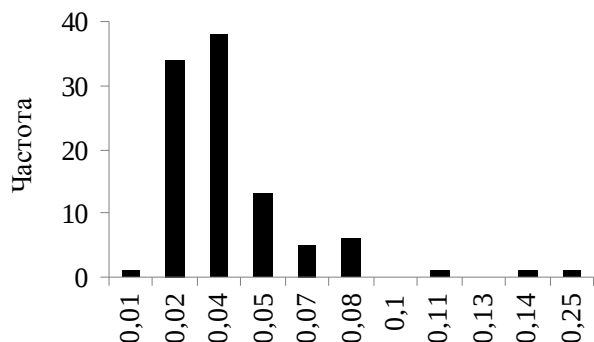
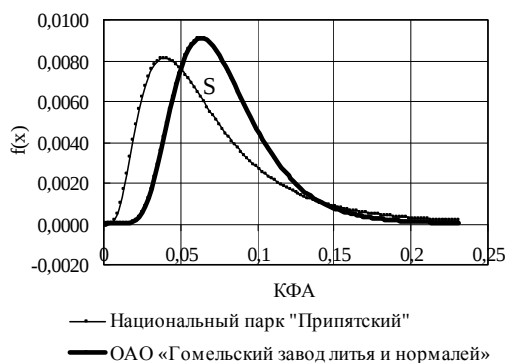


Рис. 6. Частоты распределения коэффициента флуктуирующей асимметрии параметров листовых пластинок березы повислой *Betula pendula* Roth. на территории национального парка «Припятский»



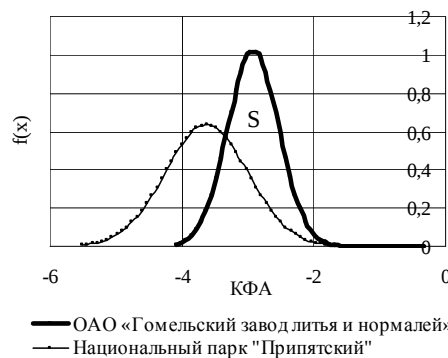
а – логнормальное распределение

распределения позволяют отвергнуть предположение о нормальном распределении случайной величины X и выдвинуть гипотезу о логнормальном распределении исследуемой случайной величины. Это следует из того, что значения асимметрии и эксцесса, вычисленные по выборке, в большинстве случаев больше критического значения соответствующей статистики, и асимметрия и эксцесс для каждой из техногенных зон значительно отличаются от нуля.

Величина вероятности адаптивных изменений по коэффициенту флуктуирующей асимметрии равна площади S фигуры, заключенной между графиками плотностей распределения техногенной и фоновой вероятностей. Поскольку преобразование натурального логарифма строго монотонно, то равенство значений функции распределения случайной величины X и ее натурального логарифма правомерно использовать при вычислении указанной площади.

Так, например, графики плотности логнормального распределения вероятности коэффициента флуктуирующей асимметрии для национального парка «Припятский» и ОАО «Гомельский завод литья и нормалей» приведены на рис. 7, *а*.

Для определения коэффициента глубины адаптивных изменений по коэффициенту флуктуирующей асимметрии ($\Gamma_{фа}$) необходимо сравнить интервалы наиболее вероятных значений показателя в техногенной зоне и в фоновых условиях.



б – нормальное распределение

Рис. 7. Кривые распределения случайной величины коэффициента флуктуирующей асимметрии параметров листовых пластинок березы повислой *Betula pendula* Roth.

Поскольку распределение показателя асимметрично, то в такой ситуации полагаться на среднее и стандартное отклонение нельзя. Для описания таких данных воспользуемся 5-й и 95-й процентилями в качестве границ интервалов. Глубину ($\Gamma_{фа}$) рассчитали как разность единицы и отношения

среднего интервала изменений показателя в фоновых условиях к среднему тех значений показателя в техногенных зонах, которые не попали в интервал фоновых значений.

Итоговые значения вероятности и коэффициента глубины адаптивных изменений представлены в табл. 5.

Таблица 5

Значения вероятности и коэффициента глубины адаптивных изменений параметров листовых пластинок березы повислой *Betula pendula* Roth.

Место отбора проб	Параметры листовых пластинок					Коэффициент флуктуирующей асимметрии
	Длина	Ширина	Площадь	Сухая биомасса	Зольность	
Вероятность адаптивных изменений						
ОАО «Гомельский химический завод»	$\frac{0,195}{0,029}$	0,839	0,248	0,999	0,539	0,521
Коэффициент глубины адаптивных изменений						
ОАО «Гомельский химический завод»	$\frac{0,304}{0,213}$	0,325	0,512	0,164	0,382	0,527
Коэффициент адаптивных изменений						
ОАО «Гомельский химический завод»	0,065	0,273	0,127	0,164	0,206	0,275

Итоговое значение величины коэффициента адаптивных изменений листовых пластинок березы повислой *Betula pendula* Roth., произрастающей на территории ОАО «Гомельский химический завод», равно 1,11.

При интерпретации полученной величины учитываем, что ее значение изменяется в общем случае от 0 до 6 (т.к. учитывались 6 параметров листа).

Также разработана оценочная шкала оценки величины коэффициента адаптивных изменений:

- $АП \in (0;1,2)$ – реализация адаптивных изменений исследуемых представителей незначительна;
- при $АП \in (1,3;2,5)$ – растения демонстрируют умеренную способность приспосабливаться к техногенным условиям;
- если $АП \in (2,6;3,8)$ – адаптивные изменения реализованы значительно;
- сильные адаптационные изменения – $АП \in (3,9;5,0)$ и максимально возможные – $АП \in (5,0;6,0)$.

В данном конкретном случае адаптивные изменения параметров листовых пластинок березы повислой *Betula pendula* Roth., произрастающей на территории ОАО «Гомельский химический завод», характеризуются как незначительные.

Выводы

Предложенный способ позволяет количественно определить величину коэффициента адаптивных изменений параметров растений под влиянием факторов внешней среды, в т.ч. техногенных, относительно фоновых условий. Расчет осуществляется путем определения вероятности и коэффициента глубины адаптивных изменений, при этом величина вероятности адаптивных изменений равна площади фигуры, заключенной между

графиками плотностей распределения техногенной и фоновой вероятностей, а для определения коэффициента глубины адаптивных изменений необходимо сравнить интервалы наиболее вероятных значений показателя в техногенной зоне и в фоновых условиях. Итоговый коэффициент адаптивных изменений определяется как сумма коэффициентов адаптивных изменений относительно всех исследуемых параметров, количество которых связано с целями, задачами, техническими возможностями конкретного исследования.

References

- Aseeva, T. A., Karacheva, G. S. (2015). Priemi povichenia adaptivnogo potentsiala zernovich kultur v usloviach Srednego Priamurya [Methods of increasing the grain crops adaptive potential in the Middle Amur region], <http://www.old.dalgau.ru> (in Russian).
- Bezel, V. S., Pozolotina, V. S., Belsky, V. N., Zhuykova, T. V. (2001). Izmenchivost populyatsionnyih parametrov: adaptatsiya k toksicheskim faktoram sredyi [Variation of population parameters: adaptation to the toxic environmental factors]. *Ekologiya*, 6, 447–453 (in Russian).
- Mazurkin, P. M., Kudryasheva, A. I. (2015). Sposob analiza dinamiki rosta v ontogeneze zagraznenich listev berezi okolo avtomobilnoi dorogi: patent RF 2597643, MPK G 01 D 21/00 [Method of analysis the growth dynamics polluted birch leaves in ontogenesis around the road], <http://www.findpatent.ru> (in Russian).
- Zhuchenko, A. A. (2008). Adaptivnoe rastenievodstvo (ecologo-geneticheskie osnovi). Teoria i praktika [Adaptive plant growing (ecological and genetic basis). Theory and practice]. Moscow (in Russian).