

ISSN 2450 – 8640

ACTA CARPATHICA

№ 1 (37)



Видавничий дім
«Гельветика»
2022

University of Rzeszow
Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University
Жешувський університет
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка

ACTA CARPATHICA

Збірник наукових праць

№ 1 (37), 2022

Збірник наукових праць

Заснований в 2013 р.

2 рази на рік

Головний редактор – Волошанська Світлана
Заст. головного редактора – Кавецький Тарас
Науковий редактор – Лесик Ярослав
Відповідальний секретар – Гойванович Наталія

Editor-in-Chief – Voloshanska Svitlana
Deputy Editor-in-Chief – Kavetskyi Taras
Scientific Editor – Lesyk Yaroslav
Executive Secretary – Hoivanovych Nataliia

Члени редакційної колегії:

Дрозд Інеса (Україна), Згарджинська Божена (Польща), Ків Арік (Ізраїль), Клепач Галина (Україна), Климишин Олександр (Україна), Коломійчук Віталій (Україна), Конішчук Василь (Україна), Кузьмін Юрій (Україна), Кухаж Юлія (Україна), Лупак Оксана (Україна), Смуток Олег (США), Сосинович Святослав (Швеція)

Members of the Editorial board:

Drozdz Inesa (Ukraine), Zgardzińska Bożena (Poland), Kiv Arik (Israel), Klepach Halyna (Ukraine), Klymyshyn Oлександр (Ukraine), Kolomiichuk Vitalii (Ukraine), Konishchuk Vasyl (Ukraine), Kuzmin Yuriy (Ukraine), Kukhazh Yuliia (Ukraine), Lupak Oksana (Ukraine), Smutok Oleh (USA), Sasinovich Sviataslau (Sweden)

Founder: University of Rzeszow, Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University

Засновник: Жешувський університет, Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка

Адреса редакції

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, вул. Івана Франка, 24, м. Дрогобич, Львівська область, Україна, 82100
Тел.: + 38 (063) 679 8320
E-mail: actacarpathica@dspu.in.ua

Editorial office address

Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Ivana Franka Str., 24, Drohobych, Lviv region, Ukraine, 82100
Tel.: + 38 (063) 679 8320
E-mail: actacarpathica@dspu.in.ua

У збірнику наукових праць *Acta Carpathica* друкуються оригінальні статті, засновані на експериментальних дослідженнях, та спеціалізовані огляди актуальних питань у галузях біології, сільського господарства, лісництва, екології, прикладної фізики й наноматеріалів, туризму та інших сфер, пов'язаних із Карпатським регіоном.

Acta Carpathica publishes original scientific articles, prepared on the basis of the scientific experiments and systematic reviews on specific issues in the field of biology, agriculture, forestry, ecology, tourism and others concerning to the Carpathian region.

Фото з обкладинки:
Карпатський перевал на межі Львівської і Закарпатської областей.
Автор: Н. Гойванович.

Cover image:
Carpathian Pass on the border of Lviv and Transcarpathian regions.
Author: N. Hoivanovych.

Рекомендовано до друку Вченою радою Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка (протокол № 14 від 22.12.2022)

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації, Серія КВ № 25132-15072P від 30.11.2021.

На підставі Наказу МОН України № 894 від 10.10.2022 р. (додаток 2) та Наказу МОН України № 1166 від 23.12.2022 р. (додаток 3) журнал включено до Переліку наукових фахових видань України категорії «Б» зі спеціальностей «101 Екологія», «091 Біологія».

© Жешувський університет, 2022
© Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, 2022

ЗМІСТ

**Ivan Donchev, Yurii Bondaruk, Dmytro Dyachok, Lyudmyla Pan'kiv,
Ihor Pan'kiv, Yuliia Kukhazh, Oksana Mushynska, Oksana Zubrytska,
Taras Kavetsky, Dietmar Fink, Arnold Kiv**

Computer modeling of biological contaminants in a track biosensor.....5
Комп'ютерне моделювання біологічних забруднень у трековому біосенсорі.....13

**Галина Миколаївна Клепач, Оксана Миколаївна Лупак,
Мар'яна Іванівна Дякунчак, Микола Петрович Шпек,
Галина Ярославівна Ковальчук**

Вплив передпосівної обробки мікродобривом «Аватар-2 Органік»
на лабораторну та польову схожість насіння *Calendula officinalis* L.....14
Influence of presown cultivation with microfertilizer “Avatar-2 Organic”
on laboratory and field seed germination of *Calendula officinalis* L.....24

**Ірина Володимирівна Бриндзя, Наталія Костянтинівна Гойванович,
Людмила Романівна Білокур**

Екологічна характеристика басейну річки Дністер в межах Самбірського району.....26
Environmental characteristics of the Dniester river basin within the Sambir district.....34

Natalia Glibovytska

Bio-indication perspectivity of *Betula pendula* Roth. under conditions
of environmental oil pollution.....36
Біоіндикаційна перспективність берези повислої в умовах
нафтового забруднення довкілля.....43

Ярослава Ярославівна Павлишак, Вікторія Ярославівна Даньків

Таксономічний аналіз лікарських рослин синантропної фракції флори
Миколаївської ОТГ.....45
Taxonomic analysis of medicinal plants of the synantropic fraction of the flora
of Mykolaivsky OTG.....50

Галина Володимирівна Кречківська

Дендроіндикація екологічного стану техногенних територій в околиці
Бурштинської теплової електростанції.....51
Dendroindication of the environmental state of technological territories
in the vicinity of Burshtyn thermal power station.....55

Тарас Богданович Скробач

До питання впливу нафтовидобутку на землі ландшафтного заказника
місцевого значення «Бориславський».....56
Regarding the impact of oil production on the land of the Boryslavsky
landscape reserve of local importance.....63

Денис Сергійович Бреус

Ретроспективний аналіз змін родючості ґрунтів в зоні степу України.....64
Retrospective analyses of soil fertility change in the Steppe zone of Ukraine.....72

Svitlana Voloshanska, Inesa Drozd, Iryna Briukhovetska

Influence of the ground environment on the diagnostic wild plant species diversity.....74
Вплив ґрунтового середовища на різноманітність діагностичних
дикорослих видів рослин..... 83

***Ігор Васильович Білінський, Роман Ярославович Лешко,
Ольга Володимирівна Лешко, Галина Ярославівна Бандура,
Тарас Євстахович Шипитяк, Володимир Олександрович Камінський***

Вплив обмежених та інтерфейсних фононів на міжзонне поглинання світла
у квантових точках CdS..... 85
The effect of confined and interface phonons on interband light absorption
in CdS quantum dots.....103

***Андрій Мирославович Прийма, Сузанна Василівна Волошин,
Тетяна Сергіївна Єфімова***

Дослідження фізико-хімічних показників природних водних джерел
Стрийського району.....104
Researches of physico-chemical indicators of natural water sources of Striy district.....111

УДК 539.2

DOI <https://doi.org/10.32782/2450-8640.2022.1.1>

Ivan Donchev,

South-Ukrainian K.D. Ushynsky National Pedagogical University, 65020 Odesa, Ukraine
e-mail: idonchev@gmail.com

Yurii Bondaruk,

South-Ukrainian K.D. Ushynsky National Pedagogical University, 65020 Odesa, Ukraine
<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57202950413>,
<https://orcid.org/0000-0003-4231-1416>, e-mail: bondaruk@windowslive.com

Dmytro Dyachok,

South-Ukrainian K.D. Ushynsky National Pedagogical University, 65020 Odesa, Ukraine
<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57190344246>,
<https://orcid.org/0000-0002-9036-1138>, e-mail: dyachok13@gmail.com

Lyudmyla Pan'kiv,

Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, 82100 Drohobych, Ukraine
<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=35485114300>,
<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6505589435>,
<https://orcid.org/0000-0002-4918-2138>, e-mail: lyuda_pankiv@ukr.net

Ihor Pan'kiv,

Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, 82100 Drohobych, Ukraine
<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=35485023000>,
e-mail: ipankiv956@gmail.com

Yuliia Kukhazh,

Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, 82100 Drohobych, Ukraine
<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56507384300>,
e-mail: juljakhj@i.ua

Oksana Mushynska,

Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, 82100 Drohobych, Ukraine
e-mail: nokr@ukr.net

Oksana Zubrytska,

Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, 82100 Drohobych, Ukraine
e-mail: oksanazubrytska23.02@gmail.com

Taras Kavetsky,

Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, 82100 Drohobych, Ukraine
Institute of Physics, Slovak Academy of Sciences, 84511 Bratislava, Slovak Republic
<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57220358576>,
<https://orcid.org/0000-0002-4782-1602>, e-mail: kavetsky@yahoo.com

Dietmar Fink,

Nuclear Physics Institute, Czech Academy of Sciences, 25068 Řež, Czech Republic
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, PO Box 55-534, 09340 México, D.F., México
<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55439567000>,
e-mail: fink@xanum.uam.mx

Arnold Kiv,

South-Ukrainian K.D. Ushynsky National Pedagogical University, 65020 Odesa, Ukraine
Ben-Gurion University of the Negev, 84105 Beer-Sheva, Israel
<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602488378>,
<https://orcid.org/0000-0002-0991-2343>, e-mail: kiv.arnold20@gmail.com

COMPUTER MODELING OF BIOLOGICAL CONTAMINANTS IN A TRACK BIOSENSOR

Abstract. Many solids in biology, medicine and technology are porous materials into which impurity solutions are capable of penetrating. Concerning the pore population, one has to distinguish on the one hand, between open and closed pores, and on the other hand, between macroscopic and nanoscopic pores. Open pores are accessible from the surface by non-diffusive capillarity percolation processes or micro-capillary diffusion; closed pores that do not have any direct connection to the outside world are accessible from the outside only by diffusion. The transition from macroscopic (where fluid dynamics and capillarity hold) to nanoscopic (where nanofluidics holds) pores takes place when the pore radius is of a similar magnitude to the Debye length.

Creation of sensor systems for detecting extremely low concentrations of biological contaminants in liquid media is the most important task of bio-nanotechnologies. Since such systems are in great demand, it is necessary to find ways to make such devices as cheap and simple as possible while ensuring their high sensitivity. In this work, using computer simulation, we demonstrate the possibility of creating biosensors based on the use of measurements of the simplest physical characteristics. It is shown that the sizes of particles that pollute the environment and their charge can serve as discriminating parameters that allow one to detect the presence of such particles. To conduct a computer experiment, a model of a track biosensor was developed.

Key words: biological contaminants, nanopores, ion flows, biosensors

INTRODUCTION

There are quite a number of strategies to use swift heavy ion tracks for producing biosensors [1, 2]. The pore blocking concept is introduced by Siwy et al. [3]. In order to maximize the sensing effect a reaction for detection biological contaminants should preferentially take place in confinement, such as given within very long and very narrow etched track [4]. The simulation of diffusion processes in nanotrack was performed [5]. This simulation was based on the simplifying assumption that, in spite of the nanometer-sized etched tracks, nanofluidic effects do not play any role in this case (the validity of this assumption is examined in greater detail in the work [6]).

In this work, we used the nanotrack model described in [1]. However, additional improvements to the model made it possible to identify ways to improve the service parameters of track biosensors. The computer program algorithm takes into account the possibility of changing the size of model particles, provided that their density is maintained. Another feature of the modified algorithm is the ability to take into account the Coulomb interaction not only

between model particles, but also between particles and adsorption centers. Implementation of such an algorithm in a computer experiment required improvement of the adsorption center model.

An improved computer model of the nanotrack made it possible to take into account the simultaneous difference in the size and charge of particles simulating pollution from the corresponding characteristics of the main substance. It was important to take into account the ratio of these parameters in the interaction of model particles with adsorption centers and scattering centers on the inner surface of the track. The mechanism of detecting bio-contaminants in the track biosensor is associated with the complex interaction of the impurity (contaminant) component of the flow with defects in the inner surface of the track [1]. Therefore, it was important to elucidate the effect of different combinations of these parameters on changes in the current density in the nano-channel.

DESCRIPTION OF AN ADSORPTION CENTER

To optimize the parameters of the track biosensor, it is necessary to achieve certain characteristics of adsorption centers on the inner surfaces of the track. The flow of a substance passing through a track is retarded due to the fact that individual particles are “retained” in potential wells of adsorption centers. The time spent by the particle in the potential well of the adsorption center (and hence the time of “delay” of the particle when moving in the track) depends on the depth of the potential well. According to the adsorption center model described in [7, 8], the depth of the potential well is proportional to the Hooke coefficient. The center is a hole in the track surface, formed by the absence of two, three or four ions in the “wall” of the track. The ions moving inside the track under the action of an external force are attracted by the Coulomb field of the center and penetrate into the hole of the center due to the acquired velocity.

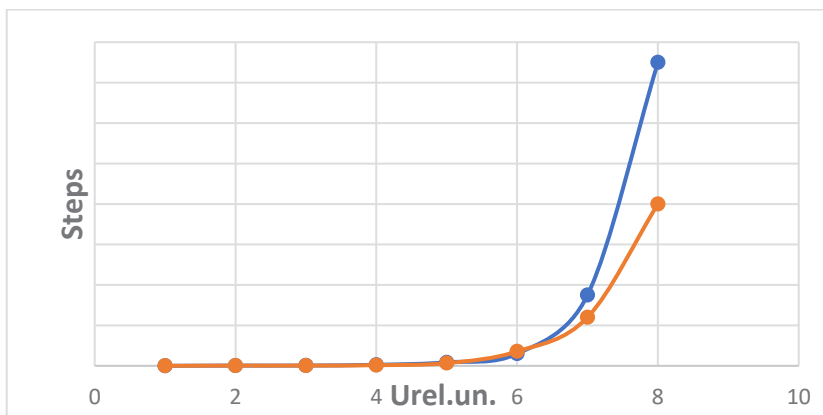


Fig. 1. Dependence of the lifetime of a model particle in a potential well on the depth of the well, the red curve corresponds to a larger value of the applied voltage

The result, shown in Fig. 1 gives the average value of the lifetime of a model particle in the potential well, obtained for the three studied shapes of holes that form the potential well of the center. A characteristic feature of the result in Fig. 1 is that, in contrast to the usual exponential dependence, a curve with a sharp rise is obtained. This means that adsorption

centers begin to affect significantly the flux density of the carrier substance at a sufficiently deep potential well.

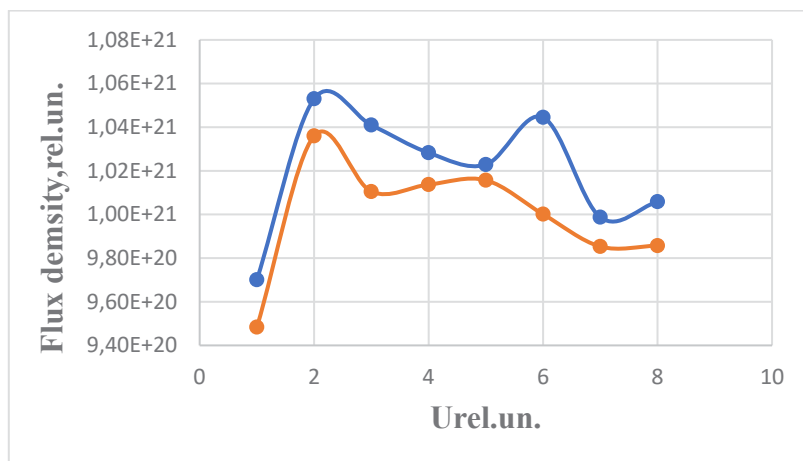


Fig. 2. Dependence of the flux density of the carrier substance on the depth of the potential well of the adsorption center; curves of different colors correspond to two randomly selected adsorption centers

Fig. 2 shows that the current density of the carrier substance is not determined unambiguously by the value of the binding energy of adsorption centers, which could be concluded based on Fig. 1. A computer experiment confirms that the charge of adsorption centers significantly affects the current density across the track, but a detailed study of other factors is required in order to unambiguously establish a correlation between the presence of a certain amount of bio-contaminants and the current density.

DETECTION OF INDIVIDUAL “BACTERIA”

In [7] it was found that in the case of inclusion in the flow of model particles of one particle, which differs from the main flow in large dimensions (let us conventionally call it a “bacterium”, Fig. 3), the current density experiences a sharp negative peak. The time dependence of the ion current density in the nanotrack is a pulsating line [8].

Next, a computer experiment was carried out with the introduction of “bacteria” into the ion flow at certain time intervals (the number of integration steps). The time between the moments of introducing the next “bacterium” into the ion flow was changed. It turned out that there is a critical time interval (the number of integration steps) less than which not all “bacteria” that have already appeared in the flow are fixed. Thus, it becomes possible to introduce the concept of sensor resolution. It is important in the process of creating a sensor to work out the detection of “bacteria” at the initial stage of their appearance. It is also important to take the necessary action before accumulating the amount of bacteria corresponding to the “sensing quorum” [9].

In the case of a time interval of less than 1000 steps, the second “bacteria” was not always fixed. As the interval decreased, the probability of fixation of both bacteria simultaneously decreased.

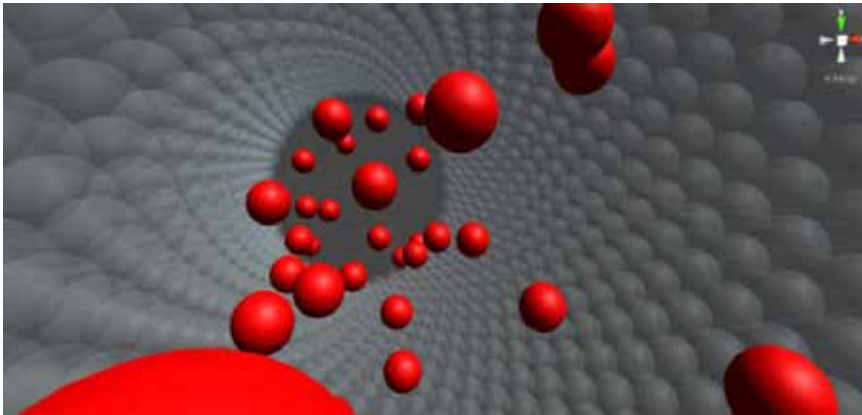


Fig. 3. The model particles of larger sizes as bio-contaminants into the ion flow. In the Figure one sees the particles from the top section of track along its axis

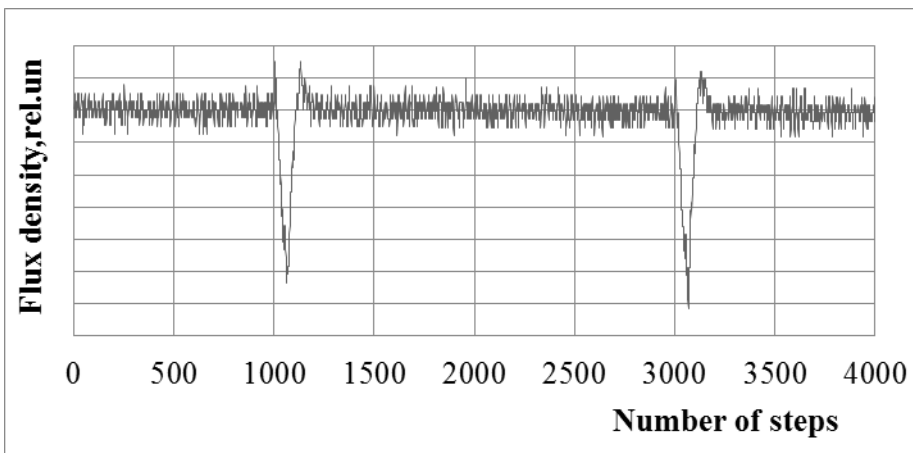


Fig. 4. Fixation of two “bacteria” that entered the ion flow with an interval of more than 1000 steps

Next, a computer experiment was carried out with the introduction of different amounts of “bacteria” into the ion stream with different intervals between the introductions of subsequent “bacteria” (see, for example, Fig. 5 and Fig. 6).

On Fig. 5 it is shown that all 4 “bacteria” appeared when the interval between their introductions was more than 500 steps, and on Fig. 6 all 17 “bacteria” appeared at an interval of more than 150 steps.

In this study, we considered bio-contaminants in the form of model particles, the size of which exceeds the size of the carrier flow ions. Therefore, the results obtained are valid when size is the discriminating factor for specific bio-contaminants. If these sizes turn out to be smaller than the particle size of the carrier flow, then the results can be significantly different.

Note that in our case (for the indicated sizes of pollutant particles), the density of the total flow of the carrier substance with pollution decreases with an increase in the content of pollutant particles. This is illustrated in Fig. 7.

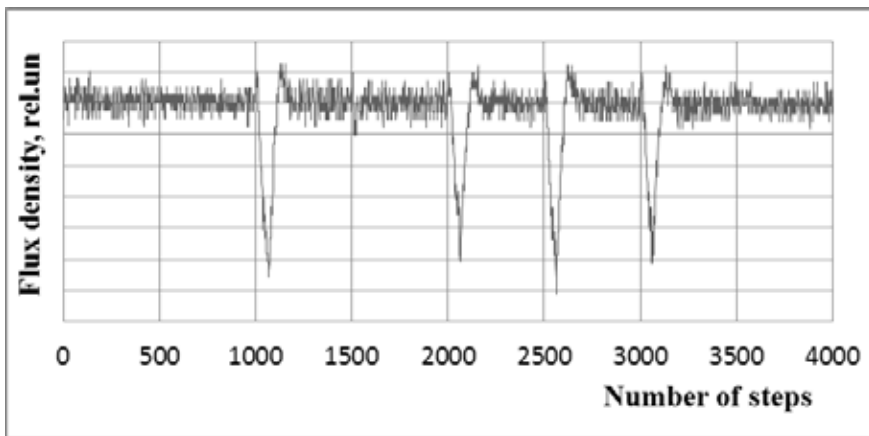


Fig. 5. Fixation of four “bacteria” that entered the ion flow with an interval of more than 500 steps

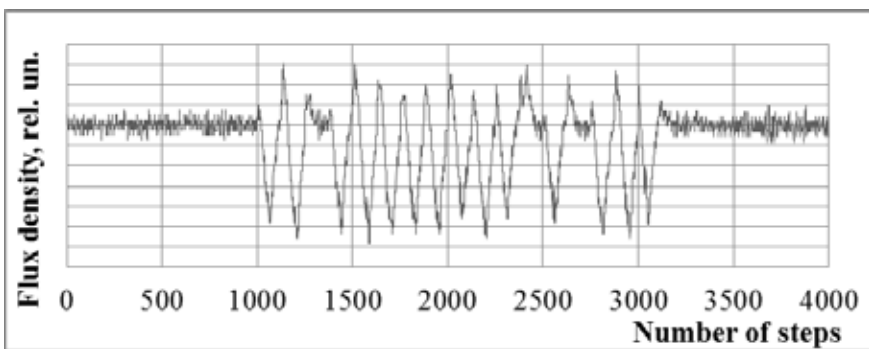


Fig. 6. Fixation of seventeen “bacteria” that entered the ion flow with an interval of more than 150 steps

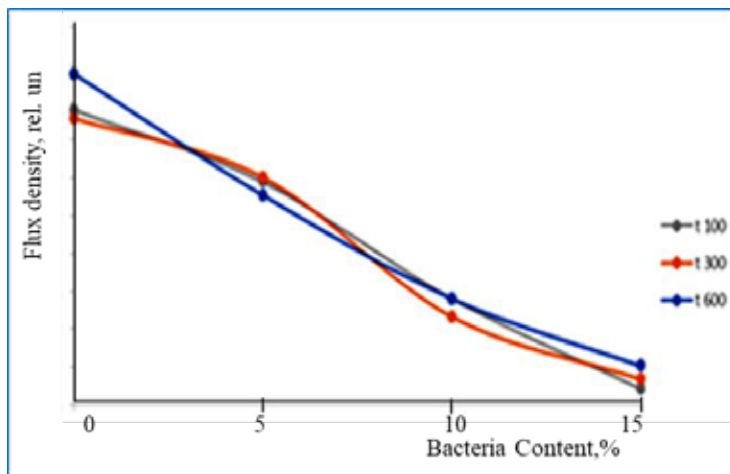


Fig. 7. Dependence of the total flow through the nanotrack (including contaminants) on the concentration of contaminants

DISCUSSION

The functioning mechanisms of various types of biosensors are mainly based on the use of complex chemical reactions and electron-lattice interactions [10, 11]. Therefore, an urgent task is to create sensor systems capable of detecting pollution based on measurements of simple characteristics of pollution, including biological ones. These can also be living organisms (bacteria), which differ, for example, from the particles of the studied medium in size. Track structures can be used to create such sensors. With this approach, instead of one complex and long instrument, a series of simple and relatively cheap instruments can be created.

With this approach, it will be possible, by solving certain design problems, to create a device that combines simpler devices, which will be more economical and which will be easier to operate.

The magnitude of the negative peaks in Fig. 4 depends on the particle size ratio of the main substance and the polluting particles. The peaks arise as a result of the elastic interaction of spherical model particles. The appearance of particles of a different size in the system changes the particle velocity distribution. These effects depend on the temperature of the particles as well as on the external applied force (applied voltage).

CONCLUSIONS

The passage of a current of an inhomogeneous ionic liquid through a nanotrack was studied by computer simulation. The possibility of using such a system as the basis of a track biosensor has been established. Thus, a simplification of the biosensor design is achieved, and a new approach to the creation of simpler and cheaper sensor systems can be implemented.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported in part by the Ministry of Education and Science of Ukraine (projects Nos. 0121U109543, 0122U000850, and 0122U000874) and National Research Foundation of Ukraine (project No. 2020.02/0100 “Development of new nanozymes as catalytic elements for enzymatic kits and chemo/biosensors”). T.K. also acknowledges the SAIA (Slovak Academic Information Agency) for scholarship in the Institute of Physics of Slovak Academy of Sciences in the framework of the National Scholarship Programme of the Slovak Republic.

BIBLIOGRAPHY

1. Bondaruk Yu., Fink D., Kiv A., Donchev I. Simulation of the passage of ion flows through nanotracks, *International Journal of Advanced Computer Technology (IJACT)*, 2020, 9: 1-4.
2. Algov D.I., Feiertag A., Shikler R., Alfonta L. Sensitive enzymatic determination of neurotransmitters in artificial sweat. *Biosens. Bioelectron.* 2022, 210: 114264.
3. Three approaches towards ion track-based biosensors appear to be feasible. The development of the first one began a decade ago / Strategies towards advanced ion track based biosensors: (a) Siwy Z., Trofin L., Kohli P., Baker L.A., Trautmann C., Martin C.R. Protein biosensors based on functionalized conical gold nanotubes. *J. Am. Chem. Soc.* 2005, 127: 5000-5001;

- (b) Martin C.R., Siwy Z.S. Chemistry: Learning nature's way: Biosensing with synthetic nanopores. *Science* 2007, 317: 331-332.
4. Fink D., Klinkovich I., Bukelman O., Marks R.S., Kiv A., Fuks D., Fahrner W.R., Alfonta L. Glucose determination using a re-usable enzyme-modified membrane sensor. *Biosens. Bioelectron.* 2009, 24: 2702-2706.
 5. Fink D., Vacik J., Alfonta L., Kiv A., Mandabi Y., Muñoz G. H. Optimization of transport processes in etched track-based biosensors. Funnel-type etched ion tracks in polymers. *Radiat. Eff. Def. Solids*, 2012, 167: 548-568.
 6. García-Arellano H., Muñoz G.H., Fink D., Vacik J., Hnatowicz V., Alfonta L., Kiv A. Dependence of yield of nuclear track-biosensors on track radius and analyte concentration. *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B* 2018, 420: 69-75.
 7. Donchev I., Kavetsky T., Mushynska O., Zubrytska O., Briukhovetska I., Pryima A., Kovalchuk H., Hoivanovych N., Kropyvnytska L., Pavlyshak Y., Skrobach T., Kossak G., Stakhiv V., Monastyrska S., Kiv A. Computer model of track biosensor. *Semicond. Phys. Quant. Electron. Optoelectron.* 2022, 25(4): 441-445.
 8. Mykytenko N., Fink D., Kiv A. Computer modeling of ion current pulsations in track-containing foils. *J. Comput. Sci.* 2015, 6: 34-39.
 9. Pan J, Ren D. Quorum sensing inhibitors: a patent overview. *Therapeutic Patents.* 2009, 19(11): 1581-1601.
 10. Fink D., Muñoz G.H., García H.A., Vacik J., Hnatowicz V., Kiv A., Alfonta L. Ion track etching revisited: I. Correlations between track parameters in aged polymers. *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B* 2018, 420: 57-68.
 11. Schiedt B. Characterization and application of ion track-etched nanopores. PhD Thesis at the Ruperto-Carola University of Heidelberg, Germany, 2007, 124.

REFERENCES

1. Bondaruk Yu., Fink D., Kiv A., Donchev I. (2020). Simulation of the passage of ion flows through nanotracks, *International Journal of Advanced Computer Technology (IJACT)*, 9: 1-4 [in English].
2. Algov D.I., Feiertag A., Shikler R., Alfonta L. (2022). Sensitive enzymatic determination of neurotransmitters in artificial sweat. *Biosens. Bioelectron.*, 210: 114264 [in English].
3. Three approaches towards ion track-based biosensors appear to be feasible. The development of the first one began a decade ago / Strategies towards advanced ion track based biosensors: (a) Siwy Z., Trofin L., Kohli P., Baker L.A., Trautmann C., Martin C.R. Protein biosensors based on functionalized conical gold nanotubes. *J. Am. Chem. Soc.* 2005, 127: 5000-5001; (b) Martin C.R., Siwy Z.S. Chemistry: Learning nature's way: Biosensing with synthetic nanopores. *Science* 2007, 317: 331-332 [in English].
4. Fink D., Klinkovich I., Bukelman O., Marks R.S., Kiv A., Fuks D., Fahrner W.R., Alfonta L. (2009). Glucose determination using a re-usable enzyme-modified membrane sensor. *Biosens. Bioelectron.*, 24: 2702-2706 [in English].
5. Fink D., Vacik J., Alfonta L., Kiv A., Mandabi Y., Muñoz G.H. (2012). Optimization of transport processes in etched track-based biosensors. Funnel-type etched ion tracks in polymers. *Radiat. Eff. Def. Solids*, 167: 548-568 [in English].
6. García-Arellano H., Muñoz G.H., Fink D., Vacik J., Hnatowicz V., Alfonta L., Kiv A. (2018). Dependence of yield of nuclear track-biosensors on track radius and analyte concentration. *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B*, 420: 69-75 [in English].
7. Donchev I., Kavetsky T., Mushynska O., Zubrytska O., Briukhovetska I., Pryima A., Kovalchuk H., Hoivanovych N., Kropyvnytska L., Pavlyshak Y., Skrobach T., Kossak G., Stakhiv V., Monastyrska S., Kiv A. (2022). Computer model of track biosensor. *Semicond. Phys. Quant. Electron. Optoelectron.*, 25(4): 441-445 [in English].

8. Mykytenko N., Fink D., Kiv A. (2015). Computer modeling of ion current pulsations in track-containing foils. *J. Comput. Sci*, 6: 34-39 [in English].
9. Pan J, Ren D. (2009). Quorum sensing inhibitors: a patent overview. *Therapeutic Patents*, 19(11): 1581-1601 [in English].
10. Fink D., Muñoz G.H., García H.A., Vacik J., Hnatowicz V., Kiv A., Alfonta L. (2018). Ion track etching revisited: I. Correlations between track parameters in aged polymers. *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B*, 420: 57-68 [in English].
11. Schiedt B. (2007). Characterization and application of ion track-etched nanopores. PhD Thesis at the Ruperto-Carola University of Heidelberg, Germany, 124 [in English].

АНОТАЦІЯ

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ БІОЛОГІЧНИХ ЗАБРУДНЕНЬ У ТРЕКОВОМУ БІОСЕНСОРІ

Багато твердих речовин у біології, медицині та техніці є пористими, через пори різного діаметру можуть проникати розчини домішок. Стосовно класифікації пор, слід розрізняти, з одного боку, відкриті та закриті пори, а з іншого боку – макроскопічні та наноскопічні пори. Відкриті пори доступні з поверхні за допомогою недифузійних процесів капілярної перколяції або мікрокапілярної дифузії; закриті пори, які не мають прямого зв'язку із зовнішнім світом, доступні ззовні лише шляхом дифузії. Перехід від макроскопічних (де зберігається динаміка рідини та капілярність) до наноскопічних (де зберігається нанофлюїдика) пор відбувається, коли радіус пори має подібну величину до довжини Дебая. Створення сенсорних систем для виявлення надзвичайно низьких концентрацій біологічних забруднень у рідких середовищах є найважливішим завданням біонанотехнологій. Оскільки такі системи користуються великим попитом, необхідно знайти способи зробити такі пристрої максимально дешевими і простими, забезпечуючи при цьому їх високу чутливість. У даній роботі за допомогою комп'ютерного моделювання продемонстровано можливість створення біосенсорів на основі використання вимірювань найпростіших фізичних характеристик. Показано, що розміри частинок, які забруднюють навколишнє середовище, та їх заряд можуть бути дискримінаційними параметрами, які дозволяють виявити наявність таких частинок. Для проведення комп'ютерного експерименту була розроблена модель трекового біосенсора.

Ключові слова: біологічні забруднення, нанопори, іонні потоки, біосенсори.

УДК 581.138.1 : 631.8 : 633.81

DOI <https://doi.org/10.32782/2450-8640.2022.1.2>

Галина Миколаївна Клепач,

кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології та хімії
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна
orcid.org/0000-0003-0784-8373, Scopus Author ID: 6508046859,
Scopus Author ID: 35490960800, e-mail: pavlishko@yahoo.com

Оксана Миколаївна Лупак,

кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри медико-біологічних дисциплін, екології та географії
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна
orcid.org/0000-0002-1969-8643, e-mail: oksana_lupak@ukr.net

Мар'яна Іванівна Дякунчак,

здобувач вищої освіти бакалаврського рівня спеціальності 091 Біологія
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна
e-mail: marianadiakunchak@gmail.com

Микола Петрович Шпек,

кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри біології та хімії
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна
orcid.org/0000-0001-5042-0482, e-mail: shpek.mp@gmail.com

Галина Ярославівна Ковальчук,

кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології та хімії
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна
orcid.org/0000-0002-5261-8422, e-mail: galynakovalchuk5@gmail.com

ВПЛИВ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ МІКРОДОБРИВОМ «АВАТАР-2 ОРГАНІК» НА ЛАБОРАТОРНУ ТА ПОЛЬОВУ СХОЖІСТЬ НАСІННЯ *CALENDULA OFFICINALIS* L.

Анотація. Мікродобриво «Аватар-2 Органік» є препаратом нового покоління, що містить важливі для росту й розвитку рослин мікроелементи у біологічно доступній формі наносполук, отримані ерозійно-вибуховим методом. Будучи екологічно чистим препаратом, мікродобриво може бути перспективним до застосування у технологіях вирощування лікарської сировини *Calendula officinalis* за передпосівної обробки насіння та обприскування вегетуючих рослин. Тому метою роботи було вивчити вплив різних норм мікродобрива «Аватар-2 Органік» способом передпосівної обробки насіння *C. officinalis* L. на прикладі сорту Березотіцька сонячна на енергію його проростання, лабораторну та польову схожість у ґрунтово-кліматичних умовах Передкарпаття, а також на деякі біометричні показники його проростків.

Встановлено, що мікродобриво за передпосівної обробки у нормі 100–150 мл/т насіння *C. officinalis* сприяє зростанню енергії його проростання та лабораторній схожості – на 5–7 % порівняно з контролем. Виявлено також позитивний вплив застосованих норм мікродобрива за передпосівної обробки насіння на ранні етапи розвитку проростків культури *C. officinalis*, вирощених в лабораторних умовах «на папері». Зокрема, відмічено

зростання біометричних показників на 7 день їх розвитку з часу посіву насіння: загальної довжини – на 22,85 % та 28,57 %, сирі та абсолютно сухої маси – на 12–15 % порівняно з контролем. Встановлено, позитивний вплив мікродобрива за передпосівної обробки на схожість насіння *C. officinalis* у польових умовах. Зокрема, передпосівна обробка за норм 100 і 150 мл/т насіння сприяє зростанню польової схожості насіння *C. officinalis* в умовах дерново-підзолистого ґрунту на 10–15 % порівняно з контролем та іншими варіантами дослідів, у яких застосовувались нижчі і вищі норми мікродобрива.

Доведено ефективність застосування передпосівної обробки мікродобривом «Аватар-2 Органік» у нормі 100 і 150 мл/т насіння *C. officinalis* L. як біологічно доцільного способу покращення схожості насіння цієї культури у ґрунтово-кліматичних умовах Передкарпаття.

Ключові слова: енергія проростання, схожість насіння *Calendula officinalis* L., мікродобриво, Аватар-2 Органік.

ВСТУП

Calendula officinalis – це лікарська рослина, сировина якої має значний попит на світовому [1] і вітчизняному ринку [2; 3]. Останніми роками на ринку України є дефіцит сировини цієї культури, що обумовлює пошук ефективних агротехнічних засобів задля покращення її якості та урожайності [3; 4]. Сортове різноманіття *C. officinalis*, створене на ДСЛР НААН України, дає змогу обирати найбільш перспективні з них та вивчати їх сортовий потенціал в різних ґрунтово-кліматичних умовах України за впливу різних препаратів та агротехнічних підходів вирощування [5]. До таких сортів *C. officinalis* належить новий сорт Березогіцька сонячна, сконструйований співробітниками ДСЛР НААН України у 2015 році [5].

У виробництві лікарської сировини рекомендовано використовувати засоби та сучасні агротехнічні прийоми, які відповідають відповідним українським та європейським настановам з належної практики культивування лікарських рослин [6; 7]. У технологіях вирощування лікарських рослин на рівні європейських стандартів використання хімічних препаратів не передбачено, а перелік сучасних біологічних засобів є досить обмежений. Згідно настанови ВООЗ з належної практики вирощування лікарських рослин, є чимала кількість обмежень у застосуванні різних біологічних і хімічних препаратів [8]. Дозволяється застосовувати лише ті, що регламентовані країною виробником для певної лікарської культури, і лише в мінімальних кількостях та за умов високої необхідності у них [6].

До добрив, які можуть бути використані у виробництві екологічно чистої лікарської сировини *C. officinalis* L. належить мікроелементний препарат «Аватар-2 Органік», основним призначенням якого є підвищення урожайності сільськогосподарських культур, а також покращення їх стійкості та продуктивності [9]. «Аватар-2 Органік» є екологічно чистим багатокомпонентним мікроелементним препаратом (МП), що містить 20 важливих мікро- та ультрамікроелементів у біологічно доступній формі сполук, важливих для росту й розвитку рослин. Сполуки есенціальних елементів мікродобрива синтезовані унікальним методом нанотехнологій і, що важливо, є ідентичними природним компонентам [10]. Завдяки цьому, даний МП може бути застосований для у технологіях культивування лікарських рослин з метою збільшення їх продуктивності, покращення якісних та кількісних характеристик. Особливо це важливо є під час їх вирощування у ґрунтово-кліматичних умовах Передкарпаття на бідних органікою дерново-підзолистих ґрунтах [3]. На даний час, МП «Аватар-2 Органік» рекомендований виробником для

виращування овочевих, плодово-ягідних, зернових та декоративних культур [9; 10], а його застосування стосовно лікарських рослин потребує ретельних досліджень.

Оцінку впливу новосинтезованих речовин різної хімічної і органічної природи, що застосовуватимуться для виращування культур рослин рекомендується здійснювати на різних етапах їх розвитку [6]. На першому етапі, рекомендується оцінити вплив препарату на ріст і розвиток культури за передпосівної обробки насіння. Задля цього визначають енергію проростання насіння, його лабораторну й польову схожість [6]. Як відомо, енергія проростання насіння поряд з лабораторною й польовою схожістю є важливими показниками його якості, що визначають густоту посівів культури, а у подальшому – її урожайність [3]. Поряд з тим, дані показники свідчать і про конкурентоспроможність проростків у польових умовах, про їхній адаптаційний потенціал (АП) [11]. Останній, як відомо, залежить не тільки від генетичних, але й від ґрунтово-кліматичних чинників [9]. Для підвищення АП проростків культур рослин у агротехнологіях їх виращування застосовують різної природи препарати [3; 9], до яких належить МП «Аватар-2 Органік» [2]. Оскільки виробник МП рекомендує застосовувати його для замочування насіння культур рослин [10], тому ми апробували цей спосіб для дослідження впливу «Аватар-2 Органік» на розвиток *C. officinalis*. Метою нашого дослідження було оцінити вплив передпосівної обробки МП «Аватар-2 Органік» на енергію проростання, лабораторну та польову схожість насіння *C. officinalis* на прикладі сорту Березотіцька сонячна, а також деякі біометричні показники її проростків.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Матеріалом для досліджень слугувало насіння сорту *C. officinalis* Березотіцька сонячна, надане для досліджень Дослідною станцією Лікарських рослин Інституту Агроекології і Природокористування НААН України [5]. Він є високопродуктивним сортом лікарського і декоративного напрямків використання, який був сконструйований у 2015 р. та зареєстрований у Національному центрі генетичних ресурсів рослин України у 2020 р. [5].

Мікродобривом для досліджень слугував комерційний мікроелементний препарат (МП) «Аватар-2 Органік» ТОВ «НВК «Аватар» (м. Київ, Україна). У дослідженнях використовували водні розчини МП «Аватар-2 Органік», які готували розведенням вихідного дистильованою водою.

Підготовка насіння до посіву. З наданого зразка відбирали 1000 цільних одиниць насіння *C. officinalis* та зважували його на аналітичних вагах, як описано у ДСТУ 4138–2002 [12]. Середньозважене маси 1000 насінин використовували у подальших обчисленнях при підготовці робочих розчинів мікродобрива. Для кожного варіанту досліду, який включав не менше п'яти повторностей, брали 100 насінин *C. officinalis* та замочували їх на 8 год у дистильованій воді (контроль) та розчинах, що містили різні норми мікродобрива (25; 50; 150 і 200 мл/т насіння). Після замочування, насіння позбавляли слідів зайвої вологи та поміщали у ємкості з фільтрувальним папером, зволеним до 80% дистильованою водою, як описано [12].

Енергію проростання (ЕП) насіння *C. officinalis* визначали шляхом його культивування «на папері» упродовж 3 діб у термостаті при 20 °C за умов вентиляції, як описано [12].

Лабораторну схожість насіння *C. officinalis* визначали шляхом його культивування «на папері» упродовж 7 діб при 20 °C за умов природного освітлення [12].

Польову схожість насіння *C. officinalis* визначали на 7 добу після його посіву на навчально-дослідній ділянці (НДД) на глибину залягання 2 см відповідно до рекомендацій [4]. Насіння висівали у третій декаді квітня. Підготовку ґрунту до посіву проводили відповідно до агротехніки вирощування *C. officinalis*, описаній у [3]. Ґрунт НДД є дерново-підзолистий поверхнево-оглесний середньосуглинковий та характеризується низьким вмістом гумусу (2,08 %) в орному шарі, дуже низьким ступенем забезпечення легкогідролізованим нітрогеном, середнім ступенем забезпечення рухомими формами фосфору й калію, а також обмінним магнієм, натомість має підвищений ступінь забезпечення обмінним кальцієм [3].

Виразили енергію проростання (ЕП) та лабораторну й польову схожість насіння *C. officinalis*, як описано [12; 13], кількістю пророслих насінин чи кількістю проростків, відповідно, у відсотках до загальної кількості насіння, взятого для пророщування.

Біометричні показники (загальної довжини, сирої й сухої маси) проростків *C. officinalis* вимірювали на 7-му добу їх культивування в лабораторних умовах «на папері» після посіву насіння, як описано [13].

Визначення загальної довжини проростків *C. officinalis* здійснювали за допомогою міліметрової лінійки, як описано [13].

Визначення сирої біомаси проростків *C. officinalis* здійснювали ваговим методом. На 7-й день культивування відбирали проростки, позбавляли слідів зайвої вологи, просушували на повітрі та зважували на аналітичних вагах, як описано [13].

Визначення сухої біомаси проростків *C. officinalis* здійснювали термостатно-ваговим методом, який заснований на висушуванні вологої наважки *рослинного* матеріалу до постійної маси [13].

Статистичний аналіз даних експериментів. Лабораторні та польові досліди проводились у п'яти повторностях. Для кожної вибірки показників визначали середнє арифметичне (M), стандартну похибку середнього (m), коефіцієнт Стьюдента (t) та достовірність (p). Статистичний і математичний аналіз отриманих даних здійснювали шляхом застосування дисперсійного та кореляційного аналізів. Дані вважали достовірними за рівня значущості $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТИ

Для первинної оцінки впливу мікроелементного препарату «Аватар-2 Органік» ми визначали ЕП, а також лабораторну та польову схожість насіння (СН) *C. officinalis* на прикладі сорту Березотіцька сонячна, що було оброблене різними нормами цього мікродобрива. Енергія проростання (ЕП) та лабораторна СН є важливими посівними характеристиками насіння культур рослин, тоді як польова схожість є визначальним чинником формування продуктивності посіву [12]. СН у польових умовах залежить, насамперед, від вологозабезпеченості й температури ґрунту, а також від застосованих агротехнічних заходів: термінів посіву та рівня мінерального живлення [11]. Задля визначення біологічно оптимальних норм мікродобрива «Аватар-2 Органік» для передпосівної обробки насіння *C. officinalis* та доцільності використання такого способу обробки, у дослідженнях застосовували його менші кількості та такі, що регламентовані інструкцією до нього для вирощування культур рослин.

Дослідження ЕП насіння *C. officinalis* на прикладі сорту Березотіцька сонячна у лабораторних умовах способом культивування «на папері» показали, що показники

даної величини за застосованих норм є високими для контролю (80 %), так і для деяких варіантів досліду (рис. 1). Зокрема, показники ЕП насіння *C. officinalis*, що було оброблене мікродобривом у діапазоні 25 – 200 мл/т варіює та складає 73–87 %. Достовірна різниця між контролем та двома дослідними варіантами V1 і V2 відсутня: відхилення між їхніми середніми показниками є незначними та коливаються у межах 2–3 %. У інших двох дослідних варіантах V3 і V4 спостерігається зростання показників ЕП на 5 і 7 %, відповідно, порівняно з контролем. І лише у дослідному варіанті V5 (обробка мікродобривом – 200 мл/т насіння) спостерігається достовірне зниження показника ЕП на 7 % порівняно з контролем. Останнє може свідчити про токсичність та недоцільність застосування такої норми мікродобрива для передпосівної обробки насіння *C. officinalis*, що було підтверджено у наступних дослідженнях зниженням ростової активності проростків при їх культивуванні у лабораторних умовах «на папері».

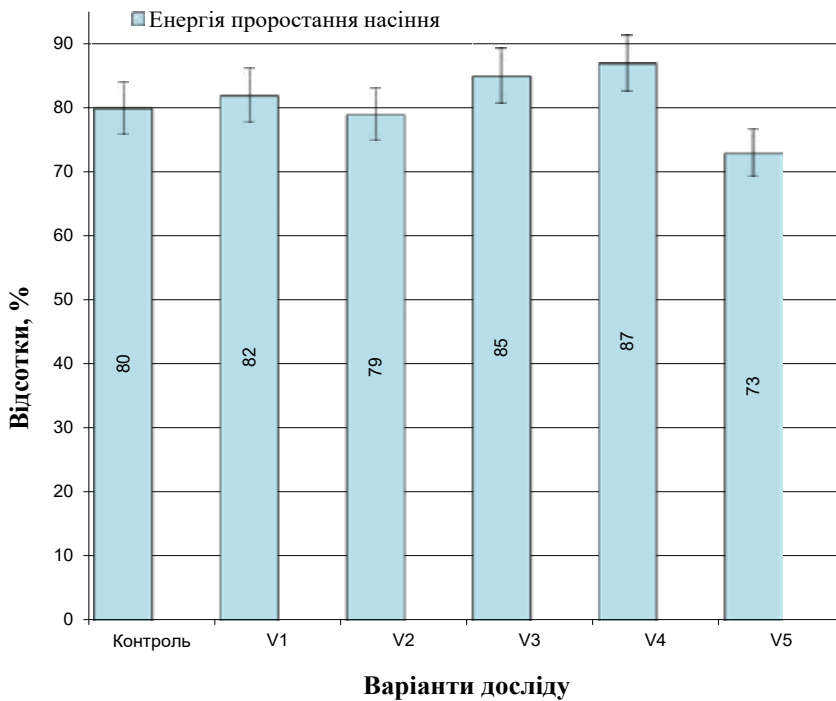


Рис. 1. Енергія проростання насіння *Calendula officinalis* сорту Березотіцька сонячна, оброблене різними нормами мікродобрива «Аватар-2 Органік» (мл/т насіння): Контроль (без обробки); V1 – 25; V2 – 50; V3 – 100; V4 – 150; V5 – 200

Другою важливою посівною характеристикою насіння є його схожість. Показник СН характеризує здатність утворювати нормально розвинені сходи та є необхідним й важливим для розрахунку норм висіву насіння [12]. СН залежить не тільки від генетичного потенціалу та посівних якостей насіння, але й від впливу зовнішніх чинників. Це дає змогу оцінити вплив різних препаратів на СН рослинних культур

у лабораторних та польових умовах, визначити їх біологічно оптимальні норми застосування, здійснити підбір способу внесення та обробки [9]. Зважаючи на це, ми визначили лабораторну й польову СН *C. officinalis*, що було оброблене окресленими нормами мікродобрива. Як бачимо (рис. 2), лабораторна СН *C. officinalis* є високою для варіантів V1 – V4 та коливається у межах 90–96 %, але не для варіанту V5. Достовірної різниці у лабораторній СН між контролем та дослідними варіантами V1 і V2 немає. Однак за норми застосування мікродобрива 100 і 150 мл/т насіння, що відповідає дослідним варіантам V3 і V4 (рис. 2), СН збільшується на 5 і 6 %, відповідно, порівняно з контролем. Зауважено, що поряд зі зростанням СН у проростків дослідних варіантів V3 й V4 спостерігається переважання висоти та вегетативної маси. Схожа закономірність спостерігалася у схожості насіння, оброблене такими ж нормами мікродобрива, що культивувалось у польових умовах на дерново-підзолистому ґрунті НДД. Як бачимо (рис. 2), польова СН *C. officinalis*, є високою як для контролю (75 %), так і для більшості варіантів досліді (78–82 %). Достовірної різниці у СН між контролем й дослідними варіантами V1 і V2 не виявлено. Тоді як, у варіантах V3 і V4 спостерігається покращення СН на 5 і 7 %, відповідно, порівняно з контролем. До того ж, довжина й вегетативна маса проростків *C. officinalis*, вирощених з цього насіння, на ранніх етапах розвитку, була також краще розвинута порівняно з контролем. Однак, у варіанті V5 (за норми застосування мікродобрива 200 мл/т насіння) спостерігається зниження СН на 7 % порівняно з контролем.

Отже, застосування передпосівної обробки МП «Аватар-2 Органік» за норм 100 і 150 мл/т насіння є оптимальним та біологічно сприйнятливим для культивування *C. officinalis*. Застосування такого способу обробки насіння покращує енергію його проростання, лабораторну й польову схожість, а тому може бути апробований у подальших польових дослідженнях по вивченню продуктивності й урожайності рослин *C. officinalis* у ґрунтово-кліматичних умовах Передкарпаття.

Важливими показниками, які відображають вплив ґрунтово-кліматичних умов та застосованих препаратів у агротехнологіях, є біометричні показники вегетативних й генеративних органів рослин [3; 4]. Серед них, важливими кількісними параметрами є висота й біомаса рослин, які залежить не тільки від їх генетико-біологічних особливостей сорту, але й значним чином від умов проростання насіння та живлення проростків на ранніх етапах їх розвитку [3]. Тому показники довжини проростків та їхньої біомаси можна вважати достатньо чутливими параметрами, які можуть бути застосовані для оцінки впливу МП «Аватар-2 Органік». Задля цього ми здійснили вимірювання довжин, а також сирої й вологої маси проростків *C. officinalis* на 7 день їх розвитку в лабораторних умовах «на папері».

Як бачимо (рис. 3), застосування передпосівної обробки мікродобривом за норм 100 і 150 мл/т насіння позитивно впливає на розвиток і ріст проростків *C. officinalis*. Зокрема, загальна довжина проростків, вирощених з насіння, що було оброблене мікродобривом за норм 100 і 150 мл/т зростає до 43 і 45 мм, відповідно, що є достовірно вищим за контроль на 22,85 % та 28,57 %. Слід зауважити, що довжина проростків, вирощених із обробленого насіння мікродобривом за норм 25 і 50 мл/т насіння, є близькою до контролю, оскільки достовірна різниця між їхніми показниками відсутня. До того ж, обробка мікродобривом за норми 200 мл/т насіння, негативно позначалася на розвиток проростків: їхня довжина була достовірно нижчою на 14 % порівняно з контролем.

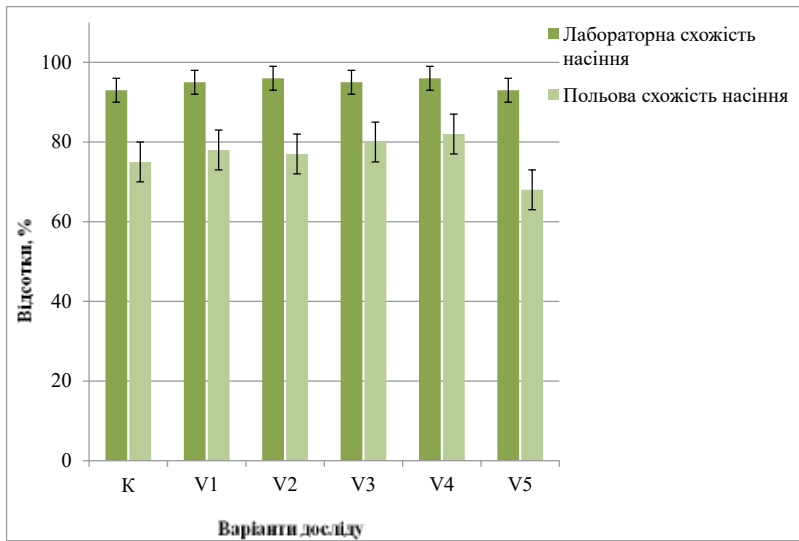


Рис. 2. Лабораторна та польова схожість насіння *Calendula officinalis* сорту Березотіцька сонячна, оброблене різними нормами мікродобрива «Аватар-2 Органік» (мл/т насіння): К – контроль (без обробки); V1 – 25; V2 – 50; V3 – 100; V4 – 150; V5 – 200

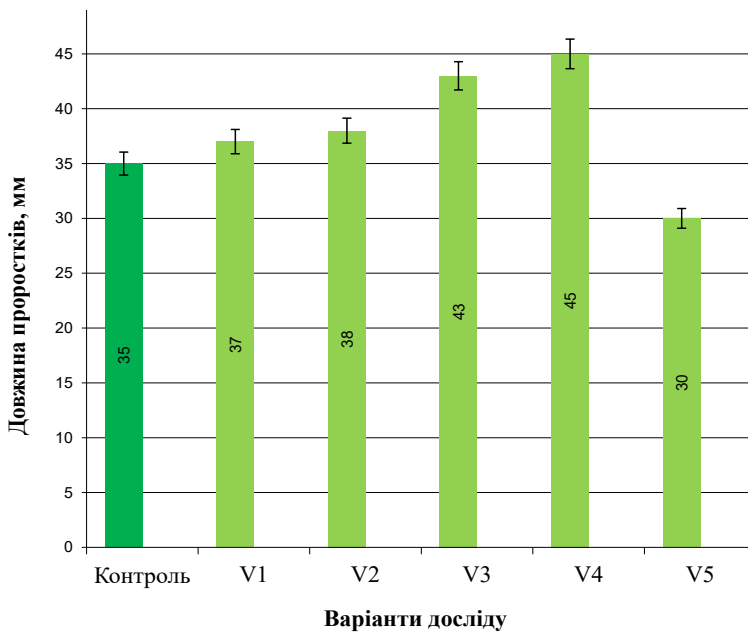


Рис. 3. Довжина проростків *Calendula officinalis*, вирощених «на папері» з насіння, що оброблене різними нормами мікродобрива «Аватар-2 Органік» (мл/т насіння): К – контроль (без обробки);

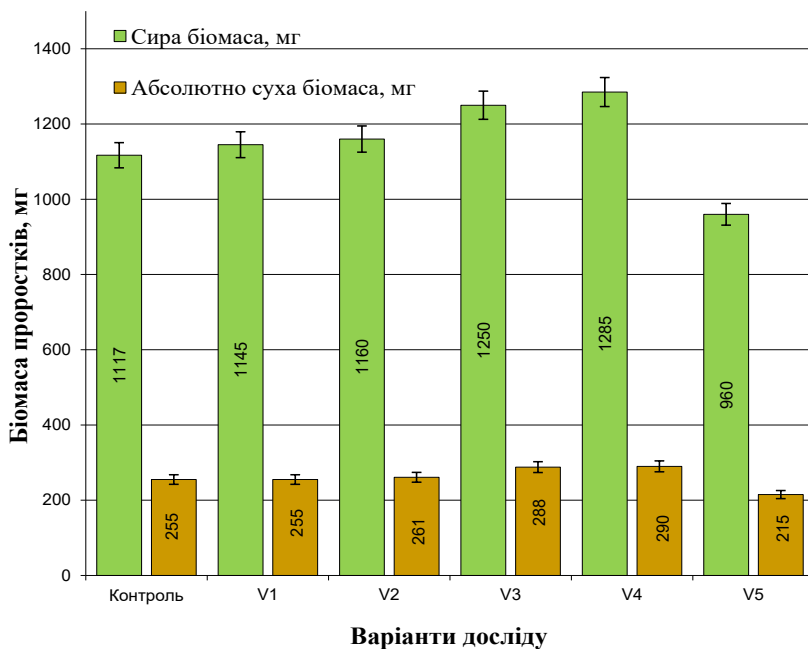


Рис. 4. Маса проростків *Calendula officinalis*, вирощених у лабораторних умовах «на папері» з насіння, що оброблене різними нормами мікродобрива «Аватар-2 Органік» (мл/т насіння): К – контроль (без обробки); V1 – 25; V2 – 50; V3 – 100; V4 – 150; V5 – 200

Другий важливий біометричний показник, який демонструє вплив досліджуваних умов на початкові фази розвитку та синтетичну активність проростків є їхня біомаса [3]. Ми визначили сирю та суху масу проростків *C. officinalis* на 7 добу їх культивування в лабораторних умовах ваговим та термостатно-ваговим методами, відповідно. Як бачимо (рис. 4), передпосівна обробка насіння МП «Аватар-2 Органік» за норм застосування 25, 50, 100 і 150 мл/т має позитивний вплив на зростання як сирої так і сухої маси проростків *C. officinalis* на 7 день їх розвитку. Зокрема, у дослідних варіантах V3 і V4 (за норм 100 і 150 мл/т насіння *C. officinalis*, відповідно) сира маса проростків достовірно зростає на 12 і 15 % вище за контроль. Відповідно, абсолютно суха маса проростків зазначених варіантів досліді, також є достовірно вищою на 9 і 14 % порівняно з контролем. Слід зауважити, що сира і суха маса проростків, вирощених із обробленого насіння мікродобривом за норм 25 і 50 мл/т насіння, достовірно не відрізняється порівняно з контролем. До того ж, обробка мікродобривом за норми 200 мл/т насіння, також негативно позначається на синтетичній продуктивності проростків: їхня сира та суха маси є достовірно нижчими на 14 і 16 %, відповідно, порівняно з контролем.

ВИСНОВКИ

Встановлено, що мікродобриво за передпосівної обробки у нормі 100 – 150 мл/т насіння *C. officinalis* сприяє зростанню енергії його проростання та лабораторній схожості – на 5–7 % порівняно з контролем. Виявлено позитивний вплив застосованих норм мікродобрива за передпосівної обробки насіння на ранні етапи розвитку

проростків культури *C. officinalis*, вирощених в лабораторних умовах «на папері». Зокрема, відмічено зростання біометричних показників на 7 день їх розвитку з часу посіву насіння: загальної довжини – на 22,85 % та 28,57 %, сирої та абсолютно сухої маси – на 12–15 % порівняно з контролем.

Встановлено, позитивний вплив мікродобрива за передпосівної обробки на схожість насіння *C. officinalis* у польових умовах. Зокрема, передпосівна обробка за норм 100 і 150 мл/т насіння сприяє зростанню польової схожості насіння *C. officinalis* в умовах дерново-підзолистого ґрунту на 10–15 % порівняно з контролем та іншими варіантами дослідів, у яких застосовувались нижчі і вищі норми мікродобрива.

Доведено ефективність застосування передпосівної обробки мікродобривом «Аватар-2 Органік» у нормі 100 і 150 мл/т насіння *C. officinalis* L. як біологічно доцільного способу покращення схожості насіння цієї культури у ґрунтово-кліматичних умовах Передкарпаття.

ЛІТЕРАТУРА

1. González-Aguirre J.-A., Solarte-Toro J., Alzate C. Supply chain and environmental assessment of the essential oil production using *Calendula* (*Calendula officinalis*) as raw material. *Heliyon*. 2020. No 6(11):e05606. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e05606.
2. Зузук Б.М., Куцик Р.В., Калугина С.М., Гудивок Я.С., Куровець Л.М. Календула лікарська (*Calendula officinalis* L.): аналітичний обзор. *Провизор*. 2001. № 4. С. 29–31. URL: http://www.pr0vis0r.c0m.ua/archive/2001/N5/art_29.php.
3. Лупак О., Антоняк Г., Шпек М. Формування продуктивності *Calendula officinalis* L. залежно від внесення стимуляторів росту та ґрунтово-кліматичних умов культивування. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія. Львів : Львів. нац. аграр. ун-т*. 2016. № 20. С. 60–65. URL: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vlnau_act_2016_20_14.pdf
4. Хоміна В. Я., Недільська У.І. Урожайність нагідок лікарських залежно від застосування біологічно активних препаратів. *Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету*. 2010. Вип. 18. С. 59–62. URL: <http://188.190.33.56:7980/jspui/handle/123456789/2325>.
5. Мельничук Р. В., Куценко Н. І. Оцінка різноманіття роду *Calendula* для формування колекції сортів з еталонними ознаками. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2015. № 3–4 (28–29). С. 18–23. doi: [https://doi.org/10.21498/2518-1017.3-4\(28-29\).2015.58441](https://doi.org/10.21498/2518-1017.3-4(28-29).2015.58441)
6. Настанова СТ-Н МОЗУ 42-4.5:2012. Лікарські засоби. Належна практика культивування та збирання вихідної сировини рослинного походження Київ : МОЗ України, 2012. 13 с. URL: https://web.archive.org/web/20150706223054/http://moz.gov.ua/docfiles/N118_2013_dod1.pdf
7. Good Agricultural and Collection Practice for Herbal Raw Materials. Botanical Raw Materials Committee of the American Herbal Products Association. American Herbal Pharmacopoeia, 2006. 39 p. URL: http://www.herbal-ahp.org/06_1208_AHPA-AHP_GACP.pdf
8. Guideline on Good Agricultural and Collection Practice (GACP) for Starting Materials of Herbal Origin. Doc. Ref. EMEA/HMPC/246816/2005 London, 20 February 2006.
9. Капітанська О.С., Прядкіна Г.О., Стасик О.О. Вплив обробки рослин комплексом карбоксилатів мікроелементів на фотосинтетичні показники і урожай озимої пшениці. *Фізіологія рослин і Генетика*. 2017. Т. 49. № 3. С. 248–255. doi: <https://doi.org/10.15407/frg2017.03.248>

10. Засіб для передпосівної обробки насіння сільськогосподарських культур: пат. 91892 Україна: a200810241; заявл. 11.08.2008; опубл.: 10.09.2010, Бюл. № 17. 4 с. URL: <https://uapatents.com/4-91892-zasib-dlya-peredposivno-obrobki-nasinnya-silskogospodarskikh-kultur.html>.
11. Письменна Ю.М., Панюта О.О., Таран Н.Ю. Вплив передпосівної обробки насіння наночастками срібла та міді на ріст і водоутримуючу здатність проростків озимої пшениці. *Чорноморський ботанічний журнал*. 2018. С. 26–31. doi: 10.14255/2308-9628/18.141/2
12. ДСТУ 4138–2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості; чинний від 01.01.04. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2003. 173 с. URL: https://www.agrodialog.com.ua/wp-content/uploads/2018/04/dstu-4138_2002.pdf
13. ISTA, 2016 (*International Seeds Testing Association*). International Rules for Seeds Testing. Vol. 2016. Chap. 2, i-2-40 (46). doi: [hhttp: doi.org/10.15258/istarules.2016.02](https://doi.org/10.15258/istarules.2016.02)

REFERENCES

1. González-Aguirre J.-A., Solarte-Toro J., Alzate C. (2020). Supply chain and environmental assessment of the essential oil production using *Calendula* (*Calendula officinalis*) as raw material. *Heliyon*. No 6(11):e05606. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e05606 [in English].
2. Zuzuk B. M., Kutsik R. V., Kalugina S. M., Gudivok Ya. S., Kurovets L. M. (2001). *Kalendula lekarstvennaya* (*Calendula officinalis* L.): analiticheskiy obzor [Marigold officinalis (*Calendula officinalis* L.): analytical review]. *Provizor*, 4, 29–31. Retrieved from: http://www.pr0vis0r.c0m.ua/archive/2001/N5/art_29.php. [in Russian].
3. Lupak O., Antonyak H., Shpek M. (2016). *Formuvannia produktyvnosti Calendula officinalis L. zalezchno vid vnesennia stymulatoriv rostu ta gruntovo-klimatychnykh umov kultyvuvannia* [Formation of *Calendula officinalis* L. productivity depending on applying growth stimulants and soil and climatic conditions of cultivation]. *Visnyk of Lviv Nat. Agronom. Univ. Visnyk of L'viv Univ.: agronomic*, 20, 60–65. Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vlnau_act_2016_20_14.pdf [in Ukrainian].
4. Khomina V.Ya., Nedijska U.I. (2010). Urozhainist nahidok likarskykh zalezchno vid zastosuvannia biolohichno aktyvnykh preparativ [The yield of *Calendula officinalis* L. depends on the use of biologically active drugs]. *Collection of science practices of the Podil State Agrarian-Technical University*, Vol. 18, 59–62. Retrieved from: <http://188.190.33.56:7980/jspui/handle/123456789/2325>. [in Ukrainian]
5. Melnychuk R.V., Kutsenko N.I. (2015). Otsinka riznomanittia rodu *Calendula* dlia formuvannia kolektsii sortiv z etalonnymy oznakamy [Evaluation of the genus *Calendula* L. diversity for forming collection of varieties with standard characters]. *Plant Varieties Studying and Protection*. No 3–4 (28–29). P. 18–23. doi: [https://doi.org/10.21498/2518-1017.3-4\(28-29\).2015.58441](https://doi.org/10.21498/2518-1017.3-4(28-29).2015.58441). [in Ukrainian].
6. Nastanova ST-N MOZU 42-4.5:2012. Likarski zasoby. Nalezchna praktyka kultyvuvannia ta zbyrannia vykhidnoi syrovyny roslynnoho pokhodzhennia Kyiv : MOZ Ukrainy [Medicinal products. Good agricultural and collection practice for starting materials of herbal origin. K. Ministry of Health of Ukraine]. (2012). 13 p. URL: http://moz.gov.ua/docfiles/N118_2013_dod1.pdf. [in Ukrainian].
7. Good Agricultural and Collection Practice for Herbal Raw Materials. Botanical Raw Materials Committee of the American Herbal Products Association. American Herbal Pharmacopoeia, (2006). 39 p. URL: http://www.herbal-ahp.org/06_1208_AHPA-AHP_GACP.pdf [in English].
8. Guideline on Good Agricultural and Collection Practice (GACP) for Starting Materials of Herbal Origin. Doc. Ref. EMEA/HMPC/246816/2005 London. (20 February 2006). [in English].

9. Kapitanska O.S., Priadkina G.O. & Stasik O.O. (2017). Vplyv obroby roslyn kompleksom karboksylativ mikroelementiv na fotosyntetychni pokaznyky i urozhai ozymoi pshenytsi [Influence of plants treatment by complex of microelements carboxylates on photosynthetic parameters and yield of winter wheat]. *Plant Physiology And Genetics*. Vol. 49. No 3. P. 248-255. URL: <https://doi.org/10.15407/frg2017.03.248> [in Ukrainian].
10. Zasib dlia peredposivnoi obroby nasinnia silskohospodarskykh kultur: pat. 91892 Ukraina: a200810241; zaiavl. 11.08.2008; opubl.: 10.09.2010, Biul. № 17. [Pat. 91892 UA: a200810241. Means for the preplant treatment of seeds of agricultural crops. V.Y. Skotsyk, V. H. Kaplunenko, M. V. Kosinov, O. M. Bovsunovskyi, S.O. Chorny. Publ. 10.09.2010]. Retrieved from: <https://uapatents.com/4-91892-zasib-dlya-peredposivno-obrobki-nasinnia-silskohospodarskikh-kultur.html>. [in Ukrainian].
11. Pysmenna Yu.M., Panyuta O.O. & Taran N.Yu. (2018). Vplyv peredposivnoi obroby nasinnia nanochastkamy sribla ta midi na rist i vodoutrymuiuchu zdattnist prorostkiv ozymoi pshenytsi [The effect of pre-sowing seed treatment with nonionic colloidal solutions of silver and copper metal nanoparticles on growth and water-retaining ability of winter wheat seedlings]. *Chornomorskyi botanichnyi zhurnal – Chornomorski Botanical Journal*, 14 (1), 26–31. doi: 10.14255/2308-9628/18.141/2 [in Ukrainian]
12. DSTU 4138–2002. Nasinnia silskohospodarskykh kultur. Metody vyznachennia yakosti; chynnyi vid 01.01.04. Vyd. ofits. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy [National Standard of Ukraine SSTU 4138 – 2002. Seeds of agricultural plants. Methods for seed testing [effective from 01.01.04]. Kyiv: Derzhspojyvstandart of Ukraine, 2003. 173 c. Retrieved from: https://www.agrodialog.com.ua/wp-content/uploads/2018/04/dstu-4138_2002.pdf [in Ukrainian]
13. ISTA, 2016 (*International Seeds Testing Association*). International Rules for Seeds Testing. Vol. 2016, Chapter 2, i-2-40 (46). Retrieved from: <http://doi.org/10.15258/istarules.2016.02> [in English].

ABSTRACT

INFLUENCE OF PRESOWN CULTIVATION WITH MICROFERTILIZER “AVATAR-2 ORGANIC” ON LABORATORY AND FIELD SEED GERMINATION OF *CALENDULA OFFICINALIS* L.

Microfertilizer “Avatar-2 Organic” is a preparation of new generation, that contains important microelements for growth and development of the plants in biologically available form of nanocompounds, obtained by erosive and explosive method. Being ecologically safe preparation, microfertilizer can be perspective to the usage in technologies of cultivation of medicinal plant raw material *Calendula officinalis* L. during presown cultivation of seed and sprinkling vegetative plants. That is why the aim of the work was to explore the influence of different norms of microfertilizer “Avatar-2 Organic” by the method of presown cultivation of seed of *C. officinalis* on the sample of Berezotitska soniachna cv. on the energy of its shooting, laboratory and field germination in soil and climatic conditions of Precarpathian area as well as on some indices of its seedlings.

One has explored that microfertilizer during presown cultivation in the norm 100–150 ml/t seed of *C. officinalis* plants contributes to the increase of energy of its shooting and laboratory germination by 5–7% compared to the control. One has revealed the positive influence of applied norms of microfertilizer during presown cultivation of seed on early stages of the development of seedlings of *C. officinalis* plants, cultivated in laboratory conditions “on paper”. In particular, we have marked the increase of biometric indices on the 7th day of its development from time of

sowing: the general length – by 22,85 % and 28,57 %, raw and absolutely dry mass – 12–15 % compared to the control.

One has established the positive influence of microfertilizer during presown cultivation on the seed germination of *C. officinalis* plants in the field conditions. In particular, presown cultivation in the norm of 100 and 150 ml/t seed contributes to the increase of field seed germination of *C. officinalis* plants in the conditions of sod-podzol soil by 10–15 % compared to the control and the other variants of the research, in which one used lower and higher norms of microfertilizer.

We have proved the efficiency of the usage of presown cultivation of “Avatar-2 Organic” in the norm of 100–150 ml/t seed of *C. officinalis* plants as a biologically practical way of improvement of seed germination of this crop in soil and climatic conditions of Precarpathian area.

Key words: shooting energy, seed germination, *Calendula officinalis* L., microfertilizer “Avatar-2 Organic”.

Ірина Володимирівна Бриндзя,

кандидат біологічних наук, доцент кафедри медико-біологічних дисциплін,
географії та екології

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна
orcid.org/0000-0002-2873-7712, e-mail: ira_3107@ukr.net

Наталія Костянтинівна Гойванович,

кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології та хімії

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна
orcid.org/0000-0002-3442-0674, Scopus-Author ID: 57203341250,
e-mail: natahoyvan@gmail.com

Людмила Романівна Білокур,

здобувач другого рівня вищої освіти

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна

ЕКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БАСЕЙНУ РІЧКИ ДНІСТЕР В МЕЖАХ САМБІРСЬКОГО РАЙОНУ

Анотація. Якість життя населення, а також розвиток галузей економіки кожної країни напряму залежить від ресурсного потенціалу. Важливим елементом якого є водні ресурси, оскільки досить важко уявити будь-яку сторону життя людини без води. Статистичні дані засвідчують, що населення планети у ХХ столітті зросло втричі, а споживання води – у 6 разів. Різноманітна діяльність людини може негативно впливати на її екологічний стан, зокрема на її хімічний та біологічний склад, від якого залежить життя гідробіонтів та здоров'я населення, яке споживає воду. Злободеною проблемою сьогодення є забезпечення населення водою відповідної якості та достатній кількості.

Аналіз даних екологічних паспортів та регіональних доповідей про стан довкілля у Львівській області свідчить, що основними забруднювачами поверхневих вод регіону є сполуки нітрогену, БСК₅, хлориди і фосфати. Нами було досліджено екологічний стан річки Дністер, що протікає територією Самбірського району. Дослідження показало, що за органолептичними показниками (прозорість, запах) усі зразки відповідали нормі. рН досліджуваної води коливався в діапазоні 6,2–7,3. Мінералізація води р. Дністер становила від 250 мг/л до 366 мг/л. Вміст хлорид іонів (Cl⁻) коливався в межах 6,25 мг/л – 15,94 мг/л. Концентрація сполук амонію у воді знаходилася в межах 0,59 мг/л – 1,71 мг/л та подекуди перевищувала ГДК. Концентрація NO₂⁻ у пробах води коливалася від мінімальних значень 0,005 мг/л до максимальних – 0,077 мг/л. Нітрати були наявні у кількостях 3,2 мг/л – 15 мг/л. Вміст фосфатів коливався в діапазоні від 0,2 мг/л до 0,38 мг/л. Проведено біотестування вод річки Дністер за рослинним тест об'єктом *Allium* сера. Досліджено також рівень фітотоксичності води річки Дністер та встановлено, що він коливається в межах 28,3–51,1%. Це відповідає середньому рівню токсичності і не зумовлює цитотоксичного ефекту.

Ключові слова: Самбірський район, річка Дністер, екологічний стан, органолептичні показники, рН, мінералізація, хлориди, сполуки нітрогену, фосфати, біотестування.

ВСТУП

Якість життя населення, а також розвиток галузей економіки кожної країни напряму залежить від ресурсного потенціалу. Важливим елементом якого є водні ресурси, оскільки досить важко уявити будь-яку сторону життя людини без води. Статистичні дані засвідчують, що населення планети у ХХ столітті зросло втричі, а споживання води – у 6 разів. На сьогоднішній день понад 1 мільярд людей на Землі не мають доступу до водних ресурсів [6]. Вода зі звичайної природної речовини вже давно перетворилася на найдорожчу сировину, якій немає заміни. Дослідження засвідчують, що споживання води у тисячу разів перевищує споживання інших ресурсів. Запасів прісної води не вистачає для задоволення зростаючих потреб людства і вони можуть бути повністю вичерпані вже в ХХІ столітті [2]. Україна належить до регіонів Європи з найменшим забезпеченням водою. Орієнтовні запаси поверхневих і підземних вод становлять приблизно 60 км³, а в посушливі роки цей показник зменшується до 37 км³ [3]. У розрахунку на одного жителя припадає приблизно 1000 м³ води на рік. Водні ресурси на території розподілені нерівномірно. Південні регіони України потерпають від гострої нестачі води, натомість найбільш насиченою річками територією є Карпатський регіон. Головними проблемами водних ресурсів є нераціональне їх використання та значне забруднення. Територія також піддається частим та небезпечним паводкам.

Для дослідження була обрана р. Дністер, оскільки це велика водна артерія, притоки якої проходять через урбанізовані території та впливають на її екологічний стан. Річка Дністер важливою артерією Західної частини країни, її довжина в межах України становить 705 км, а площа басейну – 72,1 тис. км². Річка повноводна і багата на гідробіонти. Басейн річки активно використовується для господарсько-питних потреб великою кількістю людей, тому проведення дослідів на цій річці було надзвичайно важливим рішенням. Відомо, що річки піддаються значному антропогенному пресингу, і Дністер у цій ситуації не є винятком. Різноманітна діяльність людини може негативно впливати на її екологічний стан, зокрема на її хімічний та біологічний склад, від якого залежить життя гідробіонтів та здоров'я населення, яке споживає воду.

Мета дослідження: дослідити екологічний стан води басейну річки Дністер в межах Самбірського району.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

У ході дослідження використовувалися біологічні та гідрохімічні методи. Для екологічної оцінки стану вод басейну річки Дністер, що протікає територією Самбірського району були відібрані зрази води в осінній та весняний періоди. Точки відбору проб води зображені на рисунку 1.

Зразки води були відібрані у наступних точках: м. Новий Калинів штучний водний канал (поруч місце збору сміття міста) – проба № 1, с. Ралівка (поблизу відбуваються скиди каналізаційних відходів комунальних установ міста Самбір та його околиць і безпосередні скиди ТПВ) – проба № 2, с. Кружики (де спостерігається тенденція скидів твердих побутових відходів, відходи тваринництва, каналізації від будинків та значний тиск сільського господарства) – проба № 3. Вода була відібрана згідно вимог лабораторного аналізу [10]. Зразки води відбиралися на глибині 0,2–0,5 м, у чітко визначений час: восени – перед замерзанням річок і весною – у час весняного водопілля. Проби з ріки відбирались у кожній точці вище за течією, де відбувалось повне змішання вод.

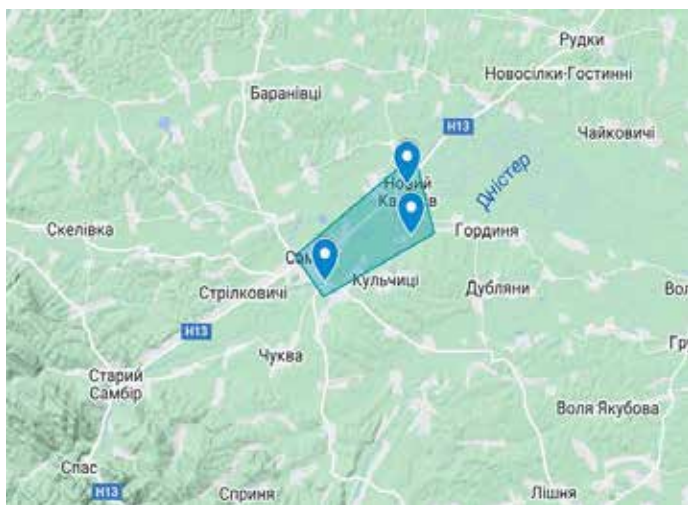


Рис. 1. Точки відбору проб води

У досліджуваних зразках води визначали органолептичні показники (прозорість, запах) згідно Державних санітарних норм (ДСанПіН 2.2.4–171–10). рН води визначали потенціометричним методом за допомогою рН-метра. Мінералізацію води вимірювали кондуктометром AD310 ADWA. Хлориди в досліджуваних зразках визначали за методом Мора. За допомогою фотоколориметричного методу на спектрофотометрі СФ-200 [11] визначали вміст йонів амонію, нітритів та нітратів. Біотестування проводили за методикою А. Горової [9] (*Allium sera* L) використовували як тест-об'єкт. Цитотоксичність здійснювали шляхом обрахунку мітогічного індексу у клітинах меристеми цибулі звичайної. Для цього відрізували декілька корінців цибулин з довжиною приблизно 1–2 см і провели їх фіксацію, фарбування та мікроскопування [8].

РЕЗУЛЬТАТИ

Важливим показником якості води є органолептичні показники. Нами визначалися наступні органолептичні показники: прозорість, запах. Результати дослідження наведені у таблиці 1.

Таблиця 1. Результати органолептичних показників басейну р. Дністер

Осінній період		
№ (найменування проби)	Показники та значення	
	Прозорість, см	Запах
1 (м. Новий Калинів)	30	2 бали, болотний запах
2 (с. Ралівка)	28	3 бали, гнилісний запах
3 (с. Кружички)	26	4 бали, пліснявий запах
Весняний період		
1 (м. Новий Калинів)	29	2 бали, болотний запах
2 (с. Ралівка)	27	4 бали, запах стічної води
3 (с. Кружички)	25	5 балів, затхлий запах

Прозорість досліджуваних зразків кращою була восени ніж навесні. Найвищою прозорість була проби № 1, проби № 2 дещо гірша. Найнижчою прозорість води була в пробі № 3. Щодо наявності запаху, то у зразку № 1 був наявний специфічний болотний запах, у зразках № 2 та № 3 наявний досить відчутний гнильний запах, який свідчить про цвітіння водойми та вказує, що у складі води є органічні сполуки.

Показник рН є дуже важливим для водних об'єктів, адже він залежить від хімічних та біологічних процесів, що в них протікають. Рівень рН води вказує на те, що досліджувальна вода має ступінчасту корозійну агресію [4]. рН досліджуваної води знаходиться в діапазоні 6,2–7,3. Оптимальне значення рН для природної води коливається в межах 6,5–8,5. Коли спостерігається підвищення кислотно-лужного показника більш як 11 це означає, що вода несе небезпеку для здоров'я людини та самопочуття, а знижений рівень показника рН свідчить про її високі корозійні властивості. Найменше значення рН серед досліджуваних зразків води зафіксоване у зразку № 1, а найбільше – № 3, всі проби води знаходяться в межах норми. Результати показника рН досліджуваних вод відображені на рисунку 2.

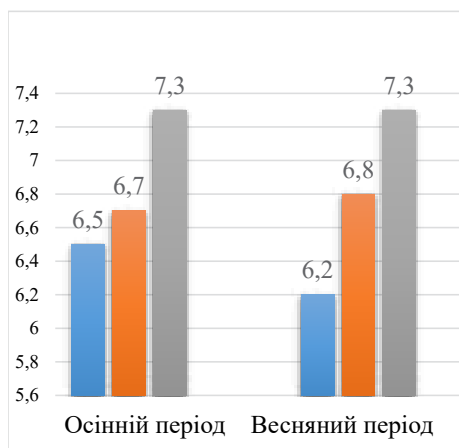


Рис. 2. рН досліджуваних зразків води

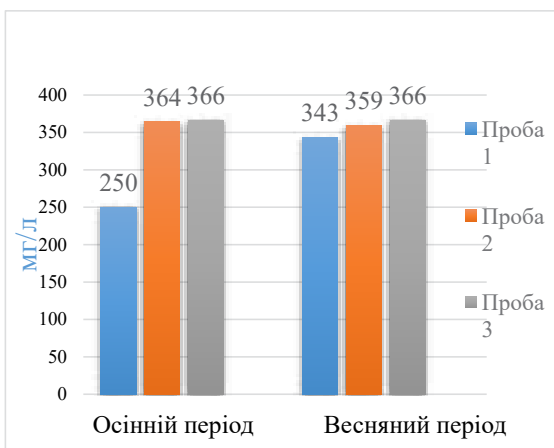


Рис. 3. Рівень мінералізації досліджуваних зразків води

Для прісних вод рівень мінералізації має становити менше 1000 мг/л. Проведені дослідження встановили, що мінералізація р. Дністер коливається в межах від 250 мг/л до 366 мг/л. Результати подано на рисунку 3.

Вміст хлорид іонів (Cl⁻) у воді річки Дністер коливався в межах 6,25 мг/л – 15,94 мг/л. Концентрація показника в осінній період становила у пробі № 1 – 6,30 мг/л, у пробі № 2 – 15,94 мг/л, а у пробі № 3 – 8,45 мг/л. Навесні значення показника дещо були нижчими: № 1 – 6,25 мг/л, № 2 – 13,83 мг/л, № 3 – 7,87 мг/л, хоча відхилення були незначними. Вміст хлорид іонів у всіх досліджуваних зразках знаходився в межах норми ГДК – 150 мг/л. Результати відображені на рисунку 4.

На екологічний стан водних об'єктів впливає наявність біогенних елементів [1]. Від концентрації цих речовин залежить санітарний стан води, та впливає на інтенсивність біохімічних процесів, що протікають у водоймі. На зростання вмісту біогенних елементів, зокрема сполук нітрогену, впливають комунальні та побутові

стоки, що скидаються, а також змиви з сільськогосподарських угідь [7]. Основною формою сполук нітрогену, що наявний у воді є іони амонію (NH_4^+). Результати дослідження показали, що концентрація цих сполук у воді коливалася в межах 0,59 мг/л – 1,71 мг/л. Подекуди концентрації показника перевищували нормативні значення. Восени вміст хлоридів знаходився у наступних кількостях проба № 1 – 0,59 мг/л, проба № 2 – 1,64 мг/л проба № 3 – 1,10 мг/л. Навесні значення наступні: проба № 1 – 0,67 мг/л, проба № 2 – 1,71 мг/л, проба № 3 – 1,22 мг/л. Зокрема, вміст цього показника восени був дещо вищим у порівнянні з весняними зразками. Перевищення значень ГДК може бути причиною самовільні скидання каналізаційних стоків комунальних установ міста Самбора та довколишніх населених пунктів. Результати дослідження відображені на рисунку 6.

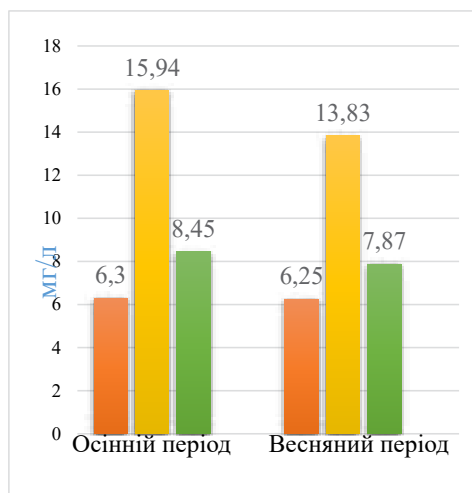


Рис. 4. Вміст Cl^- у досліджуваних зразках води

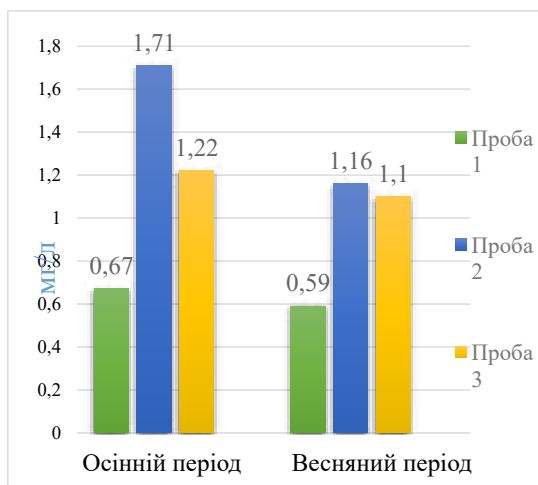


Рис. 5. Вміст сполук амонію у досліджуваних зразках води

Наступним компонентом окислення сполук амонію є нітрити. Результати дослідження засвідчили, що концентрація NO_2^- у пробах води знаходилася в межах 0,005 мг/л – 0,077 мг/л. Вміст цього показника знаходився в межах нормативних значень.

Третім компонентом окислення сполук нітрогену є нітрати. Результати дослідження засвідчили, що вміст NO_3^- в усіх аналізованих зразках знаходився в межах ГДК. Концентрація показника коливалася в межах 3,2 мг/л – 15 мг/л. Восени вміст нітратів був дещо вищий у порівнянні з весняним періодом. Результати відображені на рисунку 7.

Ще одним забруднювачем водних ресурсів є фосфати. Головним джерелом їх надходження є комунальні стоки. Результати дослідження засвідчили, що вміст цих елементів в усіх аналізованих зразках води не перевищував нормативних значень. Хоча концентрації були досить високими у порівнянні із фоновими значеннями. Загалом вміст фосфатів коливався в діапазоні від 0,2 мг/л до 0,38 мг/л. Результати висвітлені на рисунку 8.

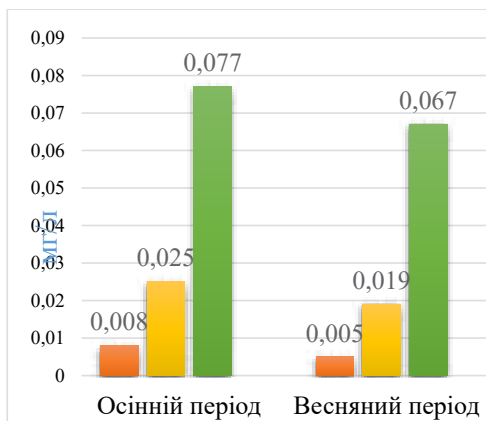


Рис. 6. Вміст NO_2^- у воді досліджуваних зразків

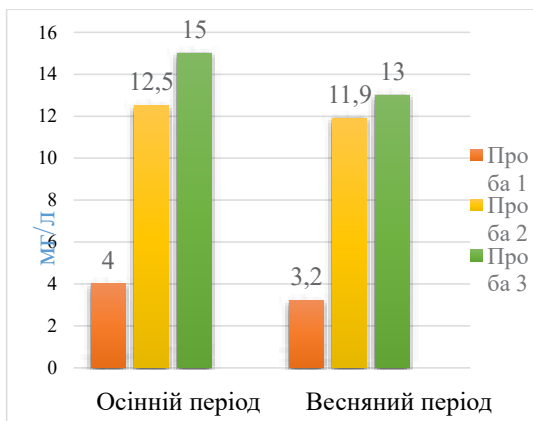


Рис. 7. Вміст NO_3^- у досліджуваних зразках води

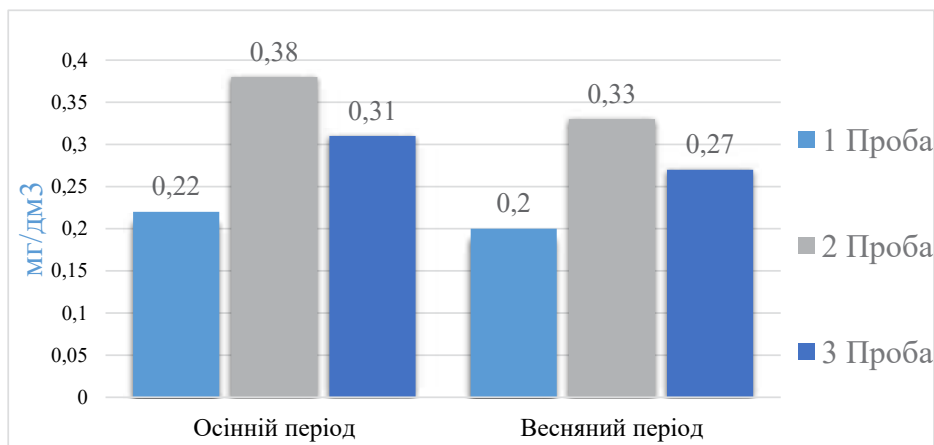


Рис. 8. Вміст фосфатів у досліджуваних зразках води.

Річка Дністер є однією з основних водних артерій Львівщини, на ній є водозабори, що забезпечують питною водою мешканців області. Тому стан вод контролюється у створах вздовж річки Дністер (м. Самбір).

Упродовж останнього десятиліття в європейській практиці оцінки стану вод присутні біологічні методи досліджень, що на державному рівні є одними з важливих показників якості [12, 13, 14]. Біотестування дозволяє швидко оцінити якість вод, не потребує значної кількості дороговартісних реактивів та спеціального обладнання.

Рівень забруднення вод, а відповідно, й швидкість приросту корінців *Allium* сера залежить від багатьох факторів: сезонності, температури, швидкості течії, глибини річки, ширини русла, відстані від джерел забруднення та ін. [5].

У таблиці 2 представленні результати біотестування вод річки Дністер у точках моніторингу на 4-ту, 7-му і 10-ту доби: Новий Калинів, Ралівка, Кружики. У якості тест-об'єкта використовували цибулю звичайну (*Allium sera*).

Таблиця 2. Ростові показники *Allium sera* на тлі вод річки Дністер

Назва проби	4 доба	7 доба	10 доба	T
Контроль	3,74±0,54	5,52±0,78	6,82±0,88	-
м. Новий Калинів	2,68±0,77	4,07±0,68	6,15±0,91	28,3
с. Ралівка	1,83±0,21	3,05±0,47	5,11±0,74	51,1
с. Кружики	1,89±0,37	4,21±0,64	6,25±1,22	49,5

Необхідно відзначити, що приріст на 4-ту добу у цих точках значно відрізняється, якщо у першій точці приріст знижується на 51,1%, то на кінцевій на 40,1% відносно контролю. Це свідчить про зменшення кількості політантів вздовж течії, що впливають на ріст і розвиток *Allium sera*.

Проби в с. Ралівка відібрані неподалік від скиду комунальних стічних вод, що знаходиться вище за течією. Ймовірно, більшість побутових і комунальних відходів скидається неочищеними в води річки Дністер.

Протяжність ріки Дністер від с. Ралівка до м. Новий Калинів становить орієнтовно 20км. Результати досліджень свідчать, що води ріки природно очищаються й токсичність відповідно знижується.

Оцінка швидкості приросту корінців *Allium sera* на тлі води р. Дністер у всіх точках моніторингу на 4-ту добу дозволила визначити індекс фітотоксичності вод за шкалою.

У цілому, рівень фітотоксичності вод річки Дністер коливається в межах 28,3–51,1%. Це відповідає середньому рівню токсичності. Однак спостерігається певна закономірність динаміки змін фітотоксичності, найнижчий рівень у зразках вод р. Дністер в м. Новий Калині 28,3% – середній рівень токсичності, одночасно у межах села Ралівка – 51,1%, що відповідає рівню вище середнього. Причиною цього є забруднення води побутовими відходами та неочищеними стоками. Результати біотестування вказують, що сумарна дія розчинених у воді політантів зумовлює рівні токсичності – середній і вище середнього.

ВИСНОВКИ

Отже, результати дослідження засвідчили, що органолептичні показники, рН, мінералізація, вміст хлорид іонів, фосфатів, нітритів та нітратів у воді перебувають у межах нормативних значень. Простежуються незначні перевищення ГДК щодо концентрації у воді іонів амонію. Це свідчить про свіже забруднення вод комунальними та побутовими стоками, а також змивом із сільськогосподарських угідь. Фітотоксичність води річки Дністер в межах Самбірського району коливається в межах 28,3–51,1% і це відповідає середньому рівню токсичності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бриндзя І.В. Екологічна оцінка перетворення неорганічних сполук нітрогену у колодязях Прикарпаття: авторф. дис.канд. біо. наук. Київ, 2017. 23 с.
2. Волошкіна О.С., Гандзюра В.П. Екологічні основи управління водними ресурсами: навч. посіб. Київ, 2017. 49 с.

3. Гідроекологічна характеристика річки Дністер. URL:https://knowledge.allbest.ru/geology/3c0a65635b2ac79a5c53a88421206d27_0.html (дата звернення 01.11.2022 р.)
4. Ісасенко В.М., Лисиченко Г. В., Дудар Т. В. Моніторинг і методи вимірювання параметрів навколишнього середовища: навчальний посібник. Київ: Нац. авіац. ун. «НАУ–друк», 2009. 112 с.
5. Кучеренко Т.В., Головатюк Є.О. Використання біотесту *Allium cepa* L. (цибуля звичайна) для оцінювання антропогенного забруднення навколишнього середовища. *Агроєкологічний журнал*. 2008. № 4. С. 79–83
6. Левківський С.С., М.М. Падун. Рациональне використання і охорона водних ресурсів: навч. посіб. Київ: Либідь, 2006. 60 с.
7. Медінець В.І., Конарева О.П., Ковальова Н.В., Солтис І.Є. Екологія міст та рекреаційних зон : Всеукраїнська науково-практична конференція. Одеса, 2009. 87 с.
8. Постанова КМУ Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля від 30 березня 1998 р. № 391, Київ. URL:<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/391-98-%D0%BF#Text> (дата звернення 08.11.2022 р.)
9. Руденко С.С., Костишин С.С., Морозова Т.В. Загальна екологія: практик. курс, ч. 1. Чернівці: Рута, 2003. 320 с.
10. Старикович Л.С., Дудок К.П., Любас Н.М. Прилади та методи дослідження стану довкілля. Львів: ЛНУ, 2014. 196 с.
11. Степова О.В., Рома В.В. моніторинг поверхневих вод: навч. посіб. Полтава: ПолтНТУ, 2017. 21 с.
12. Хільчевський В.І. Хільчевський В.К., Осадчий В.І. Основи гідрохімії: підручник К.: Ніка-Центр, 2012. с. 44.
13. Царенко О.М. та ін. Захист довкілля в умовах зростаючого техногенного навантаження на природу: навч. посіб. Суми: Слобожанщина, 2002. 464 с.
14. Шевчук В.М., Третяк С. К., Бурштинська Х. В. Моніторинг змін русла річки Стрий з використанням ГІС–технологій. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2018. Вип. 1. С. 138–139.

REFERENCES

1. Bryndzia I.V. (2017). *Ekolohichna otsinka peretvorennia neorhanichnykh spoluk nitrohenu u kolodiazakh Prykarpattia: avtorf. dys.kand. bio. nauk [Ecological assessment of the transformation of inorganic nitrogen compounds in the wells of Prykarpattia: author's reference. diss. candidate bio of science]*. Kyiv, 23 [in Ukrainian].
2. Voloshkina O.S., Handziura V.P. (2017). *Ekolohichni osnovy upravlinnia vodnymy resursamy: navch. posib [Ecological basics of water resources management: training. manual]*. Kyiv, 49 [in Ukrainian].
3. Hidroekolohichna kharakterystyka richky Dnister [Hydroecological characteristics of the Dniester River]. Retrieved from: https://knowledge.allbest.ru/geology/3c0a65635b2ac79a5c53a88421206d27_0.html (data zvernennia 01.11.2022 r.) [in Ukrainian].
4. Isaienko V.M., Lysychnenko H.V., Dudar T.V. (2009). *Monitorynh i metody vymiryuvannia parametriv navkolyshnoho seredovyshcha: navchalnyi posibnyk [Monitoring and methods of measuring environmental parameters: a study guide]*. Kyiv: Nats. aviats. un. «NAU–druk». 112 [in Ukrainian].
5. Kucherenko T.V., Holovatiuk Ye.O. (2008). *Vykorystannia biotestu Allium cepa L. (tsybulia zvychayna) dlia otsiniuvannia antropohennoho zabrudnennia navkolyshnoho seredovyshcha*

- [Use of the *Allium cepa* L. (common onion) bioassay to assess anthropogenic environmental pollution]. *Ahroekologichnyi zhurnal – Agroecological journal*, 4, 79 – 83 [in Ukrainian].
6. Levkivskiy S. S., M.M. Padun (2006). *Ratsionalne vykorystannia i okhorona vodnykh resursiv: navch. posib [Padun Rational use and protection of water resources: education]*. Kyiv: Lybid. 60 [in Ukrainian].
 7. Medinets V. I., Konareva O. P., Kovalova N. V., Soltys I. Ye. (2009). *Ekolohiia mist ta rekreatsiinykh zon : Vseukrainska naukovo-praktychna konferentsiia [Ecology of cities and recreational areas: All-Ukrainian scientific and practical conference]*. Odesa. 87 [in Ukrainian].
 8. Postanova KМУ Pro zatverdzhennia Polozhennia pro derzhavnu systemu monitorynhu dovkillia vid 30 bereznia 1998 r. № 391, Kyiv [Resolution of the CMU on the approval of the Regulation on the state environmental monitoring system of March 30, 1998 No. 391, Kyiv]. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/391-98-%D0%BF#Text> (data zvernennia 08.11.2022 r.) [in Ukrainian].
 9. Rudenko S.S., Kostyshyn S.S., Morozova T.V. (2003). *Zahalna ekolohiia: prakt. kurs, ch. 1 [General ecology: practice. course, part 1]*. Chernivtsi: Ruta. 320 [in Ukrainian].
 10. Starykovich L.S., Dudok K.P., Liubas N.M. (2014). *Prylady ta metody doslidzhennia stanu dovkillia [Devices and methods of environmental research]*. Lviv: LNU. 196 [in Ukrainian].
 11. Stepova O.V., Roma V.V. (2017). *Monitorynh poverkhnevyykh vod: navch. posib [Surface water monitoring: education]*. Poltava: PoltNTU. 21 [in Ukrainian].
 12. Khilchevskiy V.I. Khilchevskiy V.K., Osadchyi V.I. (2012). *Osnovy hidrokhemii: pidruchnyk [Basics of hydrochemistry: textbook]*. Kyiv: Nika-Tsentr. 44 [in Ukrainian].
 13. Tsarenko O.M. ta in. (2002). *Zakhyst dovkillia v umovakh zrostaiuchoho tekhnohennoho navantazhennia na pryrodu: navch. posib [Environmental protection in the conditions of growing man-made load on nature: training]*. Sumy: Slobozhanshchyna. 464 [in Ukrainian].
 14. Shevchuk V.M., Tretiak S. K., Kh. V. Burshtynska (2018). *Monitorynh zmin rusla richky Stryi z vykorystanniam HIS–tekhnolohii [Monitoring changes in the Stryi river bed using GIS technologies]*. *Cuchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva – Modern achievements of geodetic science and production*, 1, 138–139 [in Ukrainian].

ABSTRACT

ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS OF THE DNIESTER RIVER BASIN WITHIN THE SAMBIR DISTRICT

The life quality of the population and the development of sectors of the economy in each country directly depends on the resource potential. Water resources are an important element since it is quite difficult to imagine any aspect of human life without water. Statistics show that the world's population has tripled in the twentieth century and water consumption has increased sixfold. Various human activities can adversely affect its environmental state, in particular its chemical and biological composition, on which the life of hydrobionts and the health of the population that consumes water depend. The malicious problem of today is to provide the population with water of appropriate quality and sufficient quantity.

Data analysis from environmental passports and regional reports on the state of the environment in the Lviv region shows that the main pollutants of the surface waters of the region are nitrogen compounds, BOD₅, chlorides, and phosphates. We investigated the environmental state of the Dniester River, which flows through the territory of the Sambir district. The study showed that all

samples were normal according to the organoleptic characteristics of the indicator (transparency, smell). The pH of the tested water ranged from 6.2 to 7.3. Dniester river water mineralization ranged from 250 mg/l to 366 mg/l. The chloride ion content (Cl⁻) ranged from 6.25 mg/l to 15.94 mg/l. The ammonium compound concentration in water was within 0.59 mg/l to 1.71 mg/l and sometimes exceeded the maximum permissible concentration. The concentration of NO₂⁻ in water samples ranged from minimum values of 0.005 mg/l to maximum values of 0.077 mg/l. Nitrates were found in quantities of 3.2 mg/l – 15 mg/l. The phosphate content ranged from 0.2 mg/l to 0.38 mg/l. The biotests of Dniester River waters were performed using *Allium cepa* plant test. The phytotoxicity level of the Dniester River water was also studied and it was found that it fluctuated between 28.3–51.1%. This corresponds to a medium toxicity level and does not cause a cytotoxic effect.

Key words: Sambir district, Dniester River, environmental status, organoleptic parameters, pH, mineralization, chlorides, nitrogen compounds, phosphates, biotesting.

Natalia Glibovytska,

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor at the Ecology Department
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine
orcid.org/0000-0002-6050-9664, Scopus-Author ID: 57209686743,
e-mail: nataly.glibovytska@gmail.com

BIO-INDICATION PERSPECTIVITY OF *BETULA PENDULA* ROTH. UNDER CONDITIONS OF ENVIRONMENTAL OIL POLLUTION

Abstract. The biological and ecological features of *Betula pendula* Roth. and its bioindicative perspectivity under the conditions of environmental oil pollution are analyzed. A wide areas of *Betula pendula* distribution are found both in the conditions of urbanized and natural territories of Ukraine, and in the natural zones of the Northern Hemisphere. The morphological, physiological and biochemical vitality indicators of the species under the oil pollution conditions are studied. The stability of the species linear foliar parameters and leaf area in the experimental area conditions are established, with the exception of the leaf asymmetry parameter, which doubles comparing to the background value. Peculiarities of *Betula pendula* assimilation organs necrotization under the influence of oil pollution are studied. It is found that the spotted type of necrosis is the dominant in the conditions of the background area, while "fish skeleton" and interveinal necrosis types are dominant in the oil deposit conditions. In the conditions of the background area, the necrotic lesions affect the smaller half of *Betula pendula* leaves, and at the same time, the largest number of leaves is affected by the second degree of necrosis. Under conditions of oil pollution 65% of the species leaf plates are affected by the fifth necrosis degree. This indicates that pollutants reach the plants above-ground organs through the root system. Under the influence of oil pollution there is a decrease in the buffer resistance of the species leaves' cells internal environment relatively to the background values. *Betula pendula* reacts sensitively to an additional stress factor – acid rain, and restores buffer resistance by only 38.2%, while in the conditions of the background area this value is 55.8%.

The most sensitive morphological bioindicative markers of *Betula pendula* vitality in the conditions of the environmental oil pollution are the fluctuating asymmetry coefficient and the leaves necrotic lesion degree. The parameter of buffer stability is characterized by the highest informativeness among other physiological and biochemical indicators.

According to a complex of morphological, physiological and biochemical indicators, *Betula pendula* shows an average sensitivity to environmental oil pollution and can be used as a biological indicator of the ecological state of man-made territories.

Key words: *Betula pendula*, oil pollution, environment, bioindication, morphological indicators, physiological and biochemical indicators.

INTRODUCTION

Environmental oil pollution is one of the global ecological problems of the last decades [14]. Nowadays various technical and biological methods of cleaning soil, water and air from oil components are used, as well as environmental monitoring of oil production areas ecological condition. Along with the analytical methods of controlling the level of environmental oil pollution, phytoindicative methods have also become widespread, which involve the use of plants sensitive to oil pollution, whose reactions analyze the current ecological situation in a certain area [1, 3, 4, 13].

Among the phytoindicative parameters, morphological indicators that reflect the growth and development of the plant, as well as physiological and biochemical one that reflect internal metabolic processes in the body, are the most informative. The classic reactions of plants in response to the influence of oil pollution are the suppression of growth processes, the appearance of premature aging signs and even the death of plants. A leaf, as a functionally active organ, reacts faster than others to environmental factors, therefore the level of man-made loading in a given area can be judged by the reaction of plant leaves [1, 15].

Betula pendula is one of the most common woody plants in the natural zones of the northern hemisphere and the main forest-forming species of Ukrainian mixed forests. *Betula pendula* is a valuable medicinal, essential oil and decorative plant used in the landscaping of Ukrainian settlements [2]. The species is characterized by its resistance to abiotic environmental factors – it tolerates frost, drought, and winds, grows on different soil types [1, 5]. In the case of *Betula pendula* vitality decrease, damage to the leaf plates by the fungus *Melampsorium betulinum* is observed, which causes rust disease of the species leaves, the appearance of local necrosis and premature yellowing of the leaves. *Betula pendula* leaves are very sensitive to spotting pathogens, which are caused by anamorphic fungi from the genera *Septoria*, *Phoma*, *Phomitopsis*, *Ascochyta*, *Gloeosporium*, *Marssonina* etc.

Many scientific publications are devoted to the impact of anthropogenic pollution of urbanized areas on *Betula pendula* life condition [7, 8, 10, 11, 16, 17], but there is not enough information about the oil pollution impact on this species and the prospects of using the species as an indicators of environmental oil pollution [6, 9].

MATERIALS AND METHODS

The research is conducted in Bytkiv-Babchensky oil and gas condensate field conditions, located in the Nadvirnyan district of Ivano-Frankivsk region.

Sampling of plant material is made from the lower part of the crown along its perimeter in tiers with one order of branching during the period of completion of the assimilation system full development (August-September). At the same time 8 *Betula pendula* individuals are analyzed, which grow in the zone of the deposit direct influence at a distance of up to 500 m. As controls plants from a conditionally ecologically clean territory – the "Gorgany" reserve – are chosen.

The necrotic lesions of leaf plates presence are determined visually. The necrosis damage degree is assessed using a 5-point rating scale according to S.S. Rudenko's method [12]: 0 – no damage; 1 – minor point necrosis is present; 2 – spotted necrosis up to 10 mm present; 3 – local necrotic spots that exceed 10 mm present; 4 – less than half of the leaf plate is dead; 5 – the greater half of the leaf blade is dead.

The leaves area is determined by the weight method. The coefficient of asymmetry is calculated according to the formula according to the generally accepted methodology [12].

The leaf asymmetry coefficient is determined by the formula:

FA ($FA = \sum |L-R| / (L+R) / 2$), where:

|L-R| – the difference between the left and right parts of the leaf;

L+R – the sum of the width of the left and right parts of the leaf;

FA is the leaf asymmetry coefficient.

Each morphometric parameter is studied 100 times.

The leaves acidity protoplast acidity is determined according to the generally accepted method. For this an express test called "acid rain" is used. After grinding fresh plant material weighing 2 g in 10 ml of distilled water and determining the pH value, 10 ml of 0.1N hydrochloric acid is added. After a day the pH value is determined, and the stability of plant cells buffer system is evaluated based on the difference between the initial and final acidity values of the leaf cells protoplast. The repeatability of experimental studies is fivefold.

Mathematical results processing is carried out using the variational statistical method. The reliability of the difference between the obtained experimental data and the background data is evaluated using the Student's t-test. The null hypothesis is rejected at $P \leq 0.05$. If the level of significance is in the range of $0.10 > P > 0.05$, then it is considered that there is a tendency for the manifestation of one or another process. All calculations are performed using the MS Excel 2007 editor and the Statistica 6.0 software package.

DISCUSSIONS

Betula pendula assimilation organs growth processes are characterized by relative stability in oil pollution environmental conditions. No significant difference in the length and width of the specie leaf is recorded in the plants of the experimental and control areas (Table 1).

Table 1. *Betula pendula* morphometric parameters in the background and oil-polluted territory

Morphometric parameters	Oil-polluted territory	Background territory
Leaf length, sm	4,93±0,19	4,81±0,14
Leaf width, sm	4,12±0,12	3,90±0,09
The left side of the leaf, sm	2,06±0,16	1,94±0,18
The right side of the leaf, sm	2,06±0,11	1,95±0,13
Leaf area, sm ²	7,11±2,20	6,51±1,77
Coefficient of asymmetry	0,04	0,02

A slight intensification of the species leaves growth under the influence of the deposit is noted, which is a rather rare phenomenon in stressful growth conditions. However, this species reaction indicates a sufficiently large potential of *Betula pendula* to adapt to extreme environmental conditions.

An increase in plant mass under stressful growth conditions can be considered as an adaptive and protective mechanism aimed at increasing the number of leaf cells and, accordingly, increasing plant survival.

There is no significant difference between the leaves area of experimental and control plants, which is a reason to consider *Betula pendula* as an ecologically plastic species. This tree species supports growth processes at a high level, which also indicates an effective phytoremediation ability.

Betula pendula leaves asymmetry coefficient doubles in the oil-polluted area compared to the background, which is a direct indication of unfavorable growth conditions for this species.

Necrotic damage occurs as a result of deep irreversible changes in the leaf plate due to the concentration of pollutants absorbed from the atmospheric air or soil in its separate areas. The topography of phytotoxicants distribution within the assimilation organs of woody plants depends on the industrial emissions composition, the concentrations of its individual ingredients,

the speed of their entry into the leaf and movement through the vessels [2, 3, 4]. Necrotized tissues of the leaf surface cannot perform photosynthesis, and therefore cease to perform the environment-creating function. This leads to the loss of plants vitality and its subsequent death.

Necrotic lesions of *Betula pendula* leaf plates have a different nature and degree of manifestation in plants of the background area and plants growing under the influence of the oil deposit (Table 2).

Table 2. *Betula pendula* leaf plates necrosis degrees in the background and oil-polluted territory

Necrosis degrees, % of the total number of leaves	Oil-polluted territory	Background territory
I	7	12
II	11	14
III	3	8
IV	16	3
V	65	4

In the conditions of the background territory less than the half of all examined *Betula pendula* leaf plates are characterized by the presence of necrosis on their surface. Predominant point and spot necrosis, which can occur in natural ecologically clean conditions due to certain climatic influences.

In environmental oil pollution conditions there is an increase in *Betula pendula* number of necrotized leaves, which is a signal of the plants protective mechanisms exhaustion. It is established that under the oil deposit influence 65% of *Betula pendula* leaves are characterized by the presence of spots larger than half of the leaf area.

In the conditions of the background area the point necrosis is the main necrosis type, which is quite natural given the fact that in a relatively clean territory there are practically no toxicants capable of causing serious damage to the assimilation organs (Table 3).

Table 3. *Betula pendula* leaf plates necrosis types in the background and oil-polluted territory

Necrosis types, %	Oil-polluted territory	Background territory
Edge	17	11
Spotted	21	21
Interveinal	30	4
“Fish skeleton”	32	5

However, it should be noted that *Betula pendula* is quite sensitive to the smallest concentrations of pollutants in the environment, which is manifested by the appearance of marginal and “fish-skeleton” necrosis in 11 and 5% of leaf plates, respectively.

Necrotic damages of plants assimilation organs in most cases are specific reactions to various stressors. Point necrosis occurs as a result of drops of sulfuric or nitric acids falling on a leaf during smog, fog or precipitation in the form of acid rain. Marginal necrosis is an evidence of heavy metal salts accumulation on the leaf blade edges.

Interveinal necrosis occurs in the process of nitrogen or sulfur oxides drops entering the leaf through the pores, that are transformed into nitric or sulfuric acid in the cytoplasm, which

are strong hygroscopic substances and rather quickly take moisture from carbohydrates that are formed in the process of photosynthesis.

The formation of free carbon burns part of the leaf, the free liquid evaporates, the coal is washed away by precipitation, resulting in the formation of dry blackish-brown tissue. “Fish skeleton” type necrosis is mostly caused by the entry of toxic substances through the root system.

In the conditions of environmental oil pollution the dominance of the “fish skeleton” and interveinal necrosis type is noted on *Betula pendula* leaves surface, which is a sign of toxic compounds entry both through the plants root system and through above-ground parts, in particular, leaves.

To counteract the chemical pressure of exogenous factors, cells have buffer systems that stabilize the pH of their environment. Displacement from the optimal pH value has a negative effect on metabolic processes, the formation and functioning of the protein-enzyme complex in the leaves. Therefore, by the indicator value of the leaves protoplast buffer capacity, it is possible to judge the resistance of the plant to man-made conditions [5].

The conducted studies of the woody plants leaves cells buffer system condition testify to the weakening of protective mechanisms in *Betula pendula* in response to unfavorable growth conditions (Table 4).

Table 4. *Betula pendula* buffer characteristics in the background and oil-polluted territory

Physiological and biochemical parameters	Oil-polluted territory	Background territory
the leaves protoplast pH	5,60±0,02*	5,28±0,02
the pH shift (Δ pH) of the leaf's protoplast	3,46±0,02*	2,33±0,04
pH' pH, %	38,2	55,8

Note. * – differences with the control are significant at $P \leq 0.05$.

The increase of the pH value of the species leaf plates intracellular environment in the oil pollution conditions is due to the ingress of toxicants through stomata or the root system. In particular, heavy metals compounds help to reduce the natural acidity of plant protoplasts.

Betula pendula reacts sensitively to an additional stress factor – acid rain, and restores buffer resistance by only 38.2%, while in the conditions of the background area this value is 55.8%.

CONCLUSIONS

Under environmental oil pollution conditions, no reliable changes in *Betula pendula* leaf plates morphometric parameters compared to the background territory are recorded. This is a sign of the species ecological plasticity and the ability to adapt to adverse growth conditions. An exception is the coefficient of fluctuating asymmetry, which doubles under the influence of the deposit compared to the background area. *Betula pendula* reacts to the environmental oil pollution with the appearance of necrotic damage on the leaves. On the surface of the species assimilation organs all types and degrees of necrosis are represented both in the conditions

of the background and the experimental territory. “Fish skeleton” and interveinal necrosis are dominant in stressful growth conditions, which indicates the entry of contaminants both through the species leaf stomata and roots. Under the influence of the deposit the stability of *Betula pendula* leaf plates buffer system also decreases, compared to the background area. In general, *Betula pendula* shows an average sensitivity to the environmental oil pollution, which allows the species to be introduced into the greening of oil-polluted areas, where the plant will perform the dendro-indicative function as effectively as possible.

BIBLIOGRAPHY

1. Birke M., Rauch U., Hofmann F. Tree bark as a bioindicator of air pollution in the city of Stassfurt, Saxony-Anhalt, Germany. *Journal of Geochemical Exploration*. 2018. Vol. 187. P. 97–117. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.09.007>
2. Franiel Izabella., Kompała-Bąba Agnieszka. Reproduction strategies of the silver birch (*Betula pendula* Roth) at postindustrial sites. *Scientific Reports*. 2021. Vol. 11, No 11969. P. 1–12. DOI: 10.1038/s41598-021-91383-0
3. Glibovytska N. I., Mykhailiuk Yu. M. Phytoindication research in the system of environmental monitoring. Науково-практичний журнал «Екологічні науки». 2020. Vol. 28. P. 111–114. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.1-28.16>
4. Kicińska A. J. Arsenic, Cadmium and Thallium Content In Plants Growing In Close Proximity to a Zinc Works – Long-Term Observations. *Journal of Ecological Engineering*. 2019. Vol. 20(7). P. 61–69. doi:10.12911/22998993/109866.
5. Krišāns O., Matisons R., Vuguls J., Rust S., Elferts D., Seipulis A., Saleniece R., Jansons Ā. Silver Birch (*Betula pendula* Roth.) on Dry Mineral Rather than on Deep Peat Soils Is More Dependent on Frozen Conditions in Terms of Wind Damage in the Eastern Baltic Region. *Plants*. 2022. Vol. 11(9). 1174 p. <https://doi.org/10.3390/plants11091174>
6. Lewis J., Qvarfort U., Sjöström J. *Betula pendula*: A Promising Candidate for Phytoremediation of TCE in Northern Climates. *Int. J. Phytoremediation*. 2015. Vol. 17. No 1–6. P. 9–15. <https://doi.org/10.1080/15226514.2013.828012>
7. Łukowski A., Popek R., Karolewski P. Particulate matter on foliage of *Betula pendula*, *Quercus robur*, and *Tilia cordata*: deposition and ecophysiology. *Environ Sci Pollut Res*. 2020. Vol. 27. P. 10296–10307. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07672-0>
8. Pavlović D., Pavlović M., Marković M., Karadžić B., Kostić O., Jarić S., Mitrović M., Gržetić I., Pavlović P. Possibilities of assessing trace metal pollution using *Betula pendula* Roth. leaf and bark – Experience in Serbia. *Journal of the Serbian Chemical Society*. 2017. Vol. 82(6), P. 272–276. <https://doi.org/10.2298/JSC170113024P>
9. Pedroso A., Bussotti F., Papini A., Tani C., Domingos M. Pollution emissions from a petrochemical complex and other environmental stressors induce structural and ultrastructural damage in leaves of a biosensor tree species from the Atlantic Rain Forest. *Ecological Indicators*. 2016. Vol. 67. P. 215–226. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.02.054>
10. Petrushkevych Y. M., Korshykov I. I. Ecological and biological characteristics of *Betula pendula* in the conditions of urban environment. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2020. Vol. 11(1). P. 29–36. <https://doi.org/10.15421/022004>
11. Petrushkevich Y., Korshykov I. Morphological and physiological characteristics of the *Betula pendula* Roth pollen in Kryvyi Rih city conditions. *Plant Introduction*. 2018. Vol. 79. P. 58–66. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2278317>
12. Rudenko S. S., Kostyshyn S. S., Morozova T. V. General ecology. Practical course: teaching study guide for students of higher education. Part 2. *Natural terrestrial ecosystems*. Chernivtsi. 2008. 320 p.

13. Shevchyk L. Z., Romanyuk O. I. Analysis of biological methods of recovery of oil-contaminated soils. *Scientific Journal ScienceRise: Biological Science*. 2017. Vol. 1(4). P. 31–39.
14. Yatsyshyn T., Glibovytska N., Skitsa L., Liakh M., Kachala S. (2020). Investigation of Biotechnogenic System Formed by Long-term Impact of Oil Extraction Objects. *Systems, Decision and Control in Energy I, Studies in Systems, Decision and Control*. 2020. Vol. 298. P. 165-177. DOI: 10.1007/978-3-030-48583-2_11
15. Yatsyshyn T., Lyakh M., Orphanova M., Glibovytska N., Gavryliv S., Liakh V. Decisions to prevent pollution and restore the environment within the abandoned oil and gas wells. *IOP Conference Series: Earth Environmental Science*. 2022. 1049 012017. 11 p. doi:10.1088/1755-1315/1049/1/012017
16. Yusyypiva T., Zadesenets A., Karas A. Variability of morphometric characteristics of *Betula pendula* lamina under technogenic conditions of Dnipro city. *Ecology and Noospherology*. 2019. Vol. 30(2). P. 68–73. <https://doi.org/https://doi.org/10.15421/031912>
17. Ziemianin M., Waga J., Czarnobilska E. Changes in qualitative and quantitative traits of birch (*Betula pendula*) pollen allergenic proteins in relation to the pollution contamination. *Environ Sci Pollut Res*. 2021. Vol. 28. P. 39952–39965. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13483-8>

REFERENCES

1. Birke M., Rauch U., Hofmann F. (2018). Tree bark as a bioindicator of air pollution in the city of Stassfurt, Saxony-Anhalt, Germany. *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 187, 97–117. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.09.007> [in English].
2. Franiel Izabella., Kompała-Bąba Agnieszka. (2021). Reproduction strategies of the silver birch (*Betula pendula* Roth) at postindustrial sites. *Scientific Reports*, Vol. 11, No 11969, 1–12. DOI: 10.1038/s41598-021-91383-0 [in English].
3. Glibovytska N.I., Mykhailiuk Yu.M. (2020). Phytoindication research in the system of environmental monitoring. *Naukovo-praktychnyi zhurnal «Ekolohichni nauky» – Scientific and practical magazine "Ecological Sciences"*, Vol. 28, 111–114. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.1-28.16> [in English].
4. Kicińska A. J. (2019). Arsenic, Cadmium and Thallium Content In Plants Growing In Close Proximity to a Zinc Works – Long-Term Observations. *Journal of Ecological Engineering*. 2019. Vol. 20(7). P. 61–69. doi:10.12911/22998993/109866. [in English].
5. Krišāns O., Matisons R., Vuguls J., Rust S., Elferts D., Seipulis A., Saleniece R., Jansons Ā. (2022). Silver Birch (*Betula pendula* Roth.) on Dry Mineral Rather than on Deep Peat Soils Is More Dependent on Frozen Conditions in Terms of Wind Damage in the Eastern Baltic Region. *Plants*, Vol. 11(9), 1174 <https://doi.org/10.3390/plants11091174> [in English].
6. Lewis J., Qvarfort U., Sjöström J. (2015). *Betula pendula*: A Promising Candidate for Phytoremediation of TCE in Northern Climates. *Int. J. Phytoremediation*, Vol. 17, No 1–6, 9–15. <https://doi.org/10.1080/15226514.2013.828012> [in English].
7. Łukowski A., Popek R., Karolewski P. (2020). Particulate matter on foliage of *Betula pendula*, *Quercus robur*, and *Tilia cordata*: deposition and ecophysiology. *Environ Sci Pollut Res*, Vol. 27, 10296–10307. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07672-0> [in English].
8. Pavlović D., Pavlović M., Marković M., Karadžić B., Kostić O., Jarić S., Mitrović M., Gržetić I., Pavlović P. (2017). Possibilities of assessing trace metal pollution using *Betula pendula* Roth. leaf and bark – Experience in Serbia. *Journal of the Serbian Chemical Society*. Vol. 82(6), 272–276. <https://doi.org/10.2298/JSC170113024P> [in English].
9. Pedroso A., Bussotti F., Papini A., Tani C., Domingos M. (2016). Pollution emissions from a petrochemical complex and other environmental stressors induce structural and ultrastructural damage in leaves of a biosensor tree species from the Atlantic Rain Forest.

- Ecological Indicators*, Vol. 67, 215–226. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.02.054> [in English].
10. Petrushkevych Y. M., Korshykov I. I. (2020). Ecological and biological characteristics of *Betula pendula* in the conditions of urban environment. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, Vol. 11(1), 29–36. <https://doi.org/10.15421/022004> [in English].
 11. Petrushkevich Y., Korshykov I. (2018). Morphological and physiological characteristics of the *Betula pendula* Roth pollen in Kryvyi Rih city conditions. *Plant Introduction*, Vol. 79, 58–66. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2278317> [in English].
 12. Rudenko S. S., Kostyshyn S. S., Morozova T. V. (2008). General ecology. Practical course: teaching study guide for students of higher education. *Part 2. Natural terrestrial ecosystems*. Chernivtsi, 320 [in English].
 13. Shevchyk L. Z., Romanyuk O. I. (2017). Analysis of biological methods of recovery of oil-contaminated soils. *Scientific Journal ScienceRise: Biological Science*, Vol. 1(4), 31–39. [in English].
 14. Yatsyshyn T., Glibovytska N., Skitsa L., Liakh M., Kachala S. (2020). Investigation of Biotechnogen System Formed by Long-term Impact of Oil Extraction Objects. *Systems, Decision and Control in Energy I, Studies in Systems, Decision and Control*. 2020. Vol. 298. P. 165-177. DOI: 10.1007/978-3-030-48583-2_11 [in English].
 15. Yatsyshyn T., Lyakh M., Orphanova M., Glibovytska N., Gavryliv S., Liakh V. (2022). Decisions to prevent pollution and restore the environment within the abandoned oil and gas wells. *IOP Conference Series: Earth Environmental Science*, 1049, 012017. doi:10.1088/1755-1315/1049/1/012017 [in English].
 16. Yusyypiva T., Zadesenets A., Karas A. (2019). Variability of morphometric characteristics of *Betula pendula* lamina under technogenic conditions of Dnipro city. *Ecology and Noospherology*, Vol. 30(2), 68–73. <https://doi.org/https://doi.org/10.15421/031912> [in English].
 17. Ziemianin M., Waga J., Czarnobilska E. (2021). Changes in qualitative and quantitative traits of birch (*Betula pendula*) pollen allergenic proteins in relation to the pollution contamination. *Environ Sci Pollut Res*, Vol. 28, 39952–39965. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13483-8> [in English].

АНОТАЦІЯ

БІОІНДИКАЦІЙНА ПЕРСПЕКТИВНІСТЬ БЕРЕЗИ ПОВИСЛОЇ В УМОВАХ НАФТОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ

Проаналізовано біологічні та екологічні особливості берези повислої та її біоіндикаційну перспективність в умовах нафтового забруднення довкілля. З'ясовано широкий ареал поширення берези повислої як в умовах урбанізованих та природних територій України, так і в природних зонах північної півкулі. Досліджено морфологічні та фізіолого-біохімічні показники життєвості виду під впливом нафтового рододовища. Встановлено стабільність лінійних фоліарних показників та площі листків в умовах дослідної території, за винятком параметра асиметрії листків, що зростає удвічі щодо фонового значення. Досліджено особливості некротизації асиміляційних органів берези повислої під впливом нафтового забруднення. З'ясовано, що домінуючим типом некрозу в умовах фонові території є плямистий, тоді як в умовах нафтового забруднення – некроз типу «риб'ячий скелет» та міжжилковий. В умовах фонові території некротичне ураження характерне для меншої половини листків берези повислої і при цьому найбільша кількість листків уражена другим ступенем некрозу. В умовах нафтового забруднення 65% листкових пластинок виду уражено п'ятим ступенем некрозу. Це свідчить про потрапляння забруднювачів через кореневу

систему до надземних органів рослини. Під впливом нафтового забруднення відзначається зниження буферної стійкості внутрішнього середовища клітин листків берези повислої щодо фонових значень. Береза повисла чутливо реагує на додатковий стресовий фактор – кислотний дощ, та відновлює буферну стійкість лише на 38,2%, тоді як в умовах фонові території це значення становить 55,8%.

Найчутливішими морфологічними біоіндикаційними маркерами життєвості виду в умовах нафтового забруднення довкілля є коефіцієнт флюктуючої асиметрії та ступінь некротичного ураження листків. Показник буферної стійкості відзначається найвищою інформативністю серед інших фізіолого-біохімічних показників.

За комплексом морфологічних та фізіолого-біохімічних показників береза повисла проявляє середню чутливість до нафтового забруднення довкілля та може використовуватися у якості біологічного індикатора екологічного стану техногенно-змінених територій.

Ключові слова: береза повисла, нафтове забруднення, навколишнє середовище, біоіндикація, морфологічні показники, фізіолого-біохімічні показники.

Ярослава Ярославівна Павлишак,

кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри біології та хімії
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна
orcid.org/0000-0003-3402-6922, e-mail: pavlyshak2210@ukr.net

Вікторія Ярославівна Даньків,

кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник
Інститут сільського господарства Карпатського регіону
Національної академії аграрних наук України, Україна
orcid.org/0000-0002-4988-2353, e-mail: victoriya2206@ukr.net

ТАКСОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ЛІКАРСЬКИХ РОСЛИН СИНАНТРОПНОЇ ФРАКЦІЇ ФЛОРИ МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОТГ

Анотація. Дослідження проводили маршрутним, стаціонарним і напівстаціонарним методами із застосуванням загальноприйнятих методик аналізу флори. Мета проведеного дослідження – провести систематичний, біоморфологічний та еколого-ценотичний аналіз синантропної фракції флори дикорослих лікарських рослин Миколаївської ОТГ.

У статті представлено результати дослідження лікарських рослин синантропної фракції флори Миколаївської ОТГ. Конспект досліджуваної флори нараховує 81 вид, що належать до 76 родів, 28 родин та 2 відділів. Визначено систематичний склад, встановлено рясність, визначено еколого-ценотичну структуру.

Відділ *Magnoliophyta* налічує 80 видів (98,8 %), з яких на *Liliopsida* припадає 2,5 %, на *Magnoliopsida* – 96,3 %. Відділ *Equisetophyta* монотипний, містить лише 1 вид (1,2 %). Перші три позиції у родинному спектрі досліджуваної флори посідають представники родини *Asteraceae*, *Lamiaceae* та *Fabaceae*, на які в загальному припадає 39,5 %. Аналіз частоти рясності видів показав, що 62,9 % зустрічаються досить часто. Поодинокі та рідко зростає 37,1 % лікарських рослин тому їхні природні ареали потрібно охороняти.

Найбільшу частку у структурі життєвих форм складають багаторічні трав'янисті рослини (98,8 %), кущі та чагарники (1,2 %). Проаналізовано життєві форми рослин за характером розташування бруньок відновлення щодо поверхні землі та снігового покриву. Розподіл за життєвими формами показав, що домінують гемікриптофіти (46 видів, або 55,8 %), друге місце посідають терофіти – 25 (30,9 %) видів, третє – криптофіти 7 (8,6 %) видів. Проведено розподіл видів відповідно до їх спектрів за відношенням до водного режиму, освітлення та родючості ґрунту. Отримані результати екологічного аналізу за відношенням до вологості вказують на переважання ксеромезофітів 44,4 % (36 видів); до умов освітлення, займає група геліофітів 43 види (53,1 %), до родючості ґрунту евтрофи (39 видів, або 48,1 %).

З'ясовано, що за походженням найбільша кількість видів лікарських рослин має євразійське походження 28 видів (34,6 %). Проаналізовані нами види лікарських рослин в офіційній медицині використовують 46 видів (56,8 %) та нетрадиційній медицині 35 видів (43,2 %).

Ключові слова: поширення лікарських рослин, біоморфа, маршрутний метод дослідження, флора, рясність.

ВСТУП

Лікарські рослини становлять важливу за своїм значенням частину загальних біологічних ресурсів України. Площі, на яких виростають лікарські рослини, складають менше 10 % території України. Біля 85 % лікарської рослинної сировини

збирається в природних місцезростаннях рослин. Збільшуються з кожним роком площі та різноманіття культивованих лікарських рослин, але як правило, їх кількість не перевищує 15 видів [5, 6]. Потреба в лікарських рослинах дуже велика – до 40 % усіх лікарських засобів, що застосовують у медицині, становлять препарати рослинного походження. Лікарські рослини – одне з основних джерел одержання лікувальних і профілактичних засобів медицини. Попит фармацевтичної промисловості України на сировину дикорослих лікарських рослин залишається великим.

Дикорослі лікарські рослини, які зростають на антропогенно трансформованих екотопах властиві зміни, які формуються та розвиваються за умов синантропізації. Освоєння сільськогосподарських угідь змінює або знищує вихідну флору [1, 11].

Вивченню лікарських рослин, які є синантропними видами в окремих регіонах України, аналізу її особливостей та складанню ресурсних прогнозів лікарської сировини за процесами синантропізації в наукових джерелах приділено недостатньо уваги [11, 13].

Такі дослідження сприяють встановленню об'єктивної картини наявності природних, фітосировинних запасів і розробленню заходів з оптимізації їхнього використання чи охорони в майбутньому. Понад 50 % ресурсів гостродефіцитних видів лікарських рослин природної флори обмежені та потребують бережливого використання, на межі виснаження 20–25 % видів та під охороною на державному чи регіональному рівнях перебувають біля 10 % [4].

Метою роботи є вивчення та дослідження лікарських рослин синантропної фракції флори Миколаївської ОТГ.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Польові дослідження проводилися протягом 2021-2022 рр. за загальноприйнятою методикою флористичних досліджень. Використовувався метод маршрутно-діагностичних досліджень. Визначали рясність рослин, місцезнаходження, екологічні умови зростання. Рясність визначали за шкалою О. Друде [3], біоморфологічний аналіз проведено за І. Серебряковим [14]. Належність видів до лікарських рослин визначали за В.М. Мінарченко [8], Синантропізація видів визначена за В.В. Протопоповою [12].

РЕЗУЛЬТАТИ

Під час флористичних досліджень, за нашими результатами на досліджуваній території виявлено 81 вид дикорослих лікарських рослин. У систематичному аспекті ці види належать до 76 родів, 28 родин, 3 класів та 2 відділів вищих рослин: хвощеподібні (*Equisetophyta*) – 1 вид (1,2 %) та покритонасінні (*Magnoliophyta*) – 80 видів (98,8 %). Більшість видів покритонасінних належить до класу *Magnoliopsida* і лише 2 види (2,5 %) до класу *Liliopsida* (табл. 1). Систематичний аналіз видів подано в таблиці 1.

Рясність визначали окомірним методом за шкалою Друде. Нами виявлено декілька категорій: досить часто (*Cop1* – 16 видів (19,8 %) (*Elytrigia repens* L., *Glechoma hederacea* L., *Betonica officinalis* L.). Часто (*Cop2*) ростуть 22 види (27,2 %) рослин (*Symphytum officinale* L., *Verbascum densiflorum* Bertol., *Nepeta cataria* L., *Chenopodium album* L.), дуже часто (*Cop3*) 13 видів (16,0%) (*Galium verum* L., *Lytrum salicaria* L.,

Trifolium repens L., *Potentilla anserina* L.), зрідка або розсіяні у відносно невеликій кількості (*Sp*) росте 20 видів (24,7 %) (*Chamaerion angustifolium* L., *Stachys palustris* L., *Ononis arvensis* L., *Samolus nigra* L.). Зустрічаються поодинокі (*Sol*) 10 видів (12,3 %) (*Anchussa officinalis* L., *Ballota nigra* L., *Campanula patula* L., *Agrimonia eupatoria* L.).

Таблиця 1. Таксономічна структура флори дикорослих лікарських рослин

Відділ і класи	Родина		Вид	
	абс.к-сть	%	абс. к-сть	%
<i>Equisetophyta</i>	1	3,6	1	1,2
<i>Magnoliophyta</i>	27	96,4	80	98,8
<i>Magnoliopsida</i>	26	92,8	78	96,3
<i>Liliopsida</i>	1	3,6	2	2,5
Загалом:	28	100,0	81	100,0

Родина *Asteraceae* (*Matricaria perforata* Merat., *Hieracium pilosella* L., *Artemisia absinthium* L. та ін.) представлена найбільшою кількістю видів 16 (19,8 %). На другому місці родина *Lamiaceae* представлена 9 (11,1 %) видами лікарських рослин: *Ballota nigra* L., *Glechoma hederacea* L. та інші. Третю позицію займає родина *Fabaceae* 7 (8,6 %) видів лікарських рослин: *Mellilotus officinalis* L., *Lotus corniculatus* L. та ін.

Зокрема, окрім *Rosaceae*, п'ятьма видами (6,2 %) представлена родина *Scrophulariaceae*. По чотири види (4,9 %) нараховують у своїй структурі родини *Polygonaceae*, *Brassicaceae* та *Apiaceae*. На інші родини припадає 27 видів, кожна з яких представлена 1–3 видами. Слід зазначити, що 14 родин є монотипними, котрі включають по одному виду.

За тривалістю життєвого циклу переважають полікарпічні рослини (56 видів або 69,1 %), монокарпічних видів не висока частка 30,9 % (25 видів).

Аналіз життєвих форм показав, що із 81 виду досліджуваних лікарських рослин найбільша частка припадає на гемікриптофіти 55,8 % (46 видів). Це – *Plantago major* L., *Lythrum salicaria* L., *Betonica officinalis* L. тощо. Терофіти представлені 25 (30,9 %) видами: *Verbascum densiflorum* Bertol., *Chenopodium album* L., *Mellilotus officinalis* L. тощо. Група криптофітів презентована 7 (8,6 %) видами: *Elytrigia repens* L., *Stachys palustris* L., *Convolvulus arvensis* L. тощо. Хамефіти та фанерофіти представлені невеликою кількістю видів 2,5 % та 1,2 % відповідно. Розподіл видів лікарських рослин за цією ознакою показаний у рис. 1.

Аналіз екологічного спектра свідчить, що у відношенні до водного режиму в дослідженій флорі перше місце посідають ксеромезофіти 44,4 % (36 видів) серед яких: *Mellilotus officinalis* L., *Plantago lanceolata* L., *Linaria vulgaris* Mill. *Centaurea cyanus* Dost., мезофіти займають відповідно друге місце – 30 видів (37,0 %) – *Rumex confertus* Willd., *Campanula patula* L., *Trifolium repens* L., *Chelidonium majus* L. тощо.

До групи мезоксерофітів належать – 7 видів (8,6 %) (*Echium vulgare* L., *Erigeron canadensis* L., *Galium verum* L., *Symphytum officinale* L. та ін.), до гігрофітної групи 8 видів (9,9 %) – *Ranunculus repens* L., *Impatiens parviflora* L., *Bidens tripartita* L., *Lepidium ruderale* L. та ін.

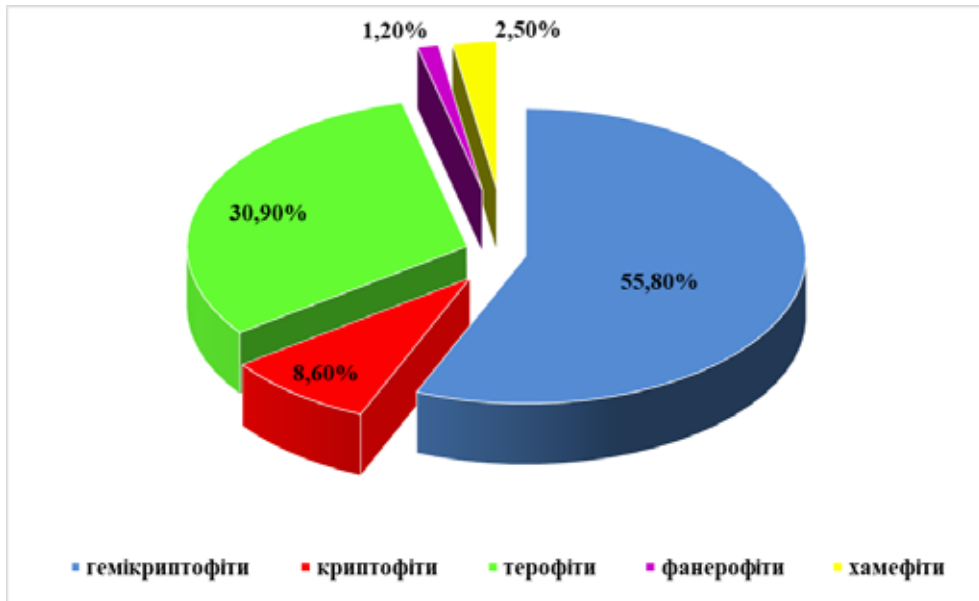


Рис. 1. Спектр життєвих форм за характером розташування бруньок відновлення

Провідне положення за відношенням до умов освітлення, займає група геліофітів 43 види (53,1 %) та сціогеліофітів 28 (34,6 %). Це вказує на переважання екотопів з високим рівнем освітленості. Частка геліосціофітів незначна і становить 10 видів (12,3 %).

Серед видів за відношенням до родючості ґрунту виявлено три групи трофоморф: евтрофи (39 видів, або 48,1 %), мезотрофи (33 види, або 40,7 %) та оліготрофи (9 видів, або 11,1 %).

У спектрі регіональних хорологічних груп флори домінують види євразійської групи (28 видів; 34,6 %).

ВИСНОВКИ

Згідно інвентаризаційних даних флори, у загальному систематичному спектрі переважають представники *Magnoliophyta* (98,8 %). За кількістю видів домінуюче місце займає клас *Magnoliopsida*, який представлений 78 (96,3 %) видами, а клас *Liliopsida* 2 (2,5 %) видами. За класифікацією І.Г. Серебрякова види представлені наземними травами та деревними життєвими формами у співвідношенні 98,8 % та 1,2 % відповідно. За екологічними показниками види відносно вологи представлені: ксеромезофіти 44,4 % (36 видів), щодо інтенсивності освітленості геліофіти (43 види, або 53,1 %) та до родючості ґрунту евтрофи – 48,1 % (39 видів). Більшість видів лікарських рослин мають євразійське походження (28 видів; 34,6 %).

Отже, основою використання лікарських рослин є визначення їх ресурсів та дослідження екологічних особливостей промислових видів з метою безвиснажливої експлуатації й охорони. Охорона лікарських рослин буде ефективною лише при раціональному та ретельному вивченні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бурда Р. І. Тенденції змін різноманітності фітобіоти в сільськогосподарських ландшафтах рівнинної України *Наук. вісн. аграр. ун-ту*. 2006. Вип. 93. С. 1–15.
2. Гродзинський А.М. Лікарські рослини: Енциклопедичний довідник. К.: Українська енциклопедія, 1992. 544с.
3. Друде О. Екологія рослин. К.: «Фіона-К». 2003. 208 с.
4. Доброчасва Д.М., Заверуха Б.В. Ресурси дикорослих лікарських рослин, їх раціональне використання. *Фарм. журн.* 2006. № 2. С. 10–13.
5. Заверуха Б.В., Івченко І.С., Козьяков О.С. Раціональне використання ресурсів дикорослих рослин України. *Фарм. журн.* 2005. № 4. С. 23–24.
6. Заверуха Б.В., Мінарченко В.М. Наукові основи ресурсознавства лікарських рослин. *Укр. ботан. журн.* 2000. Т. 37. № 3. С. 243–248.
7. Кархут В. В. Ліки навколо нас. К.: Здоров'я, 2001. 232 с.
8. Мінарченко В.М., Тимченко І.А. Атлас лікарських рослин України (хорологія, ресурси та охорона). К.: Фітосоціоцентр, 2002. 172 с.
9. Мінарченко В. М., Серeda П. І. Ресурсознавство. Лікарські рослини. К.: Фітосоціоцентр, 2004. 71 с.
10. Мінарченко В.М. Лікарські судинні рослини України (медичне та ресурсне значення). К.: Фітосоціоцентр, 2005. 324с
11. Мінарченко В.М. Поширення та диференціація ресурсів лікарських рослин України. *Екологічний вісник*. 2008. № 5. С. 15-17
12. Протопопова В. В. Синантропна флора України і її шляхи розвитку. К.: Наук. думка, 1991. 204 с.
13. Павлишак Я.Я., Гойванович Н.К. Синантропна флора Передкарпаття (Дрогобицький район) та її аналіз. *Науковий вісник Львівського лісотехнічного університету*, 2017. Вип. 27 (6). С. 38 – 41.
14. Серебряков І.Г., Чернова О.М. Життєві форми рослин. К. : Лібра, 1986. С. 94 -103.

REFERENCES

1. Burda, R.I. (2006). Tendentsii zmin riznomanitnosti fitobioty v silskohospodarskykh landshaftakh rivnynnoi Ukrainy [Trends in phytobiota diversity changes in agricultural landscapes of lowland Ukraine]. *Nauk. visn. ahrar. un-tu – Science. Release agrarian university*, 93, 1-15 [In Ukrainian].
2. Hrodzinskyi, A.M. (1992). *Likarski roslyny: Entsyklopedychnyi dovidnyk [Medicinal plants: Encyclopedic reference book]*. Kyiv: Ukrainka entsyklopediia [In Ukrainian].
3. Drude, O. (2003). *Ekolohiia roslyn [Plant ecology: a textbook]*. Kyiv "Fiona-K" [In Ukrainian].
4. Dobrochayeva, D. M. & Zaverukha, B.V. (2006). Resursy dykoroslykh likarskykh roslyn, yikh ratsionalne vykorystannia [Resources of wild medicinal plants, their rational use]. *Farm. zhurn – Pharm. Journal*, 2, 10-13 [In Ukrainian].
5. Zaverukha B.V., Ivchenko I. S., Kozyakov O. S. (2005). [Rational use of wild plant resources of Ukraine]. *Farm. zhurn – Pharm. Journal*, 4, 23-24 (In Ukrainian).
6. Zaverukha, B.V., Minarchenko, V. M. (2000). Naukovi osnovy resursoznavstva likarskykh roslyn [Scientific bases of resource science of resource science of medicinal plants]. *Ukr. Botan. Journ.* 37, 3, 243-248 [In Ukrainian].
7. Karhut, V.V. (2001). *Liky navkolo nas [Medications around us]*. Kyiv: Health [In Ukrainian].
8. Minarchenko, V. M. & Timchenko, I. A. (2002). Atlas likarskykh roslyn Ukrainy (khorolohiia, resursy ta okhorona) [Atlas of medicinal plants of Ukraine (horology, resources and protection)]. Kyiv: Phytosociocenter [In Ukrainian].

9. Minarchenko, V. M. & Sereda, P. I. (2004). Resursoznavstvo. Likarski roslyny [Resource Studies. Medicinal plants]. Kyiv: Phytosociocenter [In Ukrainian].
10. Minarchenko, V.M. (2005). Likarski sudynni roslyny Ukrainy (medychne ta resursne znachennia) [Medical vascular resources of Ukraine (medical and resource value)]. Kyiv: Phytosociocenter [In Ukrainian].
11. Minarchenko, V.M. (2008) Poshyrennia ta dyferentsiatsiia resursiv likarskykh roslyn Ukrainy [Distribution and differentiation of resources of medicinal plants of Ukraine]. *Ekolohichniy visnyk – Ecological Bulletin*, 5, 15-17 [In Ukrainian].
12. Protopopova, V. V. (1991). *Synantropna flora Ukrainy i yii shliakhy rozvytku [Synanthropic flora of Ukraine and ways of its development]*. Kyiv: Nauk. dumka [In Ukrainian].
13. Pavlyshak, Ya. Ya. & Hoivanovych, N.K. (2017). Synantropna flora Peredkarpattia (Drohobyt'skyi raion) ta yii analiz [Synanthropic flora of the Prekarpathian (Drohobych district) and its analysis]. *Naukovi visnyk Lvivskoho lisotekhnichnoho universytetu – Scientific Bulletin of UNFU*, 27(6), 38-41 [In Ukrainian].
14. Serebriakov, I.H. & Chernova, O.M. (1986). Zhyttievi formy roslyn [Life forms of plants]. Kyiv: Libra [In Ukrainian].

ABSTRACT

TAXONOMIC ANALYSIS OF MEDICINAL PLANTS OF THE SYNANTROPIC FRACTION OF THE FLORA OF MYKOLAIVSKY OTG

The studies were performed by route, stationary and semi-stationary methods using conventional flora analysis techniques. The purpose of the study was to find out a systematic, biomorphological and ecological-cenotic analysis of the flora of wild medicinal plants of Mykolaiv OTG region.

The article presents the results of the study of medicinal plants of the synanthropic fraction of the flora of Mykolaiv OTG. The synopsis of the studied flora includes 81 species belonging to 76 genera, 28 families and 2 divisions. The systematic composition was determined, and the ecological and coenotic structure was determined.

The department Magnoliophyta includes 80 species (98,8 %), of which Liliopsida account for 2,5 %, Magnoliopsida – 96,3 %. Division Equisetophyta is monotypic, contains only 1 species (1,2 %). The first three positions in the family spectrum of the studied flora are occupied by representatives of the Asteraceae, Lamiaceae and Fabaceae families, which account for 39,5 % in total. The analysis of the frequency of abundance of species showed that 62,9 % occur quite often. 37,1 % of medicinal plants grow singly and rarely, so their natural habitats be protected.

Perennial herbaceous plants (98,8 %), shrubs and bushes (1,2 %) make up the largest share in the structure of life forms. The key role of the different plant life forms by the type of root systems and position of revival buds about the blanket of snow in restore vegetation of grasslands were defined. The distribution by life forms showed that hemicryptophytes dominate (46 species, or 55,8 %), the second place is occupied by therophytes – 25 (30,9 %) species, the third cryptophytes 7 (8,6 %) species. The distribution of species was carried out according to their spectra in relation to the water regime, lighting and soil fertility. The obtained results of ecological analysis in relation to moisture indicate a predominance of xeromesophytes of 44,4 % (36 species); to lighting conditions, the group of heliophytes occupies 43 species (53,1 %), to soil fertility eutrophy (39 species, or 48,1 %).

It was found that by origin the largest number of species of medicinal plants is of Eurasian origin, 28 species (34,6 %). We analyzed the types of medicinal plants used in officinal medicine by 46 species (56,8 %) and in nontraditional medicine by 35 species (43,2 %).

Key words: spread medicinal plants, biomorph, route research method, flora, abundance.

Галина Володимирівна Кречківська,

кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри біології та хімії
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна
orcid.org/0000-0002-8424-7232, e-mail: gkrechkivska@gmail.com

ДЕНДРОІНДИКАЦІЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ТЕХНОГЕННИХ ТЕРИТОРІЙ В ОКОЛИЦІ БУРШТИНСЬКОЇ ТЕПЛОВОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Анотація. Бурштинська теплоелектростанція має негативний вплив на навколишнє середовище, зокрема, дерева та кущі, які фільтрують пил із токсичними речовинами. Останні осідають на поверхні листкових пластинок, спричиняють різні некротні захворювання, що у подальшому веде до загибелі значної кількості рослин. І лише досить витривалі види рослин, адаптуються до таких умов середовища і продовжують існувати.

Результати досліджень дають змогу запровадити стійкі деревні меліоранти навколишнього середовища, а також деревні індикатори його екологічного стану при залісненні прилеглих ділянок Бурштинської теплової електростанції, забруднених хімічними елементами.

З'ясовано, що у радіусі до 0,5 км² від Бурштинської теплової електростанції видове різноманіття чагарниково-деревних представлено лише 8-ма видами (*Populus nigra* L., *P. Tremula* L., *Salix caprea* L., *S. Alba* L., *Betyla pendula* L., *Sambucus nigra* L., *Prunus spinosa* L., *Tilia cordata* Mill.). Деформації пагонів виявлено у 75% дерев та кущів, деформації листкових пластинок у 100%. Види, що зростають на прилеглий території відносять до дрібно листяних деревних порід та характеризуються широкою амплітудою адаптивних та природних пристосувань.

На віддаленій території (від 0,5 до 1 км²) від Бурштинської теплової електростанції видове різноманіття чагарниково-деревної рослинності набагато різноманітніше і представлено 20-ма видами (*Acer campestre* L., *A. platanoides* L., *A. negundo* L., *A. platanoides* L., *Fraxinus excelsior* L., *F. lanceolata* Borkh., *Populus nigra* L., *P. tremula*, *Salix caprea* L., *S. alba* L., *Betyla pendula* L., *Carpinus betulus* L., *Sambucus nigra* L., *Tilia cordata* Mill., *Quercus robur* L., *Fagus sylvatica* L., *Crataegus oxyacantha* L., *Prunus spinosa* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Gleditsia triacanthos* L.). Деформації пагонів виявлено у 35% дерев та кущів, деформації листкових пластинок у 100%. Проте інтенсивність їх є значно менша та слабше виражена. Тут, зосереджені види як дрібно- так і широколистяних порід, які характерні для даної місцевості.

Ключові слова: техногенні забруднення, токсична дія, дерева, кущі, деформації пагонів, деформації листкових пластинок, некрози листкових пластинок.

ВСТУП

На сьогодні світова спільнота все більше приділяє уваги вирішенню проблем, які може викликати як сама природа, так і діяльність людини. Нераціональне природокористування, техногенні забруднення є одними із найбільш гострих і нагальних проблем сучасності, які потребують участі усіх держав як на національному, так і на транснаціональному рівнях.

За даними 2019 року, місто Бурштин є одним із найбільш забруднених міст України [1].

Для Бурштинської теплової електростанції (ТЕС) є актуальною проблема складування та переробки твердих відходів (шлаку та золи), що містять у своєму складі велику кількість важких металів [4]. Зола або вугільний пил, які не вловило газоочисне обладнання, осідає у 30-кілометровому радіусі навколо станції [2], має загально токсичну дію на живі організми всіх таксономічних рангів.

Важкі метали є однією із найпоширенішою групою хімічних елементів і однією з причин некротичного ураження органів, що засвоюють рослини [3].

У рослині метали блокують активність ферментів і стимулюють старіння клітин шляхом інтенсифікації вільно радикальних процесів. Некротичні пошкодження є першою видимою реакцією рослин на несприятливі умови росту та служать діагностичним маркером в умовах навколишнього середовища [4].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Польові спостереження здійснювали впродовж двох вегетаційних періодів з 2020 по 2022 рр. У ході польових досліджень дендрофлори ми користувалися маршрутним методом. Таксономічний склад дендрофлори визначали за загальноприйнятими методами та уточнювали за визначниками.

РЕЗУЛЬТАТИ

Практична значущість результатів дає змогу запровадити стійкі деревні меліоранти навколишнього середовища, а також деревні індикатори його екологічного стану при залісненні прилеглих ділянок до Бурштинської теплової електростанції, а також інших екосистем, забруднених хімічними елементами.

На видовий склад чагарниково-деревних рослин Бурштинської теплової електростанції насамперед має великий вплив загазованість повітря та техногенно-зміненний ґрунтовий покрив. У видів, які зростають у таких умовах повинні сформуватися певні адаптивні особливості до техногенно-навантаженого середовища або повинні мати природну «власну» широку амплітуду коливань пристосувань у будь-яких природних середовищах.

Видове різноманіття чагарниково-деревних рослин, що знаходиться на території та прилеглий ділянці до Бурштинської теплової електростанції у радіусі до 0,5 км² та у радіусі від 0,5 км до 2 км² дуже різняться за видовим складом та морфологічними особливостями. Результати наших досліджень наведені у таблиці 1 та таблиці 2.

На прилеглий території у радіусі (до 0,5 км²) до Бурштинської теплової електростанції видове різноманіття чагарниково-деревних представлено лише 8-ма видами. У більшості дерев (75%), спостерігається покрученість пагонів, усі дерева мають від 53% у *Prunus spinosa* L. до 86% у *Sambucus nigra* L. деформації листкових пластинок та значні некротичні утворення.

Види, що зростають на прилеглий території відносять до дрібно листяних деревних поряд та характеризуються широкою амплітудою адаптивних та природних пристосувань.

Таблиця 1. Видове різноманіття та морфологічні особливості чагарниково-деревних рослин Бурштинської ТЕС, що зростає на прилеглий ділянці у радіусі до 0,5 км²

№ п/п	Назва родини	Назва виду	Покрученість пагонів	Деформації листкових пластинок або некротичні утворення, %
1.	<i>Salicaceae</i>	<i>Populus nigra</i> L.	+	60%
2.		<i>Populus tremula</i> L.	+	58%
3.		<i>Salix caprea</i> L.	+	82%
4.		<i>Salix alba</i> L.	+	67%
5.	<i>Betylacae</i>	<i>Betyla pendula</i> L.	-	74%
6.	<i>Adochaceae</i>	<i>Sambucus nigra</i> L.	+	86%
7.	<i>Rosaceae</i>	<i>Prunus spinosa</i> L.	+	53%
8.	<i>Malvaceae</i>	<i>Tilia cordata</i> Mill.	-	69%

Таблиця 2. Видове різноманіття та морфологічні особливості чагарниково-деревних рослин Бурштинської ТЕС, що зростає на віддаленій ділянці у радіусі від 0,5 до 1 км²

№ п/п	Назва родини	Назва виду	Покрученість пагонів	Деформації листкових пластинок або некротичні утворення, %
1.	<i>Sapindaceae</i>	<i>Acer campestre</i> L.		53%
2.		<i>Acer platanoides</i> L.	+	62%
3.		<i>Acer negundo</i> L.	+	48%
4.		<i>Acer platanoides</i> L.		69%
5.	<i>Oleaceae</i>	<i>Fraxinus excelsior</i> L.		62%
6.		<i>Fraxinus lanceolata</i> Borkh.	+	82%
7.	<i>Salicaceae</i>	<i>Populus nigra</i> L.	+	78%
8.		<i>Populus tremula</i> L.		52%
9.		<i>Salix caprea</i> L.		48%
10.		<i>Salix alba</i> L.		64%
11.	<i>Betylacae</i>	<i>Betyla pendula</i> L.		73%
12.		<i>Carpinus betulus</i> L.	+	67%
13.	<i>Adochaceae</i>	<i>Sambucus nigra</i> L.	+	56%
14.	<i>Malvaceae</i>	<i>Tilia cordata</i> Mill.		45%
15.	<i>Fagaceae</i>	<i>Quercus robur</i> L.		53%
16.		<i>Fagus sylvatica</i> L.		51%
17.	<i>Rosaceae</i>	<i>Crataegus oxyacantha</i> L.		48%
18.		<i>Prunus spinosa</i> L.		42%
19.	<i>Fabaceae</i>	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.		77%
20.		<i>Gleditsia triacanthos</i> L.	+	68%

На віддаленій ділянці у радіусі від 0,5 до 1 км² від Бурштинської теплової електростанції видове різноманіття чагарниково-деревної рослинності набагато різноманітніше. Тут, зосереджені види як дрібно- так і широколистяних порід, які характерні для даної місцевості.

Також, відрізняються дерева у межах виду за морфологічними ознаками. Лише у 35% дерев, що знаходиться віддаленій ділянці (у радіусі від 0,5 до 1 км²) від Бурштинської теплової електростанції має покручені пагони, усі дерева мають від 42% у *Prunus spinosa* L. до 82% у *Fraxinus lanceolata* Borkh. деформації листових пластинок та некротичні утворення.

ВИСНОВКИ

Вивчено, що у радіусі до 0,5 км² від Бурштинської теплової електростанції видове різноманіття чагарниково-деревних представлено лише 8-ма видами. Деформації пагонів виявлено у 75% дерев та кущів, деформації листових пластинок у 100%. Види, що зростають на прилеглий території відносять до дрібно листяних деревних поряд та характеризуються широкою амплітудою адаптивних та природних пристосувань.

На віддаленій території (від 0,5 до 1 км²) від Бурштинської теплової електростанції видове різноманіття чагарниково-деревної рослинності набагато різноманітніше і представлено 20-ма видами. Деформації пагонів виявлено у 35% дерев та кущів, деформації листових пластинок у 100%. Проте інтенсивність їх є значно менша та слабше виражена. Тут, зосереджені види як дрібно- так і широколистяних порід, які характерні для даної місцевості.

ЛІТЕРАТУРА

1. Аналіз радіаційної обстановки в зоні техногенного впливу бурштинської ТЕС. URL: <http://medradiologia.org.ua/assets/files/arch> (дата звернення 16.11. 2022 р.)
2. Миленька М. М. Біоіндикаційна оцінка екологічного стану Бурштинської урбоєкосистеми. Екологічний вісник. 2016. № 1. С. 19 – 22.
3. Birke M., Rauch U., Hofmann F. Tree bark as a bioindicator of air pollution in the city of Stassfurt, Saxony-Anhalt, Germany. Journal of Geochemical Exploration. 2018. 187. С. 97–117.
4. Erofeeva E. A. Hormesis and Paradoxical Effects of Drooping Birch (*Betula pendula* Roth) Parameters Under Motor Traffic Pollution. Dose Response. 2015.13(2). URL:<https://www.researchgate.net/publication/277930697> (дата звернення 22.11. 2022 р.)
5. Pankivskyi Y. I., Oshurkevych-Pankivska O. Y., Ostashuk M. V. Оцінювання впливу бурштинської тес на атмосферне повітря. Науковий вісник НЛТУ України. 2017. 27(5), С. 59 – 62.

REFERENCES

1. Analiz radiatsiinoi obstanovky v zoni tekhnogennoho vplyvu burshtynskoi TES [Analysis of the radiation situation in the zone of technogenic influence of the Burshtyn TPP]. medradiologia.org.ua Retrieved from <http://medradiologia.org.ua/assets/files/arch> [in Ukrainian].
2. Mylenka, M. M. (2016) Bioindykatsiina otsinka ekolohichnoho stanu Burshtynskoi urboekosystemy [Bioindicative assessment of the ecological state of the Burshtyn urban ecosystem]. *Ekolohichniy visnyk – Environmental Herald*, 1, 19 – 22. [in Ukrainian].

3. Birke, M., Rauch, U. & Hofmann, F. (2018). Tree bark as a bioindicator of air pollution in the city of Stassfurt, Saxony-Anhalt, Germany. *Journal of Geochemical Exploration*, 187, 97–117.
4. Erofeeva, E. A. (2015) Hormesis and Paradoxical Effects of Drooping Birch (*Betula pendula* Roth) Parameters Under Motor Traffic Pollution. *Dose Response*. 13(2). www.researchgate.net Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/277930697>
5. Pankivskiy, Y. I., Oshurkevych-Pankivska, O. Y. & Ostashuk, M. B. (2017). Otsiniuvannia vplyvu burshtynskoi tes na atmosferne povitria [Otsiniuvannia vplyvu burshtynskoi tes na atmosferne povitria]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy – Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*. 27(5), 59 – 62 [in Ukrainian].

ABSTRACT

DENDROINDICATION OF THE ENVIRONMENTAL STATE OF TECHNOLOGICAL TERRITORIES IN THE VICINITY OF BURSHTYN THERMAL POWER STATION

Burshtyn thermal power plant negatively impacts the environment, particularly on trees and bushes filtering dust containing toxic substances. The latter precipitate on the leaf plate surfaces, causing various necrosis diseases, leading to many plants' death. And only fairly enduring plant species adapt to such environmental conditions and continue to exist.

The research results make it possible to introduce sustainable woody reclamants of the environment, as well as woody indicators of its environmental state when foresting adjacent areas of the Burshtyn thermal power plant contaminated with chemical elements.

It was found that the species diversity of shrubs and trees is represented by only 8 species (*Populus nigra* L., *P. tremula* L., *Salix caprea* L., *S. Alba* L., *Betula pendula* L., *Sambucus nigra* L., *Prunus spinosa* L., *Tilia cordata* Mill.). Within a radius of up to 0,5 km² of the Burshtyn thermal power plant. Deformations of shoots were found in 75% of trees and bushes, and deformations of leafy plates were found in 100% of species. The species growing in the adjacent territory is attributed to finely deciduous wooden trees alongside and are characterized by a wide amplitude of adaptive and natural adaptations.

In a remote area (from 0,5 to 1 km²) from the Burshtyn thermal power plant, the species diversity of shrub-tree vegetation is much more diverse and represented by 20 species (*Acer campestre* L., *A.platanoides* L., *A. negundo* L., *A. platanoides* L., *Fraxinus excelsior* L., *F. lanceolata* Borkh., *Populus nigra* L., *P. tremula* L., *Salix caprea* L., *S. alba* L., *Betula pendula* L., *Carpinus betulus* L., *Sambucus nigra* L., *Tilia cordata* Mill., *Quercus robur* L., *Fagus sylvatica* L., *Crataegus oxyacantha* L., *Prunus spinosa* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Gleditsia triacanthos* L.). Deformations of shoots were found in 35% of trees and bushes, and deformations of leaf plates in 100% of species. However, their intensity is much less and less pronounced. The species of both fine- and broad-leaved plants characteristic of this area are concentrated here.

Key words: technogenic pollution, toxic effect, trees, bushes, deformations of shoots, deformations of leaf plates, necrosis of leaf plates.

Тарас Богданович Скробач,

кандидат сільськогосподарських наук, доцент,

доцент кафедри медико-біологічних дисциплін, географії та екології

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна

orcid.org/0000-0001-9603-7956

ДО ПИТАННЯ ВПЛИВУ НАФТОВИДОБУТКУ НА ЗЕМЛІ ЛАНДШАФТНОГО ЗАКАЗНИКА МІСЦЕВОГО ЗНАЧЕННЯ «БОРИСЛАВСЬКИЙ»

Анотація. З метою збереження цінних корінних буково-ялицевих лісів, що оточують місто Борислав з південного боку, генофонду тваринного і рослинного світу, підтримання загального екологічного балансу на Дрогобищині було створено ландшафтний заказник місцевого значення «Бориславський», площа якого становить 2049,3 га. Територія заказника належить до району Верхньодністровських Бескид і має особливе значення для забезпечення водного режиму річки Тисмениця та її приток, в басейні якої він розташований. Також тут виявлено ряд червонокнижних видів комах, рослин та тварин. Територія заказника водночас розташована у межах Південно-бориславського нафтового родовища, яке належить до найбільш перспективних нафтогазоносних ділянок Передкарпаття. Тому тут в 2012 році, на основі затвердженого в установленому порядку ліміту на спеціальне використання природних ресурсів, за погодженням з державним управлінням охорони навколишнього природного середовища у Львівській області було розпочало проведення геологорозвідувальних робіт на ділянці площею 2,5 га. Як наслідок, деревостан ділянки було вирубано, а ґрунтовий покрив зруйновано. Станом на сьогодні фірма, що проводила геологорозвідку, володіє спеціальним дозволом на користування надрами на цій ділянці і планує продовжувати свою діяльність. Враховуючи складну ситуацію в країні та перспективу видобутку вуглеводнів на цій ділянці, вважаємо за доцільне вилучити цю площу зі складу земель ландшафтного заказника місцевого значення «Бориславський», як таку, що не виконує покладені на неї функції, а саме: охорони, збереження і відновлення цінних ялицевих і букових насаджень природного походження з типовою для цієї формації флорою і фауною. Натомість пропонуємо до складу заказника «Бориславський» включити дві ділянки високопродуктивних буково-ялицевих деревостанів з земель ДП «Дрогобицьке ЛГ», Бориславське лісництво, що дозволить збільшити площу заказника на 1,5 га, хоч не вирішить ряду екологічних проблем, що можуть виникати при видобутку вуглеводнів.

Ключові слова: заказник, геологорозвідка, червонокнижні види, насадження природного походження.

ВСТУП

Як відомо, природно-заповідний фонд становлять ділянки суші і водного простору, природні комплекси та об'єкти яких мають особливу природоохоронну, наукову, естетичну, рекреаційну та іншу цінність і виділені з метою збереження природної різноманітності ландшафтів, генофонду тваринного і рослинного світу, підтримання загального екологічного балансу та забезпечення фонових моніторингу навколишнього природного середовища. Одним із цікавих об'єктів природно-заповідного фонду Дрогобищини є ландшафтний заказник місцевого значення «Бориславський», розташований на південь від міста Борислав. Цей ландшафтний заказник місцевого значення створено рішенням виконкому Львівської обласної ради від 9 жовтня 1984 року № 495 «Про мережу територій і об'єктів

природно-заповідного фонду області». Впорядкування площі затверджено рішенням Львівської обласної ради від 8 грудня 1999 року № 226 «Про впорядкування природно – заповідного фонду області» та рішенням Львівської обласної ради від 23 жовтня 2012 року № 612 «Про зміну площі ландшафтного заказника місцевого значення «Бориславський». Загальна площа заказника становить 2049,3 га. Враховуючи статус заказника в ньому дозволяються деякі форми господарської діяльності в межах відповідних затверджених лімітів. Саме так було отримано дозвіл на проведення геологорозвідувальних робіт на ділянці площею 2,5 га в межах заказника «Бориславський» приватною фірмою.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Обстежено ряд лісових ділянок заказника місцевого значення «Бориславський». Вивчено видове різноманіття рослинного покриву та фауни. Детально вивчено характеристики деревостанів ділянок, що пропонуються до заповідання загальноприйнятими лісівничо-таксаційними методами для закладання пробних площ, визначення біометричних показників деревостанів та оцінки їх продуктивності, вивчення особливостей природного поновлення, розвитку підліску і трав'яного покриву та порівняльної екології – для встановлення типу лісорослинних умов та типу лісу.

РЕЗУЛЬТАТИ

Зараз заказник перебуває у віданні ДП «Дрогобицький лісгосп» відповідно до матеріалів базового лісовпорядкування від 2008 року. Статус заказника було надано з метою збереження, відновлення і відтворення цінних буково-ялицевих лісів природного походження, що мають виняткове значення для підтримання загально-екологічного балансу регіону. Розташований у межах Українських Карпат (фізико-географічний район Верхньодністровські Бескиди) на околицях міста Борислав, має особливе природоохоронне значення як природний резерват, так і для забезпечення водного режиму річки Тисмениця та її приток, в басейні якої він розташований. Територія заказника характеризується доволі стрімкими гірськими схилами вкритими свіжими і вологими грабовими бучинами та ялицевими бучинами. В домішці насаджень присутній граб звичайний, клен-явір, ясен звичайний. На найвищих ділянках заказника присутні похідні березняки, тоді коли схили вкриті корінними високопродуктивними типами лісу. Землі заказника «Бориславський» є досить цінними з природоохоронного погляду, адже тут, за літературними даними, виявлено 15 червонокнижних видів комах [3], що становить близько половини червонокнижної ентомофауни Передкарпатського регіону загалом та ряд комах, що перебувають під охороною в європейських країнах або визнані як рідкісні, хоча до Червоної книги України вони не занесені, 6 рідкісних червонокнижних видів тварин [5]. Нашими дослідженнями підтверджено наявність чотирьох червонокнижних трав'яних видів, що мають природоохоронний статус неоцінених та двох раритетних фітоценозів (асоціація сіровільшина ведмежоцибулева та ялицеві бучини за участю плюща звичайного форми деревовидної) [2].

Попри особливе природне середовище, місто Борислав та його околиці зазнали надмірного антропогенного навантаження, спричиненого багатими покладами корисних копалин, зокрема нафти, яке спостерігається і досі. В результаті добування нафти та озокериту, первинний лісовий рослинний покрив міста Борислав та його найближчих околиць був знищений, а землі деградовані. Згодом, геологорозвідувальні роботи, а далі й безпосередньо нафтовидобуток перекинулись на лісові масиви віддалені від міста.

Для сучасного Борислава сусідство нафтових «качалок» стало вже звиклим явищем. Ділянки, на яких проводиться буріння, втрачають ознаки відповідної категорії земель. Така ситуація склалася і на території ландшафтного заказника місцевого значення «Бориславський», що перебуває у віддані ДП «Дрогобицьке ЛГ».

Південно-Бориславське родовище належить до найбільш перспективних нафтогазоносних ділянок Передкарпаття, яка безпосередньо межує з Бориславським родовищем, що є найбільшим нафтовим родовищем заходу України. Разом з цим, для цієї ділянки характерна складна геологічна будова, яка ускладнює вибір потенційних ділянок для буріння та істотно лімітує їх просторове розташування. Власне тому, під час вибору ділянки для перспективної геологорозвідувальної діяльності була безальтернативна необхідність вибору території в межах об'єкта природно-заповідного фонду – ландшафтного заказника місцевого значення «Бориславський». У результаті, на ділянці низькопродуктивних насаджень, площею 2,5 га що розташована на межі кварталів 63 та 66, вид. 5 кв. 66 та частина вид. 1 і 2 кв. 63 (Рис. 1) Бориславського лісництва (територія заказника, висота близько 740 м.н.р. м.), з урахуванням роз'яснення Міністерства екології та природних ресурсів від 22.05.2012 № 10157/09/10-12, відповідно до затвердженого в установленому порядку ліміту на спеціальне використання природних ресурсів в межах територій та об'єктів природно-заповідного фонду місцевого значення за погодженням з державним управлінням охорони навколишнього природного середовища у Львівській області, та на підставі дозволу, виданого органом місцевого самоврядування, товариство з обмеженою відповідальністю «Перша українська газонафтова компанія» розпочало проведення геологорозвідувальних робіт. Між ТОВ та ДП «Дрогобицький держлісгосп» як постійним землекористувачем, в порядку ст. 97 ЗКУ, було укладено Угоду на проведення геологорозвідувальних робіт, наукового вивчення та моніторингу надр № Б/Н від 10.12.2012 року. Також було отримано ряд відповідних погоджень, що були надані органами місцевого самоврядування та лімітами на спеціальне використання природних ресурсів, затвердженими у встановленому порядку.



Рис. 1. Вигляд ділянки геологорозвідки станом на 17.03.2019 р.

На ділянці досліджень наявні на час відведення насадження були вирубані відповідно до встановленого ліміту, з відповідним відшкодуванням, а ґрунтовий покрив був у подальшому змінений внаслідок проведення на ній земляних робіт, що пов'язані з геологорозвідувальною діяльністю. Слід відзначити, що згідно з таксаційними описами на час відведення на цих ділянках були представлені низькопродуктивні вторинні насадження з домінуванням берези повислої. Зокрема, у виділі 1 кв. 63 – 6БП1Д31ДЧР1МДЕ1С30ЯЦБ0ЯЛЕ, а у виділі 2 цього ж кварталу – 9БП1Д30ЯЛЕ00С. Відповідно, у вид. 5 кв. 66 фрагмент, що включений до складу ділянки характеризується за таксаційним описом як нелісопридатні землі. Тобто зазначені території на час відведення не становили істотної природоохоронної цінності. Попри це, досить значна частина площі заказника втратила свій первинний ґрунтовий і рослинний покрив, а суміжні ділянки характеризуються погіршенням санітарного стану дерев, через суцільну вирубку, що межує з ними. Основною метою створення ландшафтного заказника «Бориславський» було збереження умов для існування та самовідтворення корінних ялицево-букових, з елементами ялицево-дубових, насаджень Прикарпаття. Однак, як свідчає таксаційні описи, аналізована ділянка була початково позбавлена таких типів деревостанів і була зайнята вторинними синантропними березняками, які й нині прилягають до неї, принаймні в межах вид. 1 кв. 63, де знаходиться більша її частина.

Зважаючи на те, що зазначена ділянка буде в перспективі, очевидно, використовуватися для реалізації видобутку вуглеводнів, а також, що й до відведення для геологорозвідувального використання вона не становила істотної природоохоронної цінності в контексті мети створення заказника, вважаємо за доцільне вилучити цю площу зі складу земель ландшафтного заказника місцевого значення «Бориславський», як таку, що не виконує покладені на неї функції, а саме: охорони, збереження і відновлення цінних ялицевих і букових насаджень природного походження з типовою для цієї формації флорою і фауною; покращення якісного складу лісів; підтримки загального екологічного балансу в регіоні.

Разом з цим, на сьогодні, незважаючи на значні природні ресурси вуглеводнів, Україна є, фактично, енергозалежною державою. А в умовах восьмирічного військового протистояння з Російською Федерацією, яка є одним з найбільших світових експортерів нафти та газу на європейський енергетичний ринок, збільшення обсягів власного видобутку нафти та природного газу є дієвим інструментом для зменшення енергозалежності. Це важливо, також, з огляду на сучасне унеможливлення імпорту вуглеводнів з РФ. Тому, розвиток власного видобутку вуглеводнів у найближчій перспективі є важливою запорукою щодо стабільного розвитку країни, забезпечення її енергетичної та сировинної незалежності, а відтак – безпеки держави. Потреба значного збільшення видобутку вуглеводнів в Україні й нарощування їх ресурсної бази передбачені Загальнодержавною програмою розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року.

Безумовно, вилучення цієї території зумовить зменшення площі заказника, тому пропонуємо до складу земель ландшафтного заказника місцевого значення «Бориславський» включити дві ділянки високопродуктивних буково-ялицевих деревостанів з земель ДП «Дрогобицьке ЛГ», Бориславське лісництво, а саме виділи № 20 (площа 2,8 га) та № 22 (площа 1,2 га) 44 кварталу. Ці ділянки, що межують з землями ландшафтного заказника, були обрані в результаті вивчення деревостану, особливостей рослинного й ґрунтового покриву, наявного природного підросту бука та ялиці, присутності видів рослин і тварин, що включені до Червоної книги й підлягають охороні. Таким чином площа заказника збільшиться на 1,5 га.

Характеристика рекомендованої до включення ділянки у кв. 44 виділ 22, площею 1,2 га наступна: координати N 49.25997, E 23.41679, категорія – ліси наукового призначення, насадження природного походження, склад 8Бк2Яц, вік 140 років, середня висота 33,2 м, середній діаметр 60,5 см, бонітет I, відносна повнота 0,56, запас 416 м³ на 1 га. В насадженні присутній піднаметовий ярус надійного підросту складом 8Яц2Бк. Підлісок з ожини сизої. У складі трав'яного покриву ділянки представлена повночленна ценопопуляція лунарії оживаючої, що включена до Червоної книги України [1]. Зовнішній вигляд ділянки ілюструє Рис. 2.



Рис. 2. Зовнішній вигляд ділянки у кварталі 44 вид 22 з угрупованням лунарії оживаючої (*Lunaria rediviva* L.) та природним поновленням ялиці білої та бука лісового під материнським наметом

Характеристика ділянки у кв. 44 виділ 20, площею 2,8 га: координати N 49.26181, E 23.41924, категорія – ліси наукового призначення, насадження природного походження, склад 9Бк1Яц, вік 150 років, середня висота 32,3 м, середній діаметр 60,8 см, бонітет I, відносна повнота 0,67, запас 456 м³ на 1га. Найвність надійного підросту складом 8Яц2Бк., віком 20 років. Тип лісорослинних умов D₃ (вологий груд). На обидвох ділянках виявлено угруповання лунарії оживаючої (*Lunaria rediviva*). Вид занесений до Червоної книги України у статусі «неоцінений». Лікарська, технічна, медоносна та декоративна рослина. Крім цього, навесні у складі синузії ранньовесняних ефемероїдів трав'яного вкриття цих ділянок представлений підсніжник звичайний (*Galanthus nivalis* L.), що є також включений до Червоної книги України у статусі «потребує охорони» [4]. Цінними є також виявлені особини плюща звичайного форма деревовидна, які досягли генеративного віку і ростуть у симбіозі з буком лісовим (Рис. 3).



Рис. 3. Плющ звичайний, форма деревовидна на рекомендованій ділянці (Кв. 44, вид. 22)

Особливо цінними зазначені насадження з переважанням бука лісового робить те, що тут трапляється саламандра плямиста (*Salamandra salamandra* (L.)) яка має природоохоронний статус «вразливі види» у Червоній книзі України. Також саламандра

плямиста належить до Додатку III Конвенції про охорону дикої флори і фауни та природних середовищ існування в Європі (категорія «Види, що підлягають охороні») та Червоної книги хребетних Міжнародного союзу охорони природи (МСОП) [5].

ВИСНОВКИ

Враховуючи досить високу продуктивність та оптимальний породний склад, вказані пропонувані лісові ділянки повністю відповідають меті, що передбачена під час створення ландшафтного заказника, а саме збереження, відновлення і відтворення цінних буково-ялицевих лісів природного походження, що мають виняткове значення для підтримання загально-екологічного балансу регіону, а наявність видів рослин і тварин, що підлягають охороні, дає всі підстави клопотати про їх включення до складу ландшафтного заказника місцевого значення «Бориславський», в результаті чого площа заказника збільшиться на 1,5 га. Слід відзначити, що наявність місця нафтовидобутку в центрі заказника ніяким чином не сприятиме покращенню його екологічних функцій, проте за дотримання технологічних процесів та постійного контролю з боку відомчих органів таке сусідство є можливим, зважаючи на кризову ситуацію з нафтопродуктами в Україні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дідух Я.П. (ред.) Червона книга України. Рослинний світ. Київ: Глобалконсалтинг, 2009. 900 с.
2. Стойко С.М., Мілкіна Л.І., Ященко П.Т., Кагало О.О. Раритетні фітоценози західних регіонів України (Регіональна Зелена книга). Львів: Поллі, 1997. 190 с.
3. Яницький Т. П., Годунько Р. Й., Коновалова І. Б. Формування екологічної мережі та збереження ентомоценозів західного регіону України. Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Біологія, Випуск 23.2008.: 249–253.
4. https://uk.wikipedia.org/wiki/Офіційний_перелік_регіонально_рідкісних_рослин_Львівської_області
5. <https://redbook-ua.org>

REFERENCES

1. Didukh, J.P. (Ed.) (2009). *Chervona knyha Ukrainy. Roslynnnyi svit [Red Book of Ukraine. The plant world]*. Kyiv: Globalconsulting [in Ukrainian].
2. Stoyko, S.M., Milkina, L.I., Yashchenko, P.T. & Kagalo, O.O. (1997). *Rarytetni fitotsenozy zachidnykh rehioniv Ukrainy (Rehionalna Zelena knyha) [Rare phytocenoses of the western regions of Ukraine (Regional Green Book)]*. Lviv: Polly [in Ukrainian].
3. Yanitsky, T. P., Godunko, R. Y. & Konovalova, I. B. (2008). Formuvannia ekolohichnoi merezhi ta zberezhenntia entomotsenoziv zachidnoho rehionu Ukrainy [Formation of ecological network and conservation of entomocenoses of the western region of Ukraine]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Seriiia Biolohiia – Scientific Bulletin of Uzhhorod University. Series Biology, 23*, 249–253 [in Ukrainian].
4. uk.wikipedia.org Retrieved from: https://uk.wikipedia.org/wiki/Official_list_of_regional_rare_plants_of_the_Lviv_region [in Ukrainian].
5. Retrieved from: <https://redbook-ua.org> [in Ukrainian].

ABSTRACT

REGARDING THE IMPACT OF OIL PRODUCTION ON THE LAND OF THE BORYSLAVSKY LANDSCAPE RESERVE OF LOCAL IMPORTANCE

In order to preserve the valuable native beech-fir forests surrounding the city of Boryslav from the south, the gene pool of the animal and plant world, and to maintain the overall ecological balance in the Drohobych region, the Boryslavsky landscape reserve (area 2,049.3 hectares) of local importance was created. The territory of the reserve belongs to the Upper Dniester Beskydy district and is of particular importance for ensuring the water regime of the Tysmenytsia River. Here were also found a number of red book species of insects, plants and animals. At the same time, the territory of the reserve is located within the boundaries of the South Boryslav oil field, which is one of the most promising oil and gas-bearing areas of Precarpathia. Therefore, here in 2012, on the basis of the limit on the special use of natural resources approved in the established order, in agreement with the State Department of Environmental Protection in the Lviv region, was started geological exploration work on a plot of 2.5 hectares. As a result, on the area trees were cut down, and the soil cover was destroyed. As of today, the company that conducted geological exploration has a special permit to use subsoil in this area and plans to continue its activities. Taking into account the difficult situation in the country and the prospect of hydrocarbon extraction in this area, we consider it expedient to remove this area from the composition of the lands of the landscape reserve of local importance "Borislavsky", as it does not fulfill the functions assigned to it, namely: protection, preservation and restoration of valuable fir and beech plantations of natural origin with flora and fauna typical for this formation. Instead, we propose to include two plots of highly productive beech-fir stands from the lands of the State Enterprise Drohobich forestry as part of the reserve "Borislavskiyi", which will increase the area of the reserve by 1.5 hectares, although it will not solve a number of environmental problems that may arise during mining hydrocarbons

Key words: nature reserve, geological exploration drilling, red book species, plantations of natural origin.

Денис Сергійович Бреус,

кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології та сталого розвитку імені професора Ю.В. Пилипенка

Херсонський державний аграрно-економічний університет, Україна

orcid.org/0000-0001-7238-518X, Scopus-Author ID: 57205163781

РЕТРОСПЕКТИВНИЙ АНАЛІЗ ЗМІН РОДЮЧОСТІ ҐРУНТІВ В ЗОНІ СТЕПУ УКРАЇНИ

Анотація. Традиційне сільське господарство можна охарактеризувати як таке, що має високі показники економічної ефективності, проте його впровадження тягне за собою екологічні наслідки що в результаті призводять до забруднення навколишнього природного середовища та зниження продуктивності ґрунтів. Продуктивність ґрунту можна визначити за його здатністю задовольнити потреби рослин в волозі, елементах живлення, повітрі, а також забезпечити умови для їх нормального функціонування з метою отримання стабільних та високих врожаїв, тобто за його родючістю. Рациональне використання ґрунтів у сільському господарстві, розробка, планування та ефективне використання комплексу заходів з управління та регулювання ґрунтовою родючістю необхідно починати з визначення їх фактичного агроекологічного стану, який потрібно розглядати як сукупність фізико-хімічних, агрофізичних, біологічних та агрохімічних властивостей, а також забруднення ґрунту радіонуклідами, важкими металами, пестицидами та іншими токсичними речовинами. Для того, щоб визначити продуктивність ґрунтів, їх просторово-часову неоднорідність та їх цінність необхідно використовувати показники агрохімічно-екологічної оцінки ґрунтів. Бали за бонітування ґрунтів розраховуються у відповідності до методики агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення, що була винайдена українськими вченими С.А. Балюком та І.П. Яцуком.

Для оцінки стану ґрунтів зони Степу України та визначення змін у їх агроекологічних властивостях на ряду із їх родючістю був проведений аналіз результатів XI туру суцільної агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення зони Степу України, що проводилась Херсонським філіалом Державної установи «Інститут охорони ґрунтів», з використанням інформації з 296 стаціонарів відборів проб ґрунтів. Було зроблено ретроспективне вивчення ґрунтів за їх основними агрохімічними показниками із застосуванням сучасних геоінформаційних технологій. Викладено просторово-часові зміни вмісту основних показників ґрунтової родючості використовуючи результати десяти турів обстежень ґрунтів: з II (1970–1974 рр.) до XI туру (2017–2021 рр.). Використовуючи вбудовані функції програмного забезпечення ArcGIS 10.1 було розроблено моделі просторово-часової зміни агроекологічного стану ґрунтів зони Степу України за основними агрохімічними показниками.

Ключові слова: ГІС-технології, родючість ґрунтів, агрохімічна паспортизація, ретроспективні дослідження, просторово-часове моделювання.

ВСТУП

Зростання потреб у забезпеченні продуктами харчування призводить до необхідності збільшення обсягів виробництва сільськогосподарської продукції на базі традиційного землеробства, що спонукає до використання додаткових природних та енергетичних ресурсів. Крім того, традиційне сільське господарство базується на використанні мінеральних макро- та мікродобрив, пестицидів, гербіцидів, що є основною причиною погіршення екологічного стану ґрунтів та навколишнього середовища.

Тому виникає необхідність у комплексному дослідженні просторово-часових змін вмісту основних показників родючості степових ґрунтів як основи подальшого обґрунтування раціонального використання земельних ресурсів з метою зменшення антропогенного навантаження на довкілля у зоні Степу України [1].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

За період з 2017 по 2021 рік Херсонським філіалом Державної установи «Інститут охорони ґрунтів» проведено XI тур агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення зони Степу України. Отримані результати свідчать про негативні зміни агроекологічних властивостей ґрунтів на значній площі сільськогосподарських угідь зони Степу України [2].

Оцінювання проводилось за 100-бальною системою. За агрохімічними властивостями стандартний ґрунт прийнято за 100 балів. Результати XI туру агрохімічної паспортизації земель за даними 296 стаціонарних об'єктів свідчать, що найвищою оцінкою (понад 40 балів) характеризуються ґрунти Чаплинського району. Нижча оцінка (менше 30 балів) характеризує ґрунти Горностаївського району. Середня оцінка ґрунтів зони Степу України за даними XI туру агрохімічної паспортизації становить 34 бали. Найбільшу площу в області займають ґрунти низької якості (менше 30 балів) – 54,5 %, середнього (31–40 балів) – 22,5 % від загальної площі області (рисунок 1). До переліку факторів, які враховуються при нарахуванні балів, відносяться стан клімату та зрошення, до негативних властивостей – засолення, забруднення важкими металами, радіонуклідами та пестицидами тощо [3, 4].

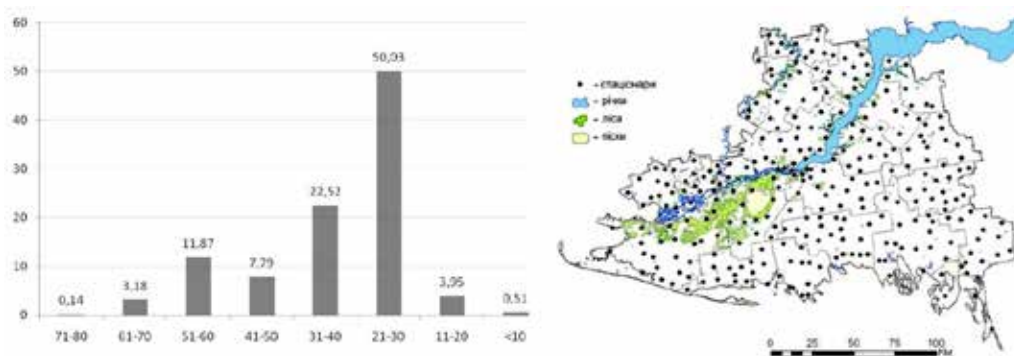


Рис. 1. Розподіл сільськогосподарських угідь зони Степу України за агрохімічною оцінкою та розміщення стаціонарних об'єктів

РЕЗУЛЬТАТИ

Гумус є основним показником ступеня родючості ґрунту та показником ефективності агротехнологічного блоку системи землеробства. Ґрунти зони Степу України характеризуються малогумусним вмістом у межах 0,30–3,85 %. Просторово-часова неоднорідність зменшення вмісту гумусу відбувається внаслідок деградаційних процесів ґрунтового покриву внаслідок застосування нераціональних підходів до інтенсифікації землеробства, що призводить до погіршення ґрунтоутворювальних

процесів через ненадходження залишків рослин та органічних добрив у орний горизонт ґрунту, зменшення частки багаторічних трав і польових сівозмін, тривале застосування мінеральних добрив тощо. Зрошувані землі області містять гумус у різних типах ґрунтів (шар 0...20 см) у середньому на 0,1–0,5 % менше, ніж незрошувані землі, що зумовлено інтенсивністю та технологічними особливостями зрошуваних меліорацій. У період другого туру агрохімічної паспортизації земель розпочався інтенсивний період розвитку зрошення, що призвело до значного зниження вмісту гумусу (рисунок 2) за період 1970–2021 рр. – в середньому на 16,0 % (з 2,56 % до 2,15 %).

Період з 1985 по 2017 рр. характеризувався стабільним гідромеліоративним навантаженням з незначною динамікою ($V = 3,7 \%$) та негативною спрямованістю зміни (тренда) вмісту гумусу в часі (t):

$$T = -0,0061 \cdot t + 2,2914; R^2 = 0,022 \quad (1)$$

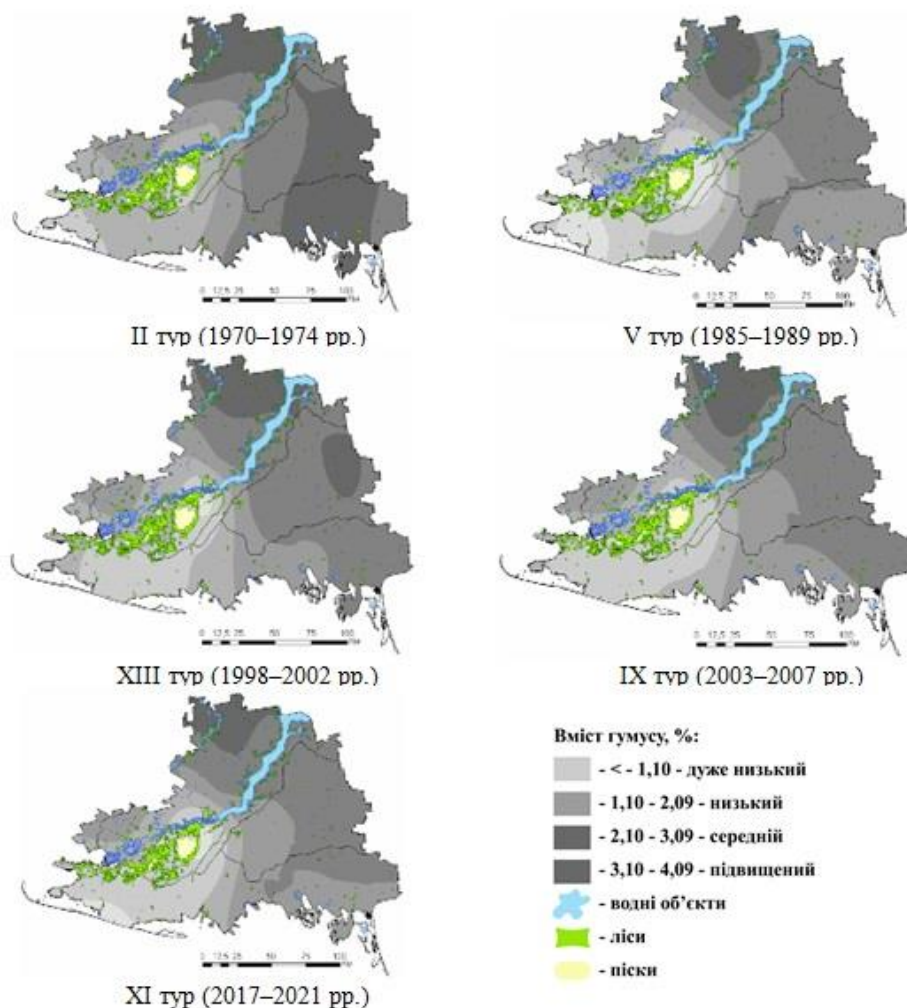


Рис. 2. Просторово-часові зміни вмісту гумусу в ґрунтах зони Степу України

Азот відіграє провідну роль у підвищенні врожайності сільськогосподарських культур і є важливим біологічним елементом. Входить до складу білків, які є основним компонентом цитоплазми і ядра клітини, амінокислот, нуклеїнових кислот, хлорофілу, алкалоїдів, фосфатидів, багатьох вітамінів, гормонів та інших біологічно активних речовин. Азот особливо важливий у першій половині вегетації. Найбільше значення для відновлення доступного для рослин азоту мають процеси амоніфікації, під час яких азот органічної речовини перетворюється в аміак, і нітрифікації, під час якої аміак переходить в азот, а потім в азотну кислоту та її солі [5].

У результаті досліджень встановлено, що закономірності зміни вмісту азоту (рисунок 3) в орному шарі (0...20 см) ґрунтів на території сільськогосподарських угідь зони степу України мають негативну тенденцію формування:

$$NO_3 = -0,053 \cdot t^2 + 0,966 \cdot t + 16,74; R^2 = 0,24 \quad (2)$$

Вміст азоту в ґрунтах досліджуваного регіону за весь період досліджень знизився в середньому на 26,9 % (з 23,0 мг/кг до 19,0 мг/кг).

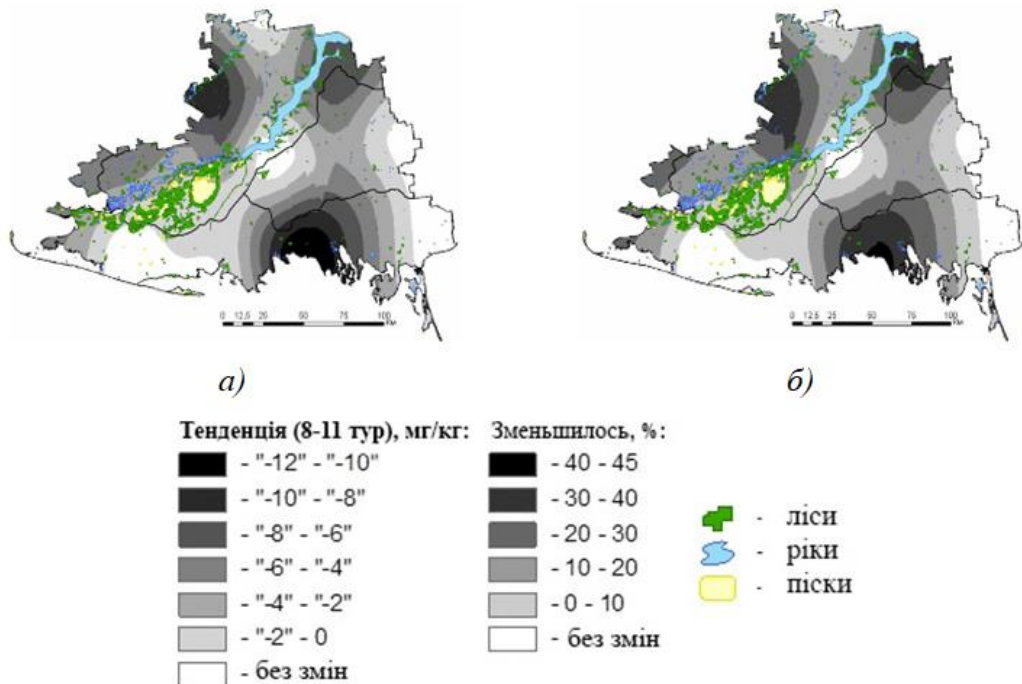


Рис. 3. Просторово-часові зміни вмісту азоту в ґрунтах зони Степу України: а – просторова тенденція, б – відносне зменшення, %

Фосфор є одним із важливих елементів живлення рослин. Після гумусу та азоту фосфор часто є найбільш дефіцитним елементом при вирощуванні сільськогосподарських культур [5].

За результатами досліджень встановлено просторово-часову закономірність зменшення вмісту фосфору (рисунок 4) у ґрунтах (шар 0...20 см) області.

$$T = -10,59 \cdot \ln(t) + 62,31; R^2 = 0,98 \quad (3)$$

Його вміст за 51 рік знизився в середньому на 34,8 % (з 62,0 мг/кг до 40,4 мг/кг).

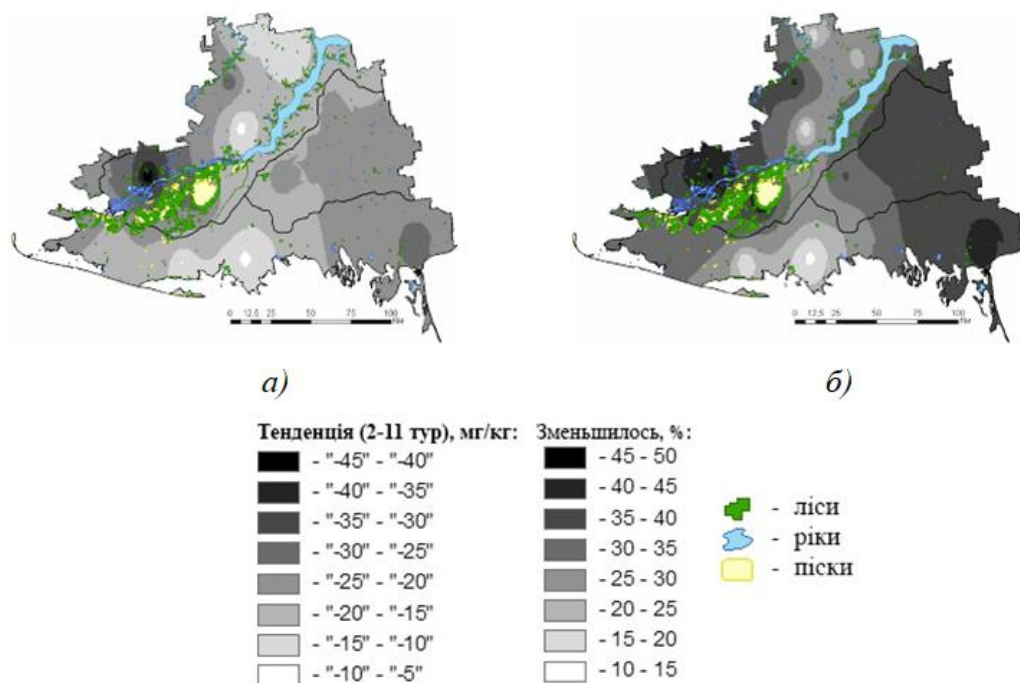


Рис. 4. Просторово-часові зміни вмісту фосфору в ґрунтах зони Степу України: а – просторова тенденція, б – відносне зменшення, %

Калій опосередковано впливає на азотний обмін, впливає на накопичення амінокислот та енергетичні процеси, регулює дихання рослин. Зміна вмісту калію (рисунок 5) у ґрунтах (шар 0...20 см) регіону визначається його негативною тенденцією формування:

$$T = -36,87 \cdot \ln(t) + 437,75; R^2 = 0,97 \quad (4)$$

Просторова неоднорідність зниження вмісту калію від 50 мг/кг до 210 мг/кг (від 10 % до 50 %) у ґрунтах залежить від відсутності регулярного, необхідного обсягу мінеральних добрив, від водної ерозії, в тому числі зрошення, і дефляція ґрунтів.

За період спостереження його вміст знизився в середньому на 25,5 % (з 442,8 мг/кг до 359,8 мг/кг).

Найважливішим чинником, що визначає рухливість мікроелементів у рослинах, вважають реакцію ґрунтового розчину. Український вчений В.А. Ковда в своїх роботах навів закономірності закріплення міді, цинку та кобальту в ґрунтах залежно від *pH* ґрунтового розчину (таблиця 1). Поєднання трьох мікроелементів відбувається при зміні *pH* в межах: для *Cu* максимальне закріплення відзначається в інтервалі *pH* 4,7–5,9; *Zn* – при *pH* 5,9–7,2; *Co* – при *pH* 7,2–8,0.

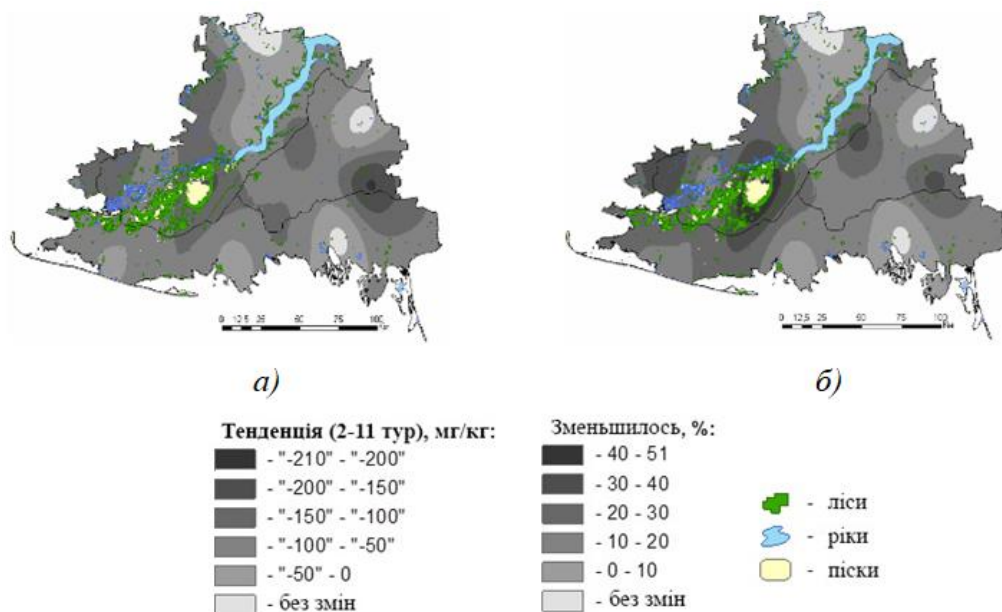


Рис. 5. Просторово-часові зміни вмісту калію в ґрунтах зони Степу України: а – просторова тенденція, б – відносне зменшення, %

Таблиця 1. Витрата мікроелементів як функція аніонів та рН від вихідної кількості

Катионы	Анионы	рН							
		4,7	5,2	5,5	5,9	6,4	7,2	7,5	8,0
Cu	NO ₃	9	44	76	89	–	–	–	–
	Cl	17	55	75	90	–	–	–	–
Zn	NO ₃	–	–	–	11	19	61	–	–
	Cl	–	–	–	13	22	68	–	–
Co	NO ₃	–	–	–	–	–	39	51	78
	Cl	–	–	–	–	–	39	54	78

Залежно від впливу кислотності ґрунтового розчину на рухливість мікроелементів на території зони Степу України виділяють дві групи ґрунтів. Перша – ґрунти з рН 6,5–7,2, у цьому випадку знижується забезпеченість мікроелементами, рухливість яких суттєво залежить від рН (залізо, мідь, марганець, цинк), що призводить до загрози обмеження цих мінералів у рослинах. Другий – ґрунти з рН більше 7,2 – у цих умовах різко знижується рухливість більшості катіонних форм мікроелементів. Внаслідок цього існує високий ризик повної відсутності мікроелементів у мінеральному живленні рослин [6].

У порівнянні з богарними землями на зрошуваних відбуваються істотні зміни іонно-сольового складу ґрунтового розчину, підсилюються процеси міграції, збільшується інтенсивність біологічного виносу елементів з ґрунту за рахунок збільшення фітомаси та урожайності сільськогосподарських культур.

На відміну від хімічних елементів, що складають основу живої речовини (так звані макроелементи – вуглець, кисень, водень, азот, сірка, кальцій, фосфор, натрій), елементи, вміст яких в організмах становить від 1–3 % до 10–12 %, це мікроелементи. До них відносяться кадмій, марганець, мідь, цинк, кобальт, нікель, йод, фтор, молібден [7].

Тенденція зміни мікроелементів у ґрунтах зони Степу України визначена за даними просторово-розподілених стаціонарних об’єктів ІХ–ХІ циклу. За результатами просторово-часового моделювання у період 2003–2021 рр. (рисунк 6) спостерігалася тенденція до збільшення вмісту рухомих мікроелементів та важких металів, насамперед на незрошуваних землях.

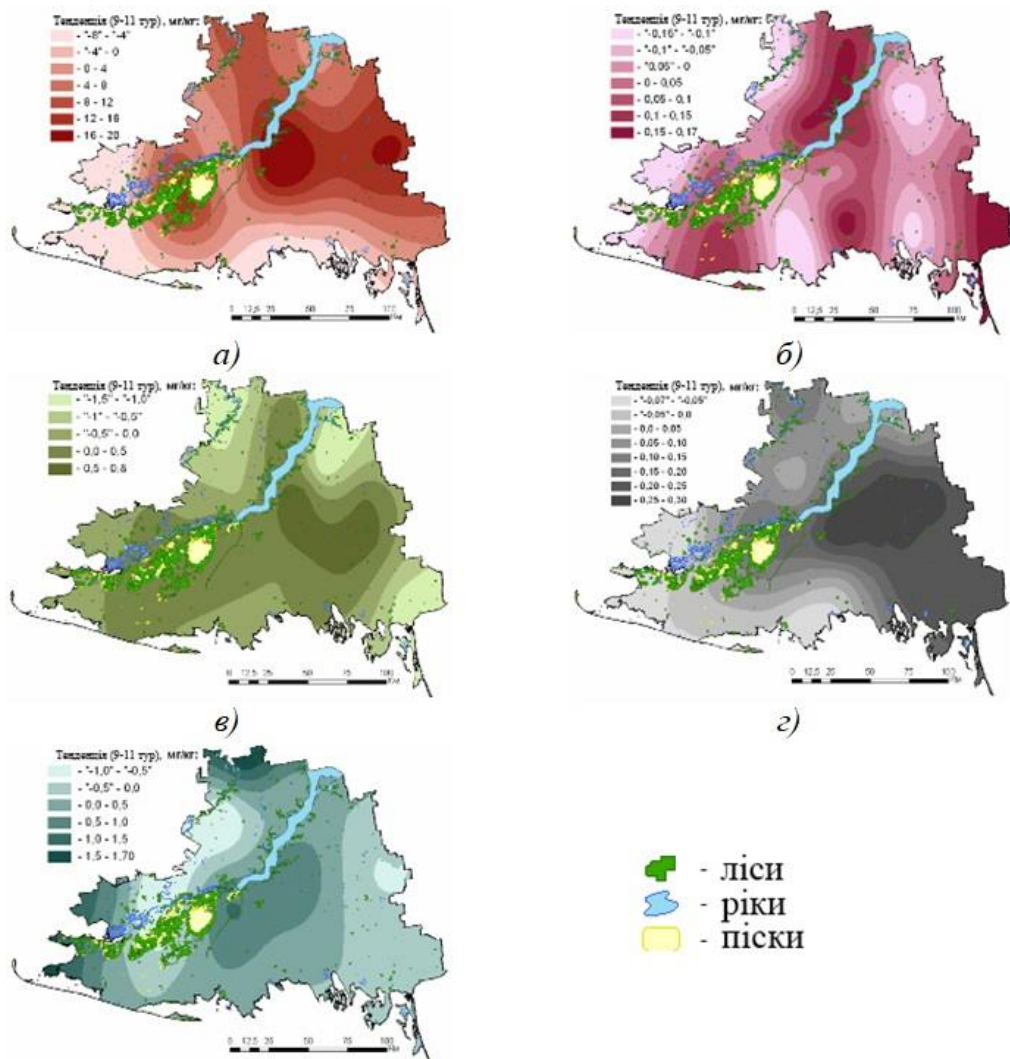


Рис. 6. Зміна вмісту рухомих форм мікроелементів і важких металів (мг/кг) в ґрунтах зони Степу України: а – марганець, б – мідь, в – цинк, г – кадмій, д – свинець

За результатами просторово-часового моделювання в період 2003–2021 рр. спостерігалася тенденція підвищення вмісту рухомих мікроелементів і важких металів, в першу чергу на богарних землях в середньому: *Mn* на 10 мг/кг, *Cu* – 0,07 мг/кг, *Zn* – 0,4 мг/кг, *Cd* – 0,15 мг/кг, *Pb* – 0,35 мг/кг.

ВИСНОВКИ

Екстенсивне використання сільськогосподарських угідь, порушення сівозмін призвели до значного погіршення природних властивостей ґрунтів зони Степу України за останні 51 рік за основними агрохімічними показниками: вміст гумусу в шарі ґрунту 0...20 см зменшився в середньому на 16,0 %, азоту на 26,92 %, фосфору на 34,84 %, калію на 25,52 %. За умов продовження даної агротехнічної тенденції прогнозується: збереження тенденції дегуміфікації орних ґрунтів, темпи якої будуть у межах 0,01–0,03 % на рік, зниження вмісту азоту з 0,04 мг до 0,06 мг на рік, вміст фосфору на 0,16–0,18 мг на рік, вміст калію на 1,9–3,1 мг на рік.

Спостерігається тенденція до збільшення вмісту рухомих мікроелементів та важких металів, насамперед на богарних землях у середньому: *Mn* на 10 мг/кг, *Cu* – 0,07 мг/кг, *Zn* – 0,4 мг/кг, *Cd* – 0,15 мг/кг, *Pb* – 0,35 мг/кг. На зрошуваних землях спостерігається тенденція до зниження вмісту *Mn* в середньому на 2 мг/кг, *Cu* – 0,03 мг/кг, *Zn* – 0,5 мг/кг, але спостерігається незначне накопичення важких металів: *Cd* – 0,06 мг/кг, *Pb* – 0,01 мг/кг. Прогнозується підвищення мікроелементів на незрошуваних землях в середньому: *Mn* на 7,40 %, *Cu* – 0,04 %, *Zn* – 0,12 %, *Cd* – 1,40 %, *Pb* – 0,19 %; на зрошуваних землях зменшення вмісту рухомих мікроелементів в середньому: *Mn* на 1,50 %, *Cu* – 0,02 %, *Zn* – 0,15 %, а також збільшення вмісту важких металів в середньому: *Cd* на 0,18 %, *Pb* – 0,005 %. Ця тенденція є підтвердженням необхідності реалізації державної та регіональної екологічної політики та відповідних програм щодо охорони, раціонального використання, відновлення земельних ресурсів та підтримки органічного землеробства.

ЛІТЕРАТУРА

1. Breus D.S., Dudyayeva O.A., Evtushenko O.T., Skok S.V., Organic agriculture as a component of the sustainable development of the Kherson region (Ukraine), International Multidisciplinary Scientific Geoconference, SGEM, Bulgaria, 2018, Vol. 18, P. 691–698.
2. Звіт про роботу Державної установи «Інститут охорони ґрунтів». Київ, 2018. 22 с.
3. Яцук І.П. Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення. Київ, 2013. 105 с.
4. Пічура В.І. Зональні закономірності вікових змін клімату на території басейну Дніпра. *Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет*. 2017. № 2. С. 43–52.
5. Дудар О. Розвиток органічного агровиробництва в Україні. *Економіка АПК*. 2012. № 3. С. 121–126.
6. Дюдяєва О.А., Бреус Д.С., Петухов М.О. Сучасні реалії органічного землеробства в Україні. *Таврійський науковий вісник. Сільськогосподарські науки*. 2016. № 96. С. 191–197.
7. Бреус Д.С. Світовий досвід ведення органічного землеробства та перспективи його розвитку в Україні. *Таврійський науковий вісник*. 2020. № 116. С. 198–206.

REFERENCES

1. Breus D.S., Dudyayeva O.A., Evtushenko O.T., Skok S.V. (2018). Organic agriculture as a component of the sustainable development of the Kherson region (Ukraine). *International Multidisciplinary Scientific Geoconference, Vol. 18*, 691–698.
2. Zvit pro robotu Derzhavnoi ustanovy «Instytut okhorony gruntiv» [Report on the work of the State Institution "Institute of Soil Protection"] (2018). Kyiv, 22 [in Ukrainian].
3. Yatsuk I.P. (2013). Metodyka provedennia ahrokhimichnoi pasportyzatsii zemel silskohospodarskoho pryznachennia [Methodology of agrochemical certification of agricultural lands]. Kyiv, 105 [in Ukrainian].
4. Pichura V.I. (2017). Zonalni zakonornosti vikovykh zmin klimatu na terytorii baseinu Dnipro [Zonal regularities of age-related climate changes in the territory of the Dnipro basin]. *Dnipropetrovskiy derzhavnyi ahrarno–ekonomichnyi universytet – Dnipropetrovsk State Agrarian and Economic University*, 2, 43–52 [in Ukrainian].
5. Dudar O. (2012). Rozvytok orhanichnoho ahrovyrobnytstva v Ukraini [Development of organic agricultural production in Ukraine]. *Ekonomika APK – Economy of agro-industrial complex, № 3*, 121-126 [in Ukrainian].
6. Diudiaeva O.A., Breus D.S., Petukhov M.O. (2016). Suchasni realii orhanichnoho zemlerobstva v Ukraini [Modern realities of organic farming in Ukraine]. *Tavriiskiyi naukovyi visnyk. Silskohospodarski nauky – Taurian Scientific Bulletin. Agricultural sciences*, 96, 191-197 [in Ukrainian].
7. Breus D.S. (2020). Svitovyi dosvid vedennia orhanichnoho zemlerobstva ta perspektyvy yoho rozvytku v Ukraini [World experience of conducting organic farming and prospects for its development in Ukraine]. *Tavriiskiyi naukovyi visnyk – Taurian Scientific Bulletin*, 116, 198-206 [in Ukrainian].

ABSTRACT

RETROSPECTIVE ANALYSES OF SOIL FERTILITY CHANGE IN THE STEPPE ZONE OF UKRAINE

Traditional agriculture can be characterized as having high indicators of economic efficiency, but its implementation entails environmental consequences that ultimately lead to pollution of the natural environment and a decrease in soil productivity. The productivity of the soil can be determined by its ability to meet the needs of plants in moisture, nutrients, and air, as well as to provide conditions for their normal functioning in order to obtain stable and high yields, that is, by its fertility. The rational use of soils in agriculture, the development, planning and effective use of a set of measures for the management and regulation of soil fertility must begin with the determination of their actual agro-ecological state, which must be considered as a set of physico-chemical, agrophysical, biological and agrochemical properties, as well as soil pollution radionuclides, heavy metals, pesticides and other toxic substances. In order to determine the productivity of soils, their spatial-temporal heterogeneity and their value, it is necessary to use indicators of agrochemical and ecological assessment of soils. Points for soil grading are calculated in accordance with the method of agrochemical certification of agricultural land, which was invented by Ukrainian scientists S.A. Balyk and I.P. Yatsuk.

To assess the condition of the soils of the Steppe zone of Ukraine and determine changes in their agroecological properties along with their fertility, an analysis of the results of the XI round of continuous agrochemical certification of agricultural lands of the Steppe zone of Ukraine, conducted by the Kherson branch of the State Institution "State Soil Protection", using information from 296 soil sampling stations. A retrospective study of soils was carried out according to their main agrochemical indicators with the use of modern geoinformation technologies. The spatio-

temporal changes in the content of the main indicators of soil fertility are outlined using the results of ten rounds of soil surveys: from II (1970–1974) to XI round (2017–2021). Using the built-in functions of the ArcGIS 10.1 software, models of spatio-temporal changes in the agro-ecological state of the soils of the Steppe zone of Ukraine were developed based on the main agrochemical indicators.

Key words: GIS technologies, soil fertility, agrochemical certification, retrospective studies, spatio-temporal modeling.

Svitlana Voloshanska,

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Biology and Chemistry
Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Ukraine
orcid.org/0000-0003-4589-6376

Inesa Drozd,

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Biology and Chemistry
Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Ukraine
orcid.org/0000-0003-0994-2777, e-mail: inessadr@ukr.net

Iryna Briukhovetska,

Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Biology and Chemistry
Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Ukraine

INFLUENCE OF THE GROUND ENVIRONMENT ON THE DIAGNOSTIC WILD PLANT SPECIES DIVERSITY

Abstract. The role of soil cover in the biosphere and human economic activity is well-known, but an established and substantiated assessment of its qualitative state becomes important. Preliminary soil diagnostics and establishment of its physical and chemical properties are carried out using vegetation cover, in particular, diagnostic plant species as indicators of the studied components of the environment state. The nature of the soil, its structure, density, oxygen content, salts, nutrients, and habitat can be determined using plant indicators.

The species diversity of wild diagnostic plants in the trial areas of Drohobych was determined. *Equisetum arvense* L., *Hepatica nobilis*, *Ranunculus repens*, *Plantago major* L., *Urtica dioica*, and *Arctium lappa* were among the most common diagnostic species.

It was found that the diagnostic plant species growing in the trial areas corresponded to those ecological groups, which vital functions correlate with certain soil environmental factors. Their dominance is related to the chemical composition of the soil. Diagnostic species can serve as indicators for the conditions of humidification, acidity, salinity, and excess salt content, as well as the nitrogen, calcium, magnesium, potassium, and other nutrients available in the soil.

As a result of the studies, it was found that, in general, the soils of the sample areas are acidic and slightly acidic (pH from 5.1 to 6.4), weakly and medium humus (2.6–3.7% of humus), with a relatively average content of gross nitrogen (0.12–0.27%) and phosphorus (0.05–0.14%), relatively poor on K₂O and P₂O₅ in the upper horizon. In general, vegetation in the trial plots was heterogeneous in terms of floristic features, and biological and cenotic properties. Some species of plants were at different stages of their development.

Indicator plants should be used to estimate both the soil cover state and the general state of the environment.

Key words: soil, indicator plants, soil cover, physical and chemical properties.

INTRODUCTION

Soil cover study, the study of an important natural resource of the country, possesses a special place among many problems of today. Soil occupies a leading place in human life and performs global socio-economic functions along with plants, animals, microorganisms,

groundwater, and atmospheric air. Life on the planet is impossible without soil. It provides a constant interaction of large geological and small biological circuits of substances on the earth's surface, regulates the chemical composition of the atmosphere and hydrosphere, and accumulates active organic matter and associated chemical energy. The life of plants, their growth and development, and the life of all living organisms are closely related to the environment, particularly soil cover. The soil provides plants with nutrients necessary for their life, plants serve as soil indicators. Diagnostic species react quite sensitively to the nutrient content in the soil, and the availability of the nutrients in the soil [2, 15].

The role of soil cover in the biosphere and human economic activity is well-known, but an established and substantiated assessment of its qualitative state becomes important. Preliminary soil diagnostics and establishment of its physical and chemical properties are carried out using vegetation cover, in particular, diagnostic plant species as indicators of the studied components of the environment state. Based on the ecological characteristics of plant organisms and their reactions to the influence of environmental factors, eurybiont species are distinguished, in which there is a wide adaptive capacity for growth conditions, and stenobiont species, which have a limited narrow range of changes of a certain factor with a low adaptive capacity. It is the wallbionts (plant organisms or their populations), in which vital functions are quite closely correlated with certain environmental factors, that are used for soil bioindication [1, 5].

Plants are affected by three groups of edaphic factors: the physical properties of the soil, and its chemical and biotic composition. Edaphic conditions are of exceptional importance for plants since the soil is the habitat of plants, the substrate for their consolidation. The relationship between plants and the soil environment is determined by the physical and chemical properties of soils and the totality of all living organisms that inhabit them. Ecological groups of plants have several common adaptive features to a particular habitat factor. The distribution of plants into environmental groups in relation to external factors is quite conditional since in nature environmental factors are always combined into complexes. The adaptation of certain plant species to a certain set of environmental conditions is a kind of sensor with which the presence of certain elements in the soil can be detected. Plants having the ability to accumulate in their tissues substances formed as a result of the plant's interaction with external factors can act as indicators [5, 17].

The use of indicator plants is advisable both for assessing the general state of the environment and for identifying specific pollutants. Monitoring is carried out both at the level of phytocenoses (plant groups) and the level of individual species. Indicator properties are detected both in the presence and absence of a certain species. Indicator plants are used in the assessment of soil fertility, their mechanical and acid composition, moisture content and salinity, etc. Both the presence and absence of the species are of indicative importance [19].

A rather effective characteristic of plant conditions is the appearance and size of growing plants. Thus, the low productivity of plants, and unattractive appearance, indicate the inconsistency of plant conditions with environmental needs and their presence in this place. Accordingly, the improvement in the condition of the populations suggests an increase in soil nutrients and the provision of humidity [9, 16].

The nature of the soil, its structure, density, oxygen content, salts, nutrients, and habitat can be determined using plant indicators. Living conditions can stimulate or interfere with species in their struggle for living space with other plants. Indicator properties are particularly pronounced in wild herbaceous plants. Particularly pronounced indicator properties in wild

herbaceous plants, according to which the physical and chemical properties of the soil can be predetermined, in particular the content of moisture, nutrients, salts, acidity, etc. In turn, the physical and chemical properties of soils affect the growth and development of plants and their spread [1, 2, 18].

The purpose of our study is to establish the dependence of the species composition of wild plants in the Precarpathian on the physical and chemical properties of the soil environment.

MATERIALS AND METHODS

Determining the physical and chemical properties of soils were carried out on the territory of Drohobych district in May–August 2021–2022. The studies included three main stages. In the first stage, the survey of the research area was carried out, a general route familiarization with the state of the vegetation cover was carried out, trial areas in phytocenoses with wild vegetation (the predominant growth of diagnostic species) were selected and the species diversity of diagnostic species was determined there. Trial areas were laid taking into account the growth of plant populations-indicators of natural biocenoses.

Plot No.1 – the site is located on abandoned farmlands, where meadows have been formed, and the soil is typical turf-podzolic surface-glazed.

Plot No.2 – fir-oak forest nodule with complete soaking of the root-containing soil layer with precipitation and melt water, gray forest soil with a flushing regime.

Plot No.3 – the site is located along the forest road, on the galley, the forest soil is gray with a partial flushing regime.

Plot No.4 – the site is located on the glades of mixed forest, the age structure of wood stands is uneven, and the soil is brown and podzolic with an incomplete flushing regime.

Plot No.5 – an area of abandoned farmland, vegetation is represented by a significant variety of groups, the soil is sod and slightly podzolic.

The species diversity of diagnostic species was determined using plant determinants. In the second stage, soil samples were taken for research on the selected sample areas. Soil samples were taken by Nekrasov's drill, mixing them from several points. At the third stage of research, the physicochemical properties of the selected soil samples were determined according to the tested methods (humus – according to the Tyurin method; pH of the aqueous and salt extract – potentiometrically; mobile potassium and phosphorus – according to the Kirsanov methods) [3, 10].

DISCUSSION

The territory of the Pre-Carpathian is located in a transitional strip between the northeastern slopes of the Ukrainian Carpathians and the northwestern landscape of the Podolia highlands. The region is characterized by differences in the relief, climatic and biological factors of soil formation, and the groundwater occurrence level, which contributed to the formation of different morphologies, genesis, and spectrums of soil formation [7].

Landscapes of the Drohobych region belong to the Drohobych foothills of the Dniester Pre-Carpathian. The territory houses different types and subtypes of soils; thus, the region is characterized by a significant complexity and diversity of soil formation conditions. Profile-differentiated soil strongly varies in terms of morphological indicators and properties, which affects the specificity, direction, and intensity of relic and modern soil-forming processes.

The sod-podzolic surface-odle soils occupy the largest areas of the territory of the Precarpathian and are the background soils of the Drohobych district. They were formed under conditions of excess moistening, flushing, and stagnant-flushing water regimes under broad-leaved forests with grass cover in the conditions of two opposite processes – turf, which causes the accumulation of organic substances and podzolic, in which organic and mineral compounds of rocks are destroyed [11, 12].

The nutrient content is extremely variable, due to the genetic nature of the soils and climatic conditions. The average depth of the root-containing soil layer is 50–60 cm. The soils are poorly humidified, acidic, and slightly acidic, with a relatively low content of gross nitrogen and phosphorus, relatively poor at P_2O_5 and K_2O . The content of mobile phosphorus is low, which is typical for sod-podzolic soils and brown soils. The amount of mobile potassium depends on the granulometric composition, especially on the fraction content of less than 0.001 mm, and varies within a wide range – from 2 to 12 mg/100 g of soil [11].

The landscape structure of the Drohobych foothills, in addition to the sod-podzolic soils, is also characterized by wide low terraces with meadows and rainy-marshy soils, which occupy almost 35% of the area of the entire district. Meadow soils were formed under the radiant vegetation in conditions of high groundwater level, on alluvial sediments, and have a well-developed profile. Humus horizon of dark gray color, fine-grained structure, compacted, 20–40 cm. Such soils are quite fertile. Alluvial marsh soils are also quite common, which were formed in pristine reductions with the joint action of the marsh and alluvial processes of soil formation. Alluvial-ray soils were formed on alluvial sediments of river beds, under the radiant vegetation, and have a well-developed soil profile [11, 12].

The climate of Drohobych is moderate continental, which corresponds to a small difference in summer and winter temperatures, and high relative humidity. The climate of the area is characterized by frequent thaws in winter, high cloudiness, intense rains, and the summer and autumn floods caused by them. The amount of precipitation exceeds the amount of evaporation.

The modern vegetation cover of the area is sufficiently diverse. Oak, fir-oak, oak-beech, and fir-oak forests predominate among forest vegetation. Type of forest – wet fir sub-oak forest. Common species are *Fagus sylvatica*, *Quercus robur*, *Fraxinus excelsior*, *Acer pseudoplatanus*, *Tilia platyphyllos*, *Betula pendula*, *Carpinus betulus*, *Acer platanoides*, and conifers – *Pinus sylvestris*.

In the undergrowth grows *Euonymus verrucosa* Scop., *Daphne mezereum* L., *Crataegus monogyna* Jacq., *Sorbus aucuparia* L., *Frangula alnus* Mill., *Corylus avellana* L., *Swida sanguinea* (L.) Opiz, *Prunus padus* L., *Rosa canina* L.

Grass cover is quite varied, among plants common: *Athyrium filix-femina* (L.) Roth., *Leucojum vernum* L., *Pulmonaria obscura* Dumort., *Lysimachia vulgaris* L., *Majanthemum bifolium* (L.) F. W. Schmidt, *Ajuga reptans* L., *Galeobdolon luteum* Huds., *Stellaria holostea* L., *Oxalis acetosella* L., *Convallaria majalis* L., *Molinia coerulea* (L.) Moench, *Luzula pilosa* (L.) Willd., *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, *Carex pilosa* Scop., *C. brizoides* L., *Allium ursinum* L., *Lathyrus vernus* (L.) Bernh., *Dryopteris filix-mas* L., *Aegopodium podagraria* L.

Thus, in general, the landscape of the Precarpathian and Drohobych foothills, which is uniform in nature, in particular, is complex in structure. Significant height differences, the dense mesh of dismemberment, and gradual-stage elevation from the Dniester to the Carpathians contributed to the formation of genetic horizons of soil cover and species diversity of the plant world.

An important indicator of plant organisms is the species or floristic composition, which serves as an indicator of growing conditions. Its composition includes species that reflect the cenotic and ecological properties of a particular biocenosis. These species induce vegetation conditions under which the diversity of soil cover can be determined [9].

On pre-selected trial areas in phytocenoses with wild vegetation, we determined the diagnostic species of plants.

Plot No.1 is the predominant growth of *Equisetum arvense* L. on abandoned farmlands, where bogs were formed, the soil is typical sod-podzolic surface-glazed. *Equisetum arvense* L. is a typical representative of acidophiles of plants that are spread on acidic (pH 4.5–5.5) typical sod-podzolic and brown forest soils.

Plot No.2 – growth of the population of *Hepatica nobilis* on the nodule of fir-oak forest with full soaking of the root-containing soil layer with precipitation and meltwater, the age structure of tree plants is uneven, the soil is the gray forest with a flushing regime. *Hepatica nobilis* is a typical mesophyte that grows on fresh forest biocenoses with complete soaking of the root-containing soil horizon and a mesotron that is widespread on salt-rich soils where no SO₂-, Cl- and HCO⁻ ions are present.

Plot No.3 – Rapid growth of *Ranunculus repens* along the forest road, on the lawn, forest grey soil with a partial flushing regime. *Ranunculus repens* – typical nitrophilus (plants grow on sufficiently mineral nitrogen soils (0.3–0.4%). The species grows on slightly acidic soils.

Plot No.4 – growth of *Plantago major* L. and *Trifolium pratense* L. on the node of the mixed forest, the soil for which is bored and podzolic with an incomplete flushing regime. *Plantago major* L. is a typical acidophile and likes acidic (pH 4.5–5.5) sod-podzolic soils. The species (subnitrophil) is widespread on oligotrophic soils with low mineral nitrogen content (0.05–0.2%).

Plot No.5 – abrupt growth of *Urtica dioica* and *Arctium lappa* on abandoned farmland, the soil is sod and slightly podzolic. *Urtica dioica* and *Arctium lappa* are eunitrophil plants that grow on soils well supplied with mineral nitrogen (0.4–0.5%).

In general, vegetation in the trial plots was heterogeneous in terms of floristic features, and biological and cenotic properties. Some species of plants were at different stages of their development.

As a result of the research, it was found that the trial areas of wild plants chosen by us are the growth sites of diagnostic species that identify (induce) the physical and chemical properties of soils. The physical and chemical properties of soils belong to the main properties and have a determining influence on the growth and development of plants. Soil samples were taken on separate sample areas were studied according to the following physical and chemical indicators: determination of field soil moisture, pH of aqueous and salt extract, humus content, macroelements (nitrogen (N), phosphorus (P₂O₅), potassium (K₂O)).

Background sod-podzolic surface-glazed soils of Precarpathian were formed in conditions of excess moisture and flushing type of the water regime on ancient alluvial and diluvial carbonate-free loams. Their genetic nature is complex. Soils have a sharply differentiated by type eluvial-illuvial profile and signs of dullness, a shallow humus horizon (30–40 cm). They are unsaturated with bases, acidic, and contain little nitrogen and phosphorus available to plants. As a result of weak water permeability, the upper horizons are overwetted.

It is generally known that according to the species diversity of plants of a certain ecological group, which are widespread in the territory characteristic of their optimal growth

and development, it is possible to pre-determine the water regime of the soil, the degree of salinity, the content of nutrients, acidity.

As a result of the studies, it was found that the total moisture reserve in the soils in the sample areas was sufficient, and its content did not differ significantly between the study areas and was within 18.0–30.0% (see Table 1).

Table 1. Indicators of physical and chemical properties of soils

Indicators	Plot 1	Plot 2	Plot 3	Plot 4	Plot 5
Characteristics of the territory	Abandoned farmland, meadows	The territory of fir and oak forest	Along the forest road, on the lawn	Mixed Forest Nodule	Abandoned farmland, meadows
Humidity, %	26.0	30.0	22.0	18.0	20.0
Humus, %	2.6	3.1	3.5	2.9	3.8
pH (aqueous solution)	5.2	6.3	5.8	5.4	6.4
pH – Saline	3.5	4.0	3.7	3.3	3.9
Gross N content, %	0.15	0.18	0.24	0.13	0.28
Gross P content, %	0.13	0.05	0.09	0.14	0.11
P ₂ O ₅ , mg/100 g according to Kirsanov	78.0	45.4	50.2	63.6	52.5
K ₂ O, mg/100g according to Kirsanov	39.1	51.3	54.2	33.6	57.4
Widespread Diagnostic Plant Species	<i>Equisetum arvense</i> L.	<i>Hepatica nobilis</i>	<i>Ranunculus repens</i>	<i>Plantago major</i> L. <i>Trifolium pretense</i> L.	<i>Urtica dioica</i> <i>Arctium lappa</i>

The highest moisture content (30.0%) was recorded in trial plot No.2 (fir-oak forest area), where there was an increase in the population of *Hepatica nobilis*. It is known that *Hepatica nobilis* a typical mesophyte that grows on fresh forest biocenoses with complete wetting of the root layer [1]. The results of physicochemical studies confirmed that the plant is a diagnostic species of the soil water regime of this biocenosis.

An important indicator of the soil is its acidity. Closely related to the reaction of the soil solution is the life of the soil microflora, the processes of transformation of mineral and organic substances in the soil, their solubility, sediment formation, and accumulation of substances in the soil profile [14]. Each soil has a specific reaction of soil solution, on which the development of plants and the direction of soil formation depend. Most plants grow best in a weakly acidic or neutral reaction of the soil environment, so knowledge of the acidity and alkalinity of soils, and the sources of their formation are extremely necessary for studying the process of plant development [14].

As a result of the studies, it was found that the soils in the sample areas were acidic and slightly acidic. The highest indicator of the soil solution (pH 5.2) was recorded in plot No.1 (abandoned farmlands), where there was a predominant growth of *Equisetum arvense* L. From the scientific information, it is known that *Equisetum arvense* L. is a typical representative of the ecological group of acidophile plants, which are widespread on acidic (pH 4.5–5.5)

sod-podzolic soils [9]. *Plantago major* L., *Trifolium pratense* L. Growth was observed in trial area No.4 (mixed forest nodules). As a result of research, it was found that soils in this trial area also had a rather high acidity index (pH 5.4). According to the results obtained, it can be stated that *Plantago major* is a typical acidophile that grows on acidic (pH 4.5–5.5) sod-podzolic soils [9]. A medium acidic acidity index (pH 5.8) was noted in trial plot No.3 (area along the forest road), where a rapid increase in *Ranunculus repens* was recorded. It is known from literature sources that this species is a typical representative of the group of subacidophiles plants, which are widespread on weakly acidic (pH 5.5–6.5) soil [9]. In general, the results of the studies confirmed that the soils of natural biocenoses on which the diagnostic plant species were growing were acidic and medium acidic.

Determination of the humus content serves as one of the main parameters for assessing the physical and chemical properties of soils. Determination of the humus content shows the nature of the natural phytocenoses influence on the soil formation process. Depurative substances affect the development of soil properties, which determine its fertility, namely: improve water-physical properties, and thermal properties, increase the buffering capacity of the soil solution, and microbiological activity of the soil enriched with nitrogen and other elements of root nutrition of plant organisms [13].

The results of the studies showed that the humus content in the trial areas fluctuated within the limits (2.6–3.8%), which is generally typical for most soils of Drohobych. It is interesting to note that the highest humus index of 3.8% was in trial plot No.5 (abandoned farmland), where there was a rapid increase in *Urtica dioica* and *Arctium lappa*. The humus and nitrogen reserves in the soils of natural biocenoses are most concentrated in the upper 10 cm layer of soil, and are not constant, but change throughout the growing season. On trial plot No.5 (abandoned farmland), we established the highest nitrogen content (0.28%), which characterizes the degree of expression of the nitrification process and the provision of soil with mineral nitrogen. *Urtica dioica* and *Arctium lappa* are eunitrophil plants that grow on soils well supplied with mineral nitrogen [9].

A fairly high nitrogen content (0.24%) was noted in trial plot No.3, where a rapid increase in *Ranunculus repens* was recorded. It is known from literature sources that *Ranunculus repens* is a representative of the ecological group of nitrophilic plants that grow on soils sufficiently supplied with mineral nitrogen. Relatively low nitrogen content (0.13%) was found in trial plot No.4, where *Plantago major* L. The results of the research confirm the scientific information that *Plantago major* L. is a subnitrophil species, which is widespread on oligotrophic mineral nitrogen-poor (0.05–0.2%) soils [9].

In the course of the research, we established quantitative indicators of the organo-mineral elements contained in the soil, which come from the soil to plants in the form of organic and inorganic compounds. Their number primarily varies depending on the presence of the humus. The presence of phosphorus and potassium in the soil is especially important. In particular, mobile forms of phosphorus are important indicators of soil fertility. Closely related to it are the development of the root system, its absorption capacity for moisture and nutrients, and the intensity of photosynthesis. It is believed that the phosphorus content in parent rocks is one of the reasons for its different content in soils. The amount of gross phosphorus is lower in sod-podzolic soils, but increases in black soils [7]. As a result of the studies, it was found that the gross phosphorus content in the sample areas ranged from 0.05 to 0.14%. The phosphorus content (according to Kirsanov) was 45.4–63.6 mg/100 g of soil, in particular, phosphorus compounds were

more in low-humus soils. The potassium content (according to Kirsanov) in the study areas was within 33.6–57.4 mg/100 g of soil.

As a result of the studies, it was found that, in general, the soils of the sample areas are acidic and slightly acidic (pH from 5.1 to 6.4), weakly and medium humus (2.6–3.7% of humus), with a relatively average content of gross nitrogen (0.12–0.27%) and phosphorus (0.05–0.14%), relatively poor on K₂O and P₂O₅ in the upper horizon.

Consequently, a laboratory study of the physical and chemical indicators of soils showed that the diagnostic species of plants growing on the trial plots correspond to those environmental groups whose vital functions are closely correlated with certain factors of the soil environment. The dominance of certain species is associated with the chemical composition of the soil, because plants are sensitive to the content of macro- and microelements in the soil, and can serve as indicators in relation to the conditions of humidification, acidity, salinity, excess salt content, as well as the availability of nitrogen, calcium, magnesium, potassium and other nutrients in the soil. Diagnostic plant species confirmed the physicochemical characteristics of the soils on which they grew.

CONCLUSIONS

As a result of the studies, it was found that in selected trial areas where such diagnostic species as *Equisetum arvense* L., *Hepatica nobilis*, *Ranunculus repens*, *Plantago major* L., *Urtica dioica*, *Arctium lappa* grew, it is possible to pre-predict the physical and chemical properties of soils. In general, the vegetation was heterogeneous in terms of floristic features, the species were at different stages of their development. Diagnostic plant species confirmed the physicochemical characteristics of the soils on which they grew.

As a result of the studies, it was found that, in general, the soils of the sample areas are acidic and slightly acidic (pH from 5.1 to 6.4), weakly and medium humus (2.6–3.7% of humus), with a relatively average content of gross nitrogen (0.12–0.27%) and phosphorus (0.05–0.14%), relatively poor on K₂O and P₂O₅ in the upper horizon.

Indicator plants should be used to estimate both the soil cover state and the general state of the environment.

BIBLIOGRAPHY

1. Balashov L.S. Plants-indicators of excessive new flooding. *Ukrainian Botanical Journal*. 1989. 26. No. 6. P. 70–75.
2. Baliuk S.A, Kucher A.V. Spatial features of soil cover as a basis for sustainable development. *Ukrainian Geographical Journal*. 2019. No. 3. P. 3–14.
3. Sampling and soil samples preparation for agrochemical analysis: Methods of sampling and samples preparation for chemical, bacteriological, and helminthological analysis: DSTU17.4.4.02-84. Moscow : Standartinform, 2008. 8 p.
4. Hlukhov O.Z., Prokhorova S.I. Indication of the state of the technogenic environment by the morphological variability of plants. *Industrial botany*. 2008. Issue 8. P. 3–9.
5. Honcharenko I.V. Phytointication of anthropogenic load: monograph. Dnipro: Seredniak T.K., 2017. 127 p.
6. Hryhorchuk I.D. Use of plant bioindicators to estimate the soil toxicity in the territory of Kamianets-Podilskyi. *Biological systems*. Vol. 8 Iss. 2. 2016. P. 212–217.

7. Yeterevska L.V., Khrystynko A.O., Momot H.F., Kimova R.V. Evaluation of phosphate and potassium states of the whole, arable, and recultivated soils. *Bulletin of Agricultural Science*. 2019. Iss. No.5 (794). P. 62–68.
8. Ivaniuk T.M. Physical and chemical parameters of fresh sougrudes of the Polissia of Ukraine. *Scientific Bulletin of NFU of Ukraine*. 2013. Iss. 23.4. P. 40-44.
9. Krasnov V.P., Orlov O.O., Vedmid M.M. Atlas of plants-indicators and types of forest conditions of the Ukrainian Polissya Monograph. Novograd-Volynskyi, 2009. 488 p.
10. Moroz A.O. Physical and chemical methods of soil analysis. *Student Bulletin of the NUVGP*. Iss. 2(4). 2015. P. 54-57.
11. Pankiv Z.P. Problems of the genesis of sod-podzolic surface-glazed soils of Precarpathia. *Visnyk of Lviv University*. Geographical series. Issue 29. 2003. P. 210–213.
12. Pankiv Z.P., Malyk S.Z., Yamelynets T.S. Diagnostic criteria for elementary soil-forming processes in profile-differentiated soils of Precarpathia. *Agrochemistry and Soil Science*. Iss. 89. Kharkiv: National Research Center "IGA named after O.N. Sokolovsky". 2020. P. 34–40.
13. Popovych V.V. Study of the physical and chemical properties of soils and burnt rocks on the territories of the Novovolynskyi Mining and Industrial District. *Scientific Bulletin of NFU of Ukraine*. 2008. Iss. 18.12. P. 258–264.
14. Yaroshko M. Acidity of soils and its effect on plant nutrition. *Agronomist*. 2013. No. 1. P. 30-33.
15. Tao Y.e., Wu G.-L., Zhang Y.-M. Dune-scale distribution pattern of herbaceous plants and their relationship with environmental factors in a saline–alkali desert in Central Asia. *Sci Total Environ*. 2017. P. 473–480.
16. Cannon H.L. The use of plant indicators in ground water surveys, geologic mapping, and mineral prospecting. *Taxon*. 1971. Vol. 20(2-3) P.227–256.
17. Khan S.M., et al. Phyto-climatic gradient of vegetation and habitat specificity in the high elevation Western Himalayas. *Pak J Bot*. 2013. Vol. 45. P. 223–230.
18. Rasheed S., Khan S.M., Ahmad Z., Mustafa G., Haq Z.U., Shah H., et al. Ecological assessment and indicator species analyses of the Cholistan desert using multivariate statistical tools. *Pak J Bot/ 2022*. Vol. 54. P.28-30.
19. Hussain M., Khan S.M., Abd Allah E.F., Ul Haq Z., Alshahrani T.S., Alqarawi A.A., et al. Assessment of Plant communities and identification of indicator species of an ecotonal forest zone at durand line, district Kurram, Pakistan. *Appl Ecol Environ Res*. 2019. Vol.17(3). P. 6375–6396.

REFERENCES

1. Balashov L.S. (1989). Plants-indicators of excessive new flooding. *Ukrainian Botanical Journal*, 26, 6, 70–75 [in English].
2. Baliuk S.A, Kucher A.V. (2019). Spatial features of soil cover as a basis for sustainable development. *Ukrainian Geographical Journal*, 3, 3–14 [in English].
3. Sampling and soil samples preparation for agrochemical analysis: Methods of sampling and samples preparation for chemical, bacteriological, and helminthological analysis: DSTU17.4.4.02-84 (2008). Moscow : Standartinform [in English].
4. Hlukhov O.Z., Prokhorova S.I. (2008). Indication of the state of the technogenic environment by the morphological variability of plants. *Industrial botany*, 8, 3–9 [in English].
5. Honcharenko I.V. (2017). Phytoindication of anthropogenic load: monograph. Dnipro: Seredniak T.K., 2017. 127 [in English].
6. Hryhorchuk I.D. (2016). Use of plant bioindicators to estimate the soil toxicity in the territory of Kamianets-Podilskyi. *Biological systems*, Vol. 8, Iss. 2, 212–217 [in English].

7. Yeterevska L.V., Khrystynko A.O., Momot H.F., Kimova R.V. (2019). Evaluation of phosphate and potassium states of the whole, arable, and recultivated soils. *Bulletin of Agricultural Science*, 5 (794), 62–68 [in English].
8. Ivaniuk T.M. (2013). Physical and chemical parameters of fresh sougrudes of the Polissia of Ukraine. *Scientific Bulletin of NFU of Ukraine*, Iss. 23.4, 40-44 [in English].
9. Krasnov V.P., Orlov O.O., Vedmid M.M. (2009). Atlas of plants-indicators and types of forest conditions of the Ukrainian Polissya Monograph. Novograd-Volynskiy. 488 [in English].
10. Moroz A.O. (2015). Physical and chemical methods of soil analysis. *Student Bulletin of the NUVGP*, Iss. 2(4), 54-57 [in English].
11. Pankiv Z.P. (2003). Problems of the genesis of sod-podzolic surface-glazed soils of Precarpathia. *Visnyk of Lviv University. Geographical series*, Issue 29, 210–213 [in English].
12. Pankiv Z.P., Malyk S.Z., Yamelynets T.S. (2020). Diagnostic criteria for elementary soil-forming processes in profile-differentiated soils of Precarpathia. *Agrochemistry and Soil Science*. Iss. 89. Kharkiv: National Research Center "IGA named after O.N. Sokolovsky", 34–40 [in English].
13. Popovych V.V. (2008). Study of the physical and chemical properties of soils and burnt rocks on the territories of the Novovolynskiy Mining and Industrial District. *Scientific Bulletin of NFU of Ukraine*, Iss. 18.12, 258–264 [in English].
14. Yaroshko M. (2013). Acidity of soils and its effect on plant nutrition. *Agronomist*, No. 1, 30-33 [in English].
15. Tao Y.e., Wu G.-L., Zhang Y.-M. (2017). Dune-scale distribution pattern of herbaceous plants and their relationship with environmental factors in a saline–alkali desert in Central Asia. *Sci Total Environ*, 473–480 [in English].
16. Cannon H.L. (1971). The use of plant indicators in ground water surveys, geologic mapping, and mineral prospecting. *Taxon*, Vol. 20(2-3), 227–256 [in English].
17. Khan S.M., et al. (2013). Phyto-climatic gradient of vegetation and habitat specificity in the high elevation Western Himalayas. *Pak J Bot*, Vol. 45, 223–230 [in English].
18. Rasheed S., Khan S.M., Ahmad Z., Mustafa G., Haq Z.U., Shah H., et al. (2022). Ecological assessment and indicator species analyses of the Cholistan desert using multivariate statistical tools. *Pak J Bot*, Vol. 54, 28-30 [in English].
19. Hussain M., Khan S.M., Abd _Allah E.F., Ul Haq Z., Alshahrani T.S., Alqarawi A.A., et al. (2019). Assessment of Plant communities and identification of indicator species of an ecotonal forest zone at durand line, district Kurram, Pakistan. *Appl Ecol Environ Res*, Vol.17(3), 6375–6396 [in English].

АНОТАЦІЯ

ВПЛИВ ҐРУНТОВОГО СЕРЕДОВИЩА НА РІЗНОМАНІТНІСТЬ ДІАГНОСТИЧНИХ ДИКОРΟΣЛИХ ВИДІВ РОСЛИН

Серед важливих проблем сьогодення особливе місце належить дослідженням присвяченим ґрунтовому покриву. Ґрунт займає провідне місце в житті людини та виконує глобальні соціально-економічні функції. Життєдіяльність рослин тісно пов'язана з навколишнім середовищем, зокрема із ґрунтом, який забезпечує їх поживними речовинами, одночасно, рослини слугують індикаторами ґрунтів. За допомогою діагностичних видів рослин можна визначити характер ґрунту, спрогнозувати його фізико-хімічні властивості, зокрема вміст вологи, поживних речовин, солей, кислотність та ін. У свою чергу, фізико-хімічні властивості ґрунтів впливають на ріст і розвиток рослин, їх поширення. Особливо чітко виражені індикаторні властивості у дикорослих трав'янистих рослин.

Метою нашого дослідження було встановити залежність видового складу дикорослих рослин Передкарпаття від фізико-хімічних властивостей ґрунтового середовища.

Дослідження проводили на території Дрогобицького району в травні-серпні 2021–2022 рр. Проведення досліджень включало три основних етапи. На першому етапі було обрано пробні площі у фітоценозах з дикоростучою рослинністю (переважаючим зростанням діагностичних видів) та проведено визначення видової різноманітності. Пробні площі закладали з урахуванням зростання популяцій рослин-індикаторів природних біоценозів. На другому етапі на обраних пробних площах було відібрано зразки ґрунтів для досліджень. На третьому етапі досліджень було проведено визначення фізико-хімічних властивостей відібраних зразків ґрунту за апробованими методиками (гумус – за методом Тюріна; рН водної і сольової витяжки – потенціометрично; рухомий калій та фосфор – за методами Кірсанова).

У результаті досліджень встановлено, що загальний запас вологи в ґрунтах на пробних площах був достатнім і знаходився в межах 30,0–18,0%, в цілому ґрунти є кислі та слабокислі (рН від 5,1 до 6,4), слабо- та середньогумусовані (2,6–3,7% гумусу), з відносно середнім вмістом валового азоту (0,12–0,27%) та фосфору (0,05–0,14%), відносно бідні на K_2O та P_2O_5 у верхньому горизонті.

Лабораторне вивчення фізико-хімічних показників ґрунтів показало, що діагностичні види рослин, які зростали на пробних площах, відповідають тим екологічним групам, життєві функції яких тісно корелюють з певними чинниками ґрунтового середовища. Встановлені діагностичні види рослин, зокрема *Equisetum arvense* L., *Hepatica nobilis*, *Ranunculus repens*, *Plantago major* L., *Urtica dioica*, *Arctium lappa*, підтвердили фізико-хімічні показники ґрунтів, на яких вони зростали.

Отже, рослини-індикатори доцільно використовувати для оцінювання як загального стану навколишнього природного середовища, так і стану ґрунтового покриву.

Ключові слова: ґрунт, рослини-індикатори, ґрунтовий покрив, фізико-хімічні властивості.

Ігор Васильович Білинський,

доктор фізико-математичних наук, професор,
професор кафедри фізики та інформаційних систем
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна
професор кафедри фізики
Криворізький державний педагогічний університет, Україна
orcid.org/0000-0002-4221-9225, e-mail: iv.bilynskyi@gmail.com

Роман Ярославович Лешко,

кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри фізики та інформаційних систем
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна
orcid.org/0000-0002-9072-164X, e-mail: leshkoroman@gmail.com

Ольга Володимирівна Лешко,

вчитель біології та хімії СШ № 1, м. Трускавець, Україна
orcid.org/0000-0001-9646-3189, e-mail: leshkoolya9@gmail.com

Галина Ярославівна Бандура,

аспірантка кафедри фізики та інформаційних систем
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна
e-mail: galinka.bandura@gmail.com

Тарас Євстахович Шпитяк,

аспірант кафедри фізики та інформаційних систем
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна
e-mail: tasifacij@gmail.com

Володимир Олександрович Камінський,

аспірант кафедри фізики
Криворізький державний педагогічний університет, Україна
e-mail: kaminskyi.v.o@gmail.com

ВПЛИВ ОБМЕЖЕНИХ ТА ІНТЕРФЕЙСНИХ ФОНОНІВ НА МІЖЗОННЕ ПОГЛИНАННЯ СВІТЛА У КВАНТОВИХ ТОЧКАХ CdS

Досліджено вплив обмежених та інтерфейсних фононів на коефіцієнт екситонного поглинання поляризованого світла від його частоти для сферичних квантових точок CdS, які поміщені у діелектричну матрицю SiO₂. Враховано складну структуру валентної зони, а саме її виродження у точці Г, у моделі багатозонної ефективної маси. Обчислення проводились для різних температур (від гелієвих до кімнатних температур) і радіусів сферичної квантової точки гетероструктури CdS/SiO₂. Досліджувалися такі розміри квантових точок, коли енергетичні рівні електрона та дірки достатньо віддалені один від одного. Визначено параметр електрон-фононної взаємодії (фактор Хуанга-Ріса) для різних радіусів квантових точок. Обчислено коефіцієнти поглинання, що зумовлені переходами носіїв заряду між

найнижчими двома оптично активними рівнями у квантовій точці під впливом лінійно-поляризованого світла. Враховано дисперсію квантових точок за розмірами за допомогою розподілу Гауса. Максимальна дисперсія за розмірами становила 5%. Отримано на спектрах поглинання фононні повтори. Зроблено порівняння отриманих результатів із відповідними при врахуванні окремих гілок поляризаційних фононів.

Ключові слова: фактор Хуанга-Ріса, оптичні переходи, фонони, коефіцієнт поглинання..

ВСТУП

Сучасний розвиток напівпровідникових технологій дає змогу отримувати наногетеросистеми різної вимірності та високої якості. Отримано квазідвовимірні, квазіодновимірні та квазінульдовимірні системи – квантові точки (КТ). Саме останні демонструють значні перспективи у застосуванні їх у оптоелектроніці як джерела випромінювання білого світла та як детектори електромагнітного випромінювання. Змінюючи розміри КТ, можна налаштувати відповідний детектор на ту чи іншу довжину хвилі. Оскільки КТ мають дискретний спектр, то внаслідок поглинання електромагнітних хвиль можуть відбуватися переходи електрона між рівнями розмірного квантування (внутрізонні переходи) та між дозволеними відповідним рівнями валентної зони і зони провідності (міжзонні переходи). Останні і спричиняють у більшості випадків поглинання електромагнітних хвиль інфрачервоного та видимого діапазонів оптичного спектру [1-4].

Для отримання квантових точок, які поглинають або випромінюють електромагнітні хвилі видимої частини спектру необхідно використовувати широкозонні напівпровідники. Як правило, застосовують гетеросистеми з КТ на основі сполук A_2B_6 , A_3B_5 . Фізичні властивості таких напівпровідників значною мірою визначається поляризаційними коливаннями, їх впливом на енергію, часи релаксацій електронів, дірок, екситонів [5-13].

Електричні та оптичні властивості напівпровідникових наногетеросистем на основі сполук A_2B_6 інтенсивно досліджуються з огляду на значне коло різних застосувань. При зменшенні розмірів КТ значно змінюються властивості гетеросистеми через тривимірне квантове просторове обмеження електронів та дірок. Суттєва зміна властивостей досягається тоді, коли розміри нанокристалів стають співмірними або меншими за борівський радіус екситона [14, 15].

Крім зміни оптичних властивостей, зменшення розміру квантових точок часто спричиняє структурні зміни у просторовому розташуванні атомів всередині КТ. Відомо [16], що масивний кристал CdS характеризується стабільною гексагональною структурою аж до точки плавлення. Метастабільна кубічна фаза існує для тонких плівок, нанокристалічних порошків, колоїдних квантових точок [17-21]. Існування кубічної та гексагональної фаз в гетеросистемах з CdS досліджувалось в [22]. У роботі [23] проведено кількісний аналіз відносного об'єму зазначених фракцій CdS та зміну процентного складу КТ з кубічними та гексагональними фазами при відпалі. Зокрема, встановлено, що збільшення температури відпалу сприяє збільшенню кількості КТ з ґраткою типу вюрциту. Для температури відпалу 773K структура всіх КТ стає гексагональною.

У роботі [14, 17, 22] досліджено отримані КТ CdS методом хімічного осадження у воді та розчинах водорозчинних полімерів. Методом дифракції X-променів встановлено, що наночастинки, як правило (більше 80%) характеризуються кубічною симетрією.

Квантові точки CdS відзначаються ще однією особливістю. До цього часу однозначно не встановлено залежності величини екситон-фононної взаємодії від розмірів КТ у гетеросистемах зі сполуками A_2B_6 , зокрема у роботі [24] на основі аналізу раманівського

спектру наночастинок як кубічної, так і гексагональної фаз зроблено висновок про зменшення електрон-фононної взаємодії при зменшенні розмірів КТ. Аналогічні результати наведені в дослідженнях [23, 25]. Результати аналогічних вимірювань в гетеросистемах з КТ $\text{CdS}_x\text{Se}_{1-x}$ [26] та ZnSe [27] трактуються на основі протилежного висновку про електрон-фононну взаємодію – росту фактора Хуанга-Ріса при зменшенні розмірів КТ.

На основі викладеного вище, метою даної роботи є:

- визначення енергії екситона у КТ CdS ;
- дослідження впливу поляризаційних зарядів на екситонні стани;
- обчислення фактору Хуанга-Ріса для обмежених та інтерфейсних фононів.

МОДЕЛЬ ГЕТЕРОСИСТЕМИ

Розглядається наногетеросистема з сферичними квантовими точками широкозонного напівпровідника, які знаходяться у матриці з більшою забороненою зоною. Для дослідження спектрів поглинання та люмінесценції у видимій частині спектру необхідно обчислити енергію електрон-діркових пар КТ. Гамільтоніан пари двох зарядів, що взаємодіють між собою, має вигляд:

$$\hat{H}_{ex} = \hat{H}_e + \hat{H}_h + W. \quad (1)$$

У наближенні ефективної маси гамільтоніан електрона

$$\hat{H}_e = -\frac{\hbar^2}{2} \vec{\nabla} \frac{1}{m_e(\vec{r}_e)} \vec{\nabla} + V_e(\vec{r}_e), \quad (2)$$

де $V_e(\vec{r}_e) = \begin{cases} 0, & r_e \leq a \\ U_{0e}, & r_e > a \end{cases}$, $m_e(\vec{r}_e) = \begin{cases} m_1, & r_e \leq a \\ m_2, & r_e > a \end{cases}$, a – радіус квантової точки. Надалі

будемо досліджувати гетероструктури з КТ кристалу CdS кубічної фази, для якої в Γ -точці зони Брілюена характерне виродження зони важких та легких дірок. Відомо також, що енергія спін-орбітальної взаємодії в CdS ($\Delta_{so} = 70$ меВ) є малою у порівнянні із шириною забороненої зони $E_g = 2.56$ еВ. Якщо знехтувати спін-орбітальною взаємодією, то дірковий гамільтоніан можна представити формулою [28]:

$$\hat{H}_h = \frac{1}{2}(\gamma_1 + 4\gamma) \hat{\mathbf{p}}^2 - 3\gamma (\vec{\mathbf{p}} \vec{\mathbf{J}})^2 + U(r_h), \quad (3)$$

де $\vec{\mathbf{J}} = i\vec{\mathbf{J}}_x + j\vec{\mathbf{J}}_y + k\vec{\mathbf{J}}_z$ – оператор спінового моменту дірки $j = 1$, $\gamma_1, \gamma = 1/5(3\gamma_3 + 2\gamma_2)$ – параметри Латтінджера, які є характеристикою кристалу, тому є різними для КТ і матриці. Через них можна виразити масу важкої та легкої дірки кристалу:

$$m_{hh} = \frac{1}{\gamma_1 - 2\gamma}; \quad m_{lh} = \frac{1}{\gamma_1 + 2\gamma}. \quad (4)$$

Потенціал обмеження для дірки, як і для електрона, вибрано у вигляді прямокутного потенціального бар'єру:

$$U(r_h) = \begin{cases} 0, & r_h \leq a, \\ U_{0h}, & r_h > a. \end{cases} \quad (5)$$

Зважаючи на малу різницю між діелектричними проникливостями КТ та матриці, взаємодію між електроном та діркою врахуємо через кулонівський потенціал

$$W = -\frac{e^2}{\varepsilon|\vec{r}_e - \vec{r}_h|}, \text{ де } \varepsilon - \text{діелектрична проникність кристалу CdS.}$$

ЕЛЕКТРОННІ, ДІРКОВІ ТА ЕКСИТОННІ СТАНИ

Для знаходження екситонних станів спочатку було визначено електронні і діркові стани окремо. Хвильову функцію електрона, визначено на основі розв'язку рівняння Шредінгера з гамільтоніаном (2). Її подано у вигляді добутку радіальної складової, яка виражається сферичними функціями Бесселя першого роду і модифікованими сферичними функціями Бесселя другого роду та кутовою частиною (сферичні гармоніки):

$$\Psi_{e,n,l,m}(\vec{r}_e) = R_{e,n,l}(r_e) Y_{l,m}(\Omega_e) = \begin{cases} A_{n,l} j_l(k_{n,l} r_e / a), & r \leq a \\ B_{n,l} k_l(x_{n,l} r_e / a), & r > a \end{cases} \times Y_{l,m}(\Omega_e), \quad (6)$$

де $k_{n,l} = a\sqrt{2m_{e1}^* E_{e,n,l}}$, $x_{n,l} = a\sqrt{2m_{e2}^* (U_0 - E_{e,n,l})}$. Енергія електрона $E_{e,n,l}$ та константи $A_{n,l}$, $B_{n,l}$ знайдено з граничних умов (неперервності хвильової функції і потоку густини ймовірності на межі КТ) та умови нормування. Тут l – орбітальне квантове число, m – магнітне квантове число ($-l \leq m \leq l$), n – номер розв'язку дисперсійного рівняння при заданому l .

Хвильову функцію, що є розв'язком рівняння Шредінгера для дірки з гамільтоніаном (3) у сферично-симетричному полі, можна задати добутком власних функцій оператора повного моменту імпульсу $\vec{\hat{F}} = \vec{\hat{L}}_h + \vec{\hat{J}}$ і радіальних функцій. Існують три типи станів [29-30]:

$$\begin{cases} \Psi_{f,M}^{f-1,f+1}(r_h, \theta_h, \varphi_h) = R_f^{f-1}(r_h) \Phi_{f,M}^{f-1}(\Omega_h) + R_f^{f+1}(r_h) \Phi_{f,M}^{f+1}(\Omega_h), & f \geq 1; \quad l_h = f-1, f+1; \\ \Psi_{f,M}^f(r_h, \theta_h, \varphi_h) = R_f^f(r_h) \Phi_{f,M}^f(\Omega_h), & f \geq 1; \quad l_h = f; \\ \Psi_{0,0}^1(r_h, \theta_h, \varphi_h) = R_0^1(r_h) \Phi_{0,0}^1(\Omega_h), & f = 0; \quad l_h = 1, \end{cases} \quad (7)$$

де введено спінори, що відповідають спіну дірки $j = 1$:

$$\Phi_{f,M}^{l_h}(\Omega_h) = \sum_{m_h=-l_h}^{l_h} \sum_{m_j=-j}^j C_{l_h, m_h; j, m_j}^{f, M} Y_{l_h, m_h}(\Omega_h) \chi_{h, m_j}, \quad (8)$$

$f(f+1)$, $l_h(l_h+1)$, M , m_h , m_j у вибраній системі одиниць є власними значеннями операторів $\hat{\hat{F}}^2$, $\hat{\hat{L}}_h^2$, $\hat{\hat{F}}_z$, $\hat{\hat{L}}_z$, $\hat{\hat{J}}_z$ для дірки відповідно, χ_{h, m_j} – трикомпонентні спінові функції дірки, Y_{l_h, m_h} – сферичні гармоніки, які є власними функціями оператора $\hat{\hat{L}}_h^2$. Тут також використано коефіцієнти Клебша-Жордана $C_{l_h, m_h; j, m_j}^{f, M}$.

Якщо ж знехтувати складною структурою валентної зони і вважати, що дірка характеризується однією масою $m_{lh} = m_{hh} \equiv m_h^*$, тоді з (4) випливає, що $\gamma_1 = 1/m_h^*$, $\gamma = 0$. За цих умов розв'язки рівняння Шредінгера з гамільтоніаном (3) можна подати у вигляді:

$$\Psi_{h; n_h, l_h, m_h}(\vec{r}_h) = R_{h; n_h, l_h}(r_h) Y_{l_h, m_h}(\Omega_h). \quad (9)$$

На основі поданих формул проведено обчислення енергетичного спектру електрона та дірки гетероструктури CdS/SiO₂ з урахуванням складної структури валентної зони

та нехтуючи нею. Для обчислень використано такі параметри гетеросистеми [31-33]: CdS – $\gamma_1 = 1.71$, $\gamma = 0.62$, $\varepsilon = 5.5$; SiO₂ – $\gamma_1 = 4.22$, $\gamma = 0.39$, $\varepsilon = 3$; $m_1^* = 0.2$, $m_{hh} = 2.128$, $m_h = 0.339$, $E_g = 2.56$ eV, $U_{0e} = 2.7$ eV, $U_{0h} = 4$ eV.

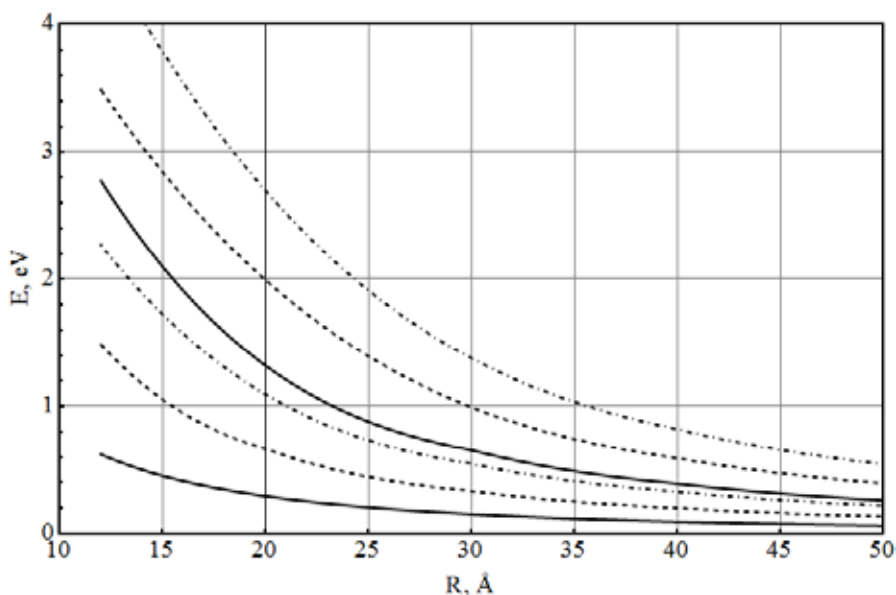


Рис. 1. Енергія електрона у сферичній КТ. Енергію s-станів позначено суцільними кривими, p-станів – штриховими, d-станів – штрих-пунктирними

На рисунку 1 подано залежності енергії електрона від радіуса КТ для основного та декількох збуджених станів.

Видно, що збільшення радіуса КТ супроводжується монотонним зниженням енергії всіх станів електрона. При малих радіусах $R < 25 \text{ \AA}$ відстань між основним та збудженими станами стає більшою за енергію повздовжнього поляризаційного фонуна кристалу CdS, що можна врахувати при дослідженні електрон(екситон)-фонуноної системи гетероструктури.

Аналогічні обчислення енергії проведено і для діркових станів (рис. 2). Кривою hh позначено енергію основного стану дірки, якщо знехтувати складною структурою валентної зони і в однозонному наближенні вважати, що маса дірки дорівнює масі важкої дірки, тобто $m_h^* = 2.128$. Відповідно крива hh – аналогічна енергія основного стану дірки за умови, що $m_h^* = 0.339$. Якщо ж врахувати складну структуру валентної зони, то енергію дірки зображено кривими 1–4. Енергія, що позначена кривою 1, відповідає найменшій енергії 1p-стану $\psi_{1,M}^1(r_h, \theta_h, \varphi_h)$ ($f = 1, l_h = 1, n_f = 1$), крива 2 – найменшій енергії змішаного 1sd-стану $\psi_{1,M}^{0,2}(r_h, \theta_h, \varphi_h)$ ($f = 1, l_h = 0, 2, n_f = 1$), крива 3 – 1d-стану $\psi_{2,M}^2(r_h, \theta_h, \varphi_h)$ ($f = 2, l_h = 2, n_f = 1$); крива 4 – змішаному 1pf-стану $\psi_{2,M}^{1,3}(r_h, \theta_h, \varphi_h)$ ($f = 2, l_h = 1, 3, n_f = 1$). Тут n_f – номер розв'язку відповідного дисперсійного рівняння для конкретного стану дірки. Якщо ввести підгоночне значення ефективної маси дірки $m_h^* = (m_{hh} + m_h) / 2 = 1.07$, то в однозонному наближенні енергія дірки зобразиться точковими кривими.

З рисунка 2 видно, що підбором ефективної маси дірки можна добитись досить доброї збіжності енергії основного стану частинки в однозонному та багатозонному наближеннях. Проте, різниця для збуджених станів у цих підходах стає досить значною. Отже, послідовна теорія, яка враховує існування всіх діркових станів, повинна ґрунтуватися лише на багатозонній моделі напівпровідника CdS.

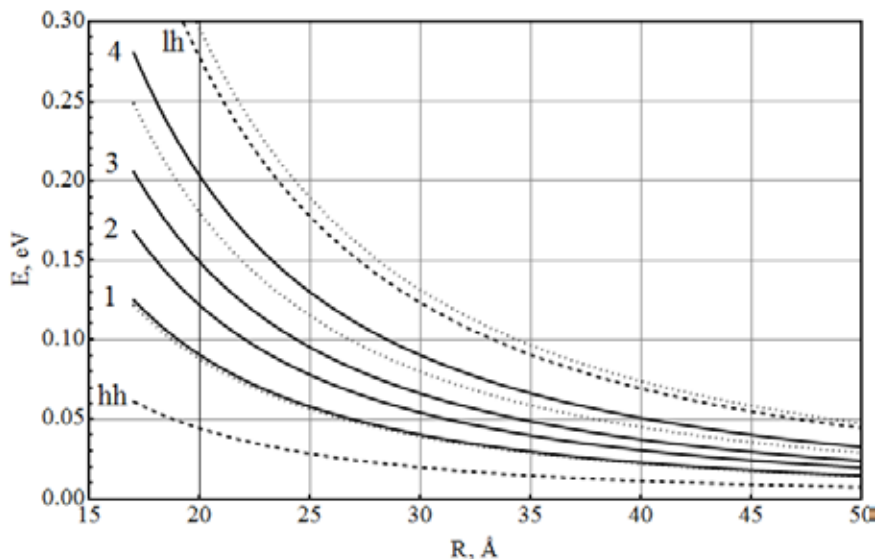


Рис. 2. Енергія дірки з урахуванням складної структури валентної зони (суцільні криві), та нехтуючи нею (штрихові криві)

Для обчислення хвильової функції та енергії електрон-діркової пари (екситона) для найнижчих станів використано теорію збурень. Хвильову функцію електрона в 1s-стані ($l = 0, n = 1, m = 0$) записано у такій формі:

$$\Psi_{e;1,0,0}(\vec{r}_e) = R_{e;1,0}(r_e) Y_{0,0}(\Omega_e), \quad (10)$$

а для дірки у 1sd-стані з квантовими числами ($f = 1, l_h = 0, 2, n_f = 1, M = 0, \pm 1$) хвильова функція має такий вигляд:

$$\Psi_{1,M}^{0,2}(r_h, \theta_h, \varphi_h) = R_1^0(r_h) \Phi_{1,M}^0(\Omega_h) + R_1^2(r_h) \Phi_{1,M}^2(\Omega_h). \quad (11)$$

Тоді для малих розмірів КТ хвильову функцію електрон-діркової пари (ЕДП) можна подати у вигляді добутку електронної та діркової функцій:

$$\Psi_M(\vec{r}_e, \vec{r}_h) = \Psi_e(\vec{r}_e) \Psi_{1,M}^{0,2}(r_h, \theta_h, \varphi_h). \quad (12)$$

Енергія електрон-діркової пари без врахування кулонівської та обмінної взаємодії є 3-кратно виродженою за квантовим числом M . Тому для знаходження повної енергії екситона та відповідних хвильових функцій використано теорію збурень для вироджених станів. Хвильову функцію екситона нульового наближення вибрано у вигляді лінійної комбінації функцій (12):

$$\Psi_{ex} = \sum_M C_M \Psi_M(\vec{r}_e, \vec{r}_h). \quad (13)$$

Підстановкою (13) у (1) можна отримати систему рівнянь:

$$\sum_M C_M \left\{ (E_e^0 + E_h^0 + E_g - E_{ex}) \delta_{M'M} + \langle \Psi_{M'}^+ | W | \Psi_M \rangle \right\} = 0. \quad (14)$$

Обчислення кулонівського матричного елемента для зазначених вище квантових чисел дає результат:

$$\langle \Psi_{M'}(\vec{r}_e, \vec{r}_h) | W | \Psi_M(\vec{r}_e, \vec{r}_h) \rangle = -\frac{1}{\varepsilon_1} \delta_{M',M} Q_{M',M} I_{02} - \frac{\mu_1 - \mu_2}{\mu_1 \mu_2} \frac{1}{a} \delta_{M',M} Q_{M',M} = K \delta_{M',M} Q_{M',M}, \quad (15)$$

де $Q_{M',M} = \delta_{M',M}$ тільки для $-1 \leq (M', M) \leq 1$, що і виконується у цьому випадку,

$$K = -\frac{1}{\varepsilon_1} I_{02} - \frac{\mu_1 - \mu_2}{\mu_1 \mu_2} \frac{1}{a}, \quad (16)$$

$$I_{02} = \int dr_h dr_e r_e^2 r_h^2 |R_{e,1,0}(r_e)|^2 \left(|R_1^0(r_h)|^2 + |R_1^2(r_h)|^2 \right) \begin{cases} \frac{1}{r_e}, & r_h < r_e, \\ \frac{1}{r_h}, & r_h > r_e. \end{cases} \quad (17)$$

Аналогічні обчислення проведено для випадку, коли електрон e в $1s$ -стані, а дірка у $1p$ -стані з квантовими числами ($f = 1, l_h = 1, n_f = 1, M = 0, \pm 1$):

$$\Psi_{1,M}^1(r_h, \theta_h, \varphi_h) = R_1^1(r_h) \Phi_{1,M}^1(\Omega_h). \quad (18)$$

Враховуючи усі знайдені матричні елементи, отримано енергію основного та збудженого станів ЕДП.

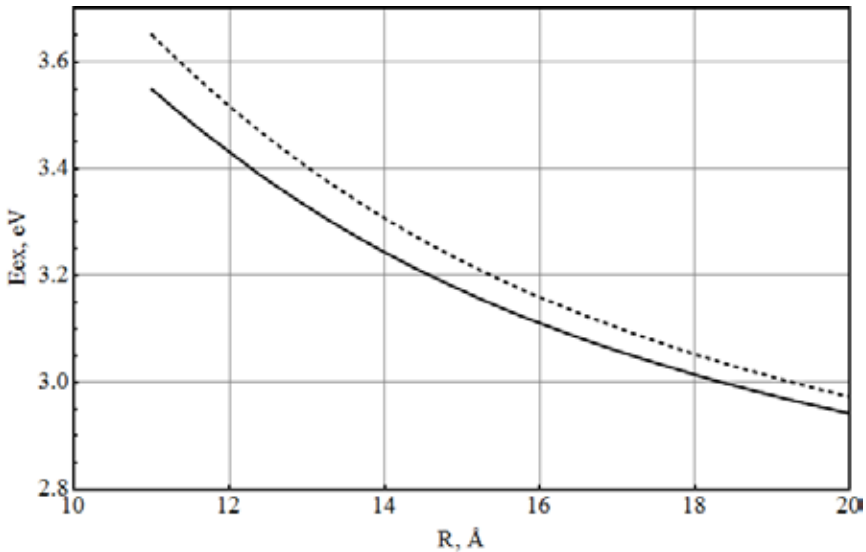


Рис. 3. Енергія ЕДП у КТ

На рисунку 3 подано результати обчислень основного та збудженого стану електрон-діркової пари. Видно що в області малих розмірів КТ $R < 20 \text{ \AA}$ відстань між енергетичними рівнями екситона стає більшою за енергію оптичного фонона кристалу CdS. У цій області розмірів квантових точок при врахуванні впливу поляризаційних фононів на екситонні стани можна скористатись адіабатичним наближенням.

ВПЛИВ ПОЛЯРИЗАЦІЙНИХ КОЛИВАНЬ НА ЕНЕРГІЮ ЕКСИТОНА

Гамільтоніан електрон-діркової пари (екситона) та фононої системи у квантовій точці:

$$\widehat{H} = \widehat{H}_{ex} + \widehat{H}_{ph} + \widehat{H}_{int}, \quad (19)$$

де $\widehat{H}_{ex} = \sum_{nm'} E_{nm'} a_{nm'}^+ a_{nm'}$, $\widehat{H}_{ph} = \sum_{slm} \Omega_{slm} b_{slm}^+ b_{slm}$ – оператори ЕДП та поляризаційних фононів, відповідно $\widehat{H}_{int} = \sum \Phi_{n_1 n_1'}^{n_2 n_2'}(slm) a_{n_2 n_2'}^+ a_{n_1 n_1'} (b_{slm}^+ + b_{sl-m})$ – оператор взаємодії поляризаційних фононів з ЕДП; $a_{nm'}^+ (a_{nm'})$ – оператор народження (знищення) електрон-діркової пари, коли електрон перебуває у стані n , а дірка – у стані n' , енергія пари – $E_{nm'}$; $b_{slm}^+ (b_{slm})$ – оператор народження (знищення) фонона вітки s з орбітальним та азимутними квантовими числами l і m , енергія якого Ω_{slm} , $\Phi_{n_1 n_1'}^{n_2 n_2'}(slm)$ – функція зв'язку фонона з електрон-дірковою парою.

Запишемо оператор взаємодії у вигляді суми:

$$\widehat{H}_{int} = \widehat{H}_{int}^{(0)} + \widehat{H}_{int}^{(1)}. \quad (20)$$

Перший доданок не враховує міжрівневі переходи ЕДП через взаємодію електрон-діркової пари з фононами:

$$\widehat{H}_{int}^{(0)} = \sum_{\substack{n_1 n_1' \\ slm}} \Phi_{n_1 n_1'}^{n_1 n_1'}(slm) a_{n_1 n_1'}^+ a_{n_1 n_1'} (b_{sl-m}^+ + b_{slm}), \quad (21)$$

а другий доданок важливий при малих міжрівневих відстанях, таких, що $\Delta E_{nm'} \leq \Omega_{slm}$:

$$\widehat{H}_{int}^{(1)} = \sum_{\substack{n_1 n_2 (n_1 \neq n_2) \\ n_1' n_2' (n_1' \neq n_2') \\ slm}} \Phi_{n_1 n_1'}^{n_2 n_2'}(slm) a_{n_2 n_2'}^+ a_{n_1 n_1'} (b_{sl-m}^+ + b_{slm}). \quad (22)$$

Надалі будемо досліджувати КТ малих розмірів, тому основним буде оператор (21), а другий доданок вважаємо малою поправкою. Зручно ввести позначення: $slm = m$, $n_1 m_1 = n$, $\Phi_{n_1 n_1'}^{n_1 n_1'}(slm) = \Phi(n, m)$.

Гамільтоніан (9) з оператором (21) можна спростити за допомогою унітарного перетворення, переходячи від бозонних операторів $a_{nm'}$, b_m до нових бозонних операторів A_n , β_m :

$$S = \exp \left\{ \sum_{nm} A_n^+ A_n (\Lambda_{nm}^* \beta_m^+ - \Lambda_{nm} \beta_{-m}) \right\}, \quad b_m = S \beta_m S^+, \quad \beta_m = S^{-1} b_m S,$$

де $\Lambda_{nm} = \frac{\Phi(n, m)}{\Omega_m}$. Можна довести, що

$$b_m = \beta_m \sum_n \Lambda_{nm} A_n^+ A_n, \quad a_n^+ = \exp \left\{ - \sum_m \left(\Lambda_{nm}^* \beta_m^+ - \Lambda_{nm} \beta_m \right) \right\} A_n \equiv e^{-\hat{\sigma}} A_n.$$

Для малих концентрацій електрон-діркових пар в системі отримуємо, гамільтоніан екситон-фононої системи у вигляді:

$$\hat{H} = \sum_n \tilde{E}_n A_n^+ A_n + \sum_m \Omega_m \beta_m^+ \beta_m, \quad (23)$$

де $\tilde{E}_n = E_n - \sum_m \Lambda_{nm}^2 \Omega_m$ – перенормована взаємодією з фононами енергія екситона.

Діелектрична проникність гетеросистеми виражається через Фур'є-образ загаяної функції Гріна [34]:

$$\varepsilon(\tilde{\omega}) = \tilde{\varepsilon}_0 - \frac{4\pi\omega_n d^2 N_{KT}}{d_{ez}} G_n(\tilde{\omega}), \quad (24)$$

де $\tilde{\omega} = \omega + i\eta$, $\eta \rightarrow 0$, $\vec{d} = e \langle n | \vec{r} | 0 \rangle$ – дипольний момент переходу, N_{KT} – концентрація КТ, $\tilde{\varepsilon}_0$ – діелектрична проникність, зумовлена іншими збудженими станами, $G_n(\tilde{\omega}) = \frac{1}{\hbar} \int e^{i\tilde{\omega}t} \langle \langle a_n(t), a^+(0) \rangle \rangle dt$, $\langle \langle a_n(t), a^+(0) \rangle \rangle = G_n(t) = -i\Theta(t) S_p \{ \rho_0 [a_n(t), a^+(0)] \}$.

У функції Гріна усереднення ведеться за вакуумним станом електрон-діркової пари та розподілом Гібса фононої підсистеми $\rho_0 = \frac{1}{Z} e^{-\frac{\hat{H}_{ph}}{k_B T}}$. Оператори $a_n(t)$ та $a_n(0)$ можна виразити через оператори A_n і β_n :

$$a_n(t) = e^{\frac{i}{\hbar} H t} a_n(0) e^{-\frac{i}{\hbar} H t} = e^{-\hat{\sigma}(t)} e^{-\frac{i}{\hbar} \tilde{E}_n t} A_n, \quad a_n(0) = e^{\hat{\sigma}(0)} A_n^+,$$

де

$$\hat{\sigma}(t) = \sum_m \left(\Lambda_{nm}^* e^{\frac{i}{\hbar} \Omega_m t} \beta_m^+ - \Lambda_{nm} e^{-\frac{i}{\hbar} \Omega_m t} \beta_m \right).$$

Тоді функція Гріна екситон-фононої системи буде мати вигляд:

$$G_n(t) = -i\Theta(t) \langle e^{-\hat{\sigma}(t)} e^{\hat{\sigma}(0)} \rangle \exp \left(-\frac{i}{\hbar} \tilde{E}_n t \right). \quad (25)$$

Використовуючи тотожності для добутку експонент від бозонних операторів, отримуємо

$$\langle e^{-\hat{\sigma}(t)} e^{\hat{\sigma}(0)} \rangle = \exp \left\{ \sum_m \left[|\Lambda_{nm}|^2 e^{-\frac{i}{\hbar} \Omega_m t} (\bar{v}_m + 1) + |\Lambda_{nm}|^2 e^{\frac{i}{\hbar} \Omega_m t} \bar{v}_m - |\Lambda_{nm}|^2 (2\bar{v}_m + 1) \right] \right\} \equiv e^{g(t)},$$

де $\bar{v}_m = \frac{1}{e^{\frac{\Omega_m}{k_B T}} - 1}$ – середнє число фононів з енергією Ω_m при температурі системи T .

Отже, фур'є-образ функції Гріна дорівнює:

$$G_n(\tilde{\omega}) = -\frac{i}{\hbar} \int_0^{\infty} \exp\left\{i\left[\omega - \frac{1}{\hbar}\tilde{E}_n + i\eta\right]t + g(t)\right\} dt. \quad (26)$$

Параметр η формально враховує процеси екситонної релаксації. Надалі функцію $g(t)$ варто надалі записати так:

$$g(t) = -g_0 + \sum_m |\Lambda_{nm}|^2 \left((\bar{v}_m + 1) e^{-\frac{i}{\hbar}\Omega_m t} + \bar{v}_m e^{\frac{i}{\hbar}\Omega_m t} \right),$$

$$\text{де } g_0 = \sum_m |\Lambda_{nm}|^2 (2\bar{v}_m + 1).$$

Функцію Гріна (26) ЕДП можна подати в іншому вигляді:

$$G_n(\tilde{\omega}) = -\frac{i}{\hbar} e^{-g_0} \int_0^{\infty} \sum_{k,l} \frac{1}{k!!l!!} e^{i\left(\omega - \frac{1}{\hbar}\tilde{E}_n + i\eta\right)t} \left(\sum_m |\Lambda_{nm}|^2 (\bar{v}_m + 1) e^{-\frac{i}{\hbar}\Omega_m t} \right)^k \left(\sum_m |\Lambda_{nm}|^2 \bar{v}_m e^{\frac{i}{\hbar}\Omega_m t} \right)^l dt. \quad (27)$$

Для однієї гілки фононів, енергія яких не залежить від квантових чисел (обмежені фонони) вираз для $G_n(\omega)$ спрощується:

$$G_n(\tilde{\omega}) = e^{-g_0} \sum_p e^{-\frac{\Omega_0 p}{2k_B T}} \frac{1}{\hbar\omega - \tilde{E}_n - \Omega_0 p + i\eta\hbar} I_p \left(2 \sum_m |\Lambda_{nm}|^2 \sqrt{\bar{v}_0(\bar{v}_0 + 1)} \right), \quad (28)$$

$$\text{де } I_p(z) = \sum_{l=0}^{\infty} \frac{(z/2)^{2l+p}}{l!(l+p)!} - \text{функція Бесселя, } \Omega_0 \equiv \Omega_L = \hbar\omega_L - \text{енергія обмежених}$$

фононів, $p = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$, $p+l \geq 0$.

Інтерфейсні фонони характеризуються залежною від орбітального квантового числа енергією (частотою). Для визначення енергії інтерфейсних фононів необхідно розв'язати дисперсійне рівняння [35]:

$$l \cdot \varepsilon_0(\omega) + (l+1) \cdot \varepsilon_1(\omega) = 0,$$

$$\text{де } \varepsilon_l(\omega) = \varepsilon_{i\infty} \frac{\omega^2 - \omega_{lL}^2}{\omega^2 - \omega_{lT}^2}. \text{ Врахування цих фононів у функції Гріна потребує}$$

використання формул (26-27).

Функція екситон-фононної взаємодії для обмежених фононів визначається формулою:

$$\Phi(s_0 l m) = \sqrt{\frac{4\pi\Omega_L e^2}{a^3} \left(\frac{1}{\varepsilon_{\infty}} - \frac{1}{\varepsilon_0} \right)} \frac{1}{k_{s_0} |j_{l-1}(k_{s_0} a)|} \times F(s_0 l m), \quad (29)$$

$$\text{де } F(s_0 l m) = \int |\Psi_{ex}|^2 \left(j_l(k_{s_0} r_h) Y_{lm}(\vartheta_h, \varphi_h) - j_l(k_{s_0} r_e) Y_{lm}(\vartheta_e, \varphi_e) \right) d\vec{r}_e d\vec{r}_h, \quad k_{s_0} = \frac{s_0}{a}, \quad s_0 -$$

номер розв'язку рівняння $j_l(k_{s_0} a) = 0$.

Функція взаємодії екситона з інтерфейсними поляризаційними фононами має вигляд:

$$\Phi(slm) = \left(\frac{1}{\sqrt{4\pi}} \delta_{l=0} \delta_{m=0} \right) \cdot (F_{lm}^{f_e} (\text{електрона}) - F_{lm}^{f_h} (\text{дірки})), \quad (30)$$

$$\text{де } (F_l^s)_{\rho_1 l_1}^{\rho_2 l_2} = e \sqrt{\frac{2\pi\Omega_{ls}}{r_0 Y_{ls}}} \left(\int_0^{r_0} R_{\rho_2 l_2}^{0*}(r) R_{\rho_1 l_1}^0(r) \left(\frac{r}{r_0}\right)^l r^2 dr + \int_{r_0}^{\infty} R_{\rho_2 l_2}^{1*}(r) R_{\rho_1 l_1}^1(r) \left(\frac{r_0}{r}\right)^{l+1} r^2 dr \right),$$

$$Y_{ls} = \frac{l(\varepsilon_{00} - \varepsilon_{0\infty})}{\left(\frac{\Omega_l^s}{\Omega_{T0}} - \frac{\Omega_{T0}}{\Omega_l^s}\right)} + \frac{(l+1)(\varepsilon_{10} - \varepsilon_{1\infty})}{\left(\frac{\Omega_l^s}{\Omega_{T1}} - \frac{\Omega_{T1}}{\Omega_l^s}\right)}.$$

Функцію Гріна екситон-фононої системи для обмежених фононів можна подати формулою:

$$G_{очн}(\tilde{\omega}) = e^{-g_0} \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{-\frac{\Omega_0}{2k_B T} n} I_n \left(2 \sum_{s_0 l m} \frac{|\Phi_0(s_0 l m)|^2}{\Omega_0^2} \sqrt{\bar{\nu}_0(\bar{\nu}_0 + 1)} \right) \frac{1}{\hbar\omega - E_{ex}^0 + \Omega_0 \sum_{s_0 l m} \frac{|\Phi_0(s_0 l m)|^2}{\Omega_0^2} - n\Omega_0 + i\eta\hbar},$$

де

$$g_0 = \sum_{s_0 l m} \frac{|\Phi_0(s_0 l m)|^2}{\Omega_0^2} (2\bar{\nu}_0 + 1) = g_{H-R} (2\bar{\nu}_0 + 1), \quad (31)$$

а

$$g_{H-R}^o = \sum_{s_0 l m} \frac{|\Phi_0(s_0 l m)|^2}{\Omega_0^2} - \text{фактор Хуанга-Ріса (ФХР)}. \quad (32)$$

Аналогічний коефіцієнт для інтерфейсних фононів має вигляд: $g_{H-R}^i = \sum_{s_0 l m} \frac{|\Phi_i(slm)|^2}{\Omega_{sl}^2}$, де s – номер гілки інтерфейсних фононів.

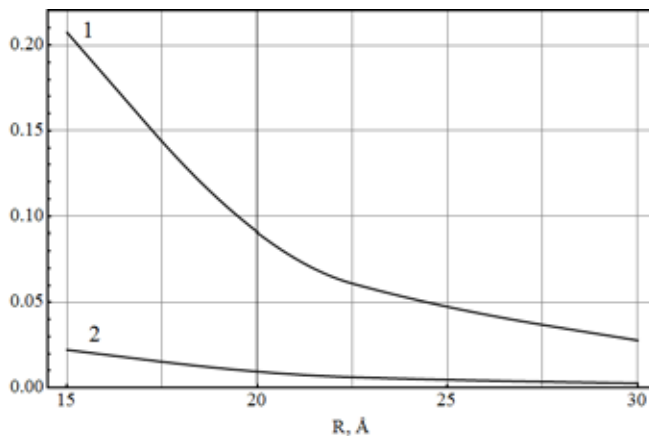


Рис. 4. Фактор Хуанга-Ріса як функція радіуса КТ для різних фононних гілок: 1 – g_{H-R}^o , 2 – g_{H-R}^i

Коефіцієнти g_{H-R}^o і g_{H-R}^i задають величину екситон-фононної взаємодії обмежених та інтерфейсних поляризаційних фононів. ФХР визначають внесок фононних гілок екситонного поглинання та значення перенормованої енергії екситона, що зумовлена екситон-фононною взаємодією. Результат проведених нами обчислень подано на рисунку 4. Видно, що для обох типів фононних гілок ФХР гетеросистеми CdS/SiO₂ зі зменшенням радіусу КТ монотонно зростає, що однозначно можна трактувати як підсилення екситон-фононної взаємодії у гетеросистемі CdS/SiO₂.

ЕКСИТОННЕ ПОГЛИНАННЯ СВІТЛА У ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ

Повертаючись до формул (26)–(31), можна визначити коефіцієнт екситонного поглинання світла:

$$\alpha(\omega) = \text{Im} \varepsilon(\omega). \quad (33)$$

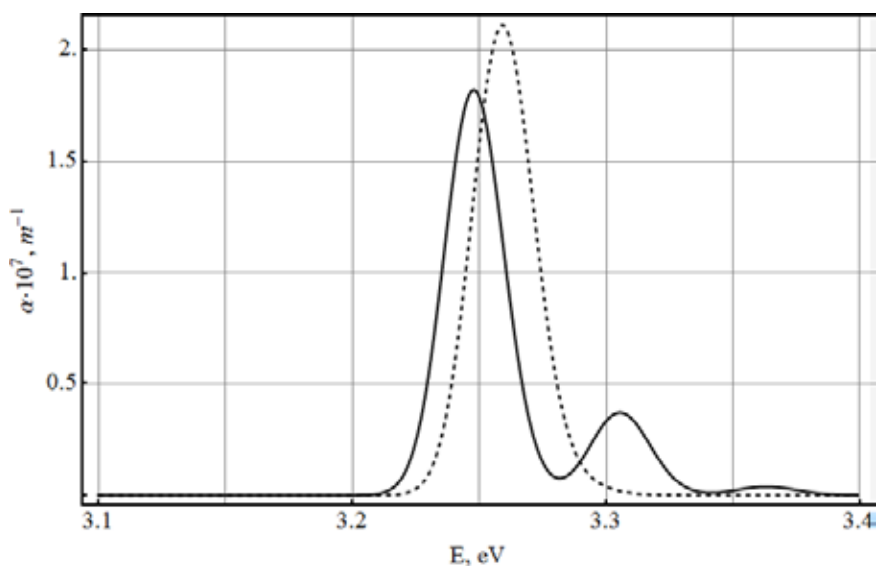


Рис. 5. Коефіцієнт екситонного поглинання світла із врахуванням тільки обмежених фононів (суцільна) при $T=4.2\text{K}$, $\sigma=1\%$ та лише інтерфейсних фононів (штрихова крива)

У цих формулах зроблено припущення, що всі КТ однакові за розміром, що яка б методика вирощування наногетеросистеми не використовувалася, завжди сукупність КТ у матриці характеризується дисперсією за розмірами. Будемо вважати, що розподіл КТ за розмірами апроксимується функцією Гауса:

$$g(\xi, \bar{a}, a) = \frac{1}{\zeta\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(a-\bar{a})^2}{2\zeta^2}\right), \quad (34)$$

де a – радіус будь-якої КТ (змінна величина), ζ – півширина розподілу. Для характеристики дисперсій за розмірами КТ зручно ввести параметр $\sigma = \frac{\zeta}{a} \cdot 100\%$.

На рисунку 5 подано коефіцієнт поглинання, отриманий з формули (33) при середньому радіусі КТ $\bar{a} = 1.5 \text{ нм}$. Вважаємо, що $T = 4.2 \text{ К}$. В області енергії переходу із врахуванням обмежених фононів є три піки поглинання: один із них зумовлений переходами носіїв заряду між оптично активними рівнями у КТ (безфононна смуга), а інші виникають завдяки електрон-фононній взаємодії і є фононними повторами. У випадку врахування взаємодії екситонів із інтерфейсними фононами (штрихова крива) фононних повторів не видно через меншу величину екситон-фононної взаємодії.

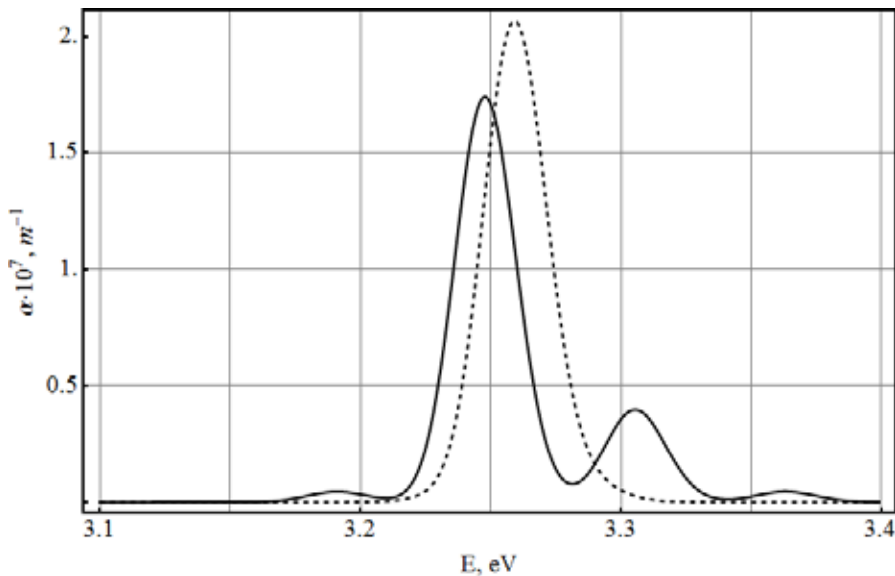


Рис. 6. Коефіцієнт поглинання світла за умови, що $T=300\text{К}$, $\sigma=1\%$: суцільна крива – внесок обмежених фононів, штрихова – внесок екситонних інтерфейсних фононів

Бачимо, що для обох випадків (врахування обмежених та інтерфейсних фононів) поглинання світла відбувається при тих самих значеннях енергії екситона ($\Delta E = 10 \text{ meV}$). Деяке зміщення піків поглинання пов'язано із відмінністю між факторами Хуанга-Ріса для обох цих випадків (рисунк 4), що веде до різниці між енергіями перенормування екситонів взаємодією в різних гілках поляризаційних фононів.

При дослідженні коефіцієнтів поглинання міжзонних оптичних переходів важливим фактором є температура, при якій відбувається перехід. На рис. 6 зображено коефіцієнт поглинання світла при міжзонних переходах носія заряду у тій же моделі при кімнатній температурі ($T = 300 \text{ К}$). Порівнюючи залежності коефіцієнта поглинання від частоти світла при гелієвих температурах ($T = 4.2 \text{ К}$), відзначаємо «появу» додаткового фононного повтору зліва від безфононного максимуму. Фононні повтори справа від без фононного піка характеризуються більшими величинами

максимумів. Отриманий результат зумовлений збільшенням середнього числа фононів при зростанні температури.

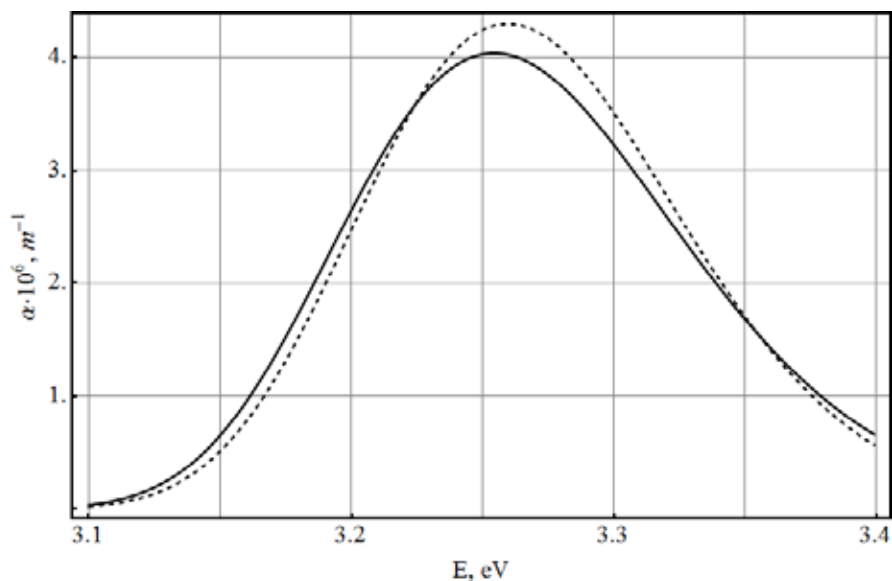


Рис. 7. Коефіцієнт поглинання світла за умови, що $T=4.2\text{K}$, $\sigma=5\%$: суцільна крива – внесок обмежених фононів, штрихова – внесок екситонних інтерфейсних фононів

Розглядаючи рисунок 7, на якому зображено спектри поглинання для сферичної КТ радіусом 1,5 нм із дисперсією $\sigma = 5\%$, бачимо, що через збільшення півширини безфононної смуги та фононних повторів, отримуємо одну смугу поглинання світла для двох найнижчих оптично активних рівнів зарядів.

ВИСНОВКИ

У даній роботі нами досліджено спектр міжзонного поглинання квантових точок CdS сферичної форми, що поміщені у матрицю SiO_2 , з урахуванням взаємодії електрон-діркової пари із поляризаційними фононами. Проаналізовано відмінність між взаємодією екситон-фононної системи із врахуванням обмежених та інтерфейсних фононів. Обчислено коефіцієнти поглинання, що зумовлені переходами носіїв заряду між найнижчими двома оптично активними рівнями у КТ під впливом лінійно-поляризованого світла.

Досліджувалися такі розміри квантових точок, коли енергетичні рівні електрона та дірки достатньо віддалені один від одного. Тому, зважаючи на можливу дисперсію КТ за розмірами у матриці, зазначені рівні можна виділити при аналізі частотної залежності коефіцієнта міжзонного поглинання. Обчислення показують, що як величини максимумів, так і енергія піків коефіцієнта міжзонного поглинання залежать від розкиду за розмірами КТ і від вибору фононної моделі.

Для даної гетероструктури, таким чином, ми довели схожість спектрів поглинання при врахування як обмежених фононів, так і інтерфейсних фононів із врахуваннями розкиду за розмірами квантових точок.

ЛІТЕРАТУРА

1. Rogach A.L., Franzl T., Klar T.A. and other. Aqueous Synthesis of Thiol-Capped CdTe Nanocrystals: State-of-the-Art. *J. Phys. Chem. C*. 2007. Vol. 111. P. 14628–14637. <https://doi.org/10.1021/jp072463y>.
2. Chin T.K.P., Stouwdam J. W., Bavel, S.S. et other. *Nanotechnology*. 2008. Vol. 19. P. 205602–205612. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/19/20/205602>.
3. Hasselbarth A., Eychmuller E., and Well H. *Chem. Phys. Lett.* 1993. Vol. 203. P. 271–276. [https://doi.org/10.1016/0009-2614\(93\)85400-I](https://doi.org/10.1016/0009-2614(93)85400-I).
4. Zhong X., Feng Y., Knoll W., Han M. Alloyed $Zn_xCd_{1-x}S$ Nanocrystals with Highly Narrow Luminescence Spectral Width. *J. Am. Chem. Soc.* 2003. Vol. 125. P. 13559–13563. <https://doi.org/10.1021/ja036683a>.
5. Tkach M.V., Makhnats O.M., Prots I.V. Properties of Phonon, Electron and Hole Spectra in Some Cylindrical Nanoheterosystems. *Ukr. J. Phys.* 2001. Vol. 4646. P. 727–734.
6. Boichuk, V.I., Borusevych, V.A., Shevchuk, I.S. Electronic polaron of the AlN/GaN/AlN double nanoheterostructure of hexagonal symmetry crystals. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*. 2008. Vol. 10. P. 1357–1364.
7. Matos-Abiague A., Rodríguez-Suárez R.L. Spin-orbit coupling mediated spin torque in a single ferromagnetic layer. *Phys. Rev. B*. 2009. Vol. 80. P. 094424–094430. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.80.094424>.
8. Sun K.W., Huang C.L., Huang G.B., Lee H.C. Inter- and intra-subband relaxation of hot electrons in GaAs/AlGaAs quantum wells. *Solid St. Communication*. 2003. Vol. 126. P. 519–522. [https://doi.org/10.1016/S0038-1098\(03\)00235-7](https://doi.org/10.1016/S0038-1098(03)00235-7).
9. H'ohberger E. M., Kirschbaum J., Blick R.H., Kotthaus J.P., Wegscheider W. Electron–phonon interaction in freely suspended quantum dots. *Physica E*. 2003. Vol. 18. P. 99–100. [https://doi.org/10.1016/S1386-9477\(02\)01029-9](https://doi.org/10.1016/S1386-9477(02)01029-9).
10. Tkach N.V., Zharkoi V.P. Spectrum and electron-phonon interaction in a medium with a cylindrical quantum wire. *Semiconductors*. 1999. Vol. 33. P. 559–563.
11. Ипатова И.П., Маслов А.Ю., Прошина О. В. Полярное состояние в квантовой точке для частицы с вырожденным зонным спектром. *Физ. тех. полупров.* 1999. Т. 33. С. 832–838.
12. Fomin V.M., Gladilin V.N., Devreese J.T., Pokatilov E.P., Balaban S.N., Klimin S.N. Photoluminescence of spherical quantum dots *Phys. Rev. B*. 1998. Vol. 57. P. 2415–2421. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.57.2415>.
13. Фрисов Ю.А. Полярони. Москва : Наука, 1975. 367 с.
14. Bandaranyak R.J., Wen G.W., Lin J.Y., Jiang H.X., Sorensen C.M. Structural phase behavior in II–VI semiconductor nanoparticles. *Appl. Phys. Lett.* 1995. Vol. 67. P. 834–839. <https://doi.org/10.1063/1.115458>.
15. Angel O.Z., Alvarado-Gil J.J., Morales R.L. Band-gap shift in CdS semiconductor by photoacoustic spectroscopy: Evidence of a cubic to hexagonal lattice transition. *Appl. Phys. Lett.* 1994. Vol. 64. P. 291–298. <https://doi.org/10.1063/1.111184>.
16. Бир Г.В., Пикус Г.Е. Симметрия и деформационные дефекты в полупроводниках. Москва : Наука, 1972. 347 с.
17. Wang W., Germanenko I., El-Shall M.S. Room-Temperature Synthesis and Characterization of Nanocrystalline CdS, ZnS, and $CdxZn_{1-x}S$. *Chem. Mater*: 2002. Vol. 14. P. 3028–3033. <https://doi.org/10.1021/cm020040x>.

18. Корбутяк Д.В., Коваленко О.В., Будзуляк С.І. Світловипромінюючі властивості квантових точок напівпровідникових сполук A_2B_6 . *УФЖ*. 2012. Т.7. № 1. С. 48–95.
19. Корбутяк Д.В., Токарев С.В., Будзуляк С.І., Курик А.О., Кладько В.П., Полішук Ю.О., Шевчук О.М., Ільчук Г.А., Токарев В.С. Оптичні та структурно-дефектні характеристики нанокристалів CdS:Cu і CdS:Zn, синтезованих в полімерних матрицях. *Фіз. і хім. тверд. тіла*. 2013. Т. 14. № 1. С. 222–227.
20. Fediv V.I., Rudko G.Yu., Savchuk A.I. Synthesis of Mn^{2+} -doped CdS nanoparticles covered with different adsorptive layers and their application as biosensors. *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*. 2014. Vol. 17(1). P. 46–51.
21. Fediv V.I., Rudko G.Yu., Savchuk A.I. Synthesis of colloidal nanoparticles CdS:Mn in the polymer solution for biological applications. *Functional materials*. 2014. Vol. 21(2). P. 220–225.
22. Li Y., Huang F., Zhang Q., Gu Z. Solvothermal synthesis of nanocrystalline cadmium sulfide. *Journal of Materials Science*. 2000. Vol. 35. P. 5933–937.
23. Sivasubramanian V., Arora A.K., Premila M. Optical properties of CdS nanoparticles. *Physica E: Low-dim. Systems and Nanostructures*. 2006. Vol. 31. P. 93–98. <https://doi.org/10.1016/j.physe.2005.10.001>
24. Risbul S.H., Alivisatos A.P. Resonance Raman studies of the ground and lowest electronic excited state in CdS nanocrystals. *J. Chem. Phys.* 1993. Vol. 98. P. 8432–8437. <https://doi.org/10.1063/1.464501>.
25. Schmitt-Rink S., Miller D.A.B., Chemla D.S. Theory of the linear and nonlinear optical properties of semiconductor microcrystallites. *Phys. Rev. B*. 1987. Vol. 35. P. 8113–8120. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.35.8113>.
26. Scamarcio G., Spagnolo V., Venturi G., Lugará M., Righini G.C. Size dependence of electron-LO-phonon coupling in semiconductor nanocrystals. *Phys. Rev. B*. 1995. Vol. 53., No 15-16. P. R10489-R10492. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.53.R10489>.
27. Hayashi S., Sando H., Agata M., Yamamoto Y. Resonant Raman scattering from ZnTe microcrystals: Evidence for quantum size effects. *Phys. Rev. B*. 1989. Vol. 40. P. 5544–5549. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.40.5544>.
28. Абакумов В.Н., Перель В.И., Ясиевич И.Н. Безызлучательная рекомбинация в полупроводниках. Санкт-Петербург: Издательство «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константиновна РАН», 1997. 256 с.
29. Baldereschi A., Lipari N.O. Spherical model of shallow acceptor states in semiconductors. *Phys. Rev. B*. 1973. Vol. 8. P. 2697-2709.
30. Moskalenko A.S., Berakdar J., and other. Single-particle states in spherical Si/SiO₂ quantum dots. *Phys. Rev. B*. 2007. Vol. 76(8). P. 085427-085427.
31. Sirenko Yu.M., Jeon J.-B., Kim K.W., Littlejohn M. A., Stroscio M.A. Envelope-function formalism for valence bands in wurtzite quantum wells. *Phys. Rev. B*. 1997. Vol. 53. P. 3456-3461.
32. Xia J. -B., Li J. Electronic structure of quantum spheres with wurtzite structure. *Phys. Rev. B*. 1999. Vol. 60. P. 11540-1999.
33. Lawaetz P. Valence-Band Parameters in Cubic Semiconductors. *Phys. Rev. B*. 1971. Vol. 4. P. 3460-3471.
34. Давыдов А.С. Теория твердого тела. Москва : Наука. 1976. 431 с.
35. Ткач М, Сеті Ю., Войцехівська О. Квазічастинки у наногетеросистемах. Квантові точки та дроти. Чернівці : Книги-XXI. 2015. 386 с.
36. Huang K., Rhys A. Theory of Light Absorption and Non-Radiative Transitions in F-Centers. *Proc. R. Soc. Lond.* 1951. Vol. 204. P. 406–429.

REFERENCES

1. Rogach A.L., Franzl T., Klar T.A. and other. (2007). Aqueous Synthesis of Thiol-Capped CdTe Nanocrystals: State-of-the-Art. *J. Phys. Chem. C*. Vol. 111. P. 14628-14637. <https://doi.org/10.1021/jp072463y> [in English].
2. Chin T.K.P., Stouwdam J. W., Bavel, S.S. et other (2008). *Nanotechnology*. Vol. 19. P. 205602-205612. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/19/20/205602> [in English].
3. Hasselbarth A., Eychmuller E., and Well H. (1993). *Chem. Phys. Lett.* Vol. 203. P. 271-276. [https://doi.org/10.1016/0009-2614\(93\)85400-I](https://doi.org/10.1016/0009-2614(93)85400-I) [in English].
4. Zhong X., Feng Y., Knoll W., Han M. (2003). Alloyed $Zn_xCd_{1-x}S$ Nanocrystals with Highly Narrow Luminescence Spectral Width. *J. Am. Chem. Soc.* Vol. 125. P. 13559-13563. <https://doi.org/10.1021/ja036683a> [in English].
5. Tkach M.V., Makhnats O.M., Prots I.V. (2001). Properties of Phonon, Electron and Hole Spectra in Some Cylindrical Nanoheterosystems. *Ukr. J. Phys.* 2001. Vol. 4646. P. 727-734 [in English].
6. Boichuk, V.I., Borusevych, V.A., Shevchuk, I.S. (2008). Electronic polaron of the AlN/GaN/AlN double nanoheterostructure of hexagonal symmetry crystals. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*. Vol. 10. P. 1357-1364 [in English].
7. Matos-Abiague A., Rodríguez-Suárez R.L. (2009). Spin-orbit coupling mediated spin torque in a single ferromagnetic layer. *Phys. Rev.* Vol. 80. P. 094424-094430. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.80.094424> [in English].
8. Sun K.W., Huang C.L., Huang G.B., Lee H.C. (2003). Inter- and intra-subband relaxation of hot electrons in GaAs/AlGaAs quantum wells. *Solid St. Communication*. Vol. 126. P. 519-522. [https://doi.org/10.1016/S0038-1098\(03\)00235-7](https://doi.org/10.1016/S0038-1098(03)00235-7) [in English].
9. H'ohberger E. M., Kirschbaum J., Blick R.H., Kotthaus J.P., Wegscheider W. (2003). Electron-phonon interaction in freely suspended quantum dots. *Physica E*. Vol. 18. P. 99-100. [https://doi.org/10.1016/S1386-9477\(02\)01029-9](https://doi.org/10.1016/S1386-9477(02)01029-9) [in English].
10. Tkach N.V, Zharkoi V.P. (1999). Spectrum and electron-phonon interaction in a medium with a cylindrical quantum wire. *Semiconductors*. Vol. 33. P. 559-563 [in English].
11. Ipatova I. P., Maslov A. Yu., and Proshina O. V. (1999). Polaronnoe sostoyanie v kvantovoy tochke dlya chastitsyi s vyirozhdennyim zonnym spektrom [Polaron state in a quantum dot for a particle with a degenerate band spectrum]. *Fiz. teh. poluprov – Phys. those semiconductor*, 33, 832-838 [in Russian].
12. Fomin V.M., Gladilin V.N., Devreese J.T., Pokatilov E.P., Balaban S.N., Klimin S.N. (1998). Photoluminescence of spherical quantum dots *Phys. Rev. B*. Vol. 57. P. 2415-2421. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.57.2415> [in English].
13. Frisov Yu.A. (1975). *Polyaroni [Polaroni]*. Moscow: Nauka. 367 [in Russian].
14. Bandaranyak R.J., Wen G.W., Lin J.Y., Jiang H.X., Sorensen C.M. (1995). Structural phase behavior in II–VI semiconductor nanoparticles. *Appl. Phys. Lett.* Vol. 67. P. 834-839. <https://doi.org/10.1063/1.115458> [in English].
15. Angel O.Z., Alvarado-Gil J.J., Morales R.L. (1994). Band-gap shift in CdS semiconductor by photoacoustic spectroscopy: Evidence of a cubic to hexagonal lattice transition. *Appl. Phys. Lett.* Vol. 64. P. 291-298. <https://doi.org/10.1063/1.111184> [in English].
16. Bir G.V., Pikus G.E. (1972). *Simmetriya i deformatsionnyie defektyi v poluprovodnikah [Symmetry and deformation defects in semiconductors]*. Moscow: Nauka, 1972. 347 [in Russian].
17. Wang W., Germanenko I., El-Shall M.S. (2002). Room-Temperature Synthesis and Characterization of Nanocrystalline CdS, ZnS, and $CdxZn_{1-x}S$. *Chem. Mater.* Vol. 14. P. 3028–3033. <https://doi.org/10.1021/cm020040x> [in English].
18. Korbutyak D.V., Kovalenko O.V., Budzulyak S.I. (2012). Svitlovyprominiuiuchi vlastyvoli kvantovykh tochk napivprovodnykh spoluk A2B6 [Light-emitting properties of

- quantum dots of semiconductor compounds A₂B₆]. *Ultraviolet radiation, Vol. 7, No. 1*, 48-95 [in Ukrainian].
19. Korbutyak D.V., Tokarev S.V., Budzulyak S.I., Kuryk A.O., Kladko V.P., Polishchuk Yu.O., Shevchuk O.M., Ilchuk G.A., Tokarev V. (2013). Optychni ta strukturno-defektni kharakterystyky nanokrystaliv CdS:Cu i CdS:Zn, syntezyovanykh v polimernykh matrytsiakh [Optical and structural defect characteristics of CdS:Cu and CdS:Zn nanocrystals synthesized in polymer matrices]. *Phys. and chem. firm bodies*, Vol. 14, No. 1, 222-227 [in Ukrainian].
 20. Fediv V.I., Rudko G.Yu., Savchuk A.I. (2014). Synthesis of Mn²⁺-doped CdS nanoparticles covered with different adsorptive layers and their application as biosensors. *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*. Vol. 17(1). P. 46-51 [in English].
 21. Fediv V.I., Rudko G.Yu., Savchuk A.I. (2014). Synthesis of colloidal nanoparticles CdS:Mn in the polymer solution for biological applications. *Functional materials*. Vol. 21(2). P. 220-225 [in English].
 22. Li Y., Huang F., Zhang Q., Gu Z. (2000). Solvothermal synthesis of nanocrystalline cadmium sulfide. *Journal of Materials Science*. Vol. 35. P. 5933-937 [in English].
 23. Sivasubramanian V., Arora A.K., Premila M. (2006). Optical properties of CdS nanoparticles. *Physica E: Low-dim. Systems and Nanostructures*. Vol. 31. P. 93-98. <https://doi.org/10.1016/j.physe.2005.10.001> [in English].
 24. Risbul S.H., Alivisatos A.P. (1993). Resonance Raman studies of the ground and lowest electronic excited state in CdS nanocrystals. *J. Chem. Phys.* Vol. 98. P. 8432-8437. <https://doi.org/10.1063/1.464501> [in English].
 25. Schmitt-Rink S., Miller D.A.B., Chemla D.S. (1987). Theory of the linear and nonlinear optical properties of semiconductor microcrystallites. *Phys. Rev. B*. Vol. 35. P. 8113-8120. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.35.8113> [in English].
 26. Scamarcio G., Spagnolo V., Venturi G., Lugará M., Righini G.C. (1995). Size dependence of electron-LO-phonon coupling in semiconductor nanocrystals. *Phys. Rev. B*. Vol. 53., No 15-16. P. R10489-R10492. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.53.R10489> [in English].
 27. Hayashi S., Sando H., Agata M., Yamamoto Y. (1989). Resonant Raman scattering from ZnTe microcrystals: Evidence for quantum size effects. *Phys. Rev. B*. Vol. 40. P. 5544-5549. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.40.5544> [in English].
 28. Abakumov V.N., Perel V.I., Yassievich I.N. (1997). Bezyizluchatel'naya rekombinatsiya v poluprovodnikah [Radiative recombination in semiconductors]. St. Petersburg: Publishing house "Petersburg Institute of Nuclear Physics. B.P. Konstantinovna RAN". 256 [in Russian].
 29. Baldereschi A., Lipari N.O. (1973). Spherical model of shallow acceptor states in semiconductors. *Phys. Rev. B*. Vol. 8. P. 2697-2709 [in English].
 30. Moskalenko A.S., Berakdar J., and other. (2007). Single-particle states in spherical Si/SiO₂ quantum dots. *Phys. Rev. B*. Vol. 76(8). P. 085427-085427 [in English].
 31. Sirenko Yu.M., Jeon J.-B., Kim K.W., Littlejohn M. A., Stroscio M.A. (1997). Envelope-function formalism for valence bands in wurtzite quantum wells. *Phys. Rev. B*. Vol. 53. P. 3456-3461 [in English].
 32. Xia J. -B., Li J. (1999). Electronic structure of quantum spheres with wurtzite structure. *Phys. Rev. B*. Vol. 60. P. 11540-1999 [in English].
 33. Lawaetz P. (1971). Valence-Band Parameters in Cubic Semiconductors. *Phys. Rev. B*. Vol. 4. P. 3460-3471 [in English].
 34. Davydov A.S. (1976). Teoriya tverdogo tela [Theory of a rigid body]. Moscow: Nauka. 1976. 431 [in Russian].
 35. Tkach M, Seti Y., Voitsekhivska O. (2015). Kvazichastyvky u nanoheterosystemakh. Kvantovi tochky ta droty [Quasiparticles in nanoheterosystems]. Quantum dots and wires, Chernivtsi: Books-XXI, 386 [in Ukrainian].
 36. Huang K., Rhys A. (1951). Theory of Light Absorption and Non-Radiative Transitions in F-Centers. *Proc. R. Soc. Lond.* Vol. 204. P. 406-429 [in English].

ABSTRACT

THE EFFECT OF CONFINED AND INTERFACE PHONONS ON INTERBAND LIGHT ABSORPTION IN CdS QUANTUM DOTS

The effect of confined and interface phonons on the exciton absorption coefficient of polarized light as a function of its frequency for spherical CdS quantum dots placed in an SiO₂ dielectric matrix was studied. The complex structure of the valence band, namely its degeneracy at point Γ , is taken into account in the multi-band effective mass model. Calculations were performed for different temperatures (from helium to room temperature) and radii of the spherical quantum dot of the CdS/SiO₂ heterostructure. Such sizes of quantum dots were studied when the energy levels of the electron and the hole were sufficiently far from each other. The electron-phonon interaction parameter (Huang-Rhys factor) was determined for different radii of quantum dots. Absorption coefficients due to transitions of charge carriers between the lowest two optically active levels in a quantum dot under the influence of linearly polarized light were calculated. The size dispersion of quantum dots is taken into account using the Gaussian distribution. The maximum variance in size was 5%. Phonon repetitions were obtained in the absorption spectra. A comparison of the obtained results with the corresponding ones taking into account individual branches of polarization phonons was made.

Key words: Huang-Rhys factor, optical transitions, phonons, absorption coefficient.

Андрій Мирославович Прийма,

кандидат технічних наук,

доцент кафедри біології та хімії

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна

orcid.org/0000-0003-3645-5800, e-mail: apryima@ukr.net

Сузанна Василівна Волошин,

кандидат педагогічних наук,

старший викладач кафедри біології та хімії

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна

<http://orcid.org/0000-0003-0443-1679>, e-mail: suzannavoloshun@ukr.net

Тетяна Сергіївна Єфімова,

здобувач другого рівня вищої освіти

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПРИРОДНИХ ВОДНИХ ДЖЕРЕЛ СТРИЙСЬКОГО РАЙОНУ

Анотація. З метою ведення господарської діяльності людина використовує водні ресурси. Попри великі об'єми прісної води, вони дедалі більше скорочуються через низку причин, таких як не раціональне використання водних джерел та їх забруднення.

Близько 20% міських жителів та 75% жителів сільської місцевості не задовольняють своїй життєвих потреб у воді. Відштовхуючись від регіону проживання та життєвого рівня його населення, обсяг води, яку споживає одна людина становить від 3 до 700 л на добу. Потужний розвиток економіки окремих регіонів також впливає на промислове використання води цими регіонами. Найбільшу кількість води споживають: сільське господарство, а особливо, якщо воно знаходиться в сухих кліматичних умовах, де доволі велика кількість води йде на зрошення, а також металургійна, хімічна, харчова, нафтохімічна, целюлозно-паперова галузі промисловості. Збільшення або зменшення споживання води пропорційно залежить від розвитку або ж занепаду певної з галузей промисловості або сільського господарства.

В нашій державі розроблений та діє документ під назвою «Водна стратегія України на період до 2025 року». В цьому документі проаналізовані та визначені основні проблеми України, такі як відсутність достатнього запасу ресурсів води, нерівномірність їх розподілу за територіями та часом; виснаження, або знесилення ресурсів води.

Першорядним джерелом питного водопостачання населення нашої області є підземні води (близько 90% водозабезпечення населених пунктів здійснюється з підземних джерел і біля 10% – з поверхневих). Без жодного сумніву можна стверджувати про стратегічну важливість в життєзабезпечення нормального існування людини саме підземних вод. Вони були і залишаються найнадійнішим джерелом, яке забезпечує населення водою. Тому дослідження фізико-хімічних та органолептичних показників якості природних водних джерел є надзвичайно актуальною темою. У даній науковій статті досліджено фізико-хімічні показники природних водних джерел Стрийського району згідно вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПін2.2.4-171-10).

Ключові слова: підземні води, фізико-хімічні та органолептичні показники, загальна жорсткість, вміст хлоридів, сульфатів, кальцію, магнію.

ВСТУП

Жителі нашого регіону, переважно, забезпечуються питною водою з підземних джерел. Понад 90% питної води поступає з підземних джерел і лише 10% – з поверхневих водойм. Безумовно можна стверджувати про стратегічну важливість в життєзабезпеченні людського існування саме підземних вод. Вони є, були і залишаються найпоширенішим джерелом водопостачання населення. Саме тому, актуальність дослідження якості природних водойм є беззаперечною, а саме, її фізико-хімічних та органолептичних показників [4].

Класифікація підземних вод буває за багатьма ознаками: за умовами залягання вони поділяються на верховодні, ґрунтові та міжпластові – артезіанські; за температурною характеристикою є переохолоджені, холодні та термальні підземні води. Відповідно до концентрації солей у воді, їх поділяють на прісні, солонуваті, солоні та розсоли. За своєю якістю води можуть бути або питними або технічними.

Приходимо до висновку, що самим важливим завданнями державного рівня є дослідження якості підземних вод, стабільний моніторинг їх стану та передбачення можливих змін під впливом різноманітних факторів, як природних так і спричинених господарською діяльністю людини.

Мета дослідження: дослідження органолептичних та фізико-хімічних показників природних водних джерел Стрийського району.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Якість природних водних джерел характеризують і визначаються бактеріологічними, хімічними та фізичними показниками. До них належать *запах, прозорість, колір, твердість, загальний солевміст (мінералізація), сухий залишок, окиснюваність, рН, кількісне визначення хлоридів, сульфатів розчинених газів*, тощо [6, 7].

Прозорість, запах, колір, смак та присмак – це органолептичні показники якості природних джерел. До фізико-хімічних показників відносять: водневий показник, загальна твердість, вміст хлоридів, сульфатів, кальцію та магнію. За допомогою цих показників виражають вміст у воді певних домішок, а також дозволяють підібрати раціональні технології підготовки природної або оборотної води для використання її у певному технологічному процесі або для ефективного очищення стічних вод.

Впродовж 2021-2022 років на базі науково-дослідної експериментальної хімічної лабораторії Дрогобицького державного педагогічного університету, проведено дослідження органолептичних та фізико-хімічних показників трьох природних джерел Стрийського району, а саме: джерело № 1 (м. Моршин), джерело № 2 (с. Гірне) та джерело № 3 (с. Лисовичі). Проби даних природних водних джерел відбирали посезонно (зима, весна, літо, осінь).

РЕЗУЛЬТАТИ

Відібрані проби водних джерел були проаналізовані за органолептичними та фізико-хімічними показниками відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПін 2.2.4-171-10) та ДСТУ 7525: 2014 Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. Результати досліджень представлені у таблиці 1 (чисельник-зима, знаменник-весна) та 2 (чисельник-літо, знаменник-осінь) відповідно.

Таблиця 1

Фізико-хімічні показники якості питної води в зимово-весняний період

№ з/п	Найменування	Одиниці виміру	Нормативи	Джерело № 1	Джерело № 2	Джерело № 3
1	запах при 20°C	бали	до 3	1/1	1/1	1/1
2	забарвленість	градуси	до 35	3/4	7/8	5/6
3	каламутність	одиниці каламутності	до 2.6	0.8/0.9	1.2/1.3	1.4/1.3
4	смак та присмак	бали	до 3	1/1	1/1	1/1
5	pH	одиниці pH	6.5-8.5	7.4/7.6	7.9/7.8	7.2/7.4
6	загальна жорсткість	ммоль/дм ³	до 10	6.2/6.3	6.5/6.7	7.2/7.3
7	хлориди	мг/дм ³	до 350	34/36	42/43	54/56
8	сульфати	мг/дм ³	до 500	42/43	47/48	57/58
9	кальцій	мг/дм ³	не норм.	82/84	110/120	126/128
10	магній	мг/дм ³	не норм.	21/23	28/27	32/33

Таблиця 2

Фізико-хімічні показники якості питної води в літньо-осінній період

№ з/п	Найменування	Одиниці виміру	Нормативи	Джерело № 1	Джерело № 2	Джерело № 3
1	запах при 20°C	бали	до 3	1/1	1/1	1/1
2	забарвленість	градуси	до 35	4/5	7/8	6/7
3	каламутність	одиниці каламутності	до 2.6	0.8/0.9	1.1/1.2	1.3/1.4
4	смак та присмак	бали	до 3	1/1	1/1	1/1
5	pH	одиниці pH	6.5-8.5	7.5/7.6	7.8/7.9	7.2/7.3
6	загальна жорсткість	ммоль/дм ³	до 10	6.4/6.5	7.0/7.1	7.6/7.8
7	хлориди	мг/дм ³	до 350	35/37	45/46	58/59
8	сульфати	мг/дм ³	до 500	45/46	52/54	59/60
9	кальцій	мг/дм ³	не норм.	86/88	124/126	132/134
10	магній	мг/дм ³	не норм.	22/23	29/30	36/37

На діаграмах 1-6 представлено залежність фізико-хімічних показників якості природних водних джерел (таких як водневий показник, загальна твердість, вміст хлоридів, сульфатів, кальцію та магнію) залежно від пори року.

Величина водневого показника pH (діаграма 1) не перевищує норму і мало залежить від пори року. Найвищий водневий показник (pH =7.9) спостерігають у водному джерелі, відібраному у населеному пункті Гірне.

Аналізуючи діаграму 2, робимо висновок, що загальна жорсткість досліджуваних природних джерел не перевищує норму і практично не залежить від пори року. Найбільший показник жорсткості (7.8 ммоль/дм³) можна спостерігати у водному джерелі населеного пункту Лисовичі.

На діаграмах 3 та 4 зображено залежність вмісту хлоридів та сульфатів від пори року у відібраних взірцях водних об'єктів. Проаналізувавши представлені діаграми, можна зробити висновок, що найвищих вміст хлоридів та сульфатів спостерігають

у природному джерелі с. Лисовичі (хлориди – 59 мг/дм³, сульфати – 60 мг/дм³ відповідно), найнижчий (хлориди – 34 мг/дм³, сульфати – 42 мг/дм³ відповідно) – у водному джерелі міста Моршин.

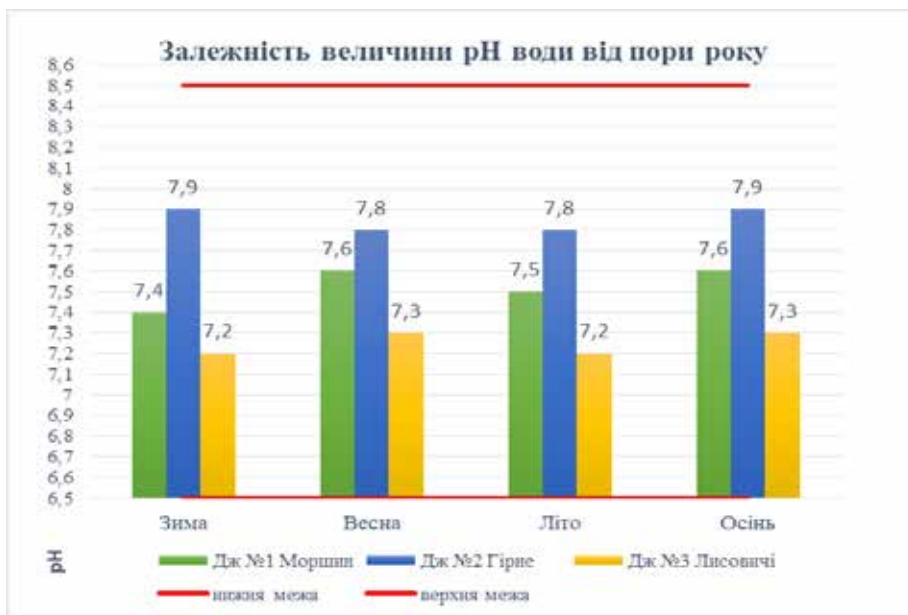


Рис. 1. Залежність величини рН досліджуваних водних джерел від пори року

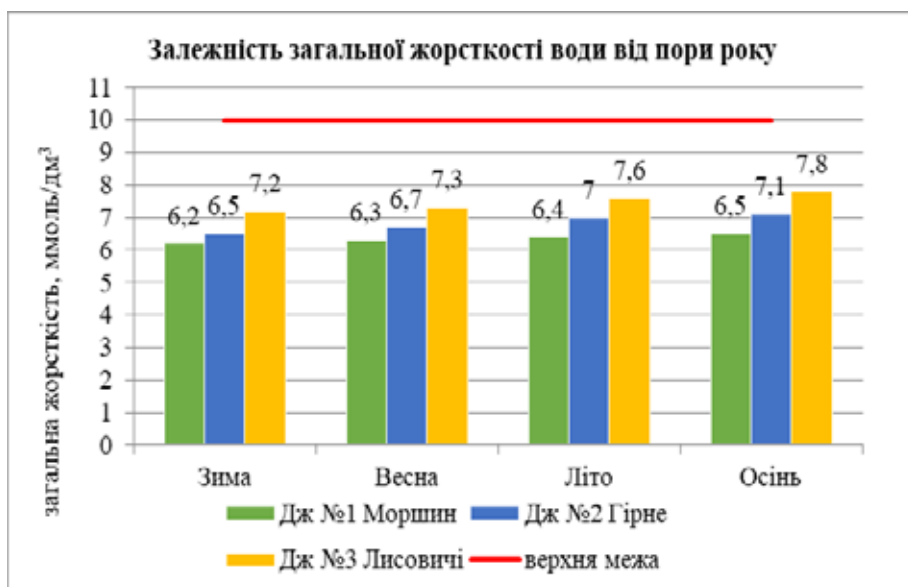


Рис. 2. Залежність величини загальна твердість досліджуваних водних джерел від пори року

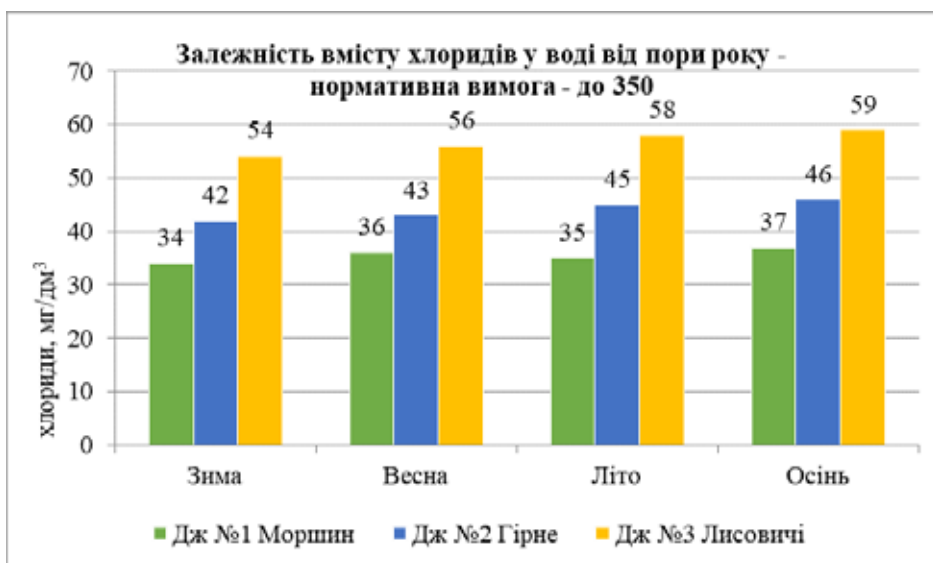


Рис. 3. Залежність величини вмісту хлоридів досліджуваних водних джерел від пори року

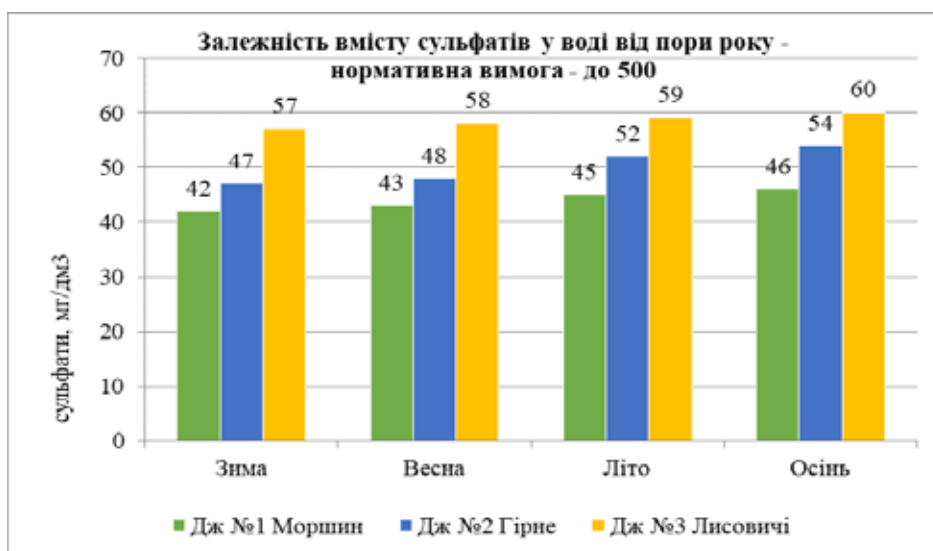


Рис. 4. Залежність величини вмісту сульфатів досліджуваних водних джерел від пори року

На діаграмах 5 та 6 представлено відображено вміст іонів кальцію і магнію у досліджуваних водних джерелах. Найвищий вміст кальцію та магнію можна спостерігати у взірцях води с. Лисовичі (вміст кальцію – 134 мг/дм³, магнію – 37 мг/дм³ відповідно). Найнижчий вміст іонів кальцію та магнію (вміст кальцію – 82 мг/дм³, магнію – 21 мг/дм³ відповідно) має вода, відібрана в місті Моршин.

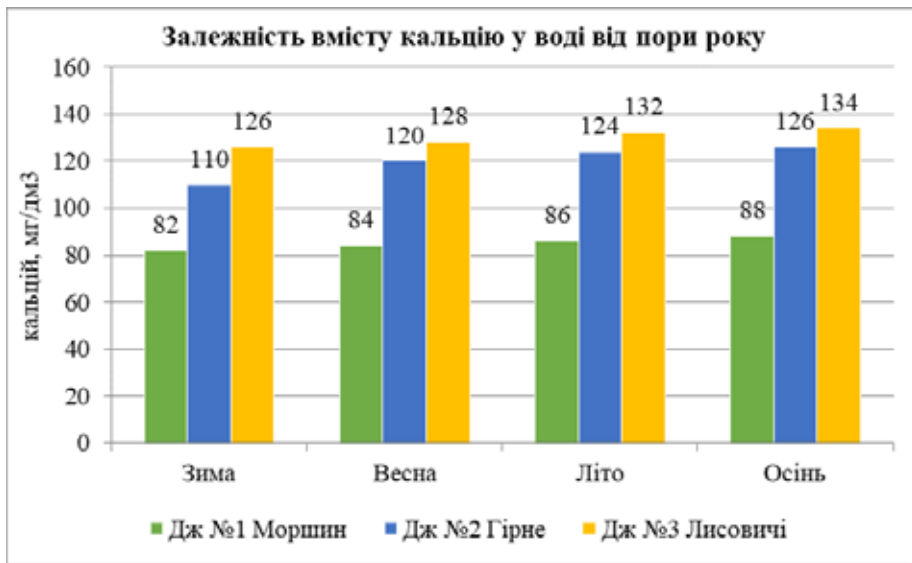


Рис. 5. Залежність величини вмісту кальцію у досліджуваних водних джерел від пори року

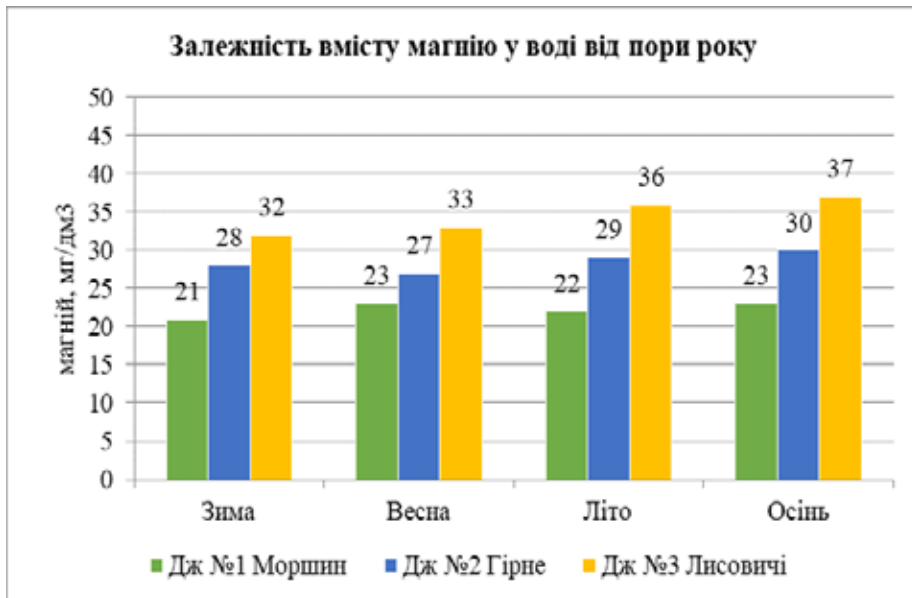


Рис. 6. Залежність величини вмісту магнію у досліджуваних водних джерел від пори року

На основі одержаних результатів досліджень можна зробити висновок, що органолептичні та фізико-хімічні показники якості природних водних джерел досліджуваного району відповідають вимогам Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання Людиною» (ДСанПін2.2.4-171-10).

ВИСНОВКИ

Проведені випробування та їх результати свідчать, що досліджувані об'єкти є джерелами прісної води мінерального типу. Переважно, ці джерела, населення використовує для задоволення своїх господарсько-побутових потреб, а отже, передбачені наступними етапами теми дослідження, дозволять скласти на кожне джерело санітарно-гігієнічний паспорт.

ЛІТЕРАТУРА

1. Білявський Г.О., Фурдуй Р.С., Костіков І.Ю., Основи екологічних знань. Київ: Либідь, 2000. 357с.
2. Водна стратегія України на період до 2025 року (наукові основи). Київ, 2015. 46 с.
3. Державні санітарні норми та правила (ДСанПін2.2.4-171-10). Гігієнічні вимоги води питної, призначеної для споживання людиною. Київ, 2010, 36 с.
4. ДСТУ 7525: 2014. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. Київ, 2014, 65 с.
5. Джигирей В.С. Екологія та охорона навколишнього середовища. Київ: Знання, 2000. 357 с.
6. Клименко М.О., Прищепа А.М., Вознюк Н. М. Моніторинг довкілля: підручник. Київ : Академія, 2006. 360 с.
7. Лялюк О.Г. Моніторинг довкілля : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2004, 140 с.
8. Підземні води. Підземні водні об'єкти. Словник – довідник з екології : навч.-метод. посіб. / уклад. О. Г. Лановенко, О. О. Остапшина. Херсон : ПП Вишемирський В.С., 2013. 138 с.
9. Природні ресурси Львівщини: атлас. / За ред. Матоліч Б. М., Ковальчук І. П. Львів: ПП Лукашук В. С., 2009. 120 с.
10. Прийма А.М. Основи хімічної технології. Навчальний посібник. Дрогобич: Редакційно-видавничий відділ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2012. 314 с.

REFERENCES

1. Biliavskiy H.O., Furdui R.S., Kostikov I.Iu. (2000). *Osnovy ekolohichnykh znan [Fundamentals of ecological knowledge]*. Kyiv: Lybid [in Ukrainian]
2. *Vodna stratehiia Ukrainy na period do 2025 roku (naukovi osnovy) [Water strategy of Ukraine for the period until 2025 (scientific foundations)]*. Kyiv, 2015. 46 s. [in Ukrainian]
3. *Derzhavni sanitarni normy ta pravyla (DSanPin2.2.4-171-10). (2010). Hihienichni vymohy vody pytnoi, pryznachenoj dlia spozhyvannia liudynoiu [State sanitary norms and rules (DSanPin2.2.4-171-10). Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption]*. Kyiv [in Ukrainian]
4. *DSTU 7525: 2014. (2014). Voda pytna. Vymohy ta metody kontroliuvannia yakosti [DSTU 7525: 2014. Drinking water. Requirements and methods of quality control]*. Kyiv [in Ukrainian]
5. *Dzhyhyrei V.S. (2000). Ekolohiia ta okhorona navkolyshnoho seredovyshcha [Ecology and environmental protection]*. Kyiv: Znannia [in Ukrainian]
6. *Klymenko M.O., Pryshchepa A.M., Vozniuk N.M. (2006). Monitorynh dovkillia: pidruchnyk [Environmental monitoring: a textbook]*. Kyiv: Akademiia. 360 s. [in Ukrainian]
7. *Lialyuk O.H. (2004). Monitorynh dovkillia : navchalnyi posibnyk [Environmental monitoring: a study guide]*. Vinnytsia : VNTU. 140 s. [in Ukrainian]

8. *Pidzemni vody. Pidzemni vodni obiekty [Underground water objects]*. Slovnyk – dovidnyk z ekolohii : navch.-metod. posib. (2013) / uklad. O. H. Lanovenko, O. O. Ostapishyna. Kherson : PP Vyshemyrskyi V.S. [in Ukrainian]
9. *Pryrodni resursy Lvivshchyny: atlas [Natural resources of Lviv region: atlas]*. (2009). Za red. Matolych B. M., Kovalchuk I. P. Lviv: PP Lukashchuk V. S. [in Ukrainian]
10. Pryima A.M. (2012). *Osnovy khimichnoi tekhnolohii. Navchalnyi posibnyk [Basics of chemical technology]*. Drohobych: Redaktsiino-vydavnychi viddil Drohobyt'skoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu imeni Ivana Franka [in Ukrainian]

ABSTRACT

RESEARCHES OF PHYSICO-CHEMICAL INDICATORS OF NATURAL WATER SOURCES OF STRIY DISTRICT

For the purpose of economic activity, a person uses water resources. Despite the large volumes of fresh water, they are increasingly reduced due to a number of reasons, such as the non-rational use of water sources, their pollution.

About 20% of urban residents and 75% of rural residents of the world do not meet their daily water needs. Based on the region of residence and the standard of living of its population, the volume of water consumed by one person ranges from 3 to 700 liters per day. The strong economic development of individual regions also affects the industrial use of water in these regions. The largest amount of water is consumed by: agriculture, and especially if it is located in dry climatic conditions, where quite a large amount of water is used for irrigation, as well as metallurgical, chemical, food, petrochemical, pulp and paper industries. An increase or decrease in water consumption depends proportionally on the development or decline of certain branches of industry or agriculture.

A document entitled "Water Strategy of Ukraine for the period until 2025" has been developed and is in force in our country. This document analyzes and defines the main problems of Ukraine, such as the lack of a sufficient supply of water resources, their uneven distribution by territory and time; depletion or depletion of water resources.

The primary source of drinking water supply for the population of our region is groundwater (more than 90% of the water supply of settlements is from underground sources and about 10% – from surface). Without exaggeration, one can argue the strategic importance in the livelihood of human existence, namely groundwater. They remain the most reliable source of water supply for the population. Therefore, the study of physicochemical and organoleptic indicators of the quality of natural water sources is an extremely relevant topic. In the master's thesis physical and chemical indices of natural water sources of Striy district are studied in accordance with the requirements of the State Sanitary Norms and Rules "Hygienic Requirements for Drinking Water intended for human consumption." (DSanPin2.2.4-171-10).

Key words: underground waters, physico-chemical and organoleptic indicators, general hardness, content of chlorides, sulfates, calcium, magnesium.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ACTA CARPETHICA

Збірник наукових праць

№ 1 (37), 2022

Здано до набору 19.12.2022 р. Підписано до друку 23.12.2022 р.

Гарнітура Times New Roman. Формат 70×100/16.

Друк офсетний. Папір офсетний.

Ум. друк. арк. 8,61. Зам. № 0223/083. Наклад 300 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглєзі, 6/1

Телефони: +38 (095) 934-48-28, +38 (097) 723-06-08

E-mail: mailbox@helvetica.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 7623 від 22.06.2022 р.