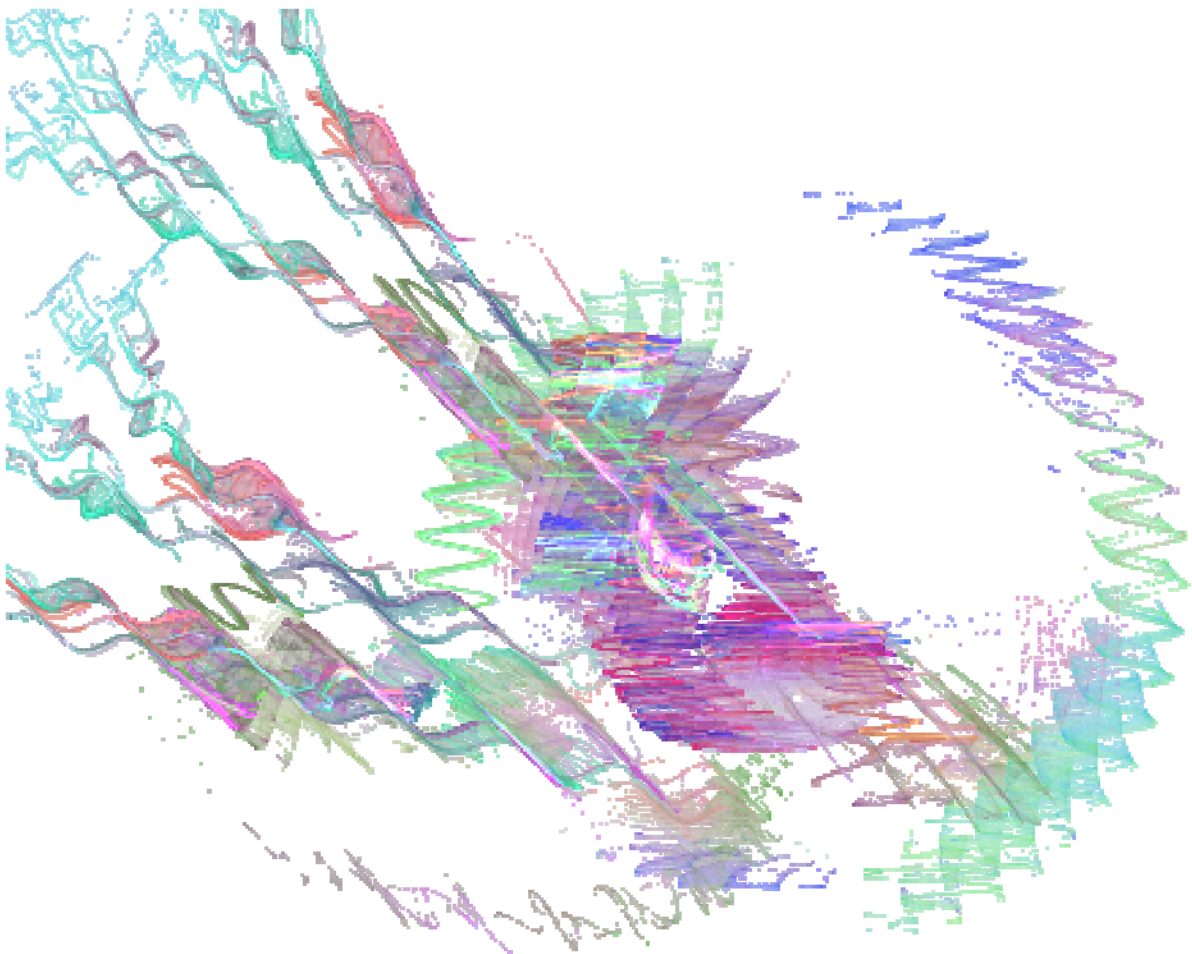
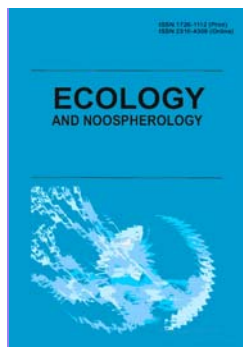


ISSN 1726-1112 (Print)
ISSN 2310-4309 (Online)

ECOLOGY AND NOOSPHEROLOGY

Volume 29(1)





ECOLOGY AND NOOSPHEROLOGY

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

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

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief:

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

Deputy Editors:

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

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

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

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

Executive Editor:

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

Editorial Board:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



Dynamics of protection antioxidant system of representatives of *Amelanchier Medik. genus* during ontogenesis under Steppe Pridniprov'e conditions

Y. V. Lykholat, N. O. Khromykh, L. V. Shupranova,
T. V. Legostaeva, T. Y. Lykholat, A. V. Onopa

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Article info

Received 22.05.2018

Received in revised form

03.06.2018

Accepted 10.06.2018

*Oles Honchar Dnipro
National University,
Gagarin Ave., 72, Dnipro,
49010, Ukraine.
Tel.: +38-097-408-25-02
E-mail: kamelina502@ukr.net*

Lykholat, Y. V., Khromykh, N. O., Shupranova, L. V., Legostaeva, T. V., Lykholat, T. Y., & Onopa, A. V. (2018). Dynamics of protection antioxidant system of representatives of *Amelanchier Medik. genus* during ontogenesis under Steppe Pridniprov'e conditions. *Ecology and Noospherology*, 29(1), 3–7. doi:10.15421/031801

Antioxidant reaction in leaves of the representatives of *Amelanchier Medik. genus* introduced in Steppe Pridniprov'e during vegetative period is studied. Activity of benzidine-peroxidase (BPOD), guaiacol-peroxidase (GPOD) and catalase (CAT) in leaves of four kinds *Amelanchier Medik.* is analysed. Specific features of dynamics of enzymes activity in leaves of representatives of *Amelanchier Medik. genus* are defined according to phases of seasonal development and in reply to action of hydrothermal stress. On the basis of the received results the wide range of interspecific variability of enzymes activity in leaves of *Amelanchier* kinds, introduced in new conditions of existence is shown. The studied kinds were characterised by high activity BPOD in all vegetative season. The greatest activity in leaves of all kinds was shown in a phase of secondary growth, in the most adverse hydrothermal mode that testified to passage of adaptive processes in plants. It is established, that unlike *A. ovalis* in which leaves level of activity BPOD was equal enough, other kinds in process of ontogenesis have shown sharper differences in activity of enzyme. The difference was essential, especially at *A. canadensis* in which leaves in May and June sharp falling of activity in 4,0 and 2,9 times accordingly in comparison with April was noticed, and in July and August – sharp increase that testified to a stressful condition of plants. The opposite tendency is found out in dynamics of activity GPOD i CAT. In the beginning phases of active growth (April) at all kinds the highest activity of enzymes, but, since May and till the end of the supervision period was observed, activity sharply went down at all kinds *Amelanchier*. Essential activation GPOD in a phase of active growth can be connected with processes of lignification to an greater degree, rather than with protection against oxidative stress. Thus in leaves of *A. ovalis* and *A. canadensis* higher activity guaiacol-peroxidase, than at *A. spicata* and *A. florida* was observed. Small increase of activity was observed in June and to an greater measure in three kinds: *A. ovalis*, *A. florida* i *A. spicata*. In leaves of *A. canadensis* activity increase was marked in August in comparison with the period from May till July. The analysis of dynamics of catalase activity in leaves of representatives *Amelanchier Medik.* has shown similitude as well as at guaiacol-peroxidase: the highest level was observed in April, and further there was an essential recession of enzyme activity. Dynamics of catalase activity during vegetation has appeared the most similar at kinds of *A. ovalis* and *A. canadensis*. In leaves of *A. florida* unlike last kinds the small peak of activity in July was marked, and in August activity again went down on 21,8 % in comparison with July. *A. spicata* has shown essential increase of activity CAT in August in comparison with July in 6,4 times. Thus, found out different directions of activity changes of oxidoreductases specify in participation antioxidant systems in realisation of different ways of adaptation of kinds-introducents of *Amelanchier Medik. genus* in ontogenesis process in the conditions of Pridneprov'e Steppe. Variability of enzymes activity level in leaves of *Amelanchier Medik.* in the course of vegetation means the adaptation to conditions of environment and as a whole displays adaptive ability of the investigated kinds at the expense of high antioxidant potential to counteract development of oxidative stress at action adverse of abiotic factors.

Keywords: introducents; *Amelanchier Medik.*; catalase; benzidine-peroxidase; guaiacol- peroxidase

Динаміка антиоксидантної системи захисту представників роду *Amelanchier* Medik. у процесі онтогенезу в умовах Степового Придніпров'я

Ю. В. Лихолат, Н. О. Хромих, Л. В. Шупранова,
Т. В. Легостаєва, Т. Ю. Лихолат, А. В. Онопа

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Вивчено антиоксидантну реакцію листків інтродукованих у Степове Придніпров'я представників роду *Amelanchier* Medik. протягом періоду вегетації в культурі Ботанічного саду ДНУ ім. О. Гончара. Листки чотирьох видів ірги (*A. ovalis*, *A. spicata*, *A. canadensis*, *A. florida*) аналізували на активність бензидин-пероксидази (BPOD), гваякол-пероксидази (GPOD) і каталази (CAT). Визначено індивідуальні особливості динаміки активності ензимів у листках представників роду *Amelanchier* Medik. відповідно до фаз сезонного розвитку і у відповідь на дію гідротермічного стресу. На основі отриманих результатів показано широкий діапазон міжвидової варіабельності активності ферментів у листках видів ірги, індукованих умовами навколишнього середовища. Вивчені види характеризувалися високою активністю бензидин-пероксидази впродовж вегетаційного періоду. Найбільша активність у листках усіх видів проявлялась у фазу вторинного росту, у період найбільш несприятливого гідротермічного режиму, що свідчило про адаптивні процеси в рослин. Протилежну тенденцію виявлено в змінах активності GPOD і CAT. На початку фази активного росту (квітень) у всіх видів спостерігалась максимальна активація ферментів, але починаючи з травня і до кінця періоду спостережень активність різко знижувалась. Таким чином, виявлено різноспрямовані зміни активності оксидоредуктаз, що вказує на участь антиоксидантної системи в реалізації різних шляхів адаптації видів-інтродуцентів роду *Amelanchier* Medik. у процесі онтогенезу в умовах Степового Придніпров'я.

Ключові слова: інтродуценти; *Amelanchier* Medik.; каталаза; бензидин-пероксидаза; гваякол-пероксидаза

Вступ

Для збереження біологічного різноманіття і розширення спектру цінних сільськогосподарських рослин у степовій зоні України інтерес викликає інтродукція нетрадиційних плодівих культур, серед яких представники роду *Amelanchier* Medik., що відрізняються швидким ростом, довговічністю, щорічним рясним плодоношенням, високими смаковими та лікувально-дієтичними якостями плодів. Крім того, вони є декоративними, фітомеліоративними, медоносними та лікарськими рослинами (Andrienko, 2016; Kuklina et al., 2017).

Відомо 33 види ірги, що ростуть у помірному поясі Північної півкулі: Північній Америці, Північній Африці, Центральній та Південній Європі, Кавказі, Криму та Японії. Характерними для Північної Америки і Канади є *A. canadensis*, *A. spicata*, та *A. florida*, які інтродуковані в культуру Ботанічного саду ДНУ. *A. ovalis* є аборигенним видом для флори Європи, Африки і Туреччини. Для флори України *A. ovalis* визначається як аборигенний вид для середньої гірської зони та скелястих ділянок Криму (Andrienko, 2016).

Види роду *Amelanchier* Medik. відносять до рослин із широким діапазоном толерантності до впливу екологічних чинників. По відношенню до вологості, температури, світла і ґрунту вони є мезофітами, мезотермофітами, геліофітами і мезотропами відповідно (Andrienko, 2016). Серед видів ірги *A. spicata* та *A. florida* мають високу зимостійкість і здатні переносити морози нижче -35 – -50 °C. До видів із достатнім рівнем зимостійкості відносять *A. canadensis* і *A. ovalis*, які здатні витримувати морози до -10 °C (Kuklina, 2007). Види ірги добре переносять посуху і можуть рости на піщаних ділянках, незважаючи на те, що вони є мезофітами. В умовах степової зони України основним негативним чинником є недостатня водозабезпеченість на фоні високих температур влітку і ранньою осінню, що обмежує успішність інтродукції рослин (Prisedsky et al., 2017).

В умовах культури Ботанічного саду ДНУ фізіолого-біохімічна характеристика представників роду *Amelanchier* Medik. залишається майже не вивченою. Відомості про особливості системи захисту в різних органах видів ірги в умовах північної частини Степу України представлені лише в окремих роботах (Dolgova and Samojlova, 2010;

Kabar et al., 2016). У той же час виявлення значущих для видів різного географічного походження параметрів системи захисту в умовах впливу однакового комплексу факторів дозволить виділити ті якості рослинного організму, які найбільш важливі для його стійкості за впливу несприятливих чинників середовища.

Мета роботи – з'ясувати особливості функціонування антиоксидантної системи в листках представників роду *Amelanchier* Medik. протягом онтогенезу в умовах інтродукції.

Матеріали та методи досліджень

Робота проводилась на базі колекційного фонду Ботанічного саду Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара м. Дніпра ($48^{\circ}26'14''$ N, $35^{\circ}02'35''$ E) в 2017 р. Об'єктами дослідження стали чотири види роду *Amelanchier* Medik.: ірга колосиста (*A. spicata*), ірга овальна (*A. ovalis*), ірга багатоквіткова (*A. florida*) та ірга канадська (*A. canadensis*). Листки видів ірги відбирали протягом вегетаційного періоду у квітні, травні, червні, липні і серпні 2016 р.

Активність антиоксидантних ферментів (каталаза, гваякол- і бензидин-пероксидаза) вимірювали спектрофотометричними методами. Активність гваякол-пероксидази (GPOD) оцінювали згідно з Ranieri et al. (2001) шляхом визначення окису гваяколу при 470 нм у реакційній суміші, яка містила оцтовий буфер (pH 6.0), 2 мМ гваяколу, 0,2 мл зразка і 0,15 % H_2O_2 . Результати розраховували з урахуванням молярного коефіцієнта екстинкції і виражали в мМ гваякол/г сирої речовини (СР). Активність бензидин-пероксидази (BPOD) визначали на основі методу, запропонованого Gregory (1966). Зміни оптичної густини реєстрували за 1 хв при 470 нм після додавання 1 % H_2O_2 до реакційної суміші (оцтовий буфер, pH 6,0, 0,02 мМ бензидин і 0,2 мл зразка). Результат виражали в опт.од./г СР. Активність каталази (CAT) оцінювали згідно з Goth (1991) шляхом вимірювання оптичної густини при 410 нм у реакційній суміші з 0,2 мл ферментного препарату, 0,1 % H_2O_2 і 4 % молібдату амонію. Результати розраховували за калібрувальним графіком і виражали в мМ H_2O_2 /г хв.

Повторність біохімічних досліджень 4-разова. Отримані дані оброблені статистично з використанням пакета Microsoft Statistica.

Результати та їх обговорення

У зв'язку із швидким розвитком промисловості, завантаженістю міського середовища автотранспортом у всьому світі посилюється антропогенний вплив, до якого рослини еволюційно не пристосовані. Ці негативні тенденції змушують межі толерантності рослин, зменшують їх стійкість до абіотичних і біотичних природних факторів (Lavrov et al., 2011). До цього ще додаються глобальні зміни клімату в бік його аридизації (Morgun et al., 2010; Lykholat et al., 2018). За таких умов у клітинах живих організмів розвиваються процеси окиснювального стресу з утворенням активних форм кисню (АФК), які мають високу реакційну здатність і порушують хід багатьох процесів у клітині, а також її структуру, викликають перекисне окиснення ліпідів, пошкоджують структурні білки, інгібують активність ензимів тощо (Quan et al., 2008; Gür et al., 2010). Ряд досліджень підтверджує, що в рослинах окиснювальний стрес виникає в результаті дії факторів різної природи (Gerosa et al., 2014; Lykholat et al., 2016). Антиоксиданти (АО) білкової природи в клітинах і тканинах рослин

представлені супероксиддисмутазою, каталазою, пероксидазами, трансферазами, які, на відміну від низькомолекулярних речовин, характеризуються високою специфічністю дії, яка спрямована проти певних форм кисню.

Вивченню функціонального стану видів роду *Amelanchier Medik.* присвячено небагато робіт. Відомі роботи з дослідження видів ірги в умовах Північного і Правобережного Лісостепу, в яких дослідження були зосереджені в основному на вивченні вмісту вторинних метаболітів, таких як фенольні сполуки, аскорбінова кислота тощо (Andrienko, 2016; Strela, 1970). В умовах Степового Придніпров'я досліджено вміст проліну в листках представників роду *Amelanchier Medik.* Показано, що вони за рівнем проліну є високоадаптованими до несприятливих посушливих умов Степу (Dolgova and Samojlova, 2010). Досліджено адаптивну здатність видів ірги в бруньках із залученням ферментів антиоксидантного захисту (Kabar et al., 2016).

Визначення активності ферментів антиоксидантного захисту в листках у різні фази вегетативного розвитку рослин дає уявлення про їх функціональний стан (Khromykh et al., 2016). Вивчені види характеризувалися високою активністю бензидин-пероксидази протягом всього весняно-літнього сезону порівняно з активністю GPOD і CAT (табл. 1).

Таблиця 1

Сезонна динаміка активності бензидин-пероксидази в листках видів ірги

Термін відбору зразків	Види роду <i>Amelanchier Medik.</i>			
	<i>A. ovalis</i>	<i>A. canadensis</i>	<i>A. florida</i>	<i>A. spicata</i>
Квітень	153,9 ± 6,93	158,8 ± 5,56	125,1 ± 3,88	145,2 ± 5,08
Травень	143,5 ± 6,11	39,5 ± 1,14	148,8 ± 3,12	98,9 ± 2,37
Червень	141,2 ± 2,96	54,4 ± 1,42	142,5 ± 4,70	119,2 ± 2,15
Липень	147,1 ± 2,79	192,9 ± 5,21	211,1 ± 5,28	172,5 ± 2,93
Серпень	173,2 ± 4,80	181,2 ± 5,80	189,7 ± 3,42	180,8 ± 5,24

У листках *A. ovalis* активність BPOD за весь період спостереження виявилась високою і достатньо вирівняною, особливо в травні – липні. Найбільша активність ферменту відмічалась у серпні. Інші види, на відміну від *A. ovalis*, протягом періоду виявили більш різкі відміни в активності BPOD. Різниця була суттєвою, особливо у *A. canadensis*, у листках якого в травні та червні відмічалось різке падіння активності в 4,0 і 2,9 разу відповідно, порівняно з квітнем, а в липні та вересні – різке підвищення, що свідчить про стресовий стан рослини.

Найвища активність BPOD зареєстрована у видів ірги канадської і рясоноквітучої в липні, що пов'язано з несприятливим гідротермічним режимом у цей період. У виду *A. spicata*, як і у *A. ovalis*, пік активності припадав на серпень. У першого в липні спостерігалось зниження активності BPOD порівняно з квітнем на 18,8 %. Слід

відзначити, що тільки у виду *A. florida* виявлене поступове підвищення активності бензидин-пероксидази від квітня до липня, а далі невелике зниження на 10,2 %. Порівняно з квітнем у липні активність BPOD підвищувалась на 68,7 % як реакція на посушливий період.

Порівняно з бензидин-пероксидазою набагато менше відомо про участь у забезпеченні термотолерантності рослин каталази і гваякол-пероксидази (Rusnak et al., 2013). GPOD бере участь в окисненні різних субстратів, таких як феноли, ароматичні аміни, а також у процесах лігніфікації. За результатами наших досліджень всі види виявилися подібними за напрямом змін активності гваякол-пероксидази. Відмінність полягала у величинах даного показника. Так, у листках *A. ovalis* і *A. canadensis* спостерігалась більш висока активність ферменту у квітні порівняно з *A. spicata* і *A. florida* (табл. 2).

Таблиця 2

Сезонна динаміка активності гваякол-пероксидази в листках видів ірги

Місяць відбору листків	Види роду <i>Amelanchier Medik.</i>			
	<i>A. ovalis</i>	<i>A. canadensis</i>	<i>A. florida</i>	<i>A. spicata</i>
Квітень	77,5 ± 2,31	59,8 ± 1,85	31,4 ± 0,78	38,6 ± 1,16
Травень	9,10 ± 0,23	5,30 ± 0,09	8,80 ± 0,25	5,80 ± 0,16
Червень	14,0 ± 0,47	6,40 ± 0,18	16,5 ± 0,51	11,4 ± 0,35
Липень	5,46 ± 0,15	5,20 ± 0,15	11,2 ± 0,34	5,90 ± 0,07
Серпень	6,60 ± 0,25	10,9 ± 0,28	8,60 ± 0,14	7,21 ± 0,22

Якщо у двох перших видів активність була на рівні 77,5 і 59,8 мкМ сек-1 г-1 СР, то в другій групі видів вона дорівнювала 31,4 і 38,6 мкМ сек-1 г-1 СР відповідно. Починаючи з травня (фаза активного росту і цвітіння) і до

кінця періоду спостережень активність GPOD різко знижувалась у всіх видів ірги. Невелике зростання активності спостерігалось в червні, а саме у трьох видів *A. ovalis*, *A. florida* і *A. spicata*. У листках *A. canadensis*

підвищення активності відмічено в серпні порівняно з періодом від травня до липня.

Активність каталази розглядається як індикатор функціонального стану рослин та їх реакції на впливи довкілля (Zajtseva, Dolgova, 2010). Аналіз динаміки

активності каталази в листках представників роду *Amelanchier* Medik. показав подібність до такої у гваякол-пероксидази: найвищий рівень спостерігався у квітні, а далі мало місце істотне гальмування активності ензиму (табл. 3).

Таблиця 3

Сезонна динаміка активності каталази в листках видів роду *Amelanchier* Medik.

Місяць відбору листіків	Види роду <i>Amelanchier</i> Medik.			
	<i>A. ovalis</i>	<i>A. canadensis</i>	<i>A. florida</i>	<i>A. spicata</i>
Квітень	37,9 ± 0,45	33,1 ± 0,96	13,8 ± 0,21	33,5 ± 0,74
Травень	2,10 ± 0,03	3,20 ± 0,10	2,10 ± 0,05	1,45 ± 0,03
Червень	0,34 ± 0,01	0,14 ± 0,002	0,36 ± 0,007	0,61 ± 0,02
Липень	0,59 ± 0,02	0,97 ± 0,03	3,90 ± 0,09	0,97 ± 0,02
Серпень	3,80 ± 0,14	4,90 ± 0,06	3,05 ± 0,07	15,8 ± 0,25

Динаміка активності каталази протягом вегетації виявилася найбільш подібною у видів *A. ovalis* і *A. canadensis*. У листках *A. florida*, на відміну від попередніх видів, відмічався невеликий пік активності в липні, а в серпні активність ферменту знижувалась на 21,8 % порівняно з липнем. Ірга колосиста (*A. spicata*) показала істотне підвищення активності САТ в 6,4 разу в серпні порівняно з липнем.

Установлено видоспецифічність активності антиоксидантних ферментів, а також ізоферментного складу бензидин-пероксидази, що свідчило про різну ступінь адаптивності інтродукованих рослин до несприятливих зимових умов степової зони. Показано, що види *A. florida* і *A. spicata* виявились за цими показниками більш успішними в пристосуванні до умов зими. У той час як у видів *A. ovalis* і *A. canadensis* вплив несприятливих умов степової зони супроводжувався підвищенням активності антиоксидантних ферментів.

На основі отриманих нами результатів дослідження також показано доволі широкий діапазон міжвидової варіабельності активності ферменту в листках видів ірги, індукованих умовами навколишнього середовища. Це узгоджується з дослідженнями Zajtseva and Dolgova (2010), які вивчали динаміку активності пероксидази представників інших родових комплексів рослин в умовах Степової зони.

У ряді наукових робіт показано, що гваякол-пероксидаза є функціонально лабільним ферментом, який реагує на порушення клітинного гомеостазу за дії стресів, зокрема теплового, причому різні види рослин використовують різні механізми для запобігання пошкоджуючій дії стресів (Rusnak et al., 2008; Piryzhok et al., 2008). Так, у *Arabidopsis thaliana* індукція гваякол-пероксидази спостерігалась на ранніх стадіях помірного теплового стресу, а в умовах жорсткого (44 °C) – функція GPOD істотно знижувалась майже наполовину. У *Zea mays* помірний тепловий стрес не викликав істотних змін активності, у той час як тепловий шок зумовлював зростання активності GPOD на 60 % (Piryzhok et al., 2008). У наших дослідженнях найвища активність спостерігалась на початку фази активного росту видів ірги, а за несприятливого температурного режиму вона була істотно знижена порівняно з початком спостереження на 93 %. Суттєва активація GPOD у квітні (фаза активного росту), на наш погляд, може бути пов'язана з процесами лігніфікації в більшій мірі, ніж із захистом від оксидативного стресу.

Таким чином, варіювання рівня активності антиоксидантних ензимів в листках ірги протягом вегетаційного періоду є механізмом пристосування до умов довкілля і в цілому відображає адаптивну здатність досліджених видів, які мають високий антиоксидантний потенціал і можуть протистояти розвитку оксидативного стресу за певних впливів несприятливих абіотичних факторів.

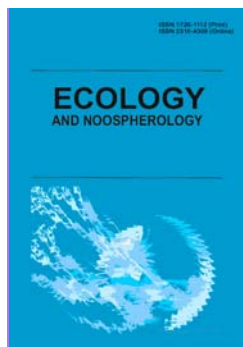
Висновки

Результати досліджень дозволили з'ясувати значення змін основних показників системи антиоксидантного захисту, а саме ензимів – каталази, бензидин-пероксидази і гваякол-пероксидази, у листках представників роду *Amelanchier* Medik., інтродукованих у Степовому Придніпров'ї, у процесі онтогенезу. Установлено, що кожний вид ірги має свій оптимум активності ферментів у різні періоди росту і розвитку рослин. Показано, що вивчені види мали найбільш високу антиоксидантну активність GPOD і САТ на початку фази активного росту рослин. У подальшому їх активність різко знижувалась і з травня по серпень залишалась стабільно низькою порівняно з квітнем у всіх видів ірги. На відміну від GPOD і САТ, зареєстровано високу активність бензидин-пероксидази впродовж усього вегетаційного періоду. Максимум активності GPOD встановлений у фазу вторинного росту рослин за найбільш несприятливого гідротермічного режиму.

References

- Alscher, R. G., Donahue, J. L., Cramer, C. L. (1997). Reactive Oxygen Species and Antioxidants: Relationships in Green Cells. *Physiol. Plant*, 100, 224–233.
- Andrienko, O. D. (2016). *Ekologo-biologichni osoblyvosti vydiv rodu Amelanchier Medik. v umovax introdukciyi u Pravoberezhnomu Lisostepu Ukrainy* [Ecological and biological peculiarities of species of *Amelanchier* Medik. genus in conditions of Pravoberezhnyi Forest-Steppe of Ukraine]. *Avtoref. kand. biol. nauk. Uman* (in Ukrainian).
- Dolgova, D. G., Samojlova, M. V. (2010). *Vmist prolinu yak pokaznyk stijkosti rosly'n-introducentiv rodu Amelanchier Medik.* [The content of proline as parameter of stability of plant-introducents of *Amelanchier* Medik. genus.]. *Zbirnyk naukovykh prats. ZNU, Zaporizhzhya*, 29–32 (in Ukrainian).
- Gerosa, G., Marzuoli, R., Finco, A., Monga, R., Fuzaro, L., Faoro, F. (2014). Contrasting effect of water salinity and ozone concentration on two cultivars of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) in Mediterranean conditions. *Environ. Poll.*, 193, 13–21.
- Goth, L. (1991). A simple method for determination of serum catalase activity and revision of reference range. *Clinica Chimica Acta*, 196, 143–152.
- Grebennikova, O. A. (2008). *Osobennosti sostava i soderzhaniya fenolnih soedineniy v plodah alyichi* [Peculiarities of composition and content of phenolic compounds in fruit of cherry-plum]. *Bulletin of the Nikitskiy bot. garden*, 97, 66–68 (in Russian).
- Gregory, R. P. F. (1966). A rapid assay for peroxidase activity. *Biochem. J.*, 101(3), 582–583.
- Gür, A., Demirel, U., Özden, M., Kahraman, A., Çopur, O. (2010). Diurnal gradual heat stress affects antioxidant

- enzymes, proline accumulation and some physiological components in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *African J. of biotech.*, 9(7), 1008–1015.
- Kabar, A., Khromykh, N., Shupranova, L., Lykholat, Y. (2016). Antioxidant enzymes and peroxidase isoforms variation in the dormant buds of fruit plants introduced in the Steppe zone. *Agrobiodiversity for improving nutrition, health and the life quality*. Nitra, 155–159.
- Khromykh, N. O., Lykholat, Y. V., Kovalenko, I. M., Kabar, A. M., Didur, O. O., Nedzvetska, M. I. (2018). Variability of the antioxidant properties of *Berberis* fruits depending on the plant species and conditions of habitat. *Regul. Mech. Biosyst.*, 9(1), 56–61.
- Kuklina, A. G. (2011). Naturalization of *Amelanchier Medik.* species from North America in a secondary habitat. *Russian J. of Biol. Invasions*, 2(2–3), 103–107.
- Kuklina, A. G., Sorokopudov, V. N., Tsybulko, N. C. (2017a). Fitohimicheskii analiz plodov i listev irgi (*Amelanchier Medik.*) v kultigennih i invasiionih populyatsiyah [Phytochemical analysis of fruits and leaves of Saskatoon (*Amelanchier Medik.*) in cultigenic and invasions populations]. *Plodovodstvo and yagodovodstvo of Russia*, 49, 39–42 (in Russian).
- Kuklina, A., Sorokopudov, V., Stepanova, A. (2017). *Amelanchier Medik.* (Rosaceae) fruits – a nutrition dietary product and a source material for phytopharmacology. *Agrobiodiversity*, 268–272.
- Lavrov, V. V., Blinkova, O. I., Ivanenko, O. M., Polyschuk, Z. V. (2017). Zmini konsortivnih zvyazkiv afiloforoyidnih gribiv ta *Quercus robur* L. u rekreatsinyo-ozdorovchih lisah zelenoyi zoni m. Umani [Changes in consortial links of Aphyllophoroid fungi and *Quercus robur* L. in the recreational forests of the green zone of the city]. *Ecology and Noospherology*, 28(3–4), 5–20 (in Ukrainian).
- Lykholat, Y. V., Khromykh, N. O., Shupranova, L. V., Kovalenko, I. M., Fedenko, V. S., Alekseeva, A. A. (2018). Zakonomirnosti adaptatsiyi aborigennih ta introdukovanih vidiv derevnih roslin do minlivih umov stepovogo Pridniprova: monografiya [Conformities to law of adaptation of aborigines and introductiveness species of woody plants to the changeable terms of Pridniprova steppe: monograph]. FOP Tzema S.P., Sumy (in Ukrainian).
- Morgun, V. V., Kirizij, D. A., Shadchina, T. M. (2010). Ekofiziologicheskie i geneticheskie aspekty adaptatsii kulturnykh rasteniy k globalnyim izmeneniyam klimata [Ecophysiological and genetic aspects of adaptation of cultural plants to the global changes of climate]. *Physiology and biochemistry of cult. plants*, 42(1), 3–22 (in Russian).
- Polonska, A. K., Ejov, V. N., Korniljev, G. V., Grebennikova, O. A. (2007). Biologicheski aktivnyie veschestva listev nekotorykh plodovykh kultur v svyazi s perspektivoy ih ispolzovaniya v pischevykh produktakh [Bioactive substances of leaves of some fruit cultures in connection with prospect of their use in food products]. *Uchenye zapiski TNU imeni V.I. Vernadskogo, series Biology, Chemistry*, 20(3), 122–127 (in Russian).
- Prisedsky, Y., Kabar, A., Lykholat, Y., Martynova, N., Shupranova, L. (2017). Activity and isoenzyme composition of peroxidase in Japanese quince vegetative organs under steppe zone conditions. *Biologija. (Lietuvos mokslo akademija)*, 63(2), 185–192.
- Pyryzhok, R. Y., Volkov, R. A., Panchuk, I. I. (2008). Aktivnost peroxidasi prorstkiv kukurudzi v umovah teplovogo stresu [Activity of peroxidase of mays seedlings upon heat stress treatment]. *Physiol. and biochem. of cult. plants*, 40(1), 1–6 (in Ukrainian).
- Pyryzhok, R. Y., Volkov, R. A., Panchuk, I. I. (2008). Temperaturozalezhna aktivnist gvajakolperoxidasi u APX2 nokaut-mutantiv arabidopsisu [Temperature-dependent activity of guaiacolperoxidase in APX2 nokaut-mutants of arabidopsis]. *The bulletin of the Ukrainian society of genetics and selectors*, 6(2), 275–281 (in Ukrainian).
- Quan, L. J., Zhang, B., Shi, W. W., Li, H. Y. (2008). Hydrogen peroxide in plants: a versatile molecule of the reactive oxygen species network. *J. Integr. Plant Biol.*, 50(1), 2–18.
- Ranieri, A., Castagna, A., Baldam, B., Soldatini, G. F. (2001). Iron deficiency differently affects peroxidase isoforms in sunflower. *J. Exp. Bot.*, 52(354), 25–35.
- Rusnak, T. O., Doliba, I. M., Volkov, R. A., Panchuk, I. I. (2013). Aktivnost gvajakolperoxidasi u nokautnoj linii KO-Cat2 Arabidopsis thaliana za umov teplovogo stresu [Guaiacol peroxidase activity in Cat2 Knock-out mutant of Arabidopsis thaliana upon heat stress treatment]. *Physiol. and biochem. of cult. plants*, 45(3), 19–26 (in Ukrainian).
- Strela, T. E. (1970). Biologicheskie osobennosti vidov roda irga (*Amelanchier Medic.*) i perspektivi ih ispolzovaniya [Biological peculiarities of irga kinds (*Amelanchier Medic.*) and prospects of their use]. *Avtoref. dissert.* Kiev (in Russian).
- Zajtseva, I. O., Dolgova, L. G. (2010). Fiziologo-biohimichni osnovi introduktsii derevnih roslin u stepovomu Pridniprovi: monografia [Physiological and biochemical basis of introduction in Steppe Pridneprov'e]. Publ. house of Dnipropetrovsk National University, Dnipropetrovsk (in Ukrainian).



Radiation situation in typical mining-processing agglomerations of the Dnepropetrovsk region

O. O. Shugurov, A. V. Knyazyuk

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Article info

Received 10.03.2018

Received in revised form

18.03.2018

Accepted 23.03.2018

*Oles Honchar Dnipro
National University,
Gagarin Ave., 72, Dnipro,
49010, Ukraine.
Tel.: +38-066-509-44-99
E-mail: oshugurov@gmail.com*

Shugurov, O. O., & Knyazyuk, A. V. (2018). Radiation situation in typical mining-processing agglomerations of the Dnepropetrovsk region. *Ecology and Noospherology*, 29(1), 8–12. doi:10.15421/031802

The existing agglomeration of mining and processing enterprises in the Dnipropetrovsk region of Ukraine can significantly influence on the radiation situation in the nearest small working cities. The purpose of the work was to determine the level of radiation pollution in the territory of the city Pokrov of the Dnipropetrovsk region, originating from mining waste rock at local enterprises. In the work we used profile reconnaissance. Radiation background measurements were made at equal distances along straight lines. The working measurement step corresponded to an average value of 300 m. During the research, 259 measurements in the γ -range were made. Studies covered a total area of about 25 km² (an average of 16 measurements per 1 km). For the accurately adjust the measurement location and then transfer the results to the map, a GPS tracker was used. It was revealed that the greatest radiation contamination in the investigated area was recorded on the territory of Tokovsky spillway, where flooded quarries for the extraction of red granites (50 μ R/h and above) are located. The territories of all working quarries exhibit an increased radiation background (17–21 μ R/h), with maximum values (30–35 μ R/h) on their lower horizons. This increase is due to small outcrops of granite in some formations, as well as places for direct mining of manganese ore. A slight increase in the background relative to residential areas (from 13 to 20 μ R/h) was noted at the ore-dressing and slurry storages, but still it remains at an acceptable level, which does not affect the city's population working here. The radiation background in the area of city Pokrov and adjacent villages, reclaimed lands and agricultural fields has a low level (5–7 μ R/h). A number of city points (roads and a bridge across the Bazavluk River, monuments) showed pollution at a level of 10–15 μ R/h. This is due to the use of local natural materials in their construction. Thus, the overall radiation situation in the city of Pokrov and the agglomeration of ore mining and processing enterprises at the present time can be assessed as satisfactory by modern criteria.

Keywords: radiation situation; gamma-radiation; mining and processing enterprises

Радиационная обстановка в типичных горнообогатительных агломерациях Днепропетровской области

О. О. Шугуров, А. В. Князюк

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара, Днепр, Украина

Существующие в Днепропетровской области агломерации горнообогатительных предприятий способны существенно влиять на радиационную обстановку в прилегающих к ним маленьких рабочих городах. Целью работы стало определение уровня радиационного загрязнения территории города Покров Днепропетровской области, происходящего от отходов горных пород на местных предприятиях. В работе применяли профильную разведку: производили измерения радиационного фона на равных расстояниях вдоль прямых линий. Рабочий шаг измерения соответствовал среднему значению в 300 м. Всего в процессе исследований было сделано 259 радиационных измерений в γ -диапазоне излучений, которые охватили общую площадь около 25 км² (в среднем 16 измерений на 1 км). Для точной корректировки места измерения и переноса полученных результатов на карту был использован GPS-трекер. Наибольшее радиационное загрязнение в исследуемом районе отмечено на территории Токовских водосбросов, где расположены затопленные карьеры по добыче красных гранитов (50 мкР/ч и выше). Территории всех работающих

карьеров проявляют повышенный радиационный фон (17–21 мкР/ч), причем на их нижних горизонтах отмечены максимальные значения (30–35 мкР/ч). Такое повышение связано с небольшими выходами гранита на некоторых пластах, а также местами прямой добычи марганцевой руды. На горнообогатительных фабриках и шламохранилищах отмечено небольшое повышение фона относительно жилых территорий (от 13 до 20 мкР/ч), но все-таки он остается на допустимом уровне, не влияющем на работающее здесь население города. Радиационный фон на территории города Покров, прилегающих сел, рекультивированных земель и на сельскохозяйственных полях имеет низкий уровень (5–7 мкР/ч). В ряде точек города (дороги, мост через реку Базавлук, памятники) обнаружено загрязнение на уровне 10–15 мкР/ч, что связано с использованием при их строительстве местных природных материалов. Таким образом, общую радиационную ситуацию на территории города Покров и агломерации горнообогатительных предприятий на данный момент по современным критериям можно оценить как удовлетворительную.

Ключевые слова: радиационная ситуация; гамма-излучение; горнообогатительные предприятия

Введение

Долгое время считалось, что основным источником природного ионизирующего излучения являются горные породы и космос. Уровни земной радиации в различных регионах всегда были неодинаковыми. Районы месторождений фосфоритов или кристаллических пород, железных, марганцевых, урановых руд, радиоактивных сланцев, ториевых песков, радоновых минеральных источников отличаются по характеру и распределению на поверхности планеты, как следствие – существенно отличается и природный радиационный фон в таких местах (Galperin, 2010; Kovalenko, Voloshin, 2010).

В соседних с Украиной странах производится постоянный мониторинг радиационного загрязнения в местах, где осуществляются горнопромышленные работы (Lebedev, 2012; Ryabtseva, 2015). Выявлены подобные аномальные районы и в Днепропетровской области Украины: г. Желтые Воды, г. Кривой Рог, г. Ингулец, г. Марганец, г. Покров (бывший Орджоникидзе). В этих местах выхода на поверхность полезных ископаемых естественный фон в десятки (а иногда и сотни) раз выше, чем в соседних. Это вызвано повышенной миграцией изотопа из почв, которые разрабатываются открытым и закрытым способом, и из отработок (шламов) горнообогатительных комбинатов (Landa, 2004; Sokolov, 2005).

Промышленный г. Покров является типичным представителем территорий Днепропетровской области, включающих в себя агломерацию как горнообогатительных комбинатов, так и расположенных между ними районов, в которых проживает работающее на производстве население. Радиационные загрязнения от отходов горных пород являются типичными для малых промышленных городов Днепропетровской области и требуют постоянной оценки, чему и посвящена данная работа.

Материалы и методы исследования

В процессе работы были проведены полевые радиоизмерительные методы изучения экологической обстановки в исследуемом районе, уровня влияния на человека и окружающую среду природных и антропогенных геофизических факторов (Kharchenko, 2011). В наших исследованиях для измерения фона был использован дозиметрический рентгенметр ДПИ-5В (Vishnyakov, Mishnev, 2013), предназначенный для измерения значений гамма-радиации, а также радиоактивной зараженности различных почв и предметов.

В зависимости от поставленных задач изначально применяли профильную разведку. В таком случае производится измерение радиационного фона на равных расстояниях вдоль одной прямой линии (профиля), каждая точка в котором называется пикетом (Gablin et al., 2012). Также в процессе работы проводили площадную съемку (измерение радиационного фона по всей исследуемой площади по равномерной сетке) в соответствии с существующими картографическими методами (Romashova et al., 2012; Lebedev, 2012).

Рабочий шаг (расстояние между пикетами профиля и между самими профилями) выбирали в соответствии с

размером исследуемой территории и необходимой степенью детализации распределения – он соответствовал среднему значению в 300 м. При выборе данного шага учитывали, что данные, полученные с большой детализацией, имеют большую ценность.

Всего в процессе исследований было сделано 259 радиационных измерений в γ -диапазоне излучений, которые охватили общую площадь около 25 км² (в среднем 16 измерений на 1 км). Для точной корректировки места измерения и последующего переноса полученных результатов на карту был использован GPS-трекер. Так как большинство измерений проходили в открытых карьерах, то рабочий шаг на карте не был абсолютно равным.

Результаты проведения полевых измерений радиационного фона подвергали статистической обработке с использованием программного средства *Statistica v.6.0*.

Результаты исследования и обсуждение

В обследованные территории входили: город Покров с рядом рабочих поселков, 5 рабочих карьеров и один нерабочий, 3 горнообогатительные фабрики, каскад Токовских водопадов, на котором находятся открытые выходы гранита. После внесения всех измерений данные по 20 зонам были представлены в виде табл. 1, вычислены средние значения радиационного состояния на местности и на основе этих данных сделана карта распределения радиационного загрязнения естественными изотопами на обследованной местности (рис. 1).

Рассмотрим специфику радиационного загрязнения в обследованных зонах, прилегающих к городу Покров (усредненные радиометрические данные представлены в табл. 1).

Таблица 1

Средний природный фон обследованной территории вблизи г. Покров

1	50 мкР/ч
2	15 мкР/ч
3	12 мкР/ч
4	10 мкР/ч
5	16 мкР/ч
6	25 мкР/ч
7	12 мкР/ч
8	16 мкР/ч
9	28 мкР/ч
10	16 мкР/ч
11	4 мкР/ч
12	7 мкР/ч
13	16 мкР/ч
14	21 мкР/ч
15	31 мкР/ч
16	34 мкР/ч
17	17 мкР/ч
18	17 мкР/ч
19	34 мкР/ч
20	20 мкР/ч
Среднее значение	20 мкР/ч

Зона № 1. Каскад Токовских водосбросов. Высокий уровень радиационного загрязнения в данной зоне связан с выходом на поверхность гранитных пород, которые имеют второй уровень радиационного излучения (самый высокий показатель в районе города Покров).

Зона № 2. Шламохранилище Александровской агломерационной фабрики. Средний фон составляет 15 мкР/ч, который связан со значительным содержанием частиц марганца, гранита.

Зона № 3. Рекультивированная земля, ранее использованная для нужд горнообогатительных комбинатов. В данной местности радиационный фон находится в норме, незначительное повышение его проявляется возле воды.

Зона № 4. Шоссейная дорога и прилегающие к ней поля. Здесь загрязнение незначительное, по всей территории в пределах 10 мкР/ч.

Зона № 5. Александровский карьер. Уровень излучения в норме, однако оно несколько выше, чем на нетронутых окружающих карьер грунтах.

Зона № 6. Село Шолохово, прилегающее с северо-востока к г. Покров, река Базавлук. Измерения проходили вдоль шоссе, на мосту через реку, на окружающих полях. Средний радиационный фон несколько повышен, что связано с использованием здесь местных строительных материалов. Максимальный фон был выявлен на мосту, произведенному из местных гранитов.

Зона № 7. Северо-восточная границная область поселка Рудник и прилегающая к нему часть Богдановского карьера. Общий радиационный фон незначительный. Измерения произведены вдоль дорог, на полях и возле карьера.

Зона № 8. Богдановский карьер (верхние пласты). Измерения фона осуществляли на поверхности карьера, не ниже глубин в 20 м.

Зона № 9. Богдановский карьер (глубокие области). В самой низшей точке изменения (50–55 м ниже

поверхностного уровня), в точках, где проходит погрузка марганцевой руды, средний фон повышен и находится на уровне предельной нормы естественного излучения.

Зона № 10. Непосредственно поселок Рудник. Все измерения показали очень низкий радиационный фон – 4 мкР/ч.

Зона № 11. Богдановская агломерационная фабрика. На территории найдены средние показатели фона, небольшое повышение связано с наличием систем обогащения руды и ее перевозкой. Также фабрика занимается изготовлением и использованием строительных материалов.

Зона № 12. Территория город Покров. Средний фон – незначительный, в отдельных точках городов обнаружено его повышение, связанное с использованием гранита в памятниках и брусчатке.

Зона № 13. Чкаловская агломерационная фабрика. Территория включает шламохранилище. Некоторое повышение фона связано с использованием промышленных руд.

Зоны № 14 и № 15. Шевченковский карьер. Включает сельскохозяйственные поля. Средние показатели, которые несколько повышаются в отвалах. Однако в нижних частях карьера в местах выхода гранита (который взрывают в процессе его добычи) показатели выше нормы – 31 мкР/ч.

Зоны № 16 и № 17. Северный карьер и Чкаловский № 2. Средний фон в верхних частях карьеров находится в пределах от 17 до 21 мкР/ч, что является нормой, хотя он и выше, чем в других участках. В местах прямой добычи марганцевой руды в глубоких частях обоих карьеров радиационная обстановка достигает значений 34 мкР/ч.

Зоны № 18 и № 19. Чкаловский карьер № 1 (единственный карьер, который на сегодняшний день работает). На верхних участках фон достигает 17 мкР/ч, на его низших точках – 34 мкР/ч.

Зона № 20. Территория Чкаловской обогатительной фабрики показала средний радиационный фон, который свойствен значениям в верхних частях карьеров по добыче ископаемых.



Рис. 1. Средний природный фон при обследовании г. Покров и прилегающих промышленных территорий

Исходя из промышленной ситуации (рис. 1), г. Покров окружен со всех сторон горнообогатительными предприятиями, а также набором горных выработок, образованных при добыче полезных ископаемых открытым способом. В этих зонах добываются марганцевые и сопряженные с ними руды, которые

содержат природные радиоактивные элементы, обуславливающие появление фонового излучения в γ -диапазоне.

Если обогатительные фабрики находятся непосредственно на территориях г. Покров и прилегающих населенных пунктов, то выработки, карьеры и шламохранилища находятся на некотором удалении от

населенных пунктов: минимальное расстояние – 1,5 км (для обоганительных комбинатов), максимальное – от 10 до 11 км (карьер Чкаловский № 1 на востоке и Токовский затопленный карьер – на западе). Как следствие, загрязнение природными радионуклидами, присутствующими в обрабатываемых горных породах, и определяет итоговые значения загрязнения на территории жилых районов г. Покров и его пригородов (поселков).

Крупнейший в Европе по запасам и в промышленном значении Никопольский марганцеворудный бассейн находится в русле рек Днепр, Молочная, у городов Никополь

и Запорожье. В его состав входит Никопольское, Большое Токмакское рудные месторождения, которые находятся в районе реки Ингулец, южнее Кривого Рога (рис. 2). Город Покров находится на границе зоны повышенной природной радиации, обусловленной выходами на поверхность полезных ископаемых (Gudkov, 2001).

Основной загрязнитель данной местности – Орджоникидзевский горнообогатительный комбинат, расположенный в 10–15 км от г. Никополь, сырьевой базой комбината является Никопольское месторождение марганцевых руд. На базе упомянутого месторождения



Рис. 2. Современный радиационный фон на территориях центральной Украины, прилегающих к Днепропетровской области (показано место расположения г. Покров)

эксплуатируются ряд карьеров: Александровский, Шевченковский, Богдановский, Запорожский, Покровский, Северный и Чкаловские № 1 и № 2. Никопольское марганцевое месторождение руды находится в соседстве с Криворожским железорудным бассейном, содержащим в грунте большое количество различных тяжелых металлов (Sherstyuk, 2012).

Продукция указанного Орджоникидзевского комбината – агломерат марганцевый, камень стеновой, песок закладочный, руда марганцевая обогащенная окислительно-карбонатная, сырье глинистое для производства керамзитового гравия и песка. Все указанные компоненты в той или иной степени содержат природные радиоактивные вещества.

Между городом и Богдановским карьером расположена основная промплощадка, на которой размещены Богдановские обоганительная и агломерационная фабрики. Еще одна действующая Чкаловская обоганительная фабрика расположена в 3 км к востоку от города на расстоянии 0,5 км от поселка Екатериновка. Александровская обоганительная фабрика находится на расстоянии 2 км к западу от города и 0,3 км южнее поселка Александровка. Все объекты (комбинаты) показали повышенные значения фона (20–25 мкР/ч), что связано, вероятно, со значительным пылеобразованием и отходами промобогащения.

На качественные показатели радиационного состояния почвы в районе г. Покров оказывают отрицательное влияние открытые горные работы, прежде всего в связи с изменением гидрологического режима, пыле- и газовыделением. Кроме того, горнотехническая и биологическая рекультивация выполняются в отдельных случаях с нарушением установленных требований.

Значительная часть указанных горнообогатительных предприятий отнесена к категории экологически опасных, поскольку они имеют в своем составе хвостохранилища, в которых в значительных объемах (от 16 до 400·10⁶ м) накоплены шламы, содержащие железо, марганец, титан, уран. Поэтому в местах добычи марганцевой руды, а также на агломерационных фабриках и шламохранилищах присутствует повышенная концентрация радиационного излучения (в среднем от 17 до 31 мкР/ч).

Токовское гранитное месторождение, показавшее максимальный природный фон γ -излучения (до 50 мкР/ч), оценивается запасами красного гранита в 70 млн м³ и является одним из крупнейших в Украине: Токовский гранит твердый и долговечный, но при этом он

используется только для внешней отделки, поскольку имеет второй класс радиоактивности.

Почвы местных рекультивированных участков имеют весьма незначительные уровни радиозагрязнения (7–10 мкР/ч), аналогичные значения обнаружены на залегающих здесь черноземах, используемых в сельском хозяйстве.

Территория города Покров составляет 2,6 тыс. га и состоит из самого города и пригородов: Чертомлык, Горнякское, Горняк, Рудник. Радиационный фон в этих объектах определяется расстоянием до обоганительных фабрик, шламохранилищ и карьеров, поэтому уровни фона здесь отличаются в 2–3 раза, но в целом указанный уровень безопасный (17–20 мкР/ч). Несколько повышенные значения излучений (до 30–35 мкР/ч) в жилых зонах наблюдаются в местах концентраций пыли от транспорта – на дорогах, мостах, что соответствует предложенным гигиеническим оценкам загрязнения территорий города радиоактивными веществами техногенного происхождения (Okhrimenko et al., 2016).

Следует отметить, что в настоящее время в достаточной мере разработаны критерии оценки степени промышленного радиационного загрязнения окружающей среды. Разработанная и действующая в настоящее время система природоохранных критериев (например, предельно допустимые концентрации, предельно допустимые выбросы и сбросы загрязняющих веществ) техногенной среды должна учитывать и возможности постоянного переноса радиоизотопов на значительные территории, не имеющие отношения к горнообогатительным и металлургическим предприятиям (Kornilovich, 2006).

Определенную проблему населению и экосистемам степной зоны Украины (в первую очередь Каховского водохранилища) могут представлять воды реки Базавлук, которые насыщены радиоизотопами от гранитных пород, приходящихся на Токовские каскады водосбросов. Соответственно для реки Днепр важна геоинформационная методология анализа радиационного загрязнения речных систем (Polishchuk et al., 2005), поскольку в итоге указанные процессы негативно влияют на состояние воды и водной биоты данного региона (Ananieva et al., 2016).

Выводы

На основании проведенных измерений и оценки радиационного фона в типичных горнообогатительных

агломерациях Днепропетровской области можно сделать ряд выводов.

Наибольшее радиационное загрязнение в исследуемом районе отмечено на территории Токовских водосбросов, где расположены затопленные карьеры по добыче красных гранитов (50 мкР/ч и выше).

Территории всех работающих карьеров проявляют повышенный радиационный фон (17–21 мкР/ч), причем на их нижних горизонтах отмечены максимальные значения (30–35 мкР/ч). Такое повышение связано с небольшими выходами гранита на некоторых пластах, а также местах прямой добычи марганцевой руды.

На горнообогатительных фабриках и шламохранилищах отмечено небольшое повышение фона относительно жилых территорий (от 13 до 20 мкР/ч), но все-таки он остается на допустимом уровне, который не влияет на работающее здесь население города.

Радиационный фон на территории города Покров, прилегающих сел, рекультивированных земель и на сельскохозяйственных полях имеет низкий уровень (5–7 мкР/ч). В ряде точек города (дороги и мост через реку Базавлук, памятники) обнаружено загрязнение на уровне 10–15 мкР/ч, что связано с использованием при их строительстве местных природных материалов. Поэтому общую радиационную ситуацию на территории города Покров и агломерации горнообогатительных предприятий на данный момент по современным критериям можно оценить как удовлетворительную.

References

Ananieva, T. V., Fedonenko, E. V., Shapovalenko, Z. V. (2016). Vklad radioekologicheskogo faktora v sostoyaniye metabolizma ryb transformirovannogo vodoyema [Contribution of the radioecological factor to the metabolism of fish in a transformed water bodies]. Biodiversity after the Chernobyl accident: The scientific proceed. of the Int. network AgroBioNet. Slovak Univ. Agricult., Nitra, Part II, 15–19 (in Russian).

Gablin, V. A., Ermakov, A. I., Kashirin, I. A. (2005). Sravnitel'naya otsenka rezultatov izmerenij radiatsionnih parametrov gruntov i pochv s uchastkov radiatsionnogo zagrjaznenija [Comparative evaluation of the results of measurements of radiation parameters of soils and soils from radiation contamination sites]. ANRI, 1, 49–55 (in Russian).

Galperin, M. L. (2012). Obshhaya ekologiya [General ecology]. Forum, Moscow (in Russian).

Gudkov, I. M. (2001). Suchasna radiatsijna obstanovka v Ukraini ta dejaki problemi radiologishnoji osviti v agrarnih navchalnih zakladah [Modern radiation situation in Ukraine and some problems of radiological education in agrarian educational institutions]. Agrarian science and education, 2(3–4), 5–13 (in Ukrainian).

Kharchenko, M. A. (2011). Radiatsija. Nevidimij ubijtsa [Radiation. The invisible killer]. Fenix, Rostov-na-Donu (in Russian).

Kovalenko, G. D., Voloshin, V. S. (2010). Osnovi radiatsionnoj ekologii [Fundamentals of radiation ecology]. Renata, Mariupol (in Ukrainian).

Kornilovich, B. J. (2006). Dejaki aspekti rozvitky prikladnoj radiohimiji i radioekologii [Some aspects of the development of applied radiochemistry and radioecology]. Ukr. Chemical J., 72(5), 3–11 (in Ukrainian).

Landa, E. R. (2004). Uranium mill tailings: nuclear waste and natural laboratory for geochemical and radioecological investigations. J. Environ. Radioact., 77, 1–27.

Lebedev, V. V. (2012). Radiatsionnoe zagrjaznenie territorii zolotoserebrjannogo mestorojdenie «Klen» [Radiation contamination of the territory of the golden silver field «Klen»]. Bulletin Moscow State Univ. Series Natural Sci., 5, 94–97 (in Russian).

Ochrimenko, S. E., Korenkov, I. P., Akopova, N. A., Ivanov, S. I. (2016). Gigienisheskaja otsenka zagrjaznenija territorij goroda radioaktivlimi veschestvami tehnogennogo proishogdenija [Hygienic estimation of the pollution of the city's areas with radioactive substances of technogenic origin]. ANRI, 3(86), 64–71 (in Russian).

Polischuk, J. M., Peremitina, T. O., Kochergin, G. F. (2005). Geoinformatsionnaja metodologija radiatsionnogo zagrjaznenija rečnih sistem [Geoinformation methodology for the analysis of radiation contamination of river systems]. Problems of risk analysis, 2(3), 208–220 (in Russian).

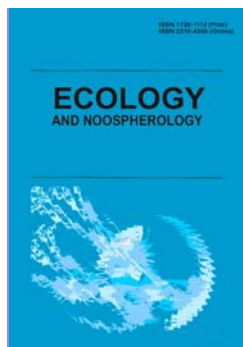
Rjabseva, A. S. (2015). Radiatsionnoe zagrjaznenie territorii Rossii i jejo regionov [Radiation pollution of the territories of Russia and its regions]. Economics and management of innovative technol., 3, 167–171 (in Russian).

Romashova, L. A., Nikolaeva, O. N., Volkova, O. A. (2012). Priminenije kartograficheskogo metoda v izutcenii i reshenii problem radiatsionnogo zagrjaznenija territorij [Application of the cartographic method in studying and solving problems of radiation contamination of territories]. Inter-Expo Geo-Siberia, 3, 187–192 (in Russian).

Sherstyuk, N. P., Khilchevsky, V. K. (2012). Osobennosti gidrohimičeskikh processov v tehnogennih i prirodnyh vodnyh objectah Krivbasa [Features of hydrochemical processes and technogenic and natural water bodies of Krivbass]. Akcent, Dnipropetrovsk (in Russian).

Sokolov, P. Ed. (2005). Kontrol radiatsionnogo zagrjaznenija okružauchej sredi ot pilevix vibrosov, nadejnoct i dolgovečnost stroitel'nah materialov, konstruksij i osnovanij fundamentov [Control of radiation pollution of the environment from dust emissions reliability and durability of building materials, structures and bases of foundations]. Proc. IV Intern. Sci. and Tech. Conf. (Volgograd, 2005), Volgograd, Volgograd State Architec. and Construction Univ., 174–176 (in Russian).

Vishnyakov, A. A., Mishnev, A. I. (2013). Rentgenmetr-radiometr DP-5: otdelnie problemi ecspluatatsii i puti ih reshenija [X-ray radiometer-DP-5: specific problems of operation and ways to solve them]. Technospheric safety, 1, 21–25 (in Russian).



ECOLOGY AND NOOSPHEROLOGY

ISSN 1726-1112 (Print)
ISSN 2310-4309 (Online)
Ecol. Noospher., 29(1), 13–25
doi: 10.15421/031803

Prediction of the different genesis soils nitrogen systems status

V. L. Samokhvalova*, A. O. Khristenko*, L. O. Shedei*,
P. A. Samokhvalova**, O. V. Karatsuba*

*National Scientific Centre «O. N. Sokolovsky Institute for Soil Science
and Agrochemistry», Kharkiv, Ukraine

**V. N. Karazin Kharkov National University, Kharkov, Ukraine

Article info

Received 18.11.2017

Received in revised form
27.11.2017

Accepted 05.12.2017

National Scientific Centre
«O. N. Sokolovsky Institute
for Soil Science and
Agrochemistry»,
Chaikovska str., 4, Kharkiv,
61024, Ukraine.
Tel.: +38-067-687-90-63
E-mail:
v.samokhvalova.com@gmail.com

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

Samokhvalova, V. L., Khristenko, A. O., Shedei, L. O., Samokhvalova, P. A., & Karatsuba, O. V. (2018). Prediction of the different genesis soils nitrogen systems status. Ecology and Noospherology, 29(1), 13–25. doi:10.15421/031803

The method for predicting the levels of the easily hydrolysable nitrogen content in soils of various types of Polesie, Forest-steppe and Steppe climatic zones of Ukraine for the assessment of soil quality due to the background conditions, the influence of technological load (for the application of organo-mineral, organic and mineral fertilizer systems), and risk or influence of technogenic pollution by heavy metals (HM) is grounded. In the elaborated methodical approach is obtained a regression equation by the determination of new correlations of soil energy intensity indices (the calorific value of humus, soil energy reserves in a layer up to 20 cm) in conjunction with the humus state and the use of mathematical and statistical analysis for determining the value of easily hydrolysable nitrogen with the ability to predict the quality of soils of various genesis, with the further extension of the method algorithm for different soil types, climatic zones due to technogenic HM pollution and technological load. The technical result of the elaborated method: by improving the determination of the levels of the easily hydrolysable nitrogen content in soils of different genesis for the evaluation of their quality by identifying the most correlated, diagnostically applicable integral basic indicators of soil properties, which allow the informativeness to make managerial decisions and to predict the quality of soils of different genesis in the content of easily hydrolysable nitrogen, as a biogenic element, due to the background conditions and anthropogenic loads with increased accuracy, speed and informativeness. Elaborated method can find application in the ecological standardization of the content of biogenic macroelements, the normalization of loads (technogenic, technological) on the soil system, agroecology for solving the problems of organic agriculture, bioenergy and energy of soil formation; diagnostics, evaluation, forecasting of the soils nitrogen systems state; the quality of humus and macroelement status of soils on indicators of ecological and energy status; effective ecological management of soils due to the background conditions, as well as for various anthropogenic influences and in scientific research for the investigating of biogeochemistry and biogenic macroelements of soil cover. Separate provisions of the elaborated method became an integral part of the proposals on adaptation to the Nitrate Council Directive 91/676 / EEC of 12.12.1991 on the protection of water from pollution caused by nitrates from agricultural sources, as amended by Regulation (EC) № 1882/2003 *Cross Nitrogen Balances Handbook*. Prospective directions of research in the field of diagnostics, assessment, forecasting of the state of soils nitrogen systems and the normalization of the elemental composition quality, in particular, the content of nutrient nitrogen are determined. In order to overcome the biogenic pollution (excessive accumulation of nitrogen compounds) in the environment (plants, waters), the normalization of nitrogen content in soils of different genesis should include: a) determination of the maximum permissible levels of mobile mineral forms of nitrate nitrogen by the elaboration of environmental requirements for nitrates contamination with plant products; b) normalization of the content of labile easily hydrolysable nitrogen and / or a dose of nitrogen fertilizers in conditions of sufficient and excessive moistening, considering the rapid processes of transformation of nitrogen compounds in soils; c) normalization of the soil nitrogen mineral compounds content in conditions of insufficient moistening and slowing down the processes of circulation of nitrogen compounds of soils. Distinctive features and advantages of the proposed elaboration in comparison with known methods and approaches are: 1) the express obtain of the accurate projected levels of easily hydrolysable nitrogen as a nutrient in the soil with the improving the accuracy of soil diagnosis by the use of the basic integrated indicators;

2) providing opportunity for greater efficiency of forecasting data on the functioning of the nitrogen systems of different genesis soils, quality, environmental and energy state of soils due to the background conditions and anthropogenic loads while minimizing the cost of material resources; 3) empowerment of the user in determination of the easily hydrolysable nitrogen content in the soil without extensive chemical analysis by the choice of regression equations, based on the use of baseline soil properties of a particular type and subtype according to the available information; 4) versatility of the method by the suitability of detected dependencies of the proposed method for all soil types and subtypes, climatic zones and contaminants.

Keywords: soil; ecological condition of soils; macroelements; labile easily hydrolysable nitrogen; energy intensity; calorific value of humus; energy reserves in the layer up to 20 cm; technogenic pollution; technological load; method; forecasting

Прогнозування стану азотних систем ґрунтів різного генезису

В. Л. Самохвалова*, А.О. Христенко*, Л. О. Шедей*,
П. А. Самохвалова**, О. В. Карацюба*

**Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії
імені О. Н. Соколовського», Харків, Україна*

***Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
Харків, Україна*

Обґрунтовано спосіб прогнозування рівнів вмісту лабільного легкогідролізованого біогенного макроелементу азоту в ґрунтах різних типів природно-кліматичних зон Полісся, Лісостепу і Степу України для оцінювання якості ґрунтів за фонових умов, впливу технологічного навантаження (за застосування органо-мінеральної, органічної та мінеральної систем удобрення ґрунтів) та ризику і наявності техногенного забруднення важкими металами (ВМ). У розробленому методичному підході встановленням нових взаємозв'язків показників енергоємності ґрунтів (теплотворна здатність гумусу, запаси енергії ґрунту в шарі до 20 см) у спряженні з гумусовим станом та використанням математико-статистичного аналізу отримують регресійне рівняння визначення величини легкогідролізованого азоту з можливістю прогнозування якості ґрунтів різного генезису, з поширенням алгоритму способу на ґрунти різних типів певної природно-кліматичної зони за умов техногенного забруднення і технологічного навантаження. Технічний результат розробленого способу: за рахунок удосконалення визначення рівнів вмісту легкогідролізованого азоту у ґрунтах різного генезису для оцінювання їх якості шляхом визначення найбільш кореляційно пов'язаних, діагностично придатних інтегральних базових показників ґрунтових властивостей, які дозволять своєчасно, з підвищеною точністю, експресністю та інформативністю приймати управлінські рішення та прогнозувати якість ґрунтів різного генезису за вмістом легкогідролізованого азоту як біогенного елементу, за фонових умов та антропогенних навантажень. Спосіб може знайти застосування в екологічному нормуванні вмісту біогенних макроелементів, нормуванні навантажень (техногенних, технологічних) на ґрунтову систему, агроєкології за вирішення питань органічного землеробства, біоенергетики і енергетики ґрунтоутворення; діагностики, оцінювання, прогнозування стану азотних систем ґрунтів; якості гумусу та макроелементного статусу ґрунтів за показниками еколого-енергетичного стану; ефективного екологічного менеджменту ґрунтів як за фонових умов, так і за різних антропогенних впливів та в науково-дослідній практиці за дослідження біогеохімії та біогенних макроелементів ґрунтового покриву. Окремі положення розробленого способу стали складовою пропозицій з адаптації до Нітратної Директиви Ради ЄС 91/676/ЄЕС від 12.12.1991 р. про захист вод від забруднення, спричиненого нітратами з сільськогосподарських джерел, із змінами і доповненнями, внесеними Регламентом ЄС №1882/2003 *Cross Nitrogen Balances Handbook*. Визначено перспективні напрями з досліджень за тематикою діагностування, оцінювання, прогнозування стану азотних систем ґрунтів та нормування якості за елементним складом, зокрема вмістом біогенного азоту.

Ключові слова: ґрунт; екологічний стан; мікроелементи; лабільний легкогідролізований азот; енергоємність; теплотворна здатність гумусу; запаси енергії в шарі до 20 см; техногенне забруднення; технологічне навантаження; спосіб, прогнозування

Вступ

Відомо, що ґрунтовий покрив містить на один-півтора порядки більше азоту в порівнянні з біомасою суші (Kovda, 1985). Азот ґрунту представлений такими формами: 1) газоподібний азот у ґрунтового повітрі та ґрунтового розчині; 2) амоній, фіксований у глинистих мінералах; 3) азот органічних речовин; 4) мінеральний азот у ґрунтового розчині та в обмінному стані; 5) азот рослинних решток (Orlov, 2005).

Молекули азоту є стійкими газовими сполуками, що перетворюються в аміак, окисли азоту, азотисту та азотну кислоти, солі за енергетичних витрат. Мінеральні сполуки азоту ґрунту, що вкрай необхідні для рослин, є термодинамічно нестійкими. Амонійний азот здатний обмінно та необмінно сорбуватися ґрунтом, нітратний азот ґрунту – не сорбується ґрунтами, швидко мігрує до суміжних з ґрунтом середовищ, що призводить до втрат

азоту внаслідок міграції у профілі ґрунту в процесах ерозії (з поверхневим стоком, через дефляцію) та вилугування в нижні горизонти. З продуктами ерозії виносяться до 960 тис. т азоту, що значно більше, ніж вноситься з добривами. В Україні площа сільськогосподарських угідь, які зазнають згубного впливу вітрової ерозії, становить 6 млн. га, у роки з катастрофічними пиловими бурями – 20 млн. га (проект Загальнодержавної програми використання та охорони земель). Також шляхами втрат азоту ґрунту є денітрифікація та втрати в газоподібному стані внаслідок випаровування, споживання рослинами, закріплення кристалічною граткою мінералів і в плазмі мікроорганізмів ґрунту. Одночасно збільшуються екологічні ризики забруднення довкілля сполуками азоту внаслідок недосконалого управління балансом азоту та використання енергії в системі ґрунт – добриво – рослина – вода (Smil, 1985; Schepers, Raun, 2008), біогенного (зокрема, евтрофікація та зміна біоценозів) та біотичного

(витіснення аборигенних видів) забруднення довкілля (Mockler, Deakin, Archbold, 2016) за використання відходів промисловості, тваринництва, застосування їх стоків і рідкого гною в підвищених дозах як добрива; нераціонального застосування органічних і мінеральних добрив.

У сучасних умовах в агросфері країни спостерігається недотримання науково обгрунтованих систем удобрення та заходів з хімічної і водної меліорації ґрунтів, заміна традиційних систем землеробства інтенсивними спеціалізованими технологіями; обмеження площ, зайнятих травами; відсутність захисних зон навколо полів, що сприяє посиленню мінералізації органічної речовини ґрунту, трансформації сполук азоту, призводить до інтенсифікації процесів вимивання нітратів у підґрунтові води і посилення міграції азоту з поверхневим стоком. Окрім того, введення в сівозміни чистих парів також сприяє інтенсивному накопиченню нітратів у ґрунті, які можуть втрачатися при випаданні опадів.

В країнах ЄС застосовується від 150 кг/га діючої речовини азотних добрив (Франція) до 500 кг/га (Голландія). В Україні найбільша кількість внесеного у ґрунт азоту в 1986–1990 рр. становила 105 кг/га (65 кг/га з мінеральними туками і 40 кг/га – з органічними добривами); в сучасних умовах – близько 65 кг/га азоту. Однак виробництво і застосування азотних добрив у країні постійно зростає, що викликає необхідність уже зараз вживати термінові заходи щодо запобігання забруднення довкілля нітратами в майбутньому. До того ж живлення рослин незбалансоване (частка азотних добрив становить близько 65 %).

Різноманітність ґрунтово-кліматичних умов України (умови перезволоження Полісся з ґрунтами легкого гранулометричного складу, недостатнього і нестійкого зволоження Степу з ґрунтами важкого гранулометричного складу) впливає на кругообіг сполук азоту. Гідроморфні ґрунти Полісся та чорноземи Лісостепу і Степу України характеризуються високим природним умістом органічної речовини. Тому за її мінералізації роль природного ґрунтового азоту в забрудненні вод нітратами і в накопиченні його рослинами більш значна, ніж в країнах ЄС.

Надходження азоту до ґрунтів проходить за рахунок несимбіотичної та симбіотичної фіксації (трансформація елементарного азоту в органічні сполуки); надходження з опадами; внесення добрив. Процеси біологічної фіксації та міграції визначають рівні надходження азоту в біосферу (Mishustin, 1979). Проте землеробство та промисловість хімічних туків значно змінили природний біогеохімічний цикл азоту, спрямувавши його не до атмосфери, а до ґрунту (Kovda, 1985).

Формами органічних сполук азоту ґрунту є гумусові кислоти (у складі гумінових кислот до 15–20 % від вмісту загального азоту; у складі фульвокислот – до 6–14 %), амінокислоти, білки, ферменти тощо (Yurko, 1979). Органічні сполуки азоту ґрунту розділяють на легко-, важко- та негідролізовані фракції. Безпосереднім резервом доступного для рослин азоту є лабільний легкогідролізований азот, уміст якого в чорноземних ґрунтах України складає до 10 % від вмісту загального азоту та з глибиною вміст лабільного легкогідролізованого азоту в ґрунтах зменшується (Nosko, 2013).

Для характеристики азотного режиму ґрунтів важливо враховувати різну рухомість азотовмісних сполук у ґрунтах України. Внаслідок різниці в інтенсивності процесів мінералізації, гумусоутворення, величин запасів і типів гумусу ґрунтів найбільш рухомі азотовмісні сполуки у ґрунтах Полісся (крім торф'яних ґрунтів), менш рухомі – в ґрунтах Степу та найменш рухомі – у ґрунтах Лісостепу (Nosko, 2013).

Внаслідок важливої ролі азоту у процесах новоутворення гумусових речовин ґрунту, що тісно пов'язані з трансформацією речовин та енергії (Orlov, 1990), доцільно використовувати структурні взаємозв'язки

показників азотного, гумусового та енергетичного стану для прогнозування екологічного стану ґрунтів за елементним (макро- та мікроелементним) статусом (Samokhvalova, Skrylnyk et al., 2016; Pat. na vynakhid 115014 UA, 2017; Pat. na korysnu model 120082 UA, 2017).

Для вирішення практичних задач із оптимізації екологічного стану ґрунтів, проведення їх комплексної оцінки та визначення напрямів еволюції доведено перспективність енергетичного підходу, що включає енергетичне оцінювання родючості ґрунтів за оцінювання властивостей, процесів та режимів. Базовими складовими енергетичного оцінювання ґрунтів є оцінювання мінеральної частини ґрунтів, мінералогічного їх складу, гумусового стану та мікробіологічної активності, ґрунтово-поглинального комплексу, водно-фізичних властивостей, теплових властивостей та впливу на генезис і родючість ґрунтів геофізичних полів Землі (Savich et al, 2007). Таким чином, енергетичне оцінювання ґрунтів різного генезису потребує комплексного урахування всіх «носіїв» енергії. Однак методичні труднощі визначення енергетичних характеристик ґрунту значно обмежують їх використання як інструментів оцінювання та прогнозування екологічного стану ґрунтів за екологічними та продукційними функціями.

Відсутність точного прогнозування екологічного стану ґрунтів на рівні типу і підтипу актуалізує необхідність подальшого пошуку та залучення нових додаткових інтегральних показників ґрунтових властивостей та, насамперед, енергетичних показників і продуктивної функції (родючості) ґрунтів, зокрема для прогнозування стану азотних систем ґрунтів різного генезису за встановлення рівнів вмісту різних форм біогенного макроелементу. Отже, необхідним є проведення додаткових поглиблених інформаційно-аналітичних досліджень особливостей біогеохімії ґрунтового покриву певних регіонів та систематизація даних для визначення діагностичних критеріїв оцінювання якості ґрунту за вмістом азоту. До того ж на сьогодні не існує універсального методу визначення фракційного складу азоту для всіх типів ґрунтів за використання єдиного екстрагенту, що значно ускладнює узагальнення даних щодо статусу біогенного елементу азоту в ґрунтах та знижує їх точність.

Мета дослідження – розробити спосіб прогнозування стану азотних систем ґрунтів різного генезису для оцінювання їх якості за рахунок встановлення нових закономірних зв'язків інтегральних базових показників енергетичного у спрощенні з гумусовим станом та азотного статусу ґрунтів, визначення найбільш кореляційно пов'язаних, діагностично придатних з них, що підвищують інформативність, точність і експресність прогнозування якості ґрунтів за вмістом азоту, як біогенного елементу, за фонових умов та антропогенних навантажень з виявленням відмінностей екологічного стану ґрунтів для прогнозу і нормування їх якості.

Розробку способу спрямовано на таке: 1) експресність отримання точних прогнозованих рівнів вмісту, зокрема, легкогідролізованого азоту як біогенного елементу у ґрунті з підвищенням точності ґрунтової діагностики за рахунок використання базових інтегральних показників; 2) забезпечення можливості отримання більшої результативності прогнозованих даних щодо функціонування азотних систем ґрунтів різного генезису, якості та еколого-енергетичного стану ґрунтів, за фонових умов та антропогенних навантажень з одночасною мінімізацією витрат матеріальних ресурсів; 3) розширення можливостей користувача у визначенні вмісту легкогідролізованого азоту у ґрунті без тривалих хіміко-аналітичних досліджень за рахунок вибору регресійних рівнянь, отриманих на основі використання базових показників фізичних та хімічних властивостей ґрунтів певного типу та підтипу, згідно з наявною інформацією; 4) універсальність способу завдяки придатності встановлених залежностей запропонованого способу для

ґрунтів всіх типів і підтипів та природно-кліматичних зон і забруднювачів.

Матеріали та методи досліджень

Розроблення способу включало:

1) проведення патентного пошуку (DSTU 3574, DSTU 3575) за опрацювання патентної документації, формулювання робочої гіпотези (ідеї). Об'єкти патентного пошуку – об'єкти авторського права, які запатентовано в Україні та країнах пострадянського простору, ЄС в площині поставленої мети. Предмет пошуку – спосіб у цілому; окремі операції (етапи) способу, що є самостійним патентоспроможним об'єктом; способи їх одержання і галузь застосування; обладнання, що використовують при здійсненні способу; методичні підходи щодо прогнозування елементного статусу ґрунтів різних типів, у тому числі і за техногенного забруднення ВМ і технологічного навантаження, за використання методів математичного моделювання для прогнозу стану ґрунтів як компонентів довкілля; методи екстраполяції та експертних оцінок. Методи досліджень – методи теоретичного аналізу, системний підхід;

2) польовий етап – ґрунтово-геохімічні дослідження, у тому числі за умов технологічного навантаження на ґрунти різних типів та за умов сталого впливу джерел атмтехногенних емісій забруднення неорганічної природи Харківської області і промислових об'єктів Донецької області та проведення серії стаціонарних мікропольових дослідів. Об'єкти дослідження – ґрунти Полісся, Лісостепової і Степової природно-кліматичних зон України за впливу забруднення ВМ та за його відсутності. Методи досліджень – універсальні загальнонаукові методи, екосистемний та ландшафтно-геохімічні підходи.

Дослідження закономірних зв'язків макроелементного, гумусового і енергетичного стану ґрунтів різного генезису та відповідно показників ґрунтових властивостей було проведено із відбором зразків з орного (до 20 см) шару.

Ґрунтово-геохімічні дослідження щодо техногенного навантаження ВМ на ґрунт проводили за умов сталого та періодичного впливу джерел поліелементного забруднення Зміївської ТЕС ПАТ «Центренерго» НАК «Енергетична компанія України» Харківської області, ВАТ «Укринк» і ВАТ «Авдіївський коксохімічний завод» Донецької області. Також для підтвердження ідеї за розробки нового технічного рішення було використано цифрові матеріали щодо вмісту ВМ у ґрунтах з Екологічних атласів Харківської (2005), Донецької (2007) областей.

Польові стаціонарні дослідження щодо технологічного навантаження проводили в Харківській області з вивчення ефективності впливу органо-мінеральної, органічної та мінеральної систем удобрення у встановленій ефективній кількості співвідношення комбінації ґрунтополіпшувачів із відбором ґрунтових зразків та встановленням закономірностей змін вмісту сполук азоту ґрунту на чорноземі типовому важкосуглинковому. Досліди закладено в 1969 р. на Слобожанському дослідному полі ННЦ ІГА Харківського району Харківської області. Протягом 1969–1983 рр. триразовим внесенням високих доз мінеральних добрив (200, 400 і 600 кг/га д.р.) було створено чотири рівні (природний, середній, підвищений, високий) азотних, фосфорних, калійних і азотно-фосфорно-калійних агрохімічних фонів. На створених фонах було закладено дрібноділянкові досліді, повторність їх варіантів – триразова.

Також було використано створену інформаційну базу даних відділу агрохімії ННЦ ІГА, що містить дані літературних джерел, які характеризують родючість основних типів ґрунтів України відповідно до природно-кліматичних зон Полісся, Лісостепу і Степу.

Енергоемність чорноземних ґрунтів різного гранулометричного складу за впливу систем удобрення

визначено в довгострокових польових дослідженнях у Київській (Миронівська ДС), Харківській (ДП Граково), Полтавській (Полтавська ДС) та Луганській (Луганська ДС) областях. Застосовували мінеральну, органічну та органо-мінеральну системи удобрення, які було збалансовано за внесенням основних елементів живлення, а внесення органічних і мінеральних добрив оптимальними дозами проводили за використання чинних методичних рекомендацій (Vlasiuk, Dmytrenko, 1962), відповідно до типу ґрунту і природно-кліматичних умов певної зони (Dobryva ta yikh vykorystannia, 2010);

3) аналітичний етап – у зразках ґрунтів різних типів (дерново-підзолисті, світло-сірі, сірі, темно-сірі; чорноземи опідзолені, типові, звичайні та південні, каштанові ґрунти тощо) за лабораторно-аналітичних досліджень згідно з чинними ДСТУ та методичною базою визначили: а) загальний вміст органічної речовини – за методом Тюріна (DSTU 4289); б) груповий (за модифікованим методом М. М. Конової та Н. П. Бельчикової згідно з DSTU 7855) та фракційний склад гумусу ґрунту (модифікований метод В. В. Пономарьової та Т. А. Плотнікової згідно з DSTU 7828); в) здійснили препаративне виділення гумусових речовин ґрунту (DSTU 7606); г) питому енергоемність ґрунтів і препаратів ГК – за допомогою калориметричної установки В - 08 МА ПУ 1.470.000 за показником питомої теплоти згорання зразків (DSTU 7866); д) показники щільності будови ґрунтів за фонових умов, впливу техногенного та технологічного навантаження (DSTU ISO 11272-2001); е) вміст легкогідролізованого азоту – за методом Корнфілда (DSTU 7863) для проведення зіставлення отриманих даних;

4) камеральний етап – прогнозування стану азотних систем ґрунтів різних типів за експертного оцінювання нормативно-довідкової документації, розрахунок показника загальних запасів енергії гумусу ґрунту, статистична обробка отриманих даних щодо азотного, гумусового, енергетичного стану ґрунтів, у тому числі і за впливу технологічного навантаження, техногенного забруднення ВМ за методом побудови математичних моделей.

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

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

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

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

Результати та їх обговорення

Розробкою науково-методичного забезпечення дослідження вмісту різних груп сполук азоту ґрунтів різних типів встановлено, що для вичерпної його характеристики необхідним є визначення загального та легкогідролізованого азоту, нітрифікаційної здатності ґрунтів, нітратів або суми нітратів і обмінного амонію. Але для діагностування та прогнозування азотного стану ґрунту показник умісту лабільного легкогідролізованого азоту, поряд із загальним азотом, є найбільш вагомим за рахунок:

1) його численних взаємозв'язків з іншими формами азоту ґрунту (валовою, мінеральними – NO_3^- , NH_4^+ тощо) та показниками мікробіологічної трансформації сполук азоту ґрунту (амоніфікаційна, нітрифікаційна здатність, симбіотична та несимбіотична азотфікація, денітрифікація тощо);

2) його значного вмісту у ґрунтах різних типів у порівнянні з умістом рухомих мінеральних форм азоту. Вміст легкогідролізованого азоту у ґрунтах Полісся складає 14–18 %, у ґрунтах Лісостепу – 6–10 % та Степу – 16–19 % у порівнянні з умістом мінеральних форм азоту – 1,5–2,8 % та 1–2 % відповідно у ґрунтах Полісся та Лісостепу і Степу України (Nosko, 2013);

3) встановленого закономірного зв'язку (коефіцієнти кореляції становили 0,82–0,96) вмісту легкогідролізованого азоту ґрунту з виносом та вмістом азоту у зерні і вегетативній масі рослин, зокрема пшениці (*Triticum durum*), кукурудзи (*Zea mays L.*) та соняшнику (*Helianthus annuus*), що важливо для якісного та своєчасного проведення ґрунтової діагностики азотного живлення рослин і точного визначення та коригування доз застосування азотних добрив та подальшого диференційованого внесення азоту до сівби та в підживлення посівів у весняно-літній період вегетації певної культури по кожному полю;

4) придатності показника для діагностування як азотного стану ґрунту, так і забезпеченості рослин азотом протягом періоду їх вегетації, у порівнянні з мінеральними формами азоту ґрунту, кількісний уміст яких коливається в залежності від зволоження ґрунту та протягом вегетаційного періоду рослин (коливання складають від 10 до 400 кг/га у шарі ґрунту до 1 м), та характеризують забезпеченість рослин азотом ґрунту на період його визначення, що значно ускладнює оцінювання та нормування якості ґрунтів за його вмістом;

5) точності чинних методів визначення легкогідролізованого азоту в ґрунтах (10–15 %) як індикатора інтенсивності та спрямованості ґрунтових процесів.

Таким чином, за результатами проведених досліджень щодо використання показника легкогідролізованого азоту ґрунту підвищується ефективність його діагностування з одночасним забезпеченням більш точного визначення родючості ґрунту. Показник умісту лабільного легкогідролізованого азоту ґрунту відображає найближчий його резерв для рослин, що здатний трансформуватись мікроорганізмами у мінеральні форми азоту, доступного рослинам, який складає 3–8 % від загального вмісту азоту у ґрунтах України (Yurko, 1979).

Визначенням закономірних зв'язків між показниками макроелементного та енергетичного статусу ґрунтів реалізується можливість оперативного переходу від одних інформативних показників до інших із одночасним більш точним кількісним діагностуванням і оцінюванням інтенсивності ґрунтових процесів та можливістю прогнозувати стан макроелементних систем ґрунту певного типу за базовими показниками властивостей, що визначають генетичну приналежність ґрунту.

Використання показників енергоємності ґрунтів різного генезису у спрощенні з гумусовим станом для визначення

макроелементного статусу ґрунтів обумовлено їх високою інформативністю та прогностичністю внаслідок тісного взаємозв'язку біогеохімії вуглецю та азоту у ґрунтах різного генезису (Kovda, 1985; Bashkin, 2008), можливістю об'єднання різних показників інтенсивності біологічних процесів ґрунту (мікробіологічна і біохімічна активність; розкладання, синтез органічних сполук тощо) у єдиних узагальнених показниках його енергетичного стану для коректного визначення спрямованості перетворень речовин і енергії в ґрунтах різного генезису.

Відомо, що функціонування азотних систем ґрунтів є біологічно обумовленим, у зв'язку з чим важко піддається діагностуванню (Bashkin, 1987; Truskavec'kij, 2003). Основним механізмом азотного режиму ґрунту є спряжене функціонування ґрунтового мікробіоценозу, кореневої системи рослин як живої фази ґрунту і колоїдного комплексу ґрунту. Отже, для діагностування азотного стану ґрунтів доцільно використовувати співвідношення процесів мобілізації – іммобілізації форм азоту ґрунту.

Узагальненням проведених багаторічних польових досліджень та аналізуванням отриманих даних щодо вмісту азоту в ґрунтах різного генезису різних природно-кліматичних зон України (Nosko, Yunakova, 1993; Nosko, Merkulova, Babych, 2000; Nosko, 2013; Khrystenko, Hladkikh, Yunakova, 2013) було встановлено пряму залежність між умістом у ґрунтах України загального азоту і легкогідролізованого азоту (представленого більшою частиною органічними формами), визначеного за методом Корнфілда ($r=0,86$).

За результатами досліджень було встановлено порушення співвідношення хімічних елементів у ґрунті за прояву явищ геохімічного синергізму (N-NH_4 і Cd, Pb, Ni, Cr; N-NO_3 і Cr) та антагонізму йонів (N-NH_4 і Cr; N-NO_3 і Cd, Pb, Ni, Cr), підвищення вмісту лабільного легкогідролізованого азоту, що значно ускладнює визначення рівнів умісту азоту забрудненого ґрунту та знижує точність отриманих даних (Fateev, Samokhvalova, 1999; Samokhvalova, Fateev, 2001). Спосіб, що пропонується, дає можливість отримати коректні дані азотного стану ґрунту за будь-яких умов: фонових, техногенного забруднення та технологічного навантаження.

Показник умісту лабільного легкогідролізованого азоту ґрунту, визначений за енергетичними показниками ґрунтів як інформативний критерій, дає можливість його використання для прогнозування стану азотних систем ґрунтів різного генезису, оцінювання якості та еколого-енергетичного статусу ґрунту, чим забезпечується технічний результат способу – підвищення точності та експресності визначення лабільного легкогідролізованого азоту як біогенного елементу ґрунтів різних типів, у тому числі під впливом антропогенних навантажень.

За результатами проведених нами досліджень щодо селективного використання показників стану азотних, вуглецевих та енергетичних систем ґрунтів встановлено підвищення ефективності прогнозування екологічного стану ґрунтів використанням показника вмісту лабільного легкогідролізованого азоту ґрунту, що відображає родючість ґрунту на рівні типу, екологічні та продукційні функції та характеризує забезпеченість відповідно до градації вмісту в ґрунті.

Узагальненням отриманих результатів патентних досліджень встановлено існуючі технічні рішення щодо прогнозування екологічних та продукційних функцій ґрунтів за використання показників умісту макроелементів. Зокрема, відомо спосіб потенціометричного вимірювання фізико-хімічних показників ґрунту (Pat. на korysnu model' 29958 UA), який здійснюють за допомогою йон-селективних електродів, що розміщують у ґрунті певним чином та по різниці їх потенціалів, які співвідносяться з відповідними фізико-хімічними показниками ґрунту, роблять висновки про ці показники. Спосіб дозволяє точно визначити вміст мінеральних форм азоту *in situ* в натурних умовах польових досліджень. Однак для одержання точних

та відтворюваних результатів виконання способу необхідним є збереження однакових умов експериментів на межі електрод/досліджуваній розчин шляхом вибору оптимальних умов експерименту на всіх стадіях аналізу від пробопідготовки до обробки одержаних даних, що є досить складним у реалізації внаслідок об'єктивних труднощів пошуку ізопотенціальної точки при роботі із іон-селективними електродами (яка знаходиться за межами калібрувального графіку), або різнобічний зсув потенціалів електроду порівняння та індикаторного електроду зі зміною температури розчину; заниження або завищення результатів аналізу за рахунок впливу йонів OH^- та H^+ тощо. Недоліком методу є припущення, що склад аналізованого розчину після градування електроду залишається постійним. Як результат, збільшується похибка, пов'язана із корекцією електродної функції. Величини похибок визначення концентрації методом прямої потенціометрії для одно-, два- та тризарядних іонів становлять $\pm 12\%$.

Наступний відомий спосіб визначення стану азотних систем ґрунту передбачає визначення його азот-буферних властивостей (Truskavets'kij, 2003). Спосіб включає систему лабораторних досліджень процесів мобілізації та іммобілізації (депонування) мінеральних форм азоту ґрунту і добрив із охопленням діапазону їх можливих перетворень за серії компостувань неудобреного ґрунту та внесення доз азотнокислого амонію, з подальшим визначенням іонів нітратів і амонію та їх активностей – pNO_3 , pNH_4 . За результатами аналізу розраховують кількість іммобілізованого (депонуваного) ґрунтом азоту. Відношення величин внесеного азоту добрив та вмісту його рухомих форм (мінерального азоту) в ґрунтового розчину характеризує іммобілізаційну азот-буферну здатність ґрунту, що діагностується шляхом визначення потенційно можливого накопичення мінеральних форм азоту за рахунок багаторазового циклічного компостування одного і того ж зразку ґрунту до максимальної втрати ним здатності утворювати ці форми за рахунок мінералізаційних процесів (визначається за відсутністю подальшого накопичення нітратів). Відношення величин вилучених із ґрунту мінеральних форм азоту та їх зменшення після кожного циклу лабораторного компостування приймається за показник азот-буферної здатності в мобілізаційному (негативному) крилі буферності. Проте недоліками способу слід вважати: 1) його трудомісткість та часовитратність, що унеможливує використання для масових аналізів; 2) зниження функціональних можливостей його реалізації і відповідно ефективності його застосування внаслідок низького рівня адекватності поведінці азоту в натурних (польових) умовах використання ґрунтів.

Відомо інший спосіб прогнозування вмісту мікроелементів у ґрунтах (Pat. на *korysnu model 107854 UA*), що за встановленням закономірних зв'язків МЕ та ВМ з показниками енергоємності ґрунту (питома внутрішня енергія гумусу або теплотворна здатність гумусу; загальні запаси енергії у шарі до 20 см) дає можливість отримати дані щодо якості ґрунтів певного типу. Однак отриманий у спосіб закономірний зв'язок показників якості ґрунтів не дає можливості точного визначення і параметризації взаємозв'язку показників без урахування: 1) дії на нього основних макроелементів ґрунту, що значно впливають на рухомість та транслокацію МЕ/ВМ у суміжні з ґрунтом середовища, МЕ статус ґрунтів в цілому; 2) наявності тісного зв'язку між вмістом макроелементів у ґрунтах, а саме того, що 70–90 % азоту ґрунту (основна частина біогенного елементу) входить до складу специфічних гумусових речовин; 10–30 % – до складу «неспецифічних» органічних речовин; близько 1 % загального вмісту азоту – знаходиться у складі мінеральних солей у ґрунті (Tyurin, 1965), середній вміст азоту складає 1/20 частину вмісту гумусу ґрунту

(Gamzikov, 1981). Отже, не існує точного прогнозування якості ґрунтів з урахуванням базових показників родючості та основних показників вмісту макро- та МЕ ґрунту.

Найбільш близьким за механізмом реалізації і результатом, що досягається, є спосіб прогнозування відтворення родючості ґрунту (Avtor. sv. SU 1481681), заснований на встановленні енергопотенціалу ґрунту та біомаси рослин методом калориметрії, що передбачає розрахунок за формулою показника відтворення родючості ґрунту (γ) з урахуванням енергопотенціалу ґрунтів, що вкриті рослинами та без них, за весь період вегетації рослин. За величиною запропонованого показника прогнозують розширене ($\gamma > 1$), просте ($\gamma = 1$) відтворення родючості ґрунту або його деградацію ($\gamma < 1$). Проте недоліками способу є такі: 1) визначення інтенсивності накопичення та витрат енергії необхідно проводити в ґрунтах за вегетаційний період вирощування різних видів рослин для отримання відповідних показників, що значно збільшує трудомісткість і часовитратність реалізації способу; 2) згідно із способом прогноз розширеного відтворення родючості ґрунту є можливим за умови надходження в ґрунт всієї біомаси рослин, що практично є нездійсненним та потребує урахування її відчуження, що збільшує похибку способу; 3) спосіб дозволяє прогнозування родючості лише для ґрунтів, приріст енергопотенціалу яких за вегетаційний період буде не менше 1 % вихідної величини, що звужує можливості його застосування; 4) обмеженість або неможливість використання способу внаслідок мінімуму інформації у користувача щодо енергопотенціалу ґрунтів та можливостей її отримання, що потребує значних витрат матеріальних ресурсів та часу за обов'язкового урахування всіх «носіїв» енергії ґрунту.

Для підвищення точності прогнозування родючості ґрунтів різного генезису необхідно додаткове встановлення закономірних зв'язків показників якості ґрунтів за показниками вуглецевого (гумусового) стану, енергетичного та азотного стану.

Розроблений алгоритм нами запропонованого методичного підходу включає: відбір зразків із орного (до 20 см) шару ґрунтів різного генезису, зокрема акумулятивного ряду, лабораторно-аналітичні дослідження згідно з чинними нормативними документами та методичною базою з визначення таких показників: 1) загальний вміст гумусу; 2) груповий та фракційний склад гумусу ґрунту; 3) препаративне виділення гумусових речовин ґрунту та визначення питомої енергоємності ґрунтів і препаратів ГК (гумінових кислот) – за показником питомої теплоти згорання зразків за використанням калориметричної установки; 4) вміст легкогідролізованого азоту для проведення зіставлення отриманих даних. Всі отримані результати та відомі довідкові дані показників властивостей ґрунту певного типу вносимо в табл. 1.

Далі розраховують показник загальних запасів енергії, що акумульовані гумусом ґрунту, як індикатора його енергетичного стану, за відомою формулою Орлова. Отримані результати розрахунку показника енергоємності ґрунту за формулою також вносимо в табл. 1 та використовуємо як базову для подальших розрахунків залежностей вмісту легкогідролізованого азоту, показників гумусового стану та енергоємності ґрунтів (теплотворна здатність гумусу, запаси енергії ґрунту у шарі до 20 см) за фонових умов, технологічного навантаження і техногенного забруднення ВМ з одержанням відповідних регресійних рівнянь залежностей після статистичної обробки (кореляційний, дисперсійний, регресійний аналіз) даних за подальшої візуалізації результатів на діаграмах (рис. 1, а–б). На основі отриманих регресійних рівнянь, зокрема для акумулятивного ряду ґрунтів, визначаємо прогнозовані значення вмісту лабільного легкогідролізованого азоту у ґрунтах різного генезису:

$$C_{N \text{ легкогідролізований}} = 7,4746 - 47,1896 \cdot x + 25,0859 \cdot y \quad (1)$$

$$C_{N \text{ легкогідролізований чорнозем типовий}} = 7,4746 - 47,1896 \cdot 0,91 + 25,0859 \cdot 2,25 = 20,97$$

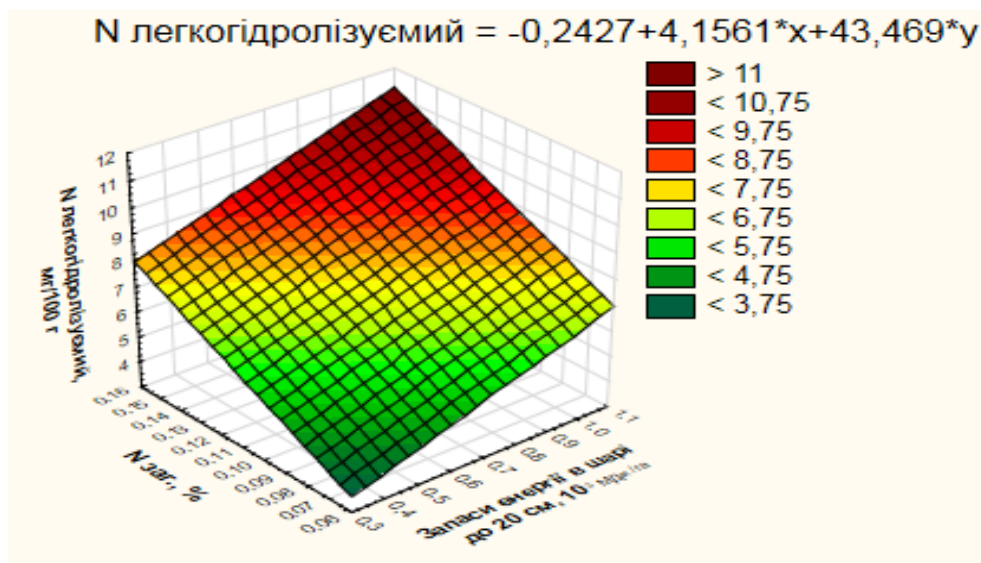
$$C_{N \text{ легкогідролізований фактичний}} = 20,90,$$

$$\text{та } C_{N \text{ легкогідролізований чорнозем звичайний}} = 7,4746 - 47,1896 \cdot 0,79 + 25,0859 \cdot 1,74 = 13,84$$

$$C_{N \text{ легкогідролізований фактичний}} = 13,80$$

розрахунку стандартної похибки оцінки, яка для показника $C_{N \text{ легкогідролізований}}$ – 1,30; це підтверджує високу точність розрахункових значень умісту азоту в чорноземних ґрунтах.

Окрім того, для підтвердження достовірності отриманих розрахункових даних було додатково на тих самих ґрунтах проведено визначення фактичного вмісту



a



b

Рис. 1. Візуалізовані моделі встановлених залежностей показників енергетичного стану ґрунту та рівнів умісту легкогідролізованого азоту

лабільного легкогідролізованого азоту за Корнфілдом згідно з чинними нормативно-методичними документами (точність методу $\pm 15\%$). Результати зіставлення отриманих розрахункових даних із даними фактичного вмісту азоту в ґрунтах свідчать про високу їх відповідність та точність (табл. 2).

Результатами проведення досліджень щодо визначення показника вмісту легкогідролізованого азоту в

де $C_{N \text{ легкогідролізований}}$ – розрахунковий уміст легкогідролізованого азоту ґрунту, мг/100 г ґрунту;

x – теплотворна здатність гумусу ґрунту, МДж / кг;

y – запаси енергії в шарі до 20 см ґрунту певного типу, 10^3 МДж / га

з одночасним визначенням точності отриманих числових значень прогнозованого вмісту азоту в ґрунті за

найбільш поширених в Україні ґрунтах різних типів та підтипів (табл. 2) було підтверджено універсальність запропонованого алгоритму способу та його ефективність для точного прогнозування стану азотних систем ґрунтів різного генезису, що об'єднані в ряди за ознакою переважання ґрунтового процесу, наприклад ґрунти опідзоленого ряду (процес опідзолення) – дерново-підзолисті, ясно-сірі, сірі опідзолені та темно-сірі тощо; акумулятивного ряду (дерновий процес) – чорноземи типові, звичайні і південні тощо. Зокрема, розрахункові величини вмісту легкогідролізованого азоту в чорноземних ґрунтах за фонових умов становили 13,8–20,9 мг/100 г ґрунту; за техногенного забруднення ВМ – 13,2–13,6 мг/100 г ґрунту; за технологічного навантаження – 12,4 мг/100 г ґрунту. Таким чином, отримуємо дані щодо стану азотних систем ґрунтів різного генезису з урахуванням рівнів їхньої енергоємності.

Таблиця 1

Вихідні дані гумусового, азотного та енергетичного стану ґрунтів, щільності їх будови за фонових умов та впливу антропогенних навантажень

Тип ґрунту	C _{зат} , %	C _{гк} , %	C _{фк} , %	ГЗ, %	d, г/см ³	Фактичний уміст легкогідролізованого азоту, мг/100 г ґрунту	Енергоємність ґрунту	
							Теплотворна здатність гумусу, МДж /кг	Q, запаси енергії в шарі до 20 см, 10 ³ МДж/га
1. За відсутності навантажень (фонові умови)								
Дерново-підзолистий	0,9	0,17	0,2	0,53	1,5	4,5	0,106	0,44
Ясно-сірий	1,2	0,27	0,3	0,63	1,5	8,0	0,250	0,58
Темно-сірий	3,1	1,1	0,54	1,46	1,3	10,6	0,840	1,40
Чорнозем опідзолений	2,44	1,0	0,31	1,13	1,2	12,3	0,820	1,03
Чорнозем звичайний	3,9	1,25	0,7	1,95	1,1	13,8	0,900	1,46
Чорнозем типовий	4,8	1,75	0,6	2,45	1,2	20,9	1,200	2,02
2. За впливу техногенного навантаження (забруднення ВМ)								
Дерново-підзолистий забруднений	0,79	0,1	0,2	0,49	1,52	5,2	0,090	0,38
Чорнозем опідзолений забруднений	1,9	0,2	0,4	1,3	1,21	13,1	0,650	0,74
Чорнозем звичайний забруднений	2,08	0,38	0,5	1,2	1,22	14,2	0,790	0,82
3. За впливу технологічного навантаження (застосування систем удобрення)								
Чорнозем опідзолений (мінеральна система удобрення)	2,38	0,93	0,29	1,16	1,2	12,5	0,800	1,00
Темно-сірий (мінеральна система удобрення)	3,09	1,09	0,44	1,56	1,3	11,1	0,840	1,4
Чорнозем опідзолений (органомінеральна система удобрення)	2,46	0,99	0,30	1,17	1,2	13,2	0,980	1,04
Темно-сірий (органомінеральна система)	3,15	1,19	0,50	1,46	1,3	12,2	0,870	1,42
Чорнозем опідзолений (органічна система удобрення)	2,45	0,94	0,34	1,17	1,2	13,0	0,930	1,03
Темно-сірий (органічна система удобрення)	3,15	1,17	0,52	1,46	1,3	12,08	0,871	1,41

Таблиця 2
Розраховані (прогнозовані) та фактичні параметри макроелементного статусу ґрунтів різних типів за фонових умов та впливу антропогенних навантажень

Груповий склад сполук азоту ґрунту	Розрахунковий/ фактичний* уміст форм азоту в ґрунті						
	ґрунти опідзоленого ряду			ґрунти опідзоленого ряду		ґрунти опідзоленого ряду	
	Ясно-сірий	Темно-сірий	Чорнозем типовий	Чорнозем звичайний	Темно-сірий опідзолений	Дерново-підзолистий	Чорнозем типовий
	За відсутності навантажень на ґрунт (фонові умови)			За впливу систем удобрення (технологічне навантаження)		За впливу забруднення ВМ (техногенне навантаження)	
	8,1 / 8,0*	11,0 / 10,6*	20,9 / 20,9*	13,8 / 13,8*	11,5 / 11,7*	12,4 / 12,9*	5,6 / 5,2* 13,6 / 13,2*
C _N легкогідролізованний, мг /100 г ґрунту							13,2 /14,2*

* Фактичний уміст C_N легкогідролізованного в ґрунті.

Таблиця 3
Результати порівняльного аналізу використання алгоритму розробленого методичного підходу та відомого способу

Запропонований спосіб визначення N легкогідролізованого у ґрунті		Існуючий спосіб визначення легкогідролізованого азоту в ґрунті						
Типи ґрунтів		Без урахування типів ґрунтів						
Уміст легкогідролізованого азоту в ґрунті, мг/100 г ґрунту	Необхідна кількість внесення добрив, кг/га діючої речовини	Потреба рослин у N-добривах (оцінка)	Градация вмісту легкогідролізованого азоту (оцінка)	Потреба рослин у N-добривах (оцінка)	Необхідна кількість внесення добрив, кг/га діючої речовини	Градация вмісту за існуючою методикою	Потреба рослин у N-добривах (оцінка)	Необхідна кількість внесення добрив, кг/га діючої речовини
Поліся. Дерново-підзолистий	<4,5	Дуже низька	Дуже низька	Дуже висока	75–90	Низька	Дуже висока	60–90
Лісостеп. Ясно-сірий	4,5– 8,5	Низька	Низька	Висока	60–75	10,1–15,0	Висока	45–60
Лісостеп. Темно-сірий	8,6–12,6	Середня	Середня	Середня	45–60	10,1–15,0	Середня	30–45
Степ. Чорнозем південний	9,0–12,9	Середня	Середня	Середня	30–45	15,1–20,0	Середня	30–45
Степ. Чорнозем звичайний	13,0–16,9	Середня	Середня	Середня	15–30	15,1–20,0	Середня	30–45
Лісостеп. Чорнозем типовий	17,0–22,0	Висока	Висока	Відсутня	0	> 20,0	Висока	20–30

Одночасно забезпечується можливість оцінювання еколого-енергетичного стану ґрунтів за вирішення зворотної задачі розрахунку кількісних параметрів одного показника на підставі кореляційно пов'язаних з ним відомих інших (рис.1, а–б). Тобто запропоноване рішення розширює та полегшує можливості користувача у визначенні вмісту лабільного легкогідролізованого азоту в ґрунті без тривалих хіміко-аналітичних досліджень за рахунок вибору відповідних математичних рівнянь, отриманих на основі наявних даних.

Для оптимізації режиму макроелементного живлення рослин, за рахунок поживних речовин ґрунту та застосування різних форм і способів внесення органіко-мінеральних добрив, необхідно враховувати вплив на цей процес різних чинників, а саме: рівень забезпеченості ґрунту поживними речовинами, зокрема азотом; біологічні особливості рослин, асиміляцію азоту з повітря тощо, які ускладнюють розрахунки норм мінеральних добрив під прогнозовану врожайність рослин, що призводять до розбіжностей у рекомендаціях розрахункових норм азотних добрив для внесення, та підвищення витрат матеріальних ресурсів та, відповідно, ціни на кінцеву рослинну продукцію, а також збільшує ризики забруднення азотними сполуками системи ґрунт – рослина та суміжних середовищ. Також запропонований спосіб забезпечує ефективне проведення ґрунтової діагностики азотного живлення рослин і нормування вмісту азоту в ґрунтах шляхом дозування внесення добрив з одночасним урахуванням їх генетичних особливостей. Одночасно реалізується можливість точного визначення та коригування доз застосування азотних добрив для подальшого диференційованого внесення азоту у ґрунт.

Спосіб дозволяє оцінити якість ґрунтів різного генезису за вмістом азоту за умов активізації або зниження інтенсивності малого біологічного кругообігу сполук елементів і енергії ґрунту (зволоженість ґрунту, антропогенні навантаження) для подальшого розроблення екологічних вимог до забруднення рослин як критеріїв для обґрунтування нормативних показників умісту біогенних елементів, зокрема азоту та вуглецю, максимально допустимого вмісту рухомих сполук азоту в системі ґрунт – добриво – рослина – вода.

Висновки

Розроблено методичний підхід щодо прогнозування стану азотних систем ґрунтів на прикладі визначення вмісту біогенного легкогідролізованого азоту в ґрунтах різних типів за фонових умов, впливу технологічного навантаження та ризику і наявності техногенного забруднення ВМ, який захищено охоронним документом (Pat. на *korysnu model 122345 UA*, 2018 р.). За рахунок встановлення нових взаємозв'язків показників енергоємності ґрунтів (теплотворна здатність гумусу, запаси енергії ґрунту в шарі до 20 см) у спряженні з гумусовим станом та використанням математико-статистичного аналізу отримують регресійне рівняння визначення величини легкогідролізованого азоту з можливістю прогнозування якості ґрунтів різного генезису, з поширенням алгоритму способу на ґрунти різних типів певної природно-кліматичної зони за умов техногенного забруднення і технологічного навантаження.

Технічний результат способу: за рахунок удосконалення визначення рівнів умісту легкогідролізованого азоту в ґрунтах різного генезису для оцінювання їх якості шляхом визначення найбільш кореляційно пов'язаних, діагностично придатних інтегральних базових показників ґрунтових властивостей, які дозволяють своєчасно, з підвищеною точністю, експресністю та інформативністю приймати управлінські рішення, та прогнозувати якість ґрунтів різного генезису за

вмістом легкогідролізованого азоту як біогенного елементу за фонових умов та антропогенних навантажень.

Відмінними рисами та перевагами запропонованого методичного підходу, у порівнянні з відомими способами та підходами, є такі: 1) експресність отримання точних прогнозованих рівнів умісту легкогідролізованого азоту як біогенного елементу у ґрунті з підвищенням точності ґрунтової діагностики за рахунок використання базових інтегральних показників; 2) забезпечення можливості отримання більшої результативності прогнозованих даних щодо функціонування азотних систем ґрунтів різного генезису, якості та еколого-енергетичного стану ґрунтів, за фонових умов та антропогенних навантажень з одночасною мінімізацією витрат матеріальних ресурсів; 3) розширення можливостей користувача у визначенні вмісту легкогідролізованого азоту в ґрунті без тривалих хіміко-аналітичних досліджень за рахунок вибору регресійних рівнянь, отриманих на основі використання базових показників властивостей ґрунтів певного типу та підтипу, згідно з наявною інформацією; 4) універсальність способу завдяки придатності встановлених залежностей запропонованого способу для ґрунтів всіх типів і підтипів та природно-кліматичних зон і забруднювачів.

Новий методичний підхід може знайти застосування в оцінюванні та екологічному нормуванні якості ґрунтів за вмістом МЕ, нормуванні навантажень (техногенних, технологічних) на ґрунтову систему, агроєкології з вирішення питань моніторингу родючості ґрунтів, паспортизації земель різного призначення та використання; органічного землеробства, біоенергетики і енергетики ґрунтоутворення; діагностики, оцінювання, визначення якості гумусу і статусу МЕ, небезпеки надлишкового накопичення ВМ у ґрунтах за показниками елементного, гумусового та/або енергетичного стану; екологічного менеджменту ґрунтів як за фонових умов, так і за різних антропогенних впливів, та в науково-дослідній практиці з дослідження біогеохімії і біогенних макроелементів ґрунтів.

Окремі положення розробленого способу стали складовою пропозицій, поданих у 2017 р. до Міністерства екології та природних ресурсів України, де опрацьовувались матеріали з адаптації до Нітратної Директиви Ради ЄС 91/676/ЄЕС від 12.12.1991 р. про захист вод від забруднення, спричиненого нітратами з сільськогосподарських джерел, із змінами і доповненнями, внесеними Регламентом ЄС №1882/2003 *Cross Nitrogen Balances Handbook* (лист № 575/1-04 від 23.06.2017).

Подані пропозиції, що наведені нижче, пропонується розглядати як перспективні напрями подальших досліджень за тематикою діагностування, оцінювання, прогнозування стану азотних систем ґрунтів та нормування якості за елементним складом, зокрема вмістом біогенного азоту.

1. Розробкою науково-методичного забезпечення дослідження вмісту різних груп сполук та фракцій азоту ґрунтів різних типів встановлено, що для вичерпної його характеристики необхідним є визначення загального та легкогідролізованого азоту, нітрифікаційної здатності ґрунтів, нітратів або суми нітратів і обмінного амонію. Для більш ефективного діагностування та прогнозування азотного стану ґрунту показник умісту лабільного легкогідролізованого азоту, поряд із загальним азотом, є найбільш вагомим за рахунок:

а) його численних взаємозв'язків з іншими формами азоту ґрунту (валовою, мінеральними – NO_3^- , NH_4^+ тощо) та показниками мікробіологічної трансформації сполук азоту ґрунту (амоніфікаційна, нітрифікаційна здатність, симбіотична та несимбіотична азотфіксація, денітрифікація тощо);

б) його значного вмісту в ґрунтах різних типів у порівнянні з вмістом рухомих мінеральних форм азоту;

в) встановленого закономірного зв'язку вмісту легкогідролізованого азоту ґрунту з виносом та вмістом азоту у зерні і вегетативній масі рослин, що важливо для якісного та своєчасного проведення ґрунтової діагностики азотного живлення рослин і точного визначення та коригування доз застосування азотних добрив та подальшого диференційованого внесення азоту до сівби та в підживлення посівів у весняно-літній період вегетації певної культури по кожному полю;

г) придатності показника для діагностування як азотного стану ґрунту, так і забезпеченості рослин азотом протягом періоду їх вегетації, у порівнянні з мінеральними формами азоту ґрунту, кількісний уміст яких коливається залежно від зволоження ґрунту та протягом вегетаційного періоду рослин, та характеризують забезпеченість рослин азотом ґрунту на період його визначення, що значно ускладнює оцінювання та нормування якості ґрунтів за його вмістом;

д) точності чинних методів визначення легкогідролізованого азоту в ґрунтах (10–15 %) як індикатора інтенсивності та спрямованості ґрунтових процесів.

2. Урахування інтегрального показника енергоємності ґрунтів – теплотворної здатності гумусу та запасів енергії до 20 см ґрунту. Енергоємність ґрунту є показником потенційної продуктивності ґрунту, що тісно пов'язана з властивостями ґрунтів, які визначають рухомість та рівень вмісту біогенних макроелементів (N, C, P) та ME /BM у ґрунтах різних типів за фонових (природних) умов, техногенного забруднення та технологічного навантаження. Використання узагальнюючих енергетичних характеристик функціонування ґрунтової системи дозволяє отримати точні прогнозні дані щодо якості ґрунту певного типу (елементний статус, якість гумусу як акумулятора і джерела енергії, енергетичний стан) для оцінювання їх екологічних та продукційних функцій, екологічного нормування якості ґрунтів різних типів; здійснювати управління відтворенням енергетичного потенціалу їх органічної речовини та якістю.

3. Урахування основного механізму функціонування азотного режиму ґрунтів різного генезису – спряженого функціонування колоїдного комплексу ґрунту, ґрунтового мікробіоценозу та кореневої системи рослин як живої фази ґрунту та біологічної обумовленості функціонування азотних систем ґрунтів.

4. Використання співвідношення процесів мобілізації – іммобілізації форм азоту ґрунту в системі ґрунт – мікроорганізми та ферменти – ризосфера рослин.

5. Для діагностування азотного режиму ґрунтів доцільно використовувати вплив макро- та мікроелементного складу ґрунтів на біохімічні властивості мікроорганізмів азотного циклу ґрунту та біологічну активність ґрунту, що пов'язана з розкладанням органічних речовин ґрунту з утворенням аміаку (амоніфікації), процесами нітрифікації та азотфіксації (симбіотичної та несимбіотичної). Недостатня увага до мікробіологічного фактору трансформації азоту в ґрунті сучасних агроценозів є однією із причин незбалансованого забезпечення рослин азотом, надмірного накопичення нітратів у рослинній продукції, низької ефективності використання азотних мінеральних добрив, забруднення біосфери сполуками азоту з порушенням біогеохімічного циклу азоту (масоване виділення в атмосферу закису азоту N₂O; міграція нітратів з добрив та органічної речовини ґрунту за її дегуміфікації в ґрунтові води). Вивчення динаміки зміни азотного фонду та мікробіологічних процесів трансформації азоту необхідно для розробки практичних заходів, спрямованих на оптимізацію азотного режиму в агроекосистемах, що підвищить біопродуктивність ґрунтів та забезпечить збереження довкілля.

6. Розроблення Технічного регламенту (нормативно-правовий акт) щодо екологобезпечного використання

азотовмісних добрив в землеробстві, який регламентуватиме технологічні прийоми використання азотовмісних добрив, що дозволяють звести до мінімуму евтрофікацію поверхневих вод, з урахуванням умов основних природних зон України і біологічних особливостей культур; строки, дози і способи екологічно безпечного внесення мінеральних і органічних добрив залежно від рельєфу поля, близькості водоймищ, гранулометричного складу ґрунтів; співвідношення в сівозмінах багаторічних трав і просапних культур; заходи, спрямовані на захист ґрунтів від ерозії; використання інгібіторів нітрифікації, використання азотовмісних добрив на меліорованих землях, зокрема зрошуваних, методи вимірювання тощо.

7. З метою подолання біогенного забруднення, зокрема надмірного накопичення сполук азоту у довкіллі (рослинах, водах), нормування вмісту азоту в ґрунтах різного генезису має передбачати: а) визначення максимально допустимих рівнів вмісту рухомих мінеральних форм нітратного азоту за розробки екологічних вимог до забруднення нітратами рослинної продукції; б) нормування вмісту лабільного легкогідролізованого азоту та/або дози азотних добрив за умов достатнього та надмірного зволоження, урахуваючи швидкі процеси трансформації сполук азоту в ґрунтах; в) нормування вмісту мінеральних сполук азоту ґрунту за умов недостатнього зволоження та уповільнення процесів кругообігу азотних сполук ґрунту.

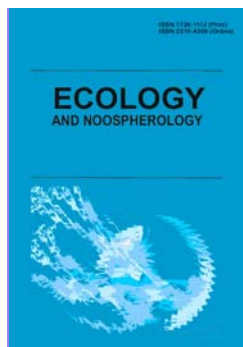
Автори висловлюють щирі подяки патентному повіреному ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського» науковому співробітнику В. М. Горякіній за ефективне сприяння та дієву допомогу в підготовці документації щодо розроблення нового технічного рішення та його інформаційно-аналітичного супроводження; співробітникам лабораторії агрохімії ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського» – науковому співробітнику Т. А. Юнаковій за консультативну допомогу щодо методів визначення сполук азоту ґрунтів, провідному інженеру Корецькій Л. К. за допомогу в аналізуванні зразків ґрунтів, забруднених важкими металами.

References

- Avtor. sv. SU 1481681 (1989). Sposob prognozirovaniya vosproizvodstva plodorodiya pochvy [The method for predicting of soil fertility reproduction]. V. M. Volodin, A. E. Fedorchenko, L. I. Biryukova, R. F. Eremina, №1481681; appl. 12.02.1987; publ. 23.05.1989, Byul. 19 (in Russian).
- Bashkin, V. N. (1987). Agrogeohimiya azota [Agrogeochemistry of nitrogen]. ONTI NCBI, Pushchino. (in Russian).
- Bashkin, V. N. (2008). Biogeohimiya [Biogeochemistry: scientific edition]. Vysshaya. Shkola, Moscow (in Russian).
- Dobryva ta yikh vykorystannya (2010). [Fertilizers and their use: A Handbook]. Aristey, Kyiv (in Ukrainian).
- Fateev, A. I., Samokhvalova, V. L. (1999). Supply of nitrogen in agricultural cultures in condition of polyelement pollution of soil by the heavy metals. Collection of Papers by Ukrainian Members of ESSC, Kharkiv, 42–46.
- Gamzikov, G. P. (1981). Azot v zemledelii Zapadnoj Sibiri [Nitrogen in the Agriculture of Western Siberia]. Nauka, Moscow (in Russian).
- Khrystenko, A. O., Hladkikh, Ye. Yu., Yunakova, T. A. (2013). Otsinka azotnoho stanu gruntiv i rivnya zabezpechenosti roslin azotom khimichnymy metodamy [Assessment of the nitrogen state of soils and the level of plant nutrition by nitrogen chemical methods]. Visnyk aharnoyi nauky, 12, 17–20 (in Ukrainian).
- Kovda, V. A. (1985). Biogeohimiya pochvennogo pokrova [Biogeochemistry of soil cover]. Nauka, Moscow (in Russian).
- Mishustin, E. N. (1979). Krugovorot i balans azota v sisteme pochva – udobrenie – rastenie – voda [Rotation and

- balance of nitrogen in the soil – fertilizer – plant – water system]. Nauka, Moscow (in Russian).
- Mockler, E. M., Deakin, J., Archbold, M., Daly, D., Bruen, M. (2016). Nutrient load apportionment to support the identification of appropriate water framework directive measures. *Biology and Environment – Proceedings of the Royal Irish Academy*, 3, 245–263.
- Nosko, B. S. (2013). Azotnyy rezhym gruntiv i yoho transformatsiya v ahroekosystemakh [The Nitrogen Regime and its transformation in the Agroecosystems]. Mis'kdruk, Kharkiv (in Ukrainian).
- Nosko, B. S., Merkulova, E. L., Babych, E. V. (2000). Vynos elementov pytannya ozymoy pshenytyey yz chernozema typychnoho v zavysymosti ot systemy udobrenny [Carrying out of trophic elements by a winter wheat from chernozem typical depending on system of fertilizers]. *Ahrokhymyia*, 2, 45–53 (in Russian).
- Nosko, B. S., Yunakova, T. A. (1993). Ahrokhymyicheskaya y ahroekolohyicheskaya otsenka efektyvnosti udobrenny na chernozeme typychnom [Agrochemical and agroecological assessment of the fertilizers effectiveness on chernozem typical]. *Ahrokhymyia*, 3, 61–67 (in Russian).
- Orlov, D. S. (1990). Gumusovye kisloty pochv i obshchaya teoriya gumifikatsii [Soils humus acids and general theory of humification]. MGU, Moscow (in Russian).
- Orlov, D. S. (2005). Himiya pochv [Soil chemistry]. Nauka, Moscow (in Russian).
- Orlov, D. S., Birjukova, O. N., Rozanova, M. S. (2004). Dopolnitelnye pokazateli gumusnogo sostojaniya pochv i ih geneticheskikh gorizontov [Additional indicators of the humus status of soils and their genetic horizons]. *Eurasian Soil Science*, 8, 918–926 (in Russian).
- Orlov, D. S., Grishina, L. A. (1981). Praktikum po himii gumusa [Workshop on humus chemistry]. MGU, Moscow (in Russian).
- Orlov, O. L. (2002). Enerhoiemnist yak kryteriy humusovoho stanu gruntiv [Energy intensity as a criterion of soil humus]. *Bulletin of Lviv NU. Biology Series*, 31, 111–115 (in Ukrainian).
- Pat. na korysnu model' 107854 UA (2016). Sposib prohnozuvannya rivniv vmistu mikroelementiv i vazhkykh metaliv gruntiv riznoho henezysu dlya otsynyuvannya yikh ekolohichnykh ta produktsiynykh funktsiy [The method of prognosis the levels of microelements and heavy metals content in soils of different genesis for the estimation of them ecological and productional functions]. V. L. Samokhvalova, Ye. V. Skryl'nyk, L. M. Shedey, V. I. Lopushnyak, N. V. Oliynyk, P. A. Samokhvalova, O. V. Mandryka, № u201512399; appl. 15.12.2015; publ. 24.06.2016, Byul. 12 (in Ukrainian).
- Pat. na korysnu model' 120082 UA (2017). Sposib prohnozuvannya rodyuchosti gruntiv za yikh makroelementnym stanom [The method of soil fertility forecasting by their macroelement state]. V. L. Samokhvalova, A. O. Khrystenko, L. O. Shedey, P. A. Samokhvalova, O. V. Karatsyuba, № u201703324; publ. 25.10.2017; Byul. 20 (in Ukrainian).
- Pat. na korysnu model' 122345 UA (2018). Sposib viznachennya vmistu legkogidrolizuemogo azotu u gruntah riznogo genezis dlya otsynyuvannya yakosti gruntiv [The method of determination of easily hydrolysable nitrogen content in soils of different genesis for the estimation of soils quality]. V. L. Samokhvalova, A. O. Khrystenko, L. O. Shedey, P. A. Samokhvalova, O. V. Karatsyuba, № u201707167; publ. 10.01.2018; Byul. 1 (in Ukrainian).
- Pat. na korysnu model' 29958 UA (2008). Sposib potentsiometrychnoho vymyryuvannya fizyko-khimichnykh pokaznykiv gruntiv [The method of the potentiometer measuring of soils physical and chemical indexes]. N. F. Cheshko, Yu. L. Tsapko, V. M. Kalinichenko, № u200702858; publ. 11.02.2008, Byul. 3 (in Ukrainian).
- Pat. na vynakhid 115014 UA (2017). Sposib vyznachennya vmistu svyntsyy u gruntakh riznoho henezysu dlya otsynyuvannya yikh ekoloho-enerhetychnoho stanu [The method of determination of lead content in soils of different genesis for the estimate of their ecology and energy state]. V. L. Samokhvalova, V. P. Filatov, V. M. Horyakina, № 201612732; publ. 28.08.2017, Byul. 16 (in Ukrainian).
- Patentni doslidzhennya. Osnovni polozhennya ta porjadok provedennya [Patent researches are the Substantive provisions and order of realization]. DSTU 3575-97. [Chynnyy vid 1998.01.01.]. Kyiv: Derzhstandart Ukrayiny, 1998. 16 s. (Nacionalnyy standart Ukrayiny) (in Ukrainian).
- Patentnyy formulyar. Osnovni polozhennya. Poryadok skladannya ta oformlennya [Patent formular. Substantive provisions. Order of stowage and registration]. DSTU3574-97. [Chynnyy vid 1998.01.01.]. Kyiv: Derzhstandart Ukrayiny, 1998. 14 s. (Nacionalnyy standart Ukrayiny) (in Ukrainian).
- Samokhvalova, V. L., Fateev, A. I. (2001). Vozdeystvie poliehlementnogo zagryazneniya pochvy tyazhelymi metallami na balans azota v sisteme udobrenie – pochva – rastenie [The effect of polyelement contamination of soil by heavy metals on the nitrogen balance in the fertilizer – soil – plant system]. Kn. 3, Minsk, 164–166 (in Russian).
- Samokhvalova, V. L., Skryl'nyk, Y. V., Lopushniak, V. I., Shedey, L. O., Samokhvalova, P. A. (2016). Prediction the levels of chemical elements content in soils of different genesis for the assessment of their eco-energy status. *Gruntoznavstvo*, 17 (3–4), 23–42.
- Samokhvalova, V. L., Skryl'nyk, Ye. V., Shedey, L. M., Lopushniak, V. I., Samokhvalova, P. A. (2016). Prohnozuvannya rivniv vmistu mikroelementiv i vazhkykh metaliv u gruntakh riznoho henezysu dlya otsynyuvannya yikh ekolohichnykh ta produktsiynykh funktsiy [Prognosis of the levels of microelements and heavy metals content in soils of different genesis for the evaluation of them ecological and productional functions]. *Ekology and Noospherology*, 27(1–2), 72–87 (in Ukrainian).
- Savich, V. I., Syichev, V. G., Nikolskiy, Yu. V., Zamaraev, A. G., Syunyaev, N. K. (2007). Energeticheskaya otsenka plodorodiy pochv [Energy assessment of soil fertility]. VNIIA, Moscow (in Russian).
- Schepers, J. S., Raun, W. R. (2008). Nitrogen of Agricultural Systems. *Agronomy Monograph* 49. USA. 947 p.
- Smil, V. (1985). Carbon-nitrogen-sulfur (Modern perspectives in energy): Human Interference in Grand Biospheric Cycles. USA, Plenum press, New York. 412 p.
- Truskavec'kij, R. S. (2003). Buferna zdatsnist' gruntiv ta yh osnovni funktsiy [Soil buffer capacity and their main functions]. *Nove slovo*, Kharkiv (in Ukrainian).
- Tyurin, I. V. (1965). Organicheskoe veshchestvo pochvy i ego rol v plodorodii [Organic matter of the soil and its role in fertility]. Nauka, Moscow (in Russian).
- Vlasyuk, P. A. (1962). Dovidnyk ahronoma po udobrennyu [Handbook of Fertilizer Agronomist]. Derzhsil'hospvydav, Kyiv (in Ukrainian).
- Yakist' gruntu. Preparatyvne vydilennya humusovykh rehovyn gruntu [The soil quality. Preparation of soil humus substances]. DSTU 7606:2014. [Chynnyy vid 2015-07-01]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrayiny, 2014. 13 s. (Natsional'nyy standart Ukrayiny) (in Ukrainian).
- Yakist' gruntu. Vyznachennya vmistu legkogidroliznogo azotu za metodom Kornfilda [The soil quality. Determination of maintenance of easily hydrolysable nitrogen by Kornfeld method]. DSTU 7863:2015. [Chynnyy vid 2016-07-01]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrayiny, 2015. 14 s. (Natsional'nyy standart Ukrayiny) (in Ukrainian).
- Yakist' gruntu. Vyznachennya enerhetychnoho potentsialu gruntu kalorymetrychnym metodom [The soil quality. Determination of the energy potential of soil by calorimetric method]. DSTU 7866:2015. [Chynnyy vid

- 2016-07-01]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrayiny, 2015. 13 s. (Natsional'nyy standart Ukrayiny) (in Ukrainian).
- Yakist' gruntu. Vyznachennya hrupovoho skladu humusu za metodom Tyurina v modyfikatsiyi Kononovoyi ta Byel'chykovoyi [The soil quality. Determination of humus group composition by Tyurin method in modification of Kononova and Belchikova]. DSTU 7855:2015. [Chynnyy vid 2016-07-01]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrayiny, 2015. 13 s. (Natsional'nyy standart Ukrayiny) (in Ukrainian).
- Yakist' gruntu. Vyznachennya hrupovoho ta fraktsiynoho skladu humusu za metodom Tyurina u modyfikatsiyi Ponomar'ovoyi ta Plotnykovoyi [The soil quality. Determination of the group and fractional composition of humus by the Tyurin method in the modification of Ponomarevoj and Plotnikovej]. DSTU 7828:2015. [Chynnyy vid 2016-07-01]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrayiny, 2015. 13 s. (Natsional'nyy standart Ukrayiny) (in Ukrainian).
- Yakist' gruntu. Vyznachennya shchil'nosti skladennya na sukhu masu [The soil quality. Determination of drying density on dry weight]. DSTU ISO 11272-2001. [Chynnyy vid 2003-07-01]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrayiny, 2003. 12 s. (Natsional'nyy standart Ukrayiny) (in Ukrainian).
- Yakist' gruntu. Metody vyznachennya orhanichnoyi rechovyny [The soil quality. Methods for determination of organic matter]. DSTU 4289:2004. [Chynnyy vid 2005-07-01]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrayiny, 2005. 14 s. (Natsional'nyy standart Ukrayiny) (in Ukrainian).
- Yurko, E.P. (1979). Formy azotsoderzhaschih soedineniy v pochvah Ukrainyi [Forms of the nitrogenated compounds in soils of Ukraine]. *Krugovorot i balans azota v sisteme pochva – udobrenie – rastenie – voda*. Nauka, Moscow, 152–156 (in Russian)



The birds communities functional structure dynamics in the ash individual consortia under the influence of the climatic factors annual dynamics

O. L. Ponomarenko

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Article info

Received 20.03.2018
Received in revised form
27.03.2018
Accepted 02.04.2018

*Oles Honchar Dnipro
National University,
Gagarin Ave., 72, Dnipro,
49010, Ukraine.
Tel.: +38-066-439-05-72
E-mail: aponomar@ua.fm*

Ponomarenko, O. L. (2018). The birds communities functional structure dynamics in the ash individual consortia under the influence of the climatic factors annual dynamics. *Ecology and Noospherology*, 29(1), 26–30. doi:10.15421/031804

The studying of the connections between the birds and consortia is impossible without their dynamics research. The amount of organisms that are part of the consortium is large enough and their significant part is active only for some year part, the full extent of the links detection is impossible without the seasonal dynamics analyses. The article is devoted to the bird communities in individual consortia of such edificator of the linden-ash-tree oak groves, as the ash (*Fraxinus excelsior* L.). This work material was collected in different seasons of 2004–2010 years in a linden-ash oak grove on the test plot No. 209 of the ecological profile of the NSC «Belgard Prisamar'e International Biospheric stationary», Novomoskovsk district, Dnepropetrovsk region. The individual consortia of 183 ash examples of three age conditions (virgins – virg, young generative – g1, mature and old generative individuals – g2–g3) were investigated. The ash consortia have in their composition topomorphs of the woodbirds, edge birds, and ubiquitous birds. Woodbirds are the dominant birds group. They completely dominate in the virginia ash consortia and significantly prevail over the ubiquitous on young generative trees. An edge birds group appears only on old and mature generative trees. Climamorphs are represented by year-round and seasonal bird species. The ratio of these two groups in consortia varies during the year, but in general, year-round bird species dominate. Therefore, the interaction system of the birds with ash has is quit stable. The virginal ash has seasonal species only in summer and autumn. The generative ashes of all the categories have the both climamorphe groups during the year. This indicates that a stable system of the birds with ash consortive interactions has been formed only with the fruiting beginning. The trophomorphs are the most diverse group of the morphs. Such biomorphs as zoophages, phytophages, omnivores are represented in the ash consortium. Within these biomorphs, second-order biomors were identified: seed-eaters, fruit-eaters, observers, sweepers, deep sweepers. The third order trophomorphs were also distinguished as the size links. The trophomorphs greatest variety was recorded for the young generative trees – 13 trophomorphs of the second and third orders. The mature and old generative trees have 12 trophomorphs. The virginal trees – only 2 trophomorphs. This is partly due to the neighboring tree species influence in the tree stand composition. It was found that the virgin trees have the lowest biomorphic diversity of the birds, and the generative trees have the highest one. This distinguishes ash from the other tree species. The reason of this is that the mature and old generative ash (g2–g3) has a crown located above the upper layer. The semi-open architecture of this tree crown is also facilitate to this. In such conditions birds don't find enough places for their protection from predators, so they spend a little time on this tree, and don't delay in its crown. The young generative ash crowns are within the upper and middle tree layers, so they have safer conditions for birds. The studies conducted in different seasons, also has found an interesting feature of the ash. Unlike other species, the ash is the least attractive for birds in the fall. In winter the birds visit this tree quite actively. The ash high fecundity and its seeds remaining on the tree branches in winter are the reason of this fact. As a result, some birds feed the ash tree fruits, while the other birds extract insects-phytophagous from it. The results of the research indicate that the ash is less attractive for the birds than the tired crown trees, such as oak, maple, linden. On the other hand, a significant part of the birds time budget on ash is spent for surveillance. Birds use ash as a place for review and control of their site. Therefore, ash can be recommended as an additional species in the artificial tree-stands creation.

Keywords: birds; ash; consortia; consortia interactions; dynamics during the year

Динаміка функціональної структури угруповань птахів індивідуальних консорцій ясена звичайного під впливом річної динаміки кліматичних факторів

О. Л. Пономаренко

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Стаття присвячена угрупованням птахів в індивідуальних консорціях такого едіфікатора липово-ясеневих дібров, як ясен звичайний (*Fraxinus excelsior* L.). Матеріал даної роботи збирався у різні пори року протягом 2004–2010 років у липово-ясеневій діброві із зірочником на пробній площі № 209 екологічного профілю ННЦ «Присамарський міжнародний біосферний стаціонар ім. О. Л. Бельгарда», Новомосковський район, Дніпропетровська область. Дослідженням було піддано індивідуальні консорції 183 екземплярів ясена звичайного трьох вікових станів (віргінільні особини – вірг, молоді генеративні – gl, зрілі та старі генеративні особини – g2–g3). У результаті досліджень було виявлено, що біоморфічне різноманіття птахів у консорціях ясена є найменшим у дерев віком вірг, найбільше – gl. Це відрізняє ясен від інших деревних порід. Причиною цього є те, що зрілий та старий генеративний ясен (g2–g3) має крону, розташовану вище верхнього ярусу. Також цьому сприяє напіважурна архітектоніка крони цього дерева. У таких умовах птахи не знаходять достатньо місць для схову від хижаків, тому витрачають на це дерево небагато часу, не затримуючись надовго в його кроні. Крони молодого генеративного ясена, навпаки, розташовані в гущі верхнього та середнього ярусів і тому мають більш безпечні умови для птахів. Дослідження, проведені в різні пори року, виявили цікаву особливість ясена. На відміну від деяких інших порід, ясен є найменш привабливим для птахів восени. Взимку ця порода відвідується птахами досить активно. Причиною цього є висока плодючість ясена і те, що його насіння залишається на гілках дерева в зимовий період. У результаті частина птахів живиться плодами ясена, а інша здобуває в них комах-фітофагів. Результати досліджень свідчать про те, що ясен поступається у привабливості для птахів щільнокронним породам, таким як дуб звичайний, клени, липа. З іншого боку, значна частина бюджету часу, витраченого птахами на ясені, використана на такий вид активності, як спостереження. Птахи використовують ясен як місце огляду та контролю за ділянкою. Тому ясен можна рекомендувати як додаткову породу при створенні штучних деревостанів.

Ключові слова: птахи; ясен звичайний; консорція; консортивні взаємодії; динаміка протягом року

Вступ

Дослідження консортивних зв'язків птахів і консорцій взагалі неможливе без дослідження їхньої динаміки. Враховуючи той факт, що коло організмів, які входять у склад консорції, досить широке і значна частина їх активна тільки частину року, виявлення повного обсягу зв'язків неможливе без аналізу сезонної динаміки. Особливо це важливо для вивчення роботи окремих концентрів. Загалом наукові праці щодо участі птахів у системі консортивних зв'язків досить численні (Ponomarenko, 2005, 2006, 2007; Tryfanova, Kunah, Zhukov, 2015; Yuzuk, Chaplygina, 2015; Chaplygina, Yuzuk, Savynska, 2016a, 2016b). З іншого боку, у цих наукових працях висвітлюються питання розвитку системи консортивних зв'язків птахів протягом онтогенезу ядра консорції, функціональний склад птахів-консортив, їх чисельність та просторовий розподіл, але питання міжсезонної динаміки консортивних зв'язків птахів в індивідуальних консорціях практично не розглядалися. Тому дане дослідження, на нашу думку, є досить актуальним з погляду всебічного висвітлення всіх аспектів існування консорцій.

Матеріали та методи досліджень

В основу методологічного підходу досліджень покладено учення В. М. Сукачова (Sukachev, 1972) про біогеоценоз, типологію штучних і природних лісів степової зони О. Л. Бельгарда (Belgard, 1971), учення В. І. Беклемішева (Beklemishev, 1951), Л. Г. Раменського (Ramenskiy, 1952), В. В. Мазинга (Mazing, 1966) про консорції.

Матеріал даної роботи збирався в різні пори року протягом 2004–2010 рр. у липово-ясеневій діброві із зірочником (пробна площа № 209 екологічного профілю ННЦ «Присамарський міжнародний біосферний стаціонар ім. О. Л. Бельгарда»). Для дослідження консортивних зв'язків птахів за об'єкти було обрано індивідуальні консорції ясена звичайного (*Fraxinus excelsior* L.). Дослідженням було піддано індивідуальні консорції

183 екземплярів ясена звичайного трьох вікових станів (віргінільні особини – вірг, молоді генеративні – gl, зрілі та старі генеративні особини – g2–g3). Віковий стан детермінантів консорції визначався за Смирноюю зі співавторами (Smirnova, Zaugolnova, Taranova, Falikov, 1976). Як основний методичний прийом для вивчення консортивних зв'язків птахів було використане хронометрування бюджету часу птахів (Dolnik, 1982) у модифікації, запропонованій О. Л. Пономаренко (Ponomarenko, 2005). Біоморфічний аналіз проводився за системою біоморф М. П. Акімова (Akimov, 1954). Матеріал збирався по чотирьох сезонах: весною, літку, восени та взимку.

Ясен звичайний (*Fraxinus excelsior*) є одним з едіфікаторів липово-ясеневих дібров Степового Придніпров'я. Поряд з дубом звичайним ясен утворює верхній ярус досліджуваних дібров (Belgard, 1971). Ця деревна порода значно відрізняється від дуба звичайного. Головною її особливістю є напіважурний тип архітектоніки крони (Belgard, 1960). Відповідно крона ясена пропускає багато світла, що може негативно впливати на формування лісового типу мікроклімату (Tkachenko, 1955). Характерними особливостями ясена також є:

1) високий рівень тінювитривалості підросту цієї породи (Tkachenko, 1955), що призводить до того, що, на відміну від дуба, ясен успішно відновлюється на неосвітлених позиціях і його підріст у липово-ясеневих дібровах є досить численним;

2) досить раннє очищення від нижніх гілок стовбура дерева (до 75 % загальної висоти) (Tkachenko, 1955), що зменшує обсяг і без того не дуже великої крони ясена.

Ці особливості онтогенезу призводять до того, що ясен звичайний створює мозаїчну структуру в моноценозі липово-ясеневих дібров, формуючи своєрідні світлові «вікна». Відсутність щільної крони у ясена призводить до малої кількості місць схову для птахів. Усе вищевказане відповідно впливає і на систему консортивних зв'язків цієї деревної породи.

Цвітіння ясена настає до початку розпускання листя. Дозрівання плодів відбувається восени (Tkachenko, 1955). На відміну від дуба, насіння ясена залишається на дереві протягом осені та зими. Плодоносить ясен дуже рясно (Tkachenko, 1955). Ці особливості відповідно впливають на функціонування мероконсорцій генеративних органів цієї деревної породи і участь у них птахів. Ураховуючи все вищевказане, можна припустити, що птахи не є активними консортами цієї породи.

На досліджуваній площі ясен звичайний представлений паростевою генерацією віком понад 100 років (Grigorenko, Lyindya, 1977).

Висота досліджуваних ясенів коливалася в межах 24–29,5 м у зрілому та старому генеративному стані (g_2 – g_3), 11–17 м – у молодому генеративному стані (g_1), та 3–7 м – у віргінільному стані. Розмах крони коливався в межах 10–18 м, 4–7 м, 2–3,5 м відповідно.

Результати та їх обговорення

Біоморфічна структура консортивних угруповань птахів ясена формується під впливом декількох факторів, серед яких є специфічна архітектоніка крони цієї деревної породи, панування ясена у верхньому ярусі, обламування нижніх гілок.

Біоморфічна структура консортивного угруповання птахів віргінільного ясена формується перш за все під впливом його просторового розташування в нижньому ярусі на тінювих позиціях.

На відміну від дуба звичайного, ясен віком *virg* має тільки одну топоформу птахів – дрімюфілів (табл. 1). Не зафіксовано жодного випадку проникнення представників топоморф, не властивих для липово-ясеневої діброви. Розташування у «глибині» діброви значно зменшує і коливання часткової участі кліматоморфічних груп. Окрім сезонників у консорції беруть участь тільки деякі види морфи літніх видів-дрімюфілів (табл. 1), що суттєво збіднює консорцію віргінільного ясена.

Таблиця 1

Сезонна динаміка топо- та кліматоморфічного складу консортивних угруповань птахів у консорції віргінільного ясена

Біоморфи II порядку	Часткова участь у бюджеті часу, %			
	Літо	Осінь	Зима	Весна
Топоморфи				
Дрімюфіли	100	100	100	100
Узлісники	–	–	–	–
Убіквісти	–	–	–	–
Усього	100,00	100,00	100,00	100,00
Кліматоморфи				
Цілолітні види	50	20,25	100	100
Сезонники	50	79,75	–	–
Усього	100,00	100,00	100,00	100,00

Характерною є також відсутність участі літніх видів-сезонників весною, під час формування гніздових угруповань птахів. Віргінільний ясен не створює середовища, яке приваблює значну кількість птахів. Відповідно консорція віргінільного ясена протягом року не виявляє стабільності. Трофоморфічна структура віргінільного ясена також істотно відрізняється від такої у дуба звичайного. У складі трофомор є тільки зоофаги, причому з дуже малим діапазоном маси. Домінуючою є друга розмірна ланка зоофагів, що є типовим для нижнього ярусу липово-ясеневої діброви (табл. 2).

Ураховуючи малу кількість листової поверхні ясена g_1 , можна вважати закономірним той факт, що перша розмірна ланка лише літом (у період максимального розвитку

трофічної бази зоофагів) незначною мірою виявляє свою активність у консорції ясена. Таким чином, функціональне різноманіття в консорції віргінільного ясена дуже низьке порівняно з дубом звичайним. Віргінільний ясен є тільки супутнім ядром консорції для птахів.

Таблиця 2

Сезонна динаміка трофоморфічного складу консортивних угруповань птахів у консорції віргінільного ясена

Трофо-морфи I по-рядку	Трофо-морфи II по-рядку	Трофо-морфи III по-рядку	Часткова участь у бюджеті часу, %			
			Літо	Осінь	Зима	Весна
	Обшар-щики	1	16,67	7,59	–	–
Зоофаги	Обшар-щики	2	83,33	92,41	100	100
Зоофагів усього			100,00	100,00	100,00	100,00
Усього			100,00	100,00	100,00	100,00

Консортивне угруповання ясена віком g_1 більш розвинуте за рахунок виходу молодих генеративних екземплярів цієї породи в середній ярус і супровідного явища кондиціонування з боку консортивних угруповань інших порід.

Топоморфічна структура й надалі вирізняється пануванням дрімюфілів (табл. 3), але за рахунок освітленої структури крони вперше улітку, під час інтенсивного обміну речовини та енергії у БГЦ, в яких беруть активну участь птахи, з'являються елементи із сусідніх біогеоценозів та екотонів. Участь цих елементів у консорції ясена з боку не впливає на функціонування консорції. Кліматоморфічна структура угруповання птахів-консортів вирізняється набагато інтенсивнішою динамікою, на відміну від віргінільного ясена (табл. 3). Цей факт пояснюється знову ж таки розташуванням крони молодого генеративного ясена в гущі середнього ярусу. Таким чином, біоморфічний аналіз підтверджує факт кондиціонування консорції ясена з боку консорцій інших порід. Вперше взимку з'являються сезонні види. Це свідчить про те, що мероконсорції генеративних органів ясена деяким чином підтримують птахів у жорстких умовах зимівлі.

Таблиця 3

Сезонна динаміка топо- та кліматоморфічного складу консортивних угруповань птахів у консорції молодого генеративного ясена

Біоморфи II порядку	Часткова участь у бюджеті часу, %			
	Літо	Осінь	Зима	Весна
Топоморфи				
Дрімюфіли	98,62	100	100	100
Узлісники	–	–	–	–
Убіквісти	1,38	–	–	–
Усього	100,00	100,00	100,00	100,00
Кліматоморфи				
Цілолітні види	62,95	44,39	99,64	46,29
Сезонники	37,05	55,61	0,36	53,21
Усього	100,00	100,00	100,00	100,00

Характерним є досить низький рівень коливань участі сезонних видів порівняно з дубом (інтервал – 55,25 %). Домінуючою залишається група цілолітніх видів, це свідчить про те, що до умов середовища, які створює ясен, пристосувалася повною мірою досить мала кількість консортів-птахів. Завдяки цьому консортивне угруповання не реагує значною мірою на зміни навколишнього

середовища, є досить стабільним, але й малопродуктивним.

Трофоморфічна структура консортивного угруповання птахів молодого генеративного ясеня, як і в такого ж дуба, уже представлена всіма трьома основними трофоморфічними групами: фіто-, зоо-, еврифагами. Це свідчить, що ясен може підтримувати досить різноманітне за функціями угруповання тварин (табл. 4). Характерною є також досить висока частка фітофагів, але вони виявляють активність на ясені перш за все як топоконсорти.

Таблиця 4

Сезонна динаміка трофоморфічного складу консортивних угруповань птахів у консорції молодого генеративного ясеня

Трофо- морфи I порядку	Трофо- морфи II порядку	Трофо- морфи III по- рядку	Часткова участь у бюджеті часу, %			
			Літо	Осінь	Зима	Весна
Фітофаги	Насіннієди	5	57,95	—	—	29,66
	Плодоїди	5	—	—	0,36	—
	Фітофагів усього		57,95	—	0,36	29,66
Всеїдні	Оглядаль- ники	6	—	—	0,43	—
	Обшарщики	3	1,04	—	—	—
	Обшарщики	5	0,13	—	—	—
	Всеїдних усього		1,17	—	0,43	—
Зоофаги	Глибокі обшарщики	3	—	—	1,03	—
	Глибокі обшарщики	5	—	—	0,29	—
	Глибокі обшарщики	6	2,66	—	—	—
	Обшарщики	1	3,27	26,02	—	—
	Обшарщики	2	24,33	73,98	97,61	57,86
	Обшарщики	3	1,94	—	0,28	12,48
	Обшарщики	5	0,40	—	—	—
	Засідники	2	8,28	—	—	—
Зоофагів усього			40,88	—	99,21	70,34
Усього			100,00	100,00	100,00	100,00

З іншого боку, на відміну від дуба, ясен не має такого яскраво помітного домінування зоофагів. У свою чергу, зоофаги належним чином не контролюють популяції фітофагів, що може негативно впливати на стабільність консортивного угруповання в цілому.

Зоофаги мають неповний набір морф другого та третього порядку. Не відмічено обшарщиків 4-ї розмірної ланки. Взагалі не зафіксовано такої специфічної групи зоофагів, як мисливці. У цілому угруповання птахів молодого ясеня досить різноманітне за функціональною структурою, хоча представництво окремих морф по сезонах дуже нестабільне, на відміну від дуба. Єдиною морфою, яка представлена протягом усього року, є обшарщики другої розмірної ланки.

Консортивне угруповання зрілого та старого генеративного ясеня (g2-g3) виявляє різноманітність топоморфічного складу тільки в період формування і функціонування гніздових угруповань птахів (табл. 5). Домінуючими протягом року є дріміофіли. Якщо дуб звичайний залучає у своє угруповання крім пануючих дріміофілів ще в основному узлісників, то ясен – убіквістів. Це пояснюється тим, що дуб контактує зі стабільним населенням прилеглих до липово-ясеневі діброви екотонів (узлісь), у той час як ясен, за рахунок освітленої крони, залучає птахів, які активно пересуваються між біогеоценозами, але їхня активність нестабільна. Фактично це залітання чужорідних елементів, які не мають стабільної основи в поведінці або живленні

птахів. На користь цього свідчать і різкі коливання рівня активності убіквістів протягом сезону.

Необхідно відзначити той факт, що більш складною стає динаміка активності клімаморфічних груп (табл. 5). Консортивне угруповання починає досить активно залучати сезонні елементи, частково забезпечуючи стабільність потоків речовини та енергії.

Таблиця 5

Сезонна динаміка топо- та клімаморфічного складу консортивних угруповань птахів у консорції зрілого та старого генеративного ясеня

Біоморфи II порядку	Часткова участь у бюджеті часу, %			
	Літо	Осінь	Зима	Весна
Топоморфи				
Дріміофіли	90,64	100	100	92,54
Узлісники	0,56	—	—	7,46
Убіквісти	8,80	—	—	—
Усього	100,00	100,00	100,00	100,00
Клімаморфи				
Цілолітні	63,94	97,84	98,73	45,42
Сезонники	36,06	2,16	1,27	54,58
Усього	100,00	100,00	100,00	100,00

Трофоморфічна структура (табл. 6) консортивного угруповання птахів зрілого та старого генеративного ясеня бідніша, ніж у дуба звичайного, на 6 морф другого – третього порядків. У середньому в кожному з досліджених сезонів року дуб має у складі своєї консорції більш ніж 10 трофоморф другого – третього порядків (Ponomarenko, 2006), у той час як ясен усього лише 6.

Таблиця 6

Сезонна динаміка трофоморфічного складу консортивних угруповань птахів у консорції зрілого та старого генеративного ясеня

Трофо- морфи I по- рядку	Трофо- морфи II порядку	Трофо- морфи III по- рядку	Часткова участь у бюджеті часу, %			
			Літо	Осінь	Зима	Весна
Фітофаги	Плодоїди	4	—	—	1,27	—
	Насіннієди	5	6,66	—	0,11	34,37
	Фітофагів усього		6,66	—	1,38	34,37
Всеїдні	Оглядаль- ники	6	15,57	—	0,06	—
	Обшар- щики	5	3,17	—	—	2,07
	Всеїдних усього		18,74	—	0,06	2,07
Зоофаги	Оглядаль- ники	3	—	—	—	2,78
	Оглядаль- ники	5	6,52	—	—	—
	Глибокі обшар- щики	3	—	—	0,51	—
	Глибокі обшар- щики	5	6,07	—	0,67	0,65
	Обшар- щики	1	7,24	—	0,14	6,86
	Обшар- щики	2	33,05	100,00	95,82	40,20
	Обшар- щики	3	21,72	—	1,42	11,87
	Засідники	2	—	—	—	1,20
	Зоофагів усього		74,60	100,00	98,56	63,56
	Усього		100,00	100,00	100,00	100,00

Порівняно з дубом звичайним віком g_2 – g_3 , за середньорічними показниками ясен поступається частковою участю зоофагів (84,18 % проти 93,66 % в дуба), незначно переважає за участю фітофагів (10,60 % проти 8,48 %) і більше ніж у 3 рази переважає за частковою участю еврифагів (5,21 проти 1,61). Це є свідченням нижчого рівня спеціалізації системи трофічних зв'язків у ясені звичайного.

Нижчий рівень різноманіття функціональної структури угруповання птахів-консорцієнтів ясені відображається і на рівні різноманіття окремих груп. Фітофаги в консорції дуба мають 5 трофоморф другого – третього порядків, у ясені – 2, еврифаги в консорції дуба – 3, у ясені – 2, зоофаги в дубі – 11, у ясені – 8. Не зафіксовано участі мисливців і повного спектру обшарщиків. З іншого боку, наявні глибокі обшарщики, які контролюють популяції фітофагів, що споживають деревину ясені.

Висновки

Підсумовуючи вищевикладене, можна стверджувати, що угруповання птахів індивідуальних консорцій ясені звичайного набувають свого найбільшого різноманіття у віці g_1 (9 груп трофоморф 2 – 3 порядків проти 8 у зрілого генеративного ясені). Це пов'язано з тим, що в цей період крона ясені ще не втратила нижніх гілок і знаходиться в межах верхнього ярусу, у той час як ясені віком g_2 – g_3 часто піднімаються над третім ярусом.

Найбільш різноманітними є угруповання, які формуються весною та влітку, що пов'язано з періодом вегетації рослинності. На відміну від деяких інших порід, ясен має досить потужні угруповання взимку. Птахи, які є зимовими консортами, беруть участь у першу чергу в мероконсорціях генеративних органів ясені.

Також слід зазначити, що ясен як ядро консорції протягом року поступається за більшістю показників дубу звичайному. Тому ясен можна рекомендувати лише як додаткову породу для створення штучних деревостанів.

References

Akimov, M. P. (1954). Biomorficheskiy metod izucheniya biotsenozov [Biomorphic method of biocoenoses studying]. Byulleten MOIP, 59 (3), 27–36 (in Russian).
 Beklemishev, V. N. (1951). O klassifikatsii biogeotsenologicheskikh (simfiziologicheskikh) svyazey [On the classification of biogeocenotic (symphysiological) connections]. Byulleten MOIP, 55(5), 3–30 (in Russian).
 Belgard, A. L. (1960). K teorii strukturyi iskusstvennogo lesnogo soobshchestva v stepi [To the theory of the structure of an artificial forest community in the steppe]. Iskustvennyye lesa stepnoy zonyi Ukrainyi. Kharkov. 17–32 (in Russian).
 Belgard, A. L. (1971). Stepnoe lesovedenie [Steppe forest science]. Moscow (in Russian).
 Chaplygina, A. B., Yuzyk, D. I., Savynska, N. O. (2016a). The robin, *Erithacus rubecula* (Passeriformes, Turdidae), as a component of autotrophic consortia of forest cenoses, Northeast Ukraine. Vestnik zoologii, 50(4), 369–378.
 Chaplygina, A. B., Yuzyk, D. I., Savynska, N. O. (2016b). The robin, *Erithacus rubecula* (Passeriformes, Turdidae), as a component of heterotrophic consortia of forest cenoses, Northeast Ukraine. Part 2. Vestnik zoologii, 50(6), 493–502.

Dolnik, V. V. (1982). Metody izucheniya byudzheto vremeni i energii u ptits. [Methods of studying budgets of time and energy in birds]. Trudy Zoologicheskogo instituta, 113, 3–37 (in Russian).
 Grigorenko, O. S., Lyindya, A. G. (1977). K ekologii duba chereschatogo, yasenya obyknovennogo, klenov ostrolistnogo, polevogo, i lipyi melkolistnoy, proizrastayuschih v dubravah Prisamarya [To the ecology of oak, ash, maples and linden, growing in the oak forests of Prisamarya]. Voprosy stepnogo lesovedeniya i ohrany prirody, 8, 75–81 (in Russian).
 Mazing, V. V. (1966). Konsortsii kak elementy funktsionalnoy strukturyi biogeotsenozov [Consortia as elements of the functional structure of biogeocenosis]. Trudy MOIP, 27, 117–126 (in Russian).
 Ponomarenko, O. L. (2005). Dynamika funktsionalnogo skladu ugrupovan ptakhiv u individualnykh konsorciyakh lypy sercelystoyi (*Tilia cordata*) [Dynamics of the birds groups functional composition in individual consortia of linden (*Tilia cordata*)]. Visnyk Dnipropetrovskogo universytetu. Biologiya. Ekologiya, 13(1), 226–231 (in Ukrainian).
 Ponomarenko, O. L. (2007). Formuvannya konsortyivnykh zvyazkiv ptakhiv u individualnykh konsorciyakh klena polovogo (*Acer campestre*) protyagom yoho ontogenezu [Formation of conservative bird connections in individual consortia of maple (*Acer campestre*) during its ontogenesis]. Pytannya stepovogo lisoznavstva ta lisovoyi rekultyvatsiyi zemel, 11, 127–132 (in Ukrainian).
 Ponomarenko, O. L. (2006). Rozvytok konsortyivnykh zvyazkiv ptakhiv v individualnykh konsortsiiakh duba zvychnoho (*Quercus robur* L.) protyagom yoho ontogenezu [Development of consortium bird connections in individual consortia of oak (*Quercus robur* L.) during its ontogenesis]. Pytannya stepovoho lisoznavstva ta lisovoyi rekultyvatsiyi zemel, 10, 134–143 (in Ukrainian).
 Ramenskiy, L. G., 1952. O nekotorykh printsipialnykh polozheniyakh sovremennoy geobotaniki [Some basic principles of modern geobotany]. Bot. Zhurnal, 37(2), 181–201 (in Russian).
 Smimova, O. V., Zaugolnova, L. B., Taronova, N. A., Falikov, L. D. (1976). Kriterii vyideleniya vozrastnykh sostoyaniy i osobennosti hoda ontogeneza u rasteniy razlichnykh biomorf [Criteria for the identification of age-related conditions and features of the ontogenesis course in plants of various biomorphs]. Tsenopopulyatsii rasteniy (osnovnyye ponyatiya i struktura), 1. Moscow. 14–43 (in Russian).
 Sukachev, V. N. (1972). Opredelenie ponyatiya «lesnoy biogeotsenoz», ego komponenty i osnovnyye svoystva [Definition of the term «forest biogeocenosis», its components and basic properties]. Izbrannyye trudy, 1. Leningrad. 329–356 (in Russian).
 Tkachenko, M. E. (1955). Obshee lesovodstvo [Common forestry]. Moscow–Leningrad (in Russian).
 Tryfanova, M. V., Kunax, O. M., Zhukov, O. V. (2015). Doslidzhennya konsortyivnykh zvyazkiv u biogeotsenozakh ta okhrona pryrody [Investigation of consortial connections in biogeocenoses and nature protection]. Dnipropetrovsk. 111 (in Ukrainian).
 Yuzyk, D. I., Chaplygina, A. B. (2015). Konsortyivni zvyazky polovogo gorobcya (*Passer montanus*) v umovakh lisovykh cenoziv Pivnichno-Skhidnoyi Ukrainy [Consortia interactions of field sparrow (*Passer montanus*) in conditions of forest cenosis of the North-Eastern Ukraine]. Berkut, 24(2), 142–147 (in Ukrainian).