

**Зміст електронного журналу
«Наукові доповіді НУБіП України»
№ 3/103 (червень), 2023
Рекомендований до видання Вченою Радою НУБіП України
протокол № 12 від 21 червня 2023 р.**

Біологія, біотехнологія, екологія

- 1. Гречанюк М. О., Голяка Д. М., Левчук С. Є., Павленко П. М., Теїєн Х.-К., Хауген Т. О., Максін В. І., Кашпаров В. О.** Питома активність радіонуклідів та потужність зовнішньої дози опромінювання у донних відкладах оз. Бріт у Чорнобильській зоні відчуження
- 2. Комісова Т. Є., Гончаренко М. С., Сліпцова Н. А.** Основні джерела іонізуючого випромінювання та його вплив на населення
- 3. Сіненко Б. В.** Вплив неорганічних хімічних речовин на радіостійкість насіння
- 4. Іллєнко В. В., Волкогон І. В., Бордюг О. А., Клепко А. В., Лазарєв М. М., Гудков І. М.** Целюлозоруйнуюча активність ґрунтової мікрофлори за впливу різних рівнів радіонуклідного забруднення
- 5. Корольова О. В.** Особливості насінного розмноження *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle в умовах Миколаївської області

Агрономія

- 6. Кондратенко С. І., Кирюхіна Н. О., Митенко І. М., Дульнєв П. Г.** Регулятори росту для підвищення насіннєвої продуктивності рослин капусти головчастої репродуктивної стадії розвитку
- 7. Кривенко А. І., Парлікокошко М. С., Чепурних В. М., Коваленко Н. П., Орехівський В. Д.** Ріст і розвиток рослин нуту залежно від систем живлення у південному степу України
- 8. Войтовик М. В., Примаєк І. Д., Цюк О. А., Мельник В. І.** Родючість чорнозему типового за багаторічного основного обробітку ґрунту в короткоротаційній сівоzmіні
- 9. Свистунова І. В., Пророченко С. С., Бурко Л. М., Чумаченко І. П., Войцехівський В. І., Полторецький С. П., Шувар А. М., Пує В. Л., Васківська С. В., Ночвіна О. В., Чухлеб Л. І.** Хімічний склад корму лучних травостоїв залежно від технологічних факторів вирощування

Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва

- 10. Луценко М. М., Ластовська І. О., Косіор Л. Т.** Вплив стресових реакцій на фізіологічний стан молодняка великої рогатої худоби

Ветеринарна медицина, якість і безпека продукції тваринництва

- 11.Стегней М.М., Друзь Н.В., Стегней Ж.Г. Дробот М. В.** До історії вивчення апарату руху вченими Київської школи порівняльних морфологів
- 12.Горкава І. М., Малюк М. О.** Зміни клітинного складу синовіальної рідини за експериментального остеоартрозу колінного суглобу в кролів
- 13.Мачуський О. В.** Розробка технології виробництва пробіотику «Споро-лекс»

Лісове і садово-паркове господарство

- 14.М'ялковський Р. О., Панцирева Г. В., Безвіконний П. В.** Перспективи використання троянди флорібунда в умовах Поділля

Техніка та енергетика АПК

- 15.Сірко З. С., Охріменко С. М., Цапко О. Ю., Торчилевський Д. П., Стариш Є. А., Грицун В. М.** Ежекційна вітрова електростанція

Biology, biotechnology, ecology

1. **Hrechaniuk M., Holiaka D., Levchuk S., Pavlenko P., Teien H.-C., Haugen T., Maksin V., Kashparov V.** Activity concentration of radionuclide and external dose rate in bottom deposits of Brit lake in the Chornobyl exclusion zone
2. **Komisova T., Honcharenko M., Sliptsova N.** Main sources of ionizing radiation and its impact on the population
3. **Sinenko B.** Effect of inorganic chemicals on radioresistance of seeds
4. **Illienko V., Volkogon I., Bordyug O., Klepko A., Lazarev M., Gudkov I.** Cellulose destructive activity of soil microflora at the influence of different radionuclide contamination levels
5. **Korolyova O.** Features of seed propagation of *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle in the Mykolaiv region

Agronomy

6. **Kondratenko S. I., Kyriukhina N. O., Mytenko I. M., Dulniev P. H.** Growth regulators for increasing the seed productivity of head cabbage plants at the reproductive stage of development
7. **Kryvenko A. I., Parlikokoshko M. S., Chepurnykh V. M., Kovalenko N. P., Orekhivskyi V. D.** Growth and development of chickpea plants depends on food systems in the southern steppe of Ukraine
8. **Voitovyk M., Prymak I., Tsyuk O., Melnyk V.** Ertility of typical black soil under multi-year main tillage in short rotation crop rotation
9. **Svystunova I. V., Prorochenko C. C., Burko L. M., Chumachenko I. P., Voitsekhivskyi V. I., Poltoretskyi S. P., Shuvar A. M., Puiu V. L., Vaskivska S. V., Nochvina O. V., Chukhleb L. I.** Chemical composition of meadow grass feed depends on technological growing factors

Technology of production and processing of livestock products

10. **Lutsenko M. M., Lastovska I. O., Kosior L. T.** Influence of stress reactions on the physiological state of young cattle

Veterinary medicine, quality and safety of livestock products

11. **Stehnei M.M., Druz N.V., Stehnei Zh. G., Drobot M. V.** To the history of the locomotive apparatus study by the scientists Kyiv school of comparative morphologists

- 12.Gorkava I., Malyuk M.** Changes in the cellular composition of synovial fluid in experimental osteoarthritis of the knee joint in rabbits
- 13.Machusky O. V.** Technology development of probiotic “Sporo-leks” manufacturing

Forestry and ornamental plants

- 14.Myalkovsky R., Pantsyreva H., Bezvikonnyi P.** Prospects of using floribunda rose in Podillia conditions

Engineering

- 15.Sirko Z., Okhrimenko S., Tsapko O., Torchilevsky D., Starish E., Hrytsun V.** Ejection wind power plant

ПИТОМА АКТИВНІСТЬ РАДІОНУКЛІДІВ ТА ПОТУЖНІСТЬ ЗОВНІШНЬОЇ ДОЗИ ОПРОМІНЮВАННЯ У ДОННИХ ВІДКЛАДАХ оз. БРІТ У ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ ЗОНІ ВІДЧУЖЕННЯ

М. О. ГРЕЧАНЮК, аспірант^{1*}

Д. М. ГОЛЯКА, кандидат сільськогосподарських наук¹

С. Є. ЛЕВЧУК, кандидат біологічних наук¹

П. М. ПАВЛЕНКО, аспірант¹

Х.-К. ТЕІЕН, PhD, професор²

Т. О. ХАУГЕН, PhD, професор²

В. І. МАКСІН, доктор хімічних наук, професор^{1,3}

В. О. КАШПАРОВ, доктор біологічних наук, професор^{1,2}

¹ Національний університет біоресурсів і природокористування України

² Центр радіоактивності навколишнього середовища Норвезького
університету наук про життя

³ Науково-дослідний інститут «Ресурс» Держагентства України «Резерв»

E-mail: maksgrek@ukr.net

[https://doi.org/10.31548/dopovidi3\(103\).2023.001](https://doi.org/10.31548/dopovidi3(103).2023.001)

Анотація. У результаті проведених експериментальних досліджень було отримано профілі вертикального розподілу потужності поглиненої дози (ППД) гамма-випромінювання та значення питомої активності ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{154}Eu і ^{241}Am в донних відкладах оз. Бріт, які досягали $23 \text{ мкГр} \cdot \text{год}^{-1}$ і $43 \text{ Бк} \cdot \text{см}^{-3}$ для ^{137}Cs . Озеро розташоване в межах ділянки Красненської заплави р. Прип'ять у Чорнобильській зоні відчуження ($51,44844^\circ$; $30,06020^\circ$). Показано, що в оз. Бріт, через змив радіонуклідів з водозабору, відсутня кореляція між середніми рівнями вмісту ^{90}Sr і ^{137}Cs у донних відкладах і глибиною озера. Спостерігається помірна кореляція між виміряною дозиметром та розрахунковою потужністю поглинутої дози зовнішнього опромінення на основі середньої питомої активності радіонуклідів у донних відкладах. Середня розрахована та виміряна ППД гамма-випромінювання в донних відкладах оз. Бріт змінювалась в межах $1.3\text{--}19 \text{ мкГр} \cdot \text{год}^{-1}$ і була сумісною з внутрішньою дозою опромінення риб ($5\text{--}15 \text{ мкГр} \cdot \text{год}^{-1}$). Внесок вмісту радіонуклідів у воді оз. Бріт у формування ППД не перевищує $2 \text{ нГр} \cdot \text{год}^{-1}$.

Для зменшення невизначеності оцінок доз зовнішнього опромінення аборигенних риб у жовтні 2021 року було встановлено відповідне обладнання для акустичної 3-D телеметрії та індивідуальної дозиметрії різних видів риб в оз. Бріт і оз. Глибоке.

Ключові слова: ^{90}Sr , ^{137}Cs , потужність поглиненої дози, донні відклади, Чорнобиль, зона відчуження

* Науковий керівник – доктор хімічних наук, професор, В.І.Максін

Актуальність. Внаслідок техногенної аварії на Чорнобильській АЕС 26 квітня 1986 році стався значний викид радіонуклідів в атмосферу з наступним радіоактивним забрудненням навколишнього середовища. Це призвело до утворення найбільш радіоактивно забрудненої у світі території – Чорнобильської зони відчуження (ЧЗВ), де науковці з усього світу досліджують наслідки катастрофи, вплив радіонуклідів на довкілля та шукають шляхи вирішення її наслідків. У ЧЗВ проводились численні дослідження проявів радіобіологічних ефектів у референтних організмів, які потребують коректної оцінки поглинених доз опромінення [1–5].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Міжнародна комісія з радіологічного захисту (МКРЗ) рекомендує використовувати референтні організми для оцінки впливу іонізуючого випромінювання на біоту з метою радіаційного захисту довкілля [6]. Припускається, що в 1986 році, після аварії, потужність поглиненої дози опромінення риб в оз. Глибоке могла досягати $130 \text{ мГр} \cdot \text{добу}^{-1}$ [7]. Нині в найбільш радіоактивно забруднених водоймах ЧЗВ питома активність ^{137}Cs в м'язовій тканині і ^{90}Sr в кістковій тканині риб досягає десятків, а то і сотень $\text{кБк} \cdot \text{кг}^{-1}$ відповідно [8, 9]. Це призводить до формування поглинених доз внутрішнього

опромінення риб до одиниць $\text{мГр} \cdot \text{добу}^{-1}$ [8 - 10]. За оцінками О.Є. Кагляна та ін. (2019) дози зовнішнього опромінення риб в озерах ЧЗВ здатні значно перевищувати дози внутрішнього опромінення і досягати $3 \text{ мГр} \cdot \text{добу}^{-1}$ за рахунок гамма-випромінювання $^{137}\text{Cs} \rightarrow ^{137\text{m}}\text{Ba}$ в донних відкладах.

Донні відклади водойм являють собою одне з основних місць накопичення радіонуклідів, що сприяють зовнішньому опроміненню організмів на радіоактивно забруднених територіях. Автори нещодавніх досліджень [10] проводили оцінку зовнішніх і внутрішніх поглинених доз опромінення риби в радіоактивно забруднених водоймах ЧЗВ за допомогою пакету програм "ERICA Assessment Tool" [11]. Було визначено, що основний внесок (більше 80 %) у поглинену річну дозу до 1 Гр у холодний період року зумовлений зовнішнім опроміненням донних риб, таких як линь і карась, від високозабруднених донних відкладів зимувальних ям.

Рівень зовнішнього опромінення організмів визначається комплексною взаємодією ряду чинників: рівня забруднення навколишнього середовища, характеристик радіоактивного розпаду радіонуклідів, відстані між джерелом опромінення і об'єктом, що опромінюється, місця існування та

Гречанюк М. О., Голяка Д. М., Левчук С. Є., Павленко П. М., Теїєн Х.-К., Хауген Т. О., Максін В. І., Кашпаров В. О.

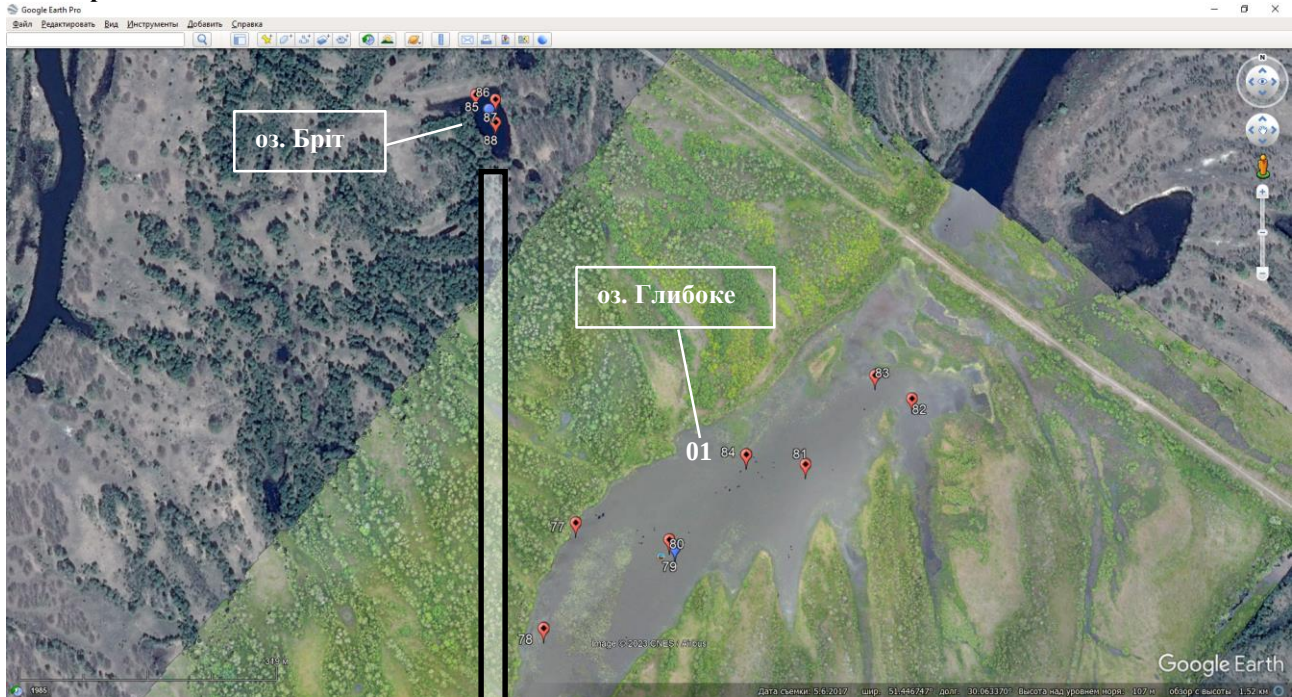
розмірів об'єкта, що опромінюється та ін. [12, 13].

Мета дослідження полягає у зменшенні невизначеності оцінок доз зовнішнього опромінення організмів у прісноводних екосистемах. Для досягнення мети проведені експериментальні роботи, які включають вимірювання вертикального розподілу потужності дози іонізуючого гамма-випромінювання у воді й донних відкладах озера, а також відбирання проб донних відкладів і вимірювання в цих пробах питомої активності радіонуклідів.

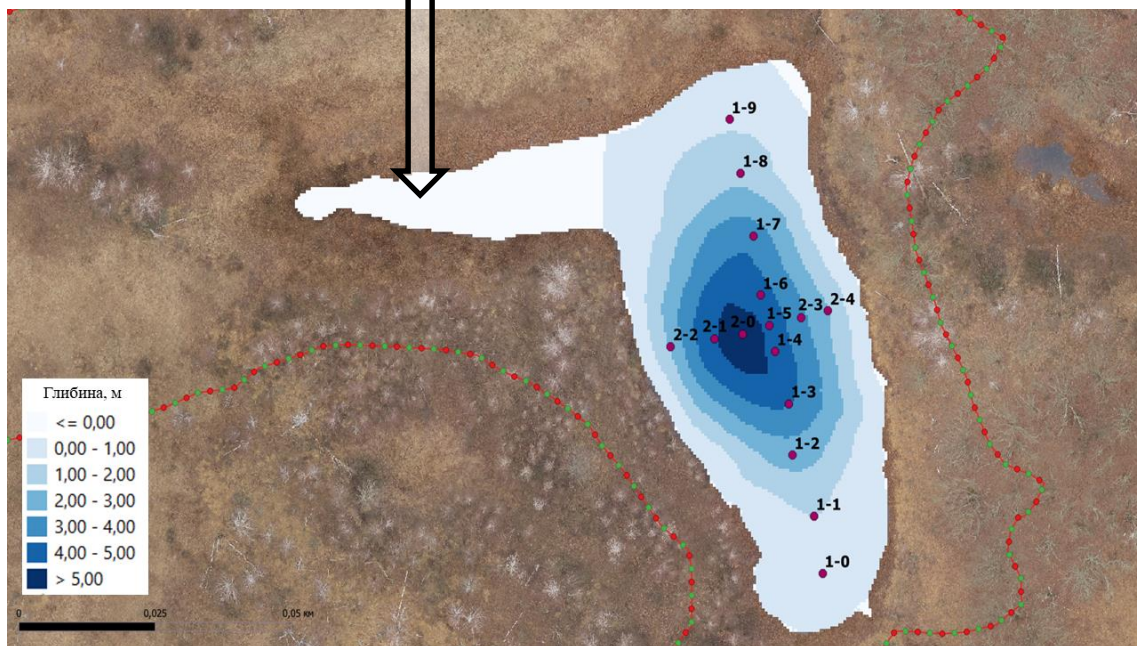
Матеріали і методи дослідження. Експериментальні дослідження з вивчення зовнішніх доз опромінення у воді та донних відкладах, а також відбір проб донних відкладів проводили в безіменному озері (далі оз. Бріт), що розташоване в межах ділянки Красненської заплави р. Прип'ять у Чорнобильській зоні відчуження (51,44844°; 30,06020°) на північно-західному сліді чорнобильських радіоактивних випадіннь, на відстані 6,6 км (338°) від ЧАЕС (Рис. 1, 2). Озеро має чашоподібну форму з глибиною 5,4 м в центрі, площа водойми складає

близько 3800 м². Озеро було обрано для досліджень через високі рівні його забруднення, форму, глибину і невеликий розмір. Ці фактори дозволяють проводити гарантований вилов риб із вживленими дозиметрами та фіксувати їх положення у воді над донними відкладами або в них на протязі року. Також для порівняння в одній точці було відібрано пробу донних відкладів і виміряно профіль потужності дози іонізуючого гамма-випромінювання в оз. Глибоке (51.444796°, 30.063938°) на глибині 5 м (Рис. 1). Озеро Глибоке простягається в довжину на 1,2 км з максимальною шириною 250 м і глибиною 6–7 м у центральній частині [5, 14]. Це озеро добре вивчене і найбільш часто використовується для радіобіологічних досліджень [2, 3, 5, 7-10, 14].

Відбирання зразків донних відкладів і вимірювання вертикальних профілів потужності амбієнтного еквівалента дози (ПАЕД) гамма-випромінювання у воді та донних відкладах проводили одночасно з поверхні льоду протягом 2–3 березня 2021 року.



а



б

Рис. 1. Розміщення озер і точок розміщення обладнання для акустичної 3-D телеметрії (червоні та фіолетові буйки 77-78) і вимірювання потужності дози іонізуючого гамма-випромінювання та відбору донних відкладів (Таблиця) (а), а також показники глибин оз. Бріт (б)

Перед початком робіт було проведено калібрування показників дозиметра-радіометра ДКС-96 за

допомогою порівняння еталонних значень вимірювального приладу РКС-01 із значеннями ДКС-96 на

Гречанюк М. О., Голяка Д. М., Левчук С. Є., Павленко П. М., Теїєн Х.-К., Хауген Т. О., Максін В. І., Кашпаров В. О.

різній відстані (від 1 м до 10 м) від джерела випромінення. Розбіжності у вимірах потужності дози не перевищували 10 %. У першому наближенні значення вимірних величин ПАЕД гамма-випромінення у воді та донних відкладах будуть відповідати потужності поглиненої дози гамма-випромінювання (ППД) [15].

Для відбору проб донних відкладів та вимірювання величин ППД у кризі були пробурені 15 отворів діаметром 13 см. Глибини у кожній точці були виміряні за допомогою ехолота Deeper (Deeper UAB, Lithuania) (Рис. 1б). Для відбирання зразків донних відкладів і зйомки вертикальних профілів потужності доз гамма-випромінювання було розроблено спеціальний прилад на штативі з мірною шкалою і черв'ячним механізмом, що давало змогу зафіксувати його на необхідній глибині для вимірювання і поступово підіймати і опускати з кроком 1 см (Рис. 2а). Також до штанги з дозиметром і пробовідбірником була прикріплена вимірювальна стрічка для визначення точної глибини.

Штангу з пробовідбірником і детектором через лунку в кризі занурювали в донні відклади до упору в піщані відкладення і проводили вимірювання потужності дози на максимальній глибині. Після цього штангу з кроком 5 см підіймали для

вимірювання вертикального профілю змін потужності дози. Вимірювання зупиняли після досягнення фонового рівня показників вимірюваної потужності дози у воді. Відмінностей у показниках ППД під час занурювання і виймання дозиметра із донних відкладів не спостерігалось.

Для порівняння рівнів потужності поглиненої дози гамма-випромінювання від донних відкладів та від поверхні ґрунту в околицях оз. Бріт за допомогою дозиметра РКС-01 «СТОРА-ТУ» (Екотест, Україна) було виконано гамма-зйомку території водозабору навколо озера з кроком 10 м і GPS-прив'язкою.

Відбір зразків донних відкладів проводився за допомогою спеціально розробленого прозорого циліндричного пробовідбірника довжиною 50 см і діаметром 5 см, з'єднаного з металевою штангою з дозиметром (Рис. 2 б). Під час занурення вода виходила крізь зворотний клапан до тих пір, поки не було припинено занурення у донні відклади на максимальну глибину. Товщина донних відкладів вимірювалась після відбирання проби по границі вода - завись (Рис. 2 б). У лабораторних умовах проби донних відкладів було висушено до повітряно-сухого стану і гомогенізовано для проведення гамма- і бета-спектрометричних вимірювань.

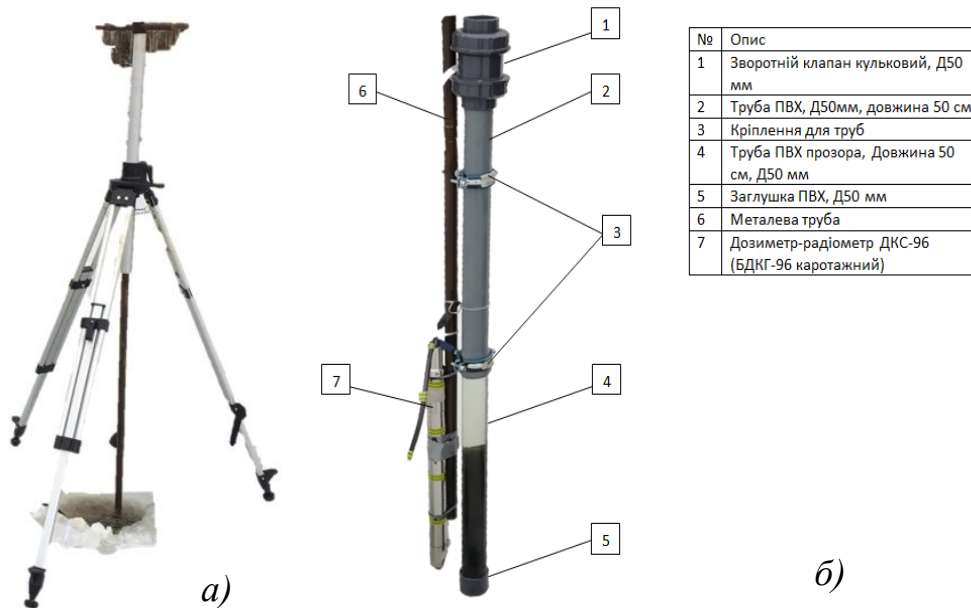


Рис. 2. Будова приладу для вимірювання потужності дози і відбору проб: а) штатив; б) пробовідбірник

Для визначення активності гамма-випромінюючих радіонуклідів $^{137}\text{Cs} \rightarrow ^{137\text{m}}\text{Ba}$, ^{241}Am та ^{154}Eu висушені зразки донних відкладів було розміщено в пластикові контейнери (100 мл) для аналізу на гамма-спектрометричному комплексі з багатоканальним аналізатором ASPEC-927 (програмне забезпечення GammaVision 32) та напівпровідниковим детектором з високочистого германію GEM-30185 у пасивному захисті, виробництва «EG&G ORTEC» (США), з енергетичним розрізненням 1,78 кеВ по лінії ^{60}Co 1,33 МеВ. Вимірювання активності ^{137}Cs у воді озер проводили після її фільтрації через фільтри 0,45 мкм в посудинах Марінеллі об'ємом 1 л. Для калібрування гамма-спектрометра використовували сертифіковані

еталони з відповідною матрицею. Час вимірювання зразків був встановлений таким чином щоб статистична складова невизначеності не перевищувала 20 %.

Для вимірювання активності ^{90}Sr в пробах донних відкладів використовували бета-спектрометр СЕБ-01-70 (АКП, Україна). Вміст ^{90}Sr у воді озер проводили за класичною радіохімічною методикою [16].

Для візуалізації розподілу активності радіонуклідів у зразках донних відкладів використовували сканер (Image plate scanner CR 35 BIO Plus, Germany). Зразок донних відкладів (1 г) розподілявся тонким шаром на клейкому папері, покривався поліетиленовою плівкою та плівкою Fujifilm BAS-IP MS 2040 і експонувався протягом 7 діб. Після експозиції плівка сканувалась в

Гречанюк М. О., Голяка Д. М., Левчук С. Є., Павленко П. М., Теїєн Х.-К., Хауген Т. О., Максін В. І., Кашпаров В. О.

чутливому режимі (розширенням пікселів до 50 мкм) з використанням функції біннінгування пікселів.

Концентрації іонів K^+ та Ca^{2+} у воді визначались методами полум'яної фотометрії та титриметрії, відповідно [17].

Результати дослідження та їх обговорення. Питома активність ^{137}Cs і ^{90}Sr у воді оз. Бріт становила $1,5 \pm 0,3$ Бк·л⁻¹ і 72 ± 9 Бк·л⁻¹ відповідно і була нижчою, порівнюючи з показниками активності в оз. Глибоке: 4 ± 1 Бк·л⁻¹ і 100 ± 10 Бк·л⁻¹ [5, 8, 14, 18]. Середній вміст стабільних елементів K^+ та Ca^{2+} у воді оз. Бріт і оз. Глибоке становив $2,0 \pm 0,1$ мг·л⁻¹ та 14 ± 12 мг·л⁻¹ і $1,2 \pm 0,1$ мг·л⁻¹ та 30 ± 2 мг·л⁻¹ [8, 14, 17], що в свою чергу призводить до меншого вмісту ^{137}Cs в рибі з оз. Бріт, порівнюючи з рибою з оз. Глибоке, в 4,4 разів, але більшого вмісту ^{90}Sr в 1,5 разів [19]. Відповідно, доза внутрішнього опромінення риб в оз. Бріт буде дещо більшою у порівнянні з оз. Глибоке (5-10 мкГр·год⁻¹) через основний внесок ^{90}Sr у її формування (більш 90% для не хижих риб) [10].

На рис. 3 і 4 наведено результати вимірювань вертикальних профілів потужності поглиненої дози у воді та донних відкладах оз. Бріт та в оз.

Глибоке (Рис. 4). Товщина донних відкладів в оз. Бріт і оз. Глибоке досягала 40 см. Пік чорнобильських радіоактивних випадінь 1986 року (максимальний рівень ППД) розташовувався на різних глибинах донних відкладів (від 0 до 25 см), що вказує на залежність швидкості їх формування (до 0,7 см·рік⁻¹) від місцезнаходження точки відбору проб. Отримані розподіли вказують на залежність зовнішньої дози опромінення організмів від їх часово-просторового розташування у водоймі.

ППД в оз. Бріт у різних точках змінюється в широкому діапазоні і досягає максимального значення біля 23 мкГр·год⁻¹ в точці 1-0 на глибині всього 1,2 м (Рис. 3), що обумовлено змивом радіонуклідів з водозабору (Рис. 5). Водночас рівні ППД цієї місцевості коливаються у межах від 1,1 мкГр·год⁻¹ до 13,1 мкГр·год⁻¹. Максимальні значення ППД у найглибших місцях у центрі озера (точки 1-3 – 1-5 і 2-0 – 2-1) становили 13–18 мкГр·год⁻¹. Внесок вмісту радіонуклідів у воді оз. Бріт у формування ППД несуттєвий і не перевищує 2 нГр·год⁻¹.

В оз. Глибоке значення ППД в точці 01 досягали 40 мкГр·год⁻¹ (Рис. 4).

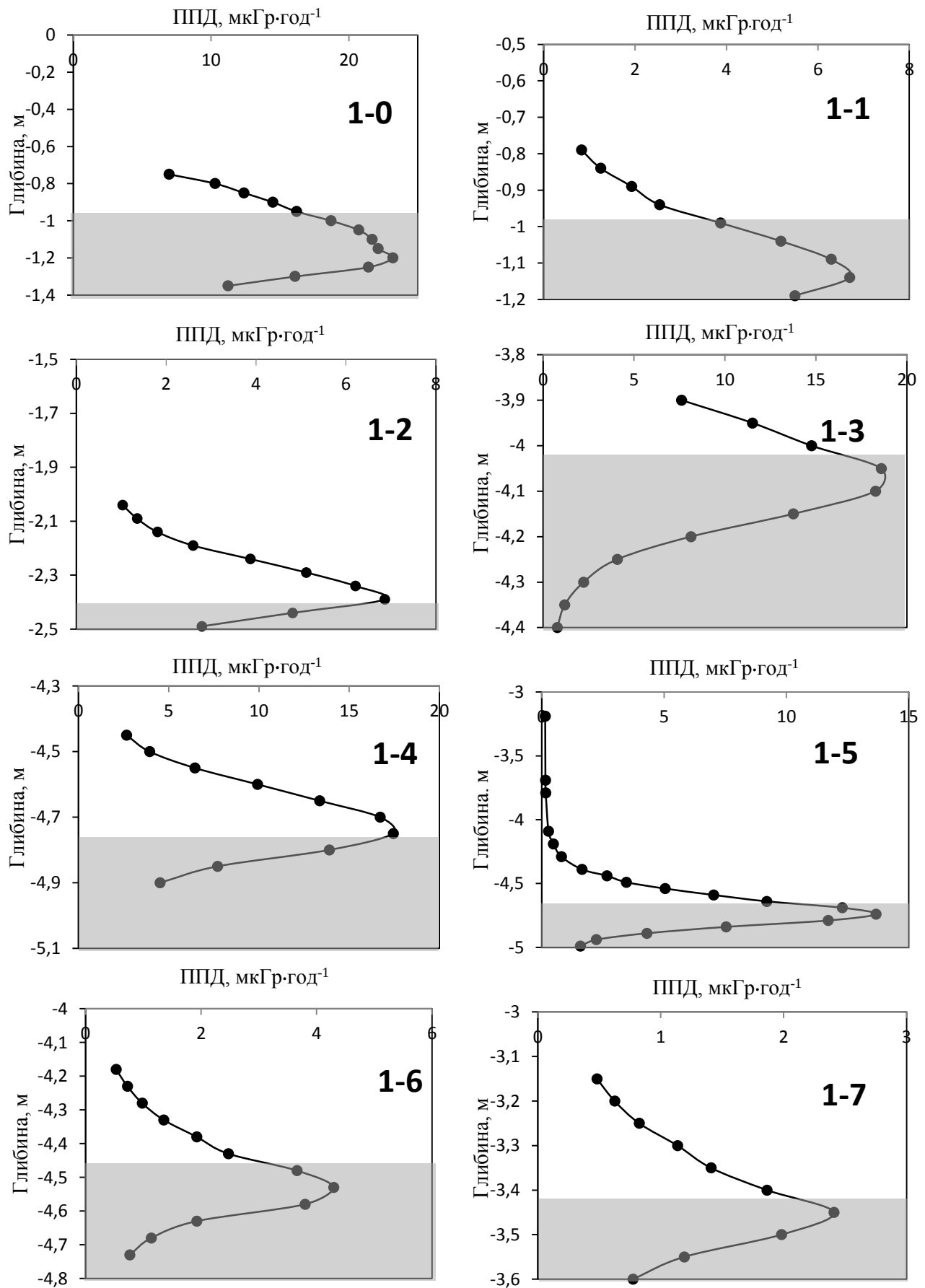


Рис. 3. Вертикальний профіль потужності поглиненої дози в точках 1-0 – 1-7 оз. Бріт

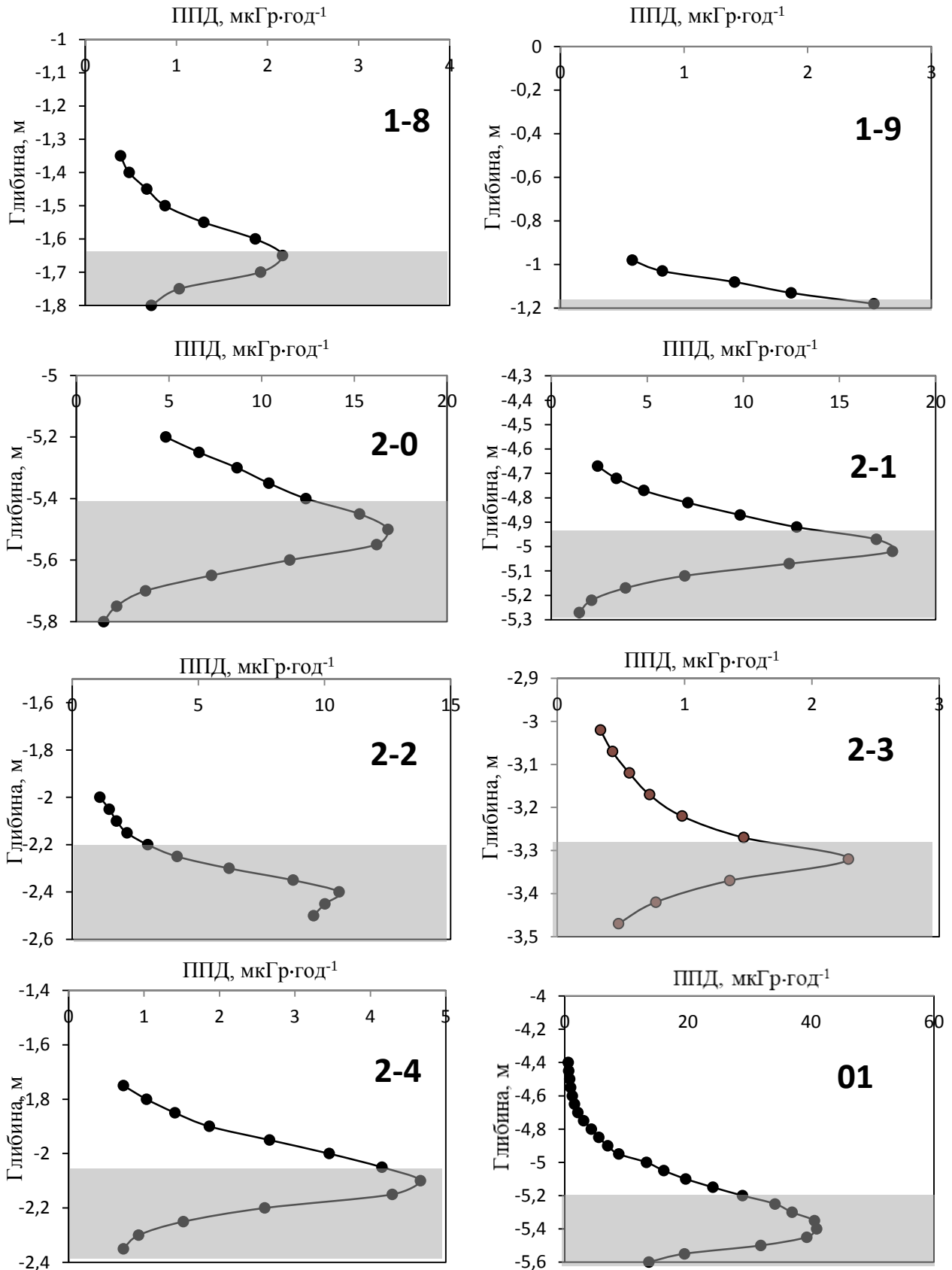
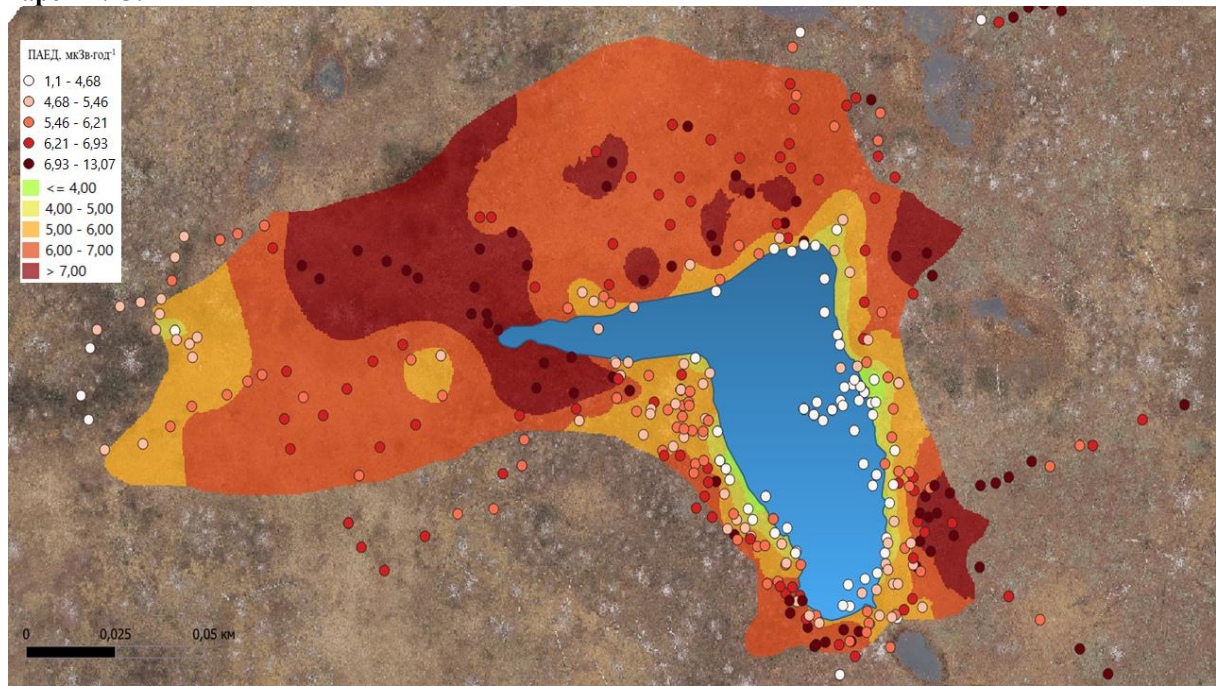
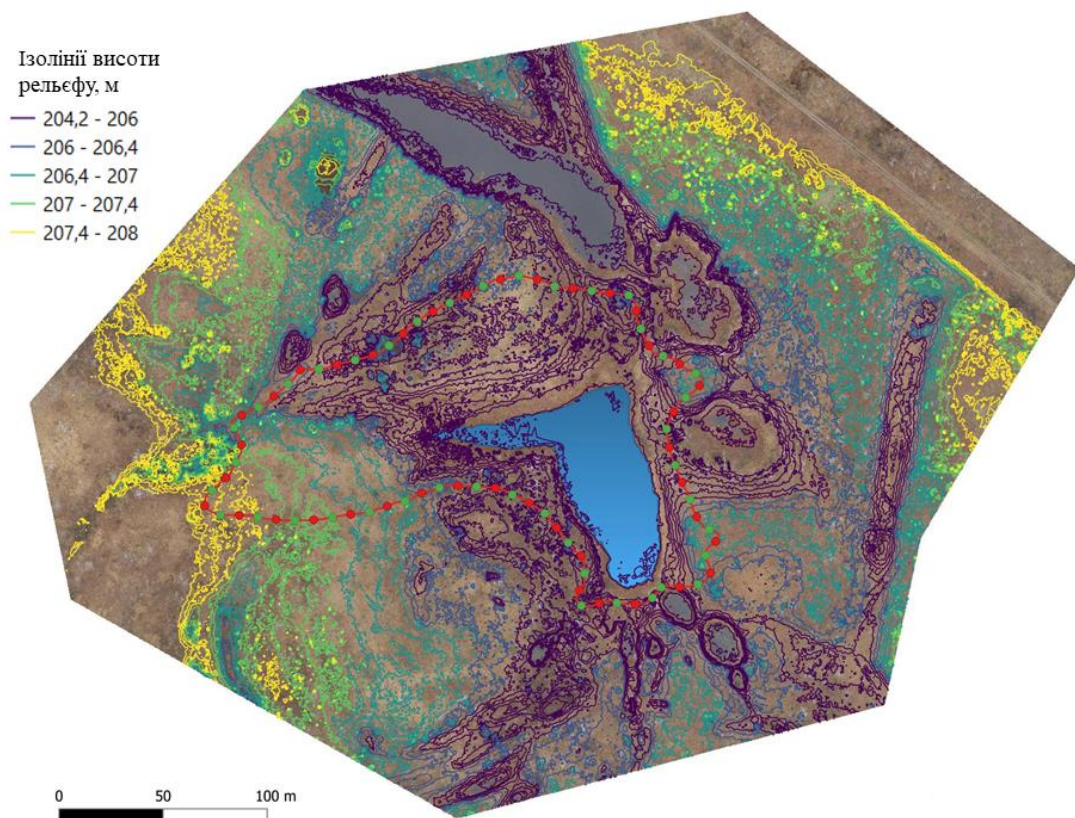


Рис. 4. Вертикальний профіль потужності поглиненої дози в точках 1-8 – 2-4 оз. Бріт і в точці 01 оз. Глибоке (сірим кольором позначено розташування донних відкладів, білим – води)



а



б

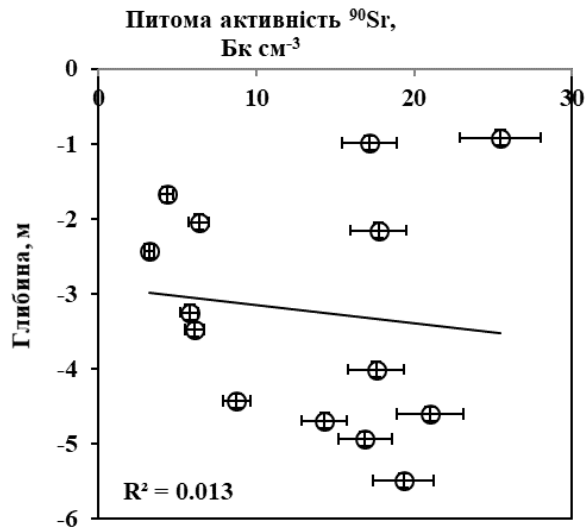
Рис. 5. Розподіл ПАЕД (а) та ізолінії висоти рельєфу навколо оз. Бріт (б), отримані з використанням квадрокоптера DJI Phantom 4 Pro (208 м відповідає 108 м висоти над рівнем моря)

На нашу думку відсутність кореляції між величиною питомої

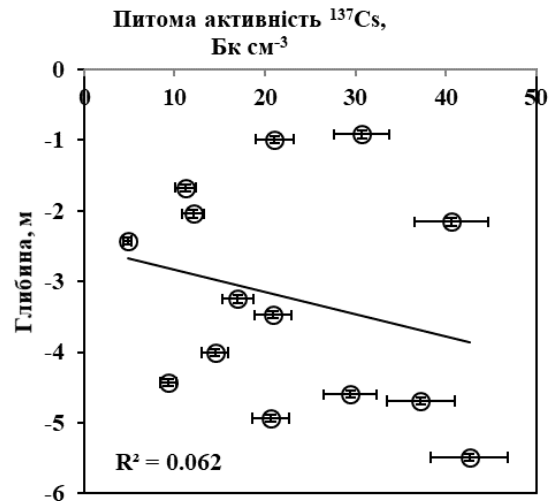
Гречанюк М. О., Голяка Д. М., Левчук С. Є., Павленко П. М., Теїєн Х.-К., Хауген Т. О., Максін В. І., Кашпаров В. О.

активності радіонуклідів і глибиною залягання донних відкладів у оз. Бріт (Рис. 6) пов'язана із впливом змиву радіонуклідів з водозабору (Рис.5) на формування радіоактивного забруднення профілю донних

відкладів (Рис. 3, 4). У оз. Глибоке, враховуючи відносно більшу площу озера і менший вплив змиву радіонуклідів з водозабору, така кореляція спостерігається [10].



а

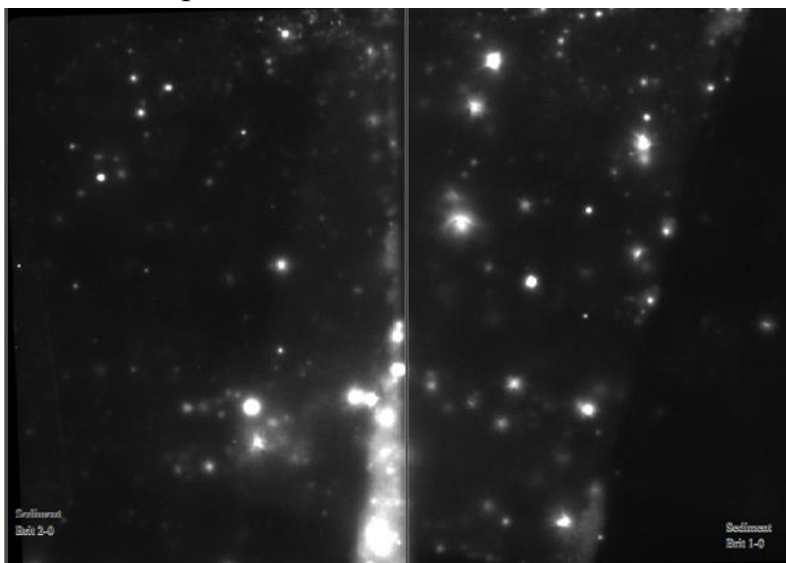


б

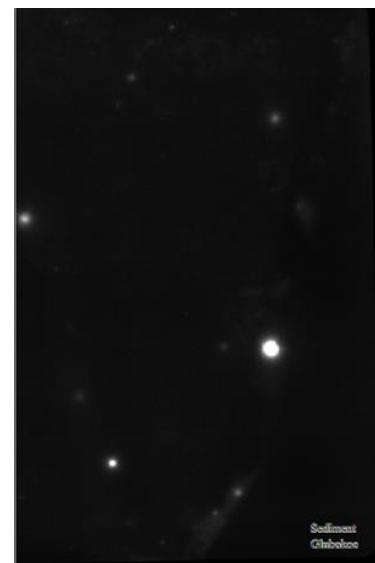
Рис. 6. Залежність питомої активності ^{90}Sr (а) та ^{137}Cs (б) у відібраних точках з глибиною оз. Бріт

Результати авторадіографії донних відкладів озер Бріт та Глибоке (Рис. 7) підтверджують наявність гарячих частинок, що може

бути причиною нерівномірного просторового розподілу активності радіонуклідів [20].



а



б

Рис. 7. Автографи зразків донних відкладів оз. Бріт (точки 1-0 і 2-0) (а) та оз. Глибоке (точка 01) (б)

Гречанюк М. О., Голяка Д. М., Левчук С. Є., Павленко П. М., Теїєн Х.-К., Хауген Т. О., Максін В. І., Кашпаров В. О.

У таблиці наведено виміряну питому активність ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{154}Eu , ^{241}Am в донних відкладах оз. Бріт та оз. Глибоке. Питома активність ^{137}Cs

в донних відкладах, що визначає ППД, змінюється всього у 8 разів – від 5 до 43 Бк·см⁻³.

1. Середня питома активність радіонуклідів у профілях донних відкладів та величин середня потужність поглинутої дози зовнішнього опромінення (M± SD)

Проба	Донні відклади, см		Питома активність, Бк·см ⁻³				Середня потужність дози зовнішнього опромінення	
	Глибина	Товщина	^{90}Sr	^{137}Cs	^{241}Am	^{154}Eu	Розрахована, мкГр·год ⁻¹	Виміряна, мкГр·год ⁻¹
оз. Бріт								
1-0	92	43,0	26±3	31±2	1,4±0,3	0,08±0,01	9,7±0,6	19±4
1-1	99	20,0	17±2	21±1	1,2±0,2	0,05±0,01	6,6±0,6	5,5±1,1
1-2	243	6,0	3,2±0,6	4,8±0,2	0,19±0,01	0,010±0,001	1,5±0,1	5±2
1-3	401	39,0	18±4	14,5±0,7	0,72±0,08	0,047±0,005	4,7±0,2	9±7
1-4	460	30,0	21±3	29±2	1,3±0,1	0,09±0,01	9,2±0,4	12±5
1-5	469	30,0	14±3	37±2	2,1±0,3	0,16±0,02	11±1	7,6±5,0
1-6	443	30,0	9±2	9±1	0,35±0,09	0,02±0,01	2,9±0,2	2,6±1,4
1-7	347	12,6	6±1	21±1	0,93±0,04	0,053±0,009	6,3±0,3	1,6±0,7
1-8	168	12,5	4,3±0,8	11,2±0,6	0,3±0,1	0,024±0,006	3,4±0,2	1,6±0,7
2-0	549	31,0	19±3	43±2	1,6±0,3	0,10±0,02	13±1	8,5±6,5
2-1	494	33,5	17±2	21±1	1,3±0,2	0,07±0,01	6,6±0,3	9,3±6,5
2-2	216	34,2	18±3	41±2	1,5±0,2	0,09±0,01	12±1	6,8±3,4
2-3	325	22,0	6±1	17±1	0,41±0,05	0,03±0,01	5,1±0,3	1,3±0,7
2-4	204	30,6	6,4±0,5	17±1	0,31±0,03	0,013±0,003	5,1±0,2	2,7±1,7
оз. Глибоке								
01	518	42,2	15±3	23±1	0,8±0,2	0,07±0,01	7,1±0,3	31±9

На основі питомої активності радіонуклідів у донних відкладах і дозових коефіцієнтів можна оцінити середню створювану ними потужність поглиненої дози зовнішнього опромінення [11]. Для оцінки потужності поглинутих доз зовнішнього опромінення були використані такі дозові коефіцієнти для гамма-випромінювання: $^{137}\text{Cs} \rightarrow ^{137\text{m}}\text{Ba}$ (0,3

(мкГр·год⁻¹) · (Бк·см⁻³)⁻¹), ^{241}Am (0,01 (мкГр·год⁻¹) · (Бк·см⁻³)⁻¹) і ^{154}Eu (0,6 (мкГр·год⁻¹) · (Бк·см⁻³)⁻¹) [11, 13, 21]. В точках відбирання проб середня розрахована та виміряна ППД в донних відкладах оз. Бріт змінювалась в межах 1,3-19 мкГр·год⁻¹ (Таблиця) і була сумісною з внутрішньою дозою опромінення риб (5-15 мкГр·год⁻¹). Враховуючи, що риби перебувають в донних

Гречанюк М. О., Голяка Д. М., Левчук С. Є., Павленко П. М., Теїєн Х.-К., Хауген Т. О., Максін В. І., Кашпаров В. О.

відкладах тільки в зимовий період, можна зробити висновок, що річні поглинені дози внутрішнього опромінення риб в о. Бріт будуть перевищувати дози зовнішнього опромінення.

Отримані результати показують помірну кореляцію за шкалою Чеддока (коефіцієнт рангової кореляції Спірмена 0.4 за рівня значимості < 0.1) між виміряними і розрахунковими значеннями ППД у донних відкладах (Рис. 8). Результати

підтверджують високу невизначеність оцінки зовнішніх доз опромінення організмів від донних відкладів на основі лише вимірювань середньої питомої активності радіонуклідів та відсотка сухої ваги у всьому шарі донних відкладів (Таблиця, Рис.8), не враховуючи їх вертикального профілю розподілу, та часу перебування і просторового місцезнаходження організмів відносно донних відкладів у кожному конкретному водоймищі.

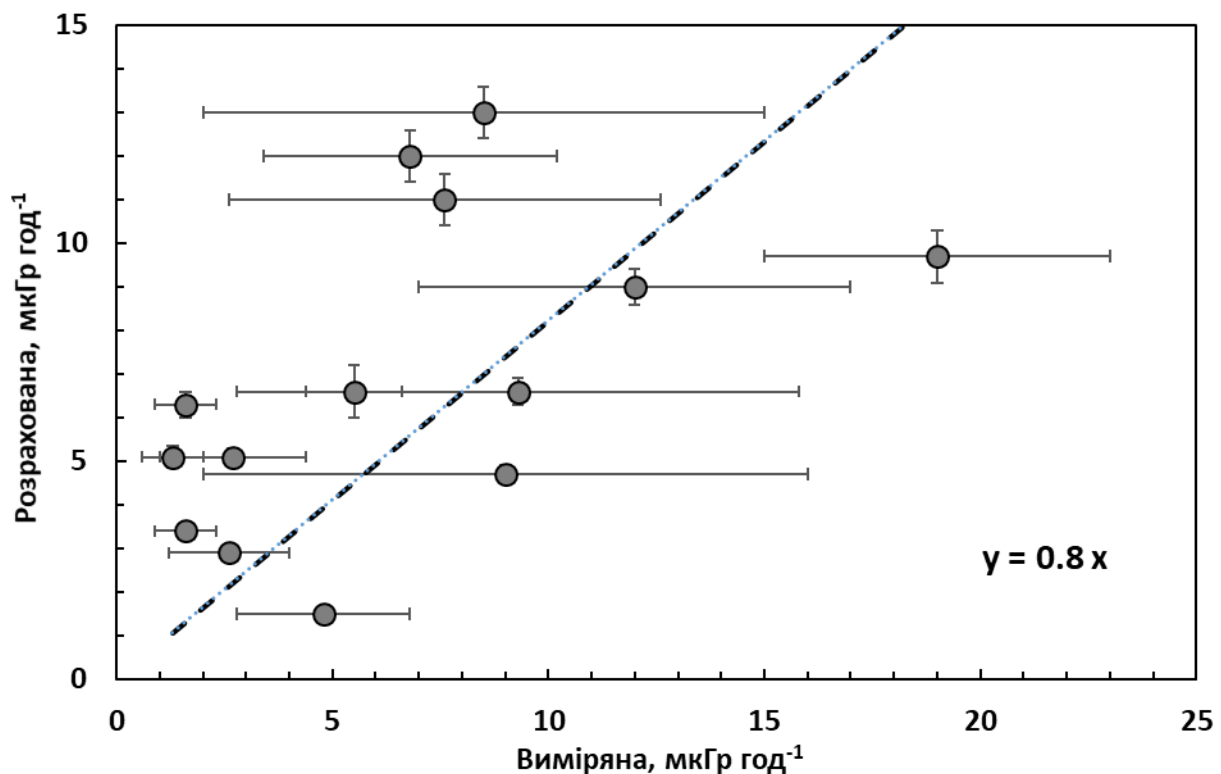


Рис. 8. Співвідношення між експериментальними і розрахунковими значеннями ППД у профілі донних відкладів оз. Бріт

"ERICA Assessment Tool" [11] була рекомендована ICRP як базовий метод розрахунку доз для нелюдської біоти. При оцінці доз для водних організмів на поверхні (2 π геометрія опромінення) або всередині донних

відкладів (4 π геометрія опромінення) в ERICA використовується лише середня питома активність донних відкладів (при гомогенному розподілі радіонуклідів в шарі без урахування його товщини). Таке спрощення

Гречанюк М. О., Голяка Д. М., Левчук С. Є., Павленко П. М., Теїєн Х.-К., Хауген Т. О., Максін В. І., Кашпаров В. О.

використовується оскільки неможливо достеменно встановити на яку саме глибину зависі можуть занурюватися придонні види риб або на якій відстані від донних відкладів вони знаходяться упродовж певних періодів життєвого циклу у конкретній водоймі. Потужність поглиненої дози у воді на відстані 50-60 см від донних відкладів, забруднених ^{137}Cs , зменшується на порядок величини (Рис.3, 4). Розподіл ППД у воді і донних відкладах разом із інформацією щодо просторово-часового положення організмів у конкретній водоймі дозволить більш точно оцінити поглинуті дози зовнішнього опромінення у порівнянні з "ERICA Assessment Tool" [11] і валідувати отримані оцінки з прямими прижиттєвими вимірюваннями.

Для зменшення невизначеності оцінок доз зовнішнього опромінення аборигенних риб у жовтні 2021 року Норвезьким університетом наук про життя у співпраці з НУБіП України було встановлено відповідне обладнання для акустичної 3-D телеметрії сріблястих карасів (*Carassius gibelio*), щук (*Esox lucius*) і линів (*Tinca tinca*) на оз. Бріт (3 ресивера) і оз. Глибоке (7 ресиверів) - червоні буйки та автоматичні логери реєстрації температури (Onset HOBO UA-001-64) та вмісту кисню (HOBO Dissolved Oxygen Data Logger) на різних глибинах - червоні та фіолетові буйки (Рис.1а) аналогічно роботі [12].

У рибу хірургічним шляхом було вживлено чіпи для її ідентифікації, логери для телеметрії та відкалібровані дозиметри nanoDot (Landauer) для вимірювання поглиненої дози іонізуючого випромінювання аналогічно роботі [22]. Після завершення експерименту, на додаток до представлених у цій роботі профілям ППД, вперше в світі будуть отримані дані щодо трьохвимірного просторового переміщення різних видів риб в озерах над і всередині донних відкладів, включаючи зимувальні ями, а також обумовлені цим реальні індивідуальні поглинуті дози опромінення різних видів риб в прісноводних водоймах. Профілі температури і вмісту кисню у воді на різних глибинах будуть корисними для розуміння міграції риб протягом року. Внутрішня складова поглиненої дози риб буде розрахована за питомою активністю радіонуклідів у тканинах риб після їх вилову.

Висновки і перспективи.

Потужність поглиненої дози в оз. Бріт у різних точках змінюється в широкому діапазоні і досягає максимального значення біля $23 \text{ мкГр} \cdot \text{год}^{-1}$ на глибині всього 1,2 м та $13\text{--}18 \text{ мкГр} \cdot \text{год}^{-1}$ в найглибших місцях у центрі озера. Середня питома активність ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{154}Eu і ^{241}Am в донних відкладах оз. Бріт досягає $26 \pm 3 \text{ Бк} \cdot \text{см}^{-3}$, $43 \pm 2 \text{ Бк} \cdot \text{см}^{-3}$, $0,10 \pm 0,02 \text{ Бк} \cdot \text{см}^{-3}$ і $2,1 \pm 0,3 \text{ Бк} \cdot \text{см}^{-3}$, відповідно.

В оз. Бріт відсутня кореляція між

Гречанюк М. О., Голяка Д. М., Левчук С. Є., Павленко П. М., Теїєн Х.-К., Хауген Т. О., Максим В. І., Кашпаров В. О.

середніми рівнями вмісту радіонуклідів у донних відкладах і глибиною озера, а також спостерігається помірна кореляція виміряною дозиметром та розрахунковою потужністю поглинутої дози зовнішнього опромінення на основі середньої питомої активності радіонуклідів у донних відкладах. Відсутність кореляції між величиною питомої активності радіонуклідів і глибиною залягання донних відкладів у оз. Бріт пов'язана із впливом змиву радіонуклідів з водозабору на

формування радіоактивного забруднення профілю донних відкладів.

У зв'язку з цим, для зменшення невизначеності доз зовнішнього опромінення організмів в оз. Бріт і оз. Глибоке, яке є одним із найбільш забруднених радіонуклідами водойм ЧЗВ, необхідні дані про місцезнаходження різних організмів, включаючи рибу, відносно донних відкладів протягом року з коригуванням до експериментальних результатів прижиттєвої дозиметрії аналогічно роботам [12, 22].

ПОДЯКА

Автори висловлюють подяку професорці Норвежського університету наук про життя і почесному професору НУБіП України Бріт Салбу, активній учасниці ліквідації наслідків Чорнобильської Катастрофи, на честь якої було названо оз. Бріт в ЧЗВ. Ці роботи було підтримано НУБіП України в межах теми №110/1-пр-2022 (№ держреєстрації 0122U001794) і гранту СРЕА-2015/10108 Норвежського центру міжнародного співробітництва в галузі освіти / the Norwegian Centre for International Cooperation in Education (SiU) «Joint Ukrainian-Norwegian education programme in Environmental Radioactivity», а також частково в 2020–2021 рр. в межах проєкту НФДУ № 93/02.2020.

Список використаних джерел

1. Pomortseva N.A., Gudkov D.I. Effect of additional acute irradiation on cytomorphological abnormalities of erythrocytes of the prussian carp (*Carassius gibelio* Bloch) from water body contaminated with radionuclides. *Problems of Radiation Medicine and Radiobiology*. 24 (2019), 270–283 <https://doi.org/10.33145/2304-8336-2019-24-270-283>.
2. Lerebours A., Gudkov D., Nagorskaya L., Kaglyan A., Rizewski V., Leshchenko A., Bailey E. H., Bakir A., Ovsyanikova S., Laptev G. & Smith J. T. Impact of Environmental Radiation on the Health and Reproductive Status of Fish from Chernobyl. *Environ. Sci. Technol.* 52 (2018),

9442–9450

<https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02378>

3. Fuller N., Ford A.T., Lerebours A., Gudkov D.I., Nagorskaya L., Smith J. Chronic radiation exposure at Chernobyl shows no effect on genetic diversity in the freshwater crustacean, *Asellus aquaticus* thirty years on. *Ecology and Evolution*. 9 (2019), 10135–10144. <http://dx.doi.org/10.1002/ece3.5478>
4. Kashparova E., Levchuk S., Morozova V., Kashparov V. A dose rate causes no fluctuating asymmetry indexes changes in silver birch (*Betula pendula* (L.) Roth.) leaves and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles in the Chernobyl Exclusion Zone. *Journal of Environmental Radioactivity*. 211 (2020), 105731.

Гречанюк М. О., Голяка Д. М., Левчук С. Є., Павленко П. М., Теєн Х.-К., Хауген Т. О., Максін В. І., Кашпаров В. О.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.05.015>

5. Gudkov D.I., Shevtsova N.L., Pomortseva N.A., Dzyubenko E.V., Kaglyan A.E., Nazarov A.B. Radiation-induced cytogenetic and hematologic effects on aquatic biota within the Chernobyl exclusion zone. *Journal of Environmental Radioactivity*. 151 (2016) 438-448, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2015.09.004>

6. ICRP, Environmental Protection: the Concept and Use of Reference Animals and Plants. (ICRP Publication 108), (2008), 242p. <https://www.icrp.org/publication.asp?id=icrp%20publication%20108>

7. Беляєв В.В., Волкова О.М., Гудков Д.І., Пришляк С.П., Скиба В.В. Реконструкція поглиненої дози опромінення риби оз. Глибокого впродовж ранньої фази аварії на Чорнобильській АЕС. *Гідробіол. журн.* 57(2) (2021), 96-106.

8. Гречанюк М.О., Кашпарова О.В., Павленко П.М., Левчук С.Є., Максін В.І., Кашпаров В.О. Радіоактивне забруднення і дози внутрішнього опромінення риби в озері Глибоке Чорнобильської зони відчуження. *Наукові доповіді НУБіП України*. № 3 (97) (2022), <http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2022.03.003>

9. Каглян О.Є., Гудков Д.І., Кіреєв С.І., Кленус В.Г., Беляєв В.В., Юрчук Л.П., Дроздов В.В., Гупало О.О. Динаміка питомої активності ^{90}Sr і ^{137}Cs у представників іхтіофауни водойм Чорнобильської зони відчуження. *Ядерна фізика та енергетика*. 22(1) (2021), 62-73. <https://doi.org/10.15407/jnpae2021.01.062>

10. Kaglyan A.Ye., Gudkov D.I., Kireyev S.I., Yurchuk L.P., Gupalo Ye.A. Fish of the Chernobyl exclusion zone: modern levels of radionuclide contamination and radiation doses. *Hydrobiological Journal*. 55(5) (2019), 81-99. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v55.i5.80>

11. ERICA Assessment Tool 1.0. The integrated approach seeks to combine exposure/dose/effect assessment with risk characterization and managerial considerations (<http://www.ERICA-tool.com>).

12. Monk C. T., Arlinghaus R. Encountering a bait is necessary but insufficient

to explain individual variability in vulnerability to angling in two freshwater benthivorous fish in the wild. *PLOS ONE*. March 16, 2017, 1-25 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173989>

13. Ulanovsky A., Pröhl G., Gómez-Ros J.M.. Methods for calculating dose conversion coefficients for terrestrial and aquatic biota. *J Environ Radioact.* 99(9) (2008), 1440-1448.

14. Teien, H.-C., Kashparova, O., Salbu, B., Levchuk, S., Protsak, V., Eide D.M., Jensen, K.A., Kashparov V. Seasonal changes in uptake and depuration of ^{137}Cs and ^{90}Sr in silver Prussian carp (*Carassius gibelio*) and common rudd (*Scardinius erythrophthalmus*). *Science of the Total Environment*. 786 (2021), 147280, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147280>

15. Ramzaev V.P., Barkovsky A.N. On the relationship between ambient dose equivalent and absorbed dose in air in the case of large-scale contamination of the environment by radioactive cesium. *Radiation hygiene*. 8(3) (2015), 6-20

16. Павлоцкая Ф.И.. Основные принципы радиохимического анализа объектов окружающей среды и методы определения радионуклидов стронция и трансурановых элементов. *Журнал аналитической химии*. 52(2) (1997), 126.

17. Набиванець Б. Й., Осадчий В. І., Осадча Н. М., Набиванець Ю. Б. Аналітична хімія поверхневих вод. Київ: Наукова думка, (2007) 455 с.

18. Павленко П. М., Кашпарова О. В., Левчук С. Є., Гречанюк М. О., Гудков Д. І. М., Кашпаров В. О. Вплив додаткового «чистого» годування на вміст ^{90}Sr і ^{137}Cs в карасях сріблястих (*Carassius gibelio*) у Чорнобильській зоні відчуження. *Ядерна фізика та енергетика*. 22(3) (2021), 272-283 <https://doi.org/10.15407/jnpae2021.03.272>

19. Гречанюк М. О., Кашпарова О. В., Павленко П. М., Левчук С.Є., Максін В.І., Кашпаров В.О. Гранично допустимі концентрації радіонуклідів у водоймах. *Наукові доповіді НУБіП України*. № 99(5) (2022), <http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2022.05.002>

20. Kashparov V., Salbu B., Levchuk S., Protsak V., Maloshtan I., Simonucci C., Courbet C., Nguyen H., Sanzharova N.,

Гречанюк М. О., Голяка Д. М., Левчук С. Є., Павленко П. М., Теїєн Х.-К., Хауген Т. О., Максін В. І., Кашпаров В. О.

Zabrotsky V. Environmental behaviour of radioactive particles from Chernobyl. *Journal of Environmental Radioactivity*. 208-209 (2019), 106025

<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.106025>

21. Ulanovsky A., Coppelstone D., Vives i Batlle J. ICRP Publication 136: Dose Coefficients for Non-human Biota Environmentally Exposed to Radiation. 46(2) (2017)

<https://doi.org/10.1177/0146645317728022>.

22. Woodhead D. S.. The Radiation Dose Received by Plaice (*Pleuro-Nectes Platessa*) from the Waste Discharged into the North-east Irish Sea from the Fuel Reprocessing Plant at Windscale. *Health Physics*. 25 (1973), 115-121.

https://journals.lww.com/health-physics/Abstract/1973/08000/The_Radiation_Dose_Received_by_Plaice.4.aspx

References

1. Pomortseva, N.A. & Gudkov, D.I. (2019) Effect of additional acute irradiation on cytomorphological abnormalities of erythrocytes of the prussian carp (*Carassius gibelio* Bloch) from water body contaminated with radionuclides. *Problems of Radiation Medicine and Radiobiology*. 24, 270-283 <https://doi.org/10.33145/2304-8336-2019-24-270-283>.

2. Lerebours, A., Gudkov, D., Nagorskaya, L., Kaglyan, A., Rizewski, V., Leshchenko, A., Bailey, E.H., Bakir, A., Ovsyanikova, S., Laptev, G. & Smith J.T. (2018) Impact of Environmental Radiation on the Health and Reproductive Status of Fish from Chernobyl. *Environ. Sci. Technol.* 52, 9442–9450 <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02378>

3. Fuller, N., Ford, A.T., Lerebours, A., Gudkov, D.I., Nagorskaya, L. & Smith J. (2019). Chronic radiation exposure at Chernobyl shows no effect on genetic diversity in the freshwater crustacean, *Asellus aquaticus* thirty years on. *Ecology and Evolution*. 9, 10135–10144. <http://dx.doi.org/10.1002/ece3.5478>

4. Kashparova, E., Levchuk, S., Morozova, V. & Kashparov V. (2020) A dose rate causes no fluctuating asymmetry indexes changes in silver birch (*Betula pendula* (L.) Roth.) leaves and Scots pine (*Pinus sylvestris*

L.) needles in the Chernobyl Exclusion Zone. *Journal of Environmental Radioactivity*. 211, 105731.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.05.015>

5. Gudkov, D.I., Shevtsova, N.L., Pomortseva, N.A., Dzyubenko, E.V., Kaglyan, A.E. & Nazarov A.B. (2016). Radiation-induced cytogenetic and hematologic effects on aquatic biota within the Chernobyl exclusion zone. *Journal of Environmental Radioactivity*. 151, 438-448,

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2015.09.004>

6. ICRP, Environmental Protection: the Concept and Use of Reference Animals and Plants. (ICRP Publication 108), (2008), 242p. <https://www.icrp.org/publication.asp?id=icrp%20publication%20108>

7. Belyaev, V.V., Volkova, O.M., Gudkov, D.I., Prishlyak, S.P. & Skyba, V.V. (2021). Reconstruction of the absorbed dose of fish irradiation of the Glubokoye Lake during the early phase of the accident at the Chernobyl NPP. *Hydrobiological Journal*. 57(2), 96-106.

8. Hrechaniuk, M., Kashparova, O., Pavlenko, P., Levchuk, S., Maksin, V. & Kashparov, V. (2022). Radioactive contamination and doses of internal irradiation of fish in the deep lake of the Chernobyl exclusion zone. *Scientific reports of NUBiP of Ukraine*. 3(97) (2022), <http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2022.03.003>

9. Kaglyan, A.Ye., Gudkov, D.I., Kireev, S.I., Klenus, V.G., Belyaev, V.V., Yurchuk, L.P., Drozdov, V.V. & Hupalo O.O. (2021). Dynamics of specific activity of ⁹⁰Sr and ¹³⁷Cs in representatives of ichthyofauna of Chernobyl exclusion zone. *Nuclear physics and atomic energy*. 22(1), 62-73. <https://doi.org/10.15407/jnpae2021.01.062>

10. Kaglyan, A.Ye., Gudkov, D.I., Kireyev, S.I., Yurchuk, L.P. & Gupalo Ye.A. (2019). Fish of the Chernobyl exclusion zone: modern levels of radionuclide contamination and radiation doses. *Hydrobiological Journal*. 55(5), 81–99. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v55.i5.80>

11. ERICA Assessment Tool 1.0. The integrated approach seeks to combine exposure/dose/effect assessment with risk characterization and managerial considerations

Гречаниук М. О., Голяка Д. М., Левчук С. Є., Павленко П. М., Теєн Х.-К., Хауген Т. О., Максим В. І., Кашпаров В. О.

(<http://www.ERICA-tool.com>).

12. Monk C. T. & Arlinghaus R. (2017). Encountering a bait is necessary but insufficient to explain individual variability in vulnerability to angling in two freshwater benthivorous fish in the wild. *PLOS ONE*. March 16, 1-25 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173989>

13. Ulanovsky, A., Pröhl, G. & Gómez-Ros J.M. (2008). Methods for calculating dose conversion coefficients for terrestrial and aquatic biota. *Journal of Environmental Radioactivity*. 99(9), 1440–1448.

14. Teien, H.-C., Kashparova, O., Salbu, B., Levchuk, S., Protsak, V., Eide, D.M., Jensen, K. A. & Kashparov V. (2021). Seasonal changes in uptake and depuration of ^{137}Cs and ^{90}Sr in silver Prussian carp (*Carassius gibelio*) and common rudd (*Scardinius erythrophthalmus*). *Science of the Total Environment*. 786, 147280, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147280>

15. Ramzaev V.P. & Barkovsky A.N. (2015). On the relationship between ambient dose equivalent and absorbed dose in air in the case of large-scale contamination of the environment by radioactive cesium. *Radiation hygiene*. 8(3), 6-20

16. Pavlitskaya F.I. (1997). Basic principles of radiochemical analysis of environmental objects and methods for determination of strontium radionuclides and transuranic elements. *Journal of Analytical Chemistry*. 52 (2), 126-143.

17. Nabyvanets, B.Y., Osadchy, V.I., Osadcha, N.M. & Nabyvanets Y.B. (2007). Analytical chemistry of surface waters. Kyiv: Naukova dumka, 455 p.

18. Pavlenko, P.M., Kashparova, O.V., Levchuk, S. Ye., Hrechaniuk, M. O., Gudkov, I. M. & Kashparov, V.O. (2021). Effect of additional "clean" feeding on ^{90}Sr and ^{137}Cs content in Prussian carp (*Carassius gibelio*) in the Chornobyl exclusion zone. *Nuclear physics and atomic energy*. 22(3), 272-283. <https://doi.org/10.15407/jnpae2021.03.272>

19. Hrechaniuk, M., Kashparova, O., Pavlenko, P., Levchuk, S., Maksin, V. & Kashparov, V. (2022). Threshold limit values of radionuclides in the waterbodies. Scientific reports of NUBiP of Ukraine. 99(5), <http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2022.05.002>

20. Kashparov, V., Salbu, B., Levchuk, S., Protsak, V., Maloshtan, I., Simonucci, C., Courbet, C., Nguyen, H., Sanzharova, N. & Zabrotsky, V., (2019). Environmental behaviour of radioactive particles from Chernobyl. *Journal of Environmental Radioactivity*. 208-209, 106025 <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.106025>

21. Ulanovsky, A., Copplestone, D. & Vives i Batlle, J. (2017). ICRP Publication 136: Dose Coefficients for Non-human Biota Environmentally Exposed to Radiation. 46(2) <https://doi.org/10.1177/0146645317728022>.

22. Woodhead, D. S. (1973). The Radiation Dose Received by Plaice (*Pleuronectes Platessa*) from the Waste Discharged into the North-east Irish Sea from the Fuel Reprocessing Plant at Windscale. *Health Physics*. 25, 115-121 https://journals.lww.com/health-physics/Abstract/1973/08000/The_Radiation_Dose_Received_by_Plaice.4.aspx

ACTIVITY CONCENTRATION OF RADIONUCLIDE AND EXTERNAL DOSE RATE IN BOTTOM DEPOSITS OF BRIT LAKE IN THE CHORNOBYL EXCLUSION ZONE

M. O. Hrechaniuk, D. M. Holiaka, S. Ye. Levchuk, P. M. Pavlenko, H.-C. Teien, T. O. Haugen, V. I. Maksin, V. O. Kashparov

Abstract. The profiles of the vertical distribution of the gamma dose rate and activity concentrations of ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{154}Eu , and ^{241}Am in the bottom sediments of Brit Lake were obtained. The lake is located within the dammed section of the Krasnenska floodplain of the Pripyat River in the Chornobyl Exclusion Zone (51.44844°;

Гречанюк М. О., Голяка Д. М., Левчук С. Є., Павленко П. М., Теїєн Х.-К., Хауген Т. О., Максим В. І., Кашпаров В. О.

30.06020°). The values of the dose rate and activity concentration of ^{137}Cs in the sediments reached $23 \mu\text{Gy h}^{-1}$ and $43 \text{ Bq}\cdot\text{cm}^{-3}$. In the lake Brit radioactive contamination of bottom sediments did not depend on the depth of the lake due to the washing of radionuclides from the water intake. A weak correlation was observed between values of in-situ measured and calculated gamma dose rates in bottom sediments. The average calculated and measured dose rates of gamma radiation in bottom sediments of the lake varied within the range of $1.3\text{--}19 \mu\text{Gy h}^{-1}$ and was compatible with the internal radiation dose to fish ($5\text{--}15 \mu\text{Gy h}^{-1}$). Contribution of radionuclide content in water to the gamma dose rate does not exceed 2 nGy h^{-1} .

In October 2021, appropriate equipment for acoustic 3-D telemetry and individual dosimetry of various fish species was installed in the lake to reduce uncertainty in estimates of doses of external exposure to aboriginal fish in the lakes

Keywords: ^{90}Sr , ^{137}Cs , absorbed dose rate, bottom sediments, Chornobyl Exclusion Zone

**ОСНОВНІ ДЖЕРЕЛА ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ
ТА ЙОГО ВПЛИВ НА НАСЕЛЕННЯ****Т. Є. КОМІСОВА**, кандидат біологічних наук, професор,<http://orcid.org/0000-0003-3959-8575>**М. С. ГОНЧАРЕНКО**, доктор біологічних наук, професор,<https://orcid.org/0000-0002-8205-1236>*Харківський національний педагогічний університет імені Г.С.Сковороди*E-mail: kaf-anatomy-physiology@hnpu.edu.ua**Н. А. СЛІПЦОВА**, асистент, <http://orcid.org/0000-0002-4041-5396>*Донецький національний медичний університет*E-mail: apteka111888111@gmail.com[https://doi.org/10.31548/dopovidi3\(103\).2023.002](https://doi.org/10.31548/dopovidi3(103).2023.002)

Анотація. Усі джерела іонізуючого випромінювання (ДІВ) опромінення людини поділяють на природні та індустріальні. Природні джерела випромінювання є основними джерелами опромінення людини. Вони включають космічні промені та випромінювання природних радіонуклідів, що містяться в земній корі та атмосфері. Серед радіонуклідів природного походження найбільше значення має калій-40 і радіонукліди, що виникають за розпаду природного радіоактивного урану-238 і торію-232. Присутні в земній корі калій, уран і торій, розпадаючись стають джерелами випромінювання і формують фонове зовнішнє опромінення людини, а надходячи в організм з повітрям, водою, їжею - внутрішнє фонове опромінення. Ситуація в Україні типова для більшості країн світу, хоча рівні опромінення населення природними джерелами децю вищі за середньосвітові. До індустріальних джерел відносяться джерела як природного походження, так і створених людиною, якщо вони цілеспрямовано використовуються у виробничій, науковій, медичній та інших сферах людської діяльності з метою одержання певної користі. Опромінення людини індустріальними джерелами може відбуватись в умовах виробництва (професійне опромінення робітників) та в середовищі проживання. За нормальних умов експлуатації штучні джерела опромінення є повністю контрольованими, а опромінення від них - передбачуваним. Серед всіх індустріальних джерел опромінення населення планети на першому місці за величиною дози знаходяться рентгенодіагностичні процедури. Окреме місце займає опромінення населення та персоналу внаслідок радіаційних аварій. У світі щорічно відбуваються десятки радіаційних аварій, що супроводжуються опроміненням невеликої кількості людей. У деяких випадках індивідуальні дози опромінення перевищували декілька Зівертів і навіть призводили до загибелі людей. Найважчою радіаційною аварією за кількістю людей, що зазнали аварійного опромінення, є Чорнобильська. Рівні опромінення значної частини населення України техногенно-підсилені джерелами природного походження

Комісова Т. Є., Гончаренко М. С., Сліпцова Н. А.

зумовлено певними геологічними характеристиками територій. Забезпечення радіаційної безпеки і протирадіаційного захисту має бути пріоритетом при застосуванні джерел іонізуючого випромінювання на практиці.

Ключові слова: іонізуюче випромінювання, природні радіонукліди, уран, торій

Актуальність. Незважаючи на те, що радіоактивність та іонізуюче випромінювання були відкриті людиною порівняно недавно – наприкінці 19-го сторіччя, на сьогоднішній день як особливості біологічної дії іонізуючого випромінювання, так і джерела та рівні опромінювання людини вивчені досить добре. Дослідження цього чинника, що розпочалося лише після відкриття радіоактивності А. Беккерелем в 1896 році, значно інтенсифікувалося в середині двадцятого сторіччя у зв'язку із розвитком військових та мирних радіаційно-ядерних технологій. Але, не зважаючи на це, на сьогодні накопичено величезну кількість наукових даних про джерела випромінювання, їх розподіл та поведінку в навколишньому середовищі, вплив іонізуючого випромінювання на біологічні структури. Джерела іонізуючого випромінювання широко застосовуються людиною в техніці, медицині, наукових дослідженнях. Експерти стверджують що ризики впливу іонізуючого випромінювання на сьогодні людині відомі більше ніж про будь-які інші чинники фізичної

чи хімічної природи (доповідь МАГАТЕ).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Про радіаційну небезпеку та підвищення ризику для здоров'я людей свідчить значна кількість публікацій за останні 50 років [15, 20, 21]. Особливої актуальності ця проблема набуває через чверть століття після Чорнобильської катастрофи, що зумовлено як значною кількістю постраждалих в Україні (понад 3,5 млн. осіб зазнали впливу комплексу негативних поставарійних факторів), так і зростанням серед них захворюваності на злоякісні новоутворення. З огляду літературних даних представлені теоретичні та практичні дані щодо виявлення пошкоджень генетичного матеріалу в осіб, які зазнали впливу іонізуючого випромінювання з використанням сучасних методів обстеження [22]. Аналізуються механізми розвитку генетичних ушкоджень як основи канцерогенезу у опромінених у різних дозах осіб. В залежності від поглинутої дози випромінювання та індивідуальних особливостей організму викликані зміни можуть носити зворотній або незворотній характер. Тривалий вплив доз, що

Комісова Т. Є., Гончаренко М. С., Сліпцова Н. А. перевищують гранично допустимі рівні, може викликати незворотні зміни в окремих органах або у всьому організмі, виразитися в хронічній формі променевої хвороби. Основними шляхами надходження радіоактивних речовин до організму є: дихальні шляхи, шкіра і кишково-шлунковий тракт [24].

З впровадженням нових будівельних і оздоблювальних матеріалів в практику будівництва і реставрації питання їхньої безпеки для навколишнього середовища і для людини стає як ніколи актуальним. Велика кількість будівельних матеріалів мають власний радіаційний фон.

Більш високою радіоактивністю відрізнялися будматеріали, які виготовлені з гранітів [23]. Високим вмістом природних радіонуклідів характеризуються також будівельні матеріали із вторинної сировини: глина, шлами, інше. За результатами гамма-спектрометричних аналізів у деяких будівельних матеріалах (брущатка гранітна, відсів та щебінь) за рахунок природних радіонуклідів Аеф досягала нормативного показника для використання у житловому будівництві 370 Бк/кг.

Мета досліджень – аналіз наукової літератури щодо вивчення джерел опромінювання людини, рівнів опромінювання населення України на сьогодні, а також мета даної роботи полягає в розробці єдиних методологічних принципів

радіоекологічного (радіаційного) моніторингу, як складової державного моніторингу навколишнього середовища; в обґрунтуванні нових репрезентативних територіальних одиниць та системи параметрів, які б визначали бар'єрні здатності Чорнобильської зони відчуження та територій навколо інших радіаційно небезпечних об'єктів, що дозволяло б вирішувати більш широкий, ніж за нинішньої системи радіонуклідів, спектр задач та далекоглядні стратегічні завдання.

Матеріали і методи дослідження. Основним джерелом матеріалів аналізу були Норми радіаційної безпеки України, Державні гігієнічні нормативи. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ - 97), затверджені постановою Головного санітарного лікаря України від 01 грудня 1997 року № 62 (далі – Норми), є основним документом, що встановлює систему радіаційно-гігієнічних регламентів для забезпечення прийнятих рівнів опромінення, як для окремої людини, так і суспільства. Розрахунки ефективних доз опромінення населення проводилися за математичними моделями МКРЗ та дозовими коефіцієнтами НКДАР ООН [7].

Результати дослідження та їх обговорення. Природні джерела випромінювання є основними джерелами опромінення людини.

Комісова Т. Є., Гончаренко М. С., Сліпцова Н. А.

Вони включають космічні промені та випромінювання природних радіонуклідів, що містяться в земній корі та атмосфері.

Космічні промені надходять на Землю з Всесвіту та з Сонця. Інтенсивність їх надходження зростає в період так званих сонячних спалахів. Цей вид випромінювання є скрізь на Землі, а його інтенсивність вище на Північному та Південному полюсі, а також зростає з висотою над рівнем моря за рахунок зменшення шару атмосфери, що захищає від надходження космічних променів.

Радіація земного походження визначається вмістом природних радіонуклідів у тій або іншій ділянці земної кори.

Серед радіонуклідів природного походження найбільше значення має калій-40 і радіонукліди, що виникають при розпаді природного радіоактивного урану-238 і торію-232.

На планеті існує три ізотопи калію: стабільні калій-39 (93,08 %) і калій-41 (6,91 %), і радіоактивний калій-40 (0,01 %) із періодом напіврозпаду близько 1,3 млрд. років. Наведені співвідношення ізотопів зберігаються повсюди, де є присутнім калій, а він є присутнім скрізь. Типовий вміст радіоактивного калію-40 у ґрунтах планети становить від 20 до 1000 Бк на кілограм.

Калій є важливим і необхідним елементом усіх біологічних структур на планеті, у тому числі і людини.

Разом із стабільним калієм в організм надходить і радіоактивний калій-40 (в середньому в тілі людини міститься до більше 4000 Бк цього радіонукліду), що створює певну невід'ємну або неминучу дозу опромінення. Проте, намагатися зменшити (контролювати) цю дозу можливо лише обмеживши споживання калію, що не тільки неможливо, але і безглуздо.

Природний радіоактивний уран-238, що має період напіврозпаду 4,47 мільярда років, природний радіоактивний торій-232, що розпадається із періодом напіврозпаду 4,1 млрд. років, є родоначальниками цілого сімейства радіоактивних елементів із різними періодами напіврозпаду.

Типовий вміст урану-238 у верхньому шарі ґрунту на планеті лежить у діапазоні 10-50 Бк на кілограм. Приблизно такий же вміст і торію-232.

У тілі людини середній вміст урану-238, що надходить в організм переважно з водою, становить близько 1 Бк, а торію-232 на порядок менше.

Присутні в земній корі калій, уран і торій, розпадаючись стають джерелами випромінювання і формують фонове зовнішнє опромінення людини, а надходячи в організм з повітрям, водою, їжею – внутрішнє фонове опромінення. Величина так званого природного фону не скрізь однакова і залежить від

Комісова Т. Є., Гончаренко М. С., Сліпцова Н. А. багатьох причин: вмісту радіонуклідів у ґрунті, висоти над рівнем моря, тощо [1]. Важливо зазначити, що природні джерела, що створюють природний радіаційний фон, не є контрольованими з точки зору можливості та доцільності зниження доз опромінення від них.

У ланцюгу урану-238 є радіоактивний газ радон-222 із періодом піврозпаду 3,8 доби, а в ланцюгу розпаду торію-232 – радон-220, або торон із періодом піврозпаду 54,5 секунди. Саме цей радіоактивний природний газ є основним джерелом опромінення населення планети. Виділяючись із ґрунтів, радон потрапляє в атмосферу і, перемішуючись у ній, створює деяку незначну дозу опромінення людини за рахунок надходження його до легень у процесі дихання. У будинках, особливо в підвальних приміщеннях та на перших поверхах, може накопичуватись радон, а його вміст може зрости в десятки і навіть сотні разів, і відповідно, зростатимуть додаткові дози опромінення бронхолегеневої системи людини.

У природі багато джерел природного іонізуючого випромінювання. Радіацію породжують радіоактивні ізотопи різних елементів з яких складаються мінерали та гірські породи, головними є калієм - 40 та вуглець - 14. Велика кількість радіонуклідів можуть накопичуватись в організмах на тривалий час [8]. Біологічна дія

випромінювання залежить від розміру дози, що впливає за проміжок одиниці часу. Мінеральна будівельна сировина (щебінь, пісок, глина) в окремих місцях може містити підвищену кількість природних радіонуклідів. Побудований з такої сировини будинок може призводити до додаткового опромінення людей, що знаходяться в ньому.

У цілому, населення планети опромінюється найбільшими дозами від джерел природного походження. За даними Наукового комітету з дії атомної радіації (НКДАР ООН), середня ефективна доза опромінення жителів планети джерелами природного походження становить 2,4 мЗв на рік (табл.) [2].

У деяких регіонах земної кулі опромінення населення природними джерелами може суттєво перевищувати середні значення у світі (штат Керала і Тамілант в Індії, штати Еспіриту-Санту, Ріо-де-Жанейро в Бразилії, район міста Рамсер в Ірані, ряд районів в Італії, Франції).

Ситуація в Україні типова для більшості країн світу, хоча рівні опромінення населення природними джерелами дещо вищі за середньосвітові. Наприклад, серед країн Європи найбільші рівні опромінення природними джерелами в Фінляндії та Швеції - більше 7 мЗв. Найменші рівні характерні для острівних країн, таких як Великобританія (менше 2 мЗв).

Середні річні індивідуальні ефективні дози опромінення дорослого населення світу від природних джерел іонізуючого випромінювання (НКДА АР, 2000)

Компонента опромінення	Річна ефективна доза, (мЗв)
Космічне випромінювання	0,38(2,0)
Космогенні радіонукліди	0,01
Зовнішнє опромінення	0,46(4,3)
Внутрішнє опромінення за винятком радону	0,23 (0,6)
Внутрішнє опромінення від радону та	1,2(10) 0,07(0,1) 0,005(0,1)
Сумарна доза	2,4

Примітка. У дужках наведені дані для територій із підвищеними рівнями природного опромінення.

Фонове опромінення населення України становить близько 0,65 мЗв у рік, тобто 11,5 % від сумарної дози опромінення – 6 мЗв на рік.

Керована компонента доза становить близько 5,4 мЗв у рік. Найбільший внесок у цю частину дози дає радон-222 (64 %) і торон (19 %). Хоча оцінки рівнів опромінення тороном носять попередній характер, очевидно, що радон є основним джерелом опромінення середньостатистичного жителя України [5].

До індустріальних джерел відносяться джерела як природного походження, так і створених людиною, якщо вони цілеспрямовано використовуються у виробничій, науковій, медичній та інших сферах людської діяльності. Це і джерела, що використовуються для рентгенодіагностичних і радіотерапевтичних процедур у медицині, усі технології ядерного

паливного циклу (видобуток і збагачення урану, використання його на атомних станціях, операції з відпрацьованим ядерним паливом, захоронення радіоактивних відходів), джерела, що використовуються в промисловості (гамма-дефектоскопи, технології стерилізації, тощо). До цієї групи джерел можна віднести і радіонукліди, що випали на поверхню землі внаслідок випробувань ядерної зброї (так звані глобальні випадіння).

Опромінення людини індустріальними джерелами може відбуватись в умовах виробництва (професійне опромінення робітників) та в середовищі проживання. За нормальних умов експлуатації штучні джерела опромінення є повністю контрольованими, а опромінення від них – передбачуваним.

Характерною особливістю індустріальних джерел є те, що їх використання в народному господарстві, в більшості випадків, не

Комісова Т. Є., Гончаренко М. С., Сліпцова Н. А. обумовлює значні дози опромінення як персоналу і тим більше населення за нормальних умов їх експлуатації. Проте, у випадку виникнення радіаційних аварій із такими джерелами, можуть виникати додаткові джерела аварійного опромінення людини, як від забруднення навколишнього середовища радіонуклідами із зруйнованого реактора. У випадку аварій людина може зазнавати опромінення в досить значних дозах, що можуть обумовлювати виникнення важких наслідків для здоров'я і навіть призвести до смерті. Саме тому вимоги щодо контролю за використанням індустриальних джерел випромінювання є досить жорсткими.

Серед всіх індустриальних джерел опромінення населення планети на першому місці за величиною дози знаходяться рентгенодіагностичні процедури. У середньому всім країнам світу ефективна доза опромінення населення становить близько 1 мЗв на рік. В Україні в останні роки величина цієї дози зменшилася з 1,2 до 0,5 мЗв у рік, що пов'язано зі зменшенням кількості діагностичних процедур через погіршення економічної ситуації в країні й, отже, доступності медичної допомоги.

Дози опромінення переважної частини персоналу діючих в Україні атомних станцій становить від 1 до 5 мЗв на рік при нормативі - 20 мЗв на

рік [15, 16, 17, 18]. Опромінення населення внаслідок діяльності атомних електростанцій за нормальних безаварійних умов експлуатації є дуже незначним. Це десяти або соті долі мЗв на рік, тобто в десятки-сотні разів менше встановленого нормативу – 1 мЗв на рік.

Ще одним джерелом опромінення, про яке можна згадати лише в історичному контексті, є радіоактивне забруднення навколишнього середовища внаслідок випробувань ядерної зброї [13, 14]. Нині середня річна ефективна доза опромінення жителів Північної півкулі не перевищує декількох мікрозівертів.

Окреме місце займає опромінення населення та персоналу внаслідок радіаційних аварій. У світі щорічно відбуваються десятки радіаційних аварій, що супроводжуються опроміненням невеликої кількості людей. У деяких випадках індивідуальні дози опромінення перевищували декілька зівертів і навіть призводили до загибелі людей. У більшості випадків зареєстрованих радіаційних аварій дози опромінення населення були незначними. Серед найбільших (за кількістю опромінених осіб) аварій, що відбулися до 1986 року, можна відмітити Киштимську аварію (Урал, Росія), Увіндскельську аварію (Велика Британія), Три Майл Айлендську аварію.

Комісова Т. Є., Гончаренко М. С., Сліпцова Н. А.

Найважчою радіаційною аварією за кількістю людей, що зазнали аварійного опромінення, є Чорнобильська АЕС. Безумовно, саме опромінення населення внаслідок Чорнобильської аварії та медичні наслідки, пов'язані із цим опроміненням, цікавило і цікавить як фахівців, так і громадськість. Огляду цієї проблеми можна присвятити не одну монографію. Тому в даній роботі зупинимось лише на основних, найбільш важливих характеристиках джерел опромінення населення України, що виникли внаслідок Чорнобильської аварії [19, 20, 21].

Чорнобильська аварія є найбільшою та безпрецедентною за своїми характеристиками та наслідками аварією.

Головними за значимістю серед них були:

а) безпрецедентний за масштабами аварійний викид радіоактивних речовин в навколишнє середовище, що продовжувався протягом двох тижнів;

б) пролонгований в часі високо-температурний викид радіоактивних речовин відбувався за умов аерометеорологічної ситуації, яка весь час змінювалася, що призвело до складного просторово-часового розподілу переміщення радіоактивних хмар, суттєвих міжрадіонуклідних сепарацій, і, як наслідок, до надзвичайної гетерогенності ("мозаїчності") радіоактивного забруднення

територій, що утворилася внаслідок "чорнобильських" радіоактивних випадінь;

в) радіоактивне забруднення територій з різноманітними ландшафтногрунтовими характеристиками призвело до утворення на території Українсько-Білоруського Полісся специфічних радіоекологічних провінцій, що характеризуються надзвичайно високими значеннями коефіцієнту переходу радіоцезію в екологічному ланцюгу від ґрунту до людини, і як наслідок, вкрай високий ризик виробництва радіоактивно забрудненої м'ясо-молочної продукції;

г) дуже складне за фізичними та просторово-часовими характеристиками джерело аварійного опромінення великих контингентів людей, що зазнали та зазнають опромінення: ліквідатори наслідків аварії, населення, яке було евакуйоване з території так званої "30-км зони", населення, яке постійно проживає на радіоактивно-забруднених територіях, та діти, що зазнали опромінення щитовидної залози радіонуклідами йоду [4].

На сьогодні дози опромінення різних контингентів осіб, що зазнали та зазнають опромінення внаслідок аварії на ЧАЕС оцінено досить точно та надійно [11, 12].

Так, середні дози опромінення критичної групи ліквідаторів (осіб, які брали участь у ліквідації аварії

Комісова Т. Є., Гончаренко М. С., Сліпцова Н. А. протягом 1986-87 рр.) оцінюються на рівні 160 мЗв при логарифмічно нормальному розподілі індивідуальних доз опромінення. У наступні роки дози опромінення "ліквідаторів", як правило, не перевищували межу дози, встановленої для персоналу (50 мЗв).

Серед осіб, евакуйованих із м. Прип'ять, 98,58 % населення отримало до моменту евакуації дозу зовнішнього опромінення, меншу 0,05 Гр, а дозовий поріг виникнення нестохастичних ефектів – 0,5 Гр не було перевищено. Що стосується жителів 30-км зони, то в дозовому інтервалі від 0 до 0,05 Гр знаходиться 86,17 % евакуйованих, і лише декілька сотих відсотка населення могли отримати дозу, що перевищувала 0,5 Гр. Дози внутрішнього (переважно – інгаляційного шляху надходження радіонуклідів) опромінення в цілому оцінено на рівні доз зовнішнього опромінення, і лише в окремих випадках, коли евакуацію було проведено, через 10-15 днів після аварії ці дози можуть в 2-4 рази перевищувати дози зовнішнього опромінення.

Дози опромінення населення в результаті аварії на ЧАЕС значно різняться по територіях, що зазнали забруднення [4, 5, 6] але скрізь найбільші індивідуальні дози опромінення були отримані в ранній післяаварійний період (у перші місяці протягом року після аварії).

Розраховано, що більше 40 % чорнобильської "дозы за життя", тобто дози, що має отримати населення радіоактивно забруднених територій України протягом 70 років після аварії, було отримано протягом першого після аварії року, а протягом наступних 10 років було отримано близько 70%, дози за життя".

У той же час не варто забувати про те, що на територіях де дозові навантаження і на сьогодні залишаються порівняно високими, залишається необхідність в застосуванні певних профілактичних заходів. Так, відомо, що більше ніж 90 % дози формується на сьогодні за рахунок внутрішнього опромінення внаслідок споживання продуктів харчування місцевого виробництва (молока, картоплі, м'яса), а в лісистій місцевості – переважна частина дози формується за рахунок споживання лісових грибів та ягід [9, 10]. Отже, в таких місцевостях не слід зневажати простими рекомендаціями щодо кулінарної обробки продуктів харчування, особливо грибів. Слід зважити, чи варто взагалі включати гриби до раціону, особливо дітей.

Висновки і перспективи.

Таким чином, підсумовуючи викладене, можна зазначити, що сучасну радіоекологічну ситуацію в Україні характеризує, принаймні, три головні особливості:

1. Рівні опромінення значної частини населення України техногенно-підсиленими джерелами

Комісова Т. Є., Гончаренко М. С., Сліпцова Н. А. природного походження, зокрема радоном, у повітрі житлових приміщень є вдвічі-втричі вищими, ніж у середньому у світі. Це зумовлено певними геологічними характеристиками територій.

2. Значна частина населення України зазнала і зазнає додаткового опромінення внаслідок аварії на ЧАЕС. І хоча більшу частину дози опромінення вже отримано і на більшості постраждалих територій чорнобильське опромінення вже стало несуттєвим, можливі медичні наслідки цього опромінення є предметом масштабних досліджень, які все ще далекі від отримання остаточних висновків.

Список використаних джерел

1. Sources and effects of ionizing radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic

Radiation UNSCEAR 1993 Report to the General Assembly with Scientific Annexes). United Nations. New York: p. 922.

2. Sources and effects of ionizing radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly with Scientific Annexes). United Nations. New York: (I); Sources. p. 654.

3. Загальнодозиметрична паспортизація населених пунктів України, які зазнали радіоактивного забруднення після Чорнобильської аварії. Узагальнені дані за 2001-2004 рр. ЗБІРКА 10: МОЗ України. Київ. стор. 62.

4. Ліхтаров І.А., Ковган Л.М. (2001). Нові досягнення у філософії радіологічного захисту та Чорнобильського досвіду. Радіаційна безпека в Україні: Бюлетень НКРЗУ: (Т. 1-4). С. 86-97.

5. Лось І.П., Войцехович О.В., Шепелевич К.І. (2001) Радіація і вода:

3. Україна володіє досить потужними радіаційно-ядерними технологіями. Це і видобуток уранових руд, і виробництво електричної енергії на атомних станціях, і утилізація радіоактивних відходів. І хоча, як зазначалось, у режимі нормальної експлуатації індустриальні джерела не створюють значимих рівнів опромінення населення, потенційна небезпека опромінення внаслідок аварій існує. Тому забезпечення радіаційної безпеки і протирадіаційного захисту є актуальною і має бути пріоритетом при застосуванні джерел іонізуючого випромінювання на практиці.

Досвід забезпечення радіологічного захисту в управлінні якістю води після аварії на Чорнобильській АЕС. Київ: Науковий центр радіаційної медицини АМН України, Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут: с. 104.

6. Бузунова В.А., Ліхтарова І.А. (1999) Медичні наслідки аварії на Чорнобильській атомній станції. Київ. «МЕДЕКОЛ» МНИЦББО-ЕКОС: №1 315 с.

7. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97); Державні гігієнічні нормативи. Київ. Відділ поліграфії Українського центру держсанепіднагляду МОЗ України: с. 121.

8. Ковальський В.П. Мороз Д.В., Євтеєва В.В. Радіоактивність будівельних матеріалів. Прикладні науковотехнічні дослідження: матеріали III міжнародної науково-практичної конференції (м. Івано-Франківськ 3-5 квітня 2019 р.). Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2019. С. 162-170.

9. Науменко А.С., Макачук О.В., Костенко О.В. Радіологічний стан сільськогосподарських угідь українського

Комісова Т. Є., Гончаренко М. С., Сліпцова Н. А. полісся. Агроєкологічний журнал. 2016. Т. 1, № 1. С. 107–111.

10. Хоменко І.М., Поліщук С.В. Оцінка впливу споживання продуктів харчування місцевого виробництва на формування дози внутрішнього опромінення у віддалений період після Чорнобильської катастрофи. Довкілля та здоров'я. 2014. № 2. С. 57–61.

11. Тридцять років Чорнобильської катастрофи: радіологічні та медичні наслідки: Національна доповідь України. Київ, 2016. 177 с.

12. Прістер Б.С. та ін. Проблеми безпеки атомної енергетики. Уроки Чорнобиля: монографія. Чорнобиль: Інст проблем безпеки АЕС. 2016. 355 с.

13. Готовність і реагування в випадку ядерної чи радіологічної аварійної ситуації. Норми безпеки МАГАТЕ: STI/PUB/1708. Відень, 2016. 160 с.

14. Поярков В. Основні знання про ядерну небезпеку: уроки Чорнобиля і Фукусіми. Дата публікації: 06 березня 2017 р. URL: <http://dazv.gov.ua/noviniqtaqmedia/periodichniqvidannyaq>
[dazv/osnovniqznannyaqproqyadernojiqnebezpekiqurokiqchornobilyaqiqfukusimiqviktorkpoyarkov.html](http://dazv.gov.ua/osnovniqznannyaqproqyadernojiqnebezpekiqurokiqchornobilyaqiqfukusimiqviktorkpoyarkov.html).

15. Павленко Т.О., Аксьонов М.В., Шабуніна Н.Д. та ін. Оцінка вмісту природних радіонуклідів в індустріальних залишках підприємств. Довкілля та здоров'я. 2015. № 1. С. 21–24

16. ICRP Publication. Recommendation of the International Commission on Radiobiological Protection. (Рекомендація Міжнародної Комісія з радіобіологічного захисту) Ann. ICRP. 2007. Vol. 37 (2-4).

17. Про захист людини від впливу іонізуючих випромінювань: Закон України від 14.01.1998 р. № 5/98ВР. Дата оновлення 29.09.2013. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/15/98%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 29.06.2018).

18. Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку: Закон України від 8.02.1995 р. №39/95вр. Дата оновлення 18.12.2017. URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/39/95%D>

0%D1%80/page (да та звернення: 29.06.2018).

19. Чорнобиль. Документи Оперативної групи ЦК КПУ (1986–1988) / упоряд. О.В.Бажан, О.Г. Бажан, Г.В. Боряк, С.І. Власенко. Київ: Інст історії України НАН України, Центральний державний архів громадських об'єднань України, 2017. 830 с.

20. Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи: Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/791%D0%B0q12#Text>.

21. Двадцять п'ять років Чорнобильської катастрофи. Національна доповідь України. Київ: КІМ. 2011. 356 с.

22. Ткаченко М.М., Любарець Т.Ф. Генетичні наслідки віддалених стохастичних ефектів іонізуючого випромінювання. Фізіологічний журнал. 2012 researchgate.net

23. Вікторова Є.М., Ковальський В.П. Джерела природного іонізуючого випромінювання. 2021 - ir.lib.vntu.edu.ua

24. Ткаченко Р.Д. Еколого-біологічні аспекти впливу іонізуючого випромінювання на людину. 2012 repository.kpi.kharkov.ua

References

1. Sources and effects of ionizing radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 1993 Report to the General Assembly with Scientific Annexes). United Nations. New York: p. 922.

2. Sources and effects of ionizing radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly with Scientific Annexes). United Nations. New York: (I): Sources. p. 654.

3. Zahalnodozymetrychna pasportyzatsiia naselenykh punktiv Ukrainy, yaki zaznaly radioaktyvnoho zabrudnennia pislia Chornobylskoi avarii. Uzhahalneni dani za 2001-2004 rr. ZBIRKA 10: MOZ Ukrainy. Kyiv. stor. 62.

4. Likhtarov I.A., Kovhan L.M. (2001). Novi dosiahnennia u filosofii radiolohichnoho zakhystu ta Chornobylskoho dosvidu.

Комісова Т. Є., Гончаренко М. С., Сліпцова Н. А.

Radiatsiina bezpeka v Ukraini: Biuleten NKRZU: (T. 1-4). S. 86-97.

5. Los I.P., Voitsekhovych O.V., Shepelevych K.I. (2001) Radiatsiia i voda: Dosvid zabezpechennia radiolohichnoho zakhystu v upravlinni yakistiu vody pislia avarii na Chornobylskii AES. Kyiv: Naukovyi tsentr radiatsiinoi medytsyny AMN Ukrainy, Ukrainskyi naukovo-doslidnyi hidrometeorolohichnyi instytut: s. 104.

6. Buzunova V.A., Likhtarova I.A. (1999) Medychni naslidky avarii na Chornobylskii atomnii stantsii. Kyiv. «MEDEKOL» MNYTsBO-EKOS: №1 315.

7. Normy radiatsiinoi bezpeky Ukrainy (NRBU-97); Derzhavni hihiiienichni normatyvy. Kyiv. Viddil polihrafii Ukrainskoho tsentru derzhsanepidnahliadu MOZ Ukrainy: 121.

Zahalnodozymetrychna pasportyzatsiia naselenykh punktiv Ukrainy, yaki zaznaly radioaktyvnogo zabrudnennia pislia Chornobylskoi avarii. Uzahalneni dani za 2001-2004 rr. Zbirka 10: MOZ Ukrainy. Kyiv. 62.

4. Likhtarov I.A., Kovhan L.M. (2001). Novi dosiahnennia u filosofii radiolohichnoho zakhystu ta Chornobylskoho dosvidu. Radiatsiina bezpeka v Ukraini: Biuleten NKRZU: (T. 1-4). S. 86-97.

5. Los I.P., Voitsekhovych O.V., Shepelevych K.I. (2001) Radiatsiia i voda: Dosvid zabezpechennia radiolohichnoho zakhystu v upravlinni yakistiu vody pislia avarii na Chornobylskii AES. Kyiv: Naukovyi tsentr radiatsiinoi medytsyny AMN Ukrainy, Ukrainskyi naukovo-doslidnyi hidrometeorolohichnyi instytut: 104 s.

6. Buzunova V.A., Likhtarova I.A. (1999) Medychni naslidky avarii na Chornobylskii atomnii stantsii. Kyiv. «MEDEKOL» MNYTsBO-EKOS: №.1 315 s.

7. Normy radiatsiinoi bezpeky Ukrainy (NRBU-97); Derzhavni hihiiienichni normatyvy. Kyiv. Viddil polihrafii Ukrainskoho tsentru derzhsanepidnahliadu MOZ Ukrainy: 121.

8. Kovalskyi V.P. Moroz D.V., Yevteieva V.V. (2019). Radioaktyvnist budivelnykh materialiv. Prykladni naukovotekhnichni doslidzhennia: materialy III mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (m. Ivano-

Frankivsk 3-5 kvitnia 2019 r.). Ivano-Frankivsk: Symfoniia forte, 162-170.

9. Naumenko A.S., Makarchuk O.V., Kostenko O.V. (2016). Radiolohichni stan silskohospodarskykh uhid ukrainskoho polissia. Ahroekolohichni zhurnal. 1(1). P. 107–111.

10. Khomenko I.M., Polishchuk S.V. (2014). Otsinka vplyvu spozhyvannia produktiv kharchuvannia mistsevoho vyrobnytstva na formuvannia dozy vnutrishnoho oprominennia u viddalenii period pislia Chornobylskoi katastrofy. Dovkillia ta zdorovia. 2. P. 57–61.

11. (2016). Trydtsiat rokiv Chornobylskoi katastrofy: radiolohichni ta medychni naslidky: Natsionalna dopovid Ukrainy. Kyiv, 177.

12. Prister B.S. ta in. (2016). Problemy bezpeky atomnoi enerhetyky. Uroky Chornobylia: monohrafiia. Chornobyl: Int problem bezpeky AES. 355.

13. Hotovnist i reahuvannia v vypadku yadernoi chy radiolohichnoi avariinoi situatsii. Normy bezpeky MAHATE: STI/PUB/1708. Viden, 2016. 160 s.

14. Poiarkov V. Osnovni znannia pro yadernu nebezpeku: uroky Chornobylia i Fukusimy. Data publikatsii: 06 bereznia 2017 r. URL: <http://dazv.gov.ua/noviniqtaqmedia/peri odichniqvidannyaq dazv/osnovniqznannyaqproqyadernojiqnebezp ekiqurokiqchornobilyaqiq fukusimiqviktorkpoyarkov.html>.

15. Pavlenko T.O., Aksonov M.V., Shabunina N.D. ta in. (2015). Otsinka vmistu pryrodnykh radionuklidiv v industrialnykh zalyshkakh pidpriemstv. Dovkillia ta zdorovia. № 1. S. 21-24

16. (2007). ICRP Publication. Recommendation of the International Commission on Radiobiological Protection. (Rekomendatsiia Mizhnarodnoi Komisiia z radiobiolohichnoho zakhystu) Ann. ICRP. Vol. 37 (2-4).

17. Pro zakhyst liudyny vid vplyvu ionizuiuchykh vyprominiuvan: Zakon Ukrainy vid 14.01.1998 r. № 5/98VR. Data onovlennia 29.09.2013.

URL:<http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/15/98%D0%B2%D1%80> (data zvernennia: 29.06.2018).

Комісова Т. Є., Гончаренко М. С., Сліпцова Н. А.

18. Pro vykorystannia yadernoi enerhii ta radiatsiinu bezpeku: Zakon Ukrainy vid 8.02.1995 r. №39/95vr. Data onovlennia 18.12.2017. URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/39/95%D0%B2%D1%80/page> (da ta zvernennia: 29.06.2018).

19. (2017). Chornobyl. Dokumenty Operativnoi hrupy TsK KPU (1986–1988) / uporiad. O.V.Bazhan, O.H. Bazhan, H.V. Boriak, S.I. Vlasenko. Kyiv: Int istorii Ukrainy NAN Ukrainy, Tsentralnyi derzhavnyi arkhiv hromadskykh obiednan Ukrainy, 830.

20. Pro pravovyi rezhym terytorii, shcho zaznala radioaktyvnoho zabrunennia vnaslidok Chornobylskoi katastrofy: Zakon Ukrainy.

URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/791%D0%B0q12#Text>.

21. (2011). Dvadtsiat piat rokiv Chornobylskoi katastrofy. Natsionalna dopovid Ukrainy. Kyiv: KIM. 356 s.

22. Tkachenko M.M., Liubarets T.F. (2012). Henetychni naslidky viddalenykh stokhastychnykh efektiv ionizuiuchoho vyprominiuvannia. Fiziologichnyi zhurnal. researchgate.net

23. Viktorova Ye.M., Kovalskyi V.P. (2021). Dzherela pryrodnoho ionizuiuchoho vyprominiuvannia. ir.lib.vntu.edu.ua

24. Tkachenko R.D. (2012). Ekoloho-biologichni aspekty vplyvu ionizuiuchoho vyprominiuvannia na liudynu. repository.kpi.kharkov.ua

MAIN SOURCES OF IONIZING RADIATION AND ITS IMPACT ON THE POPULATION

T. Komisova, M. Honcharenko, N. Sliptsova

Abstract. All sources of ionizing radiation (IR) of human exposure are divided into natural and industrial. Natural sources of radiation are the main sources of human exposure. They include cosmic rays and radiation from natural radionuclides contained in the Earth's crust and atmosphere. Among radionuclides of natural origin, potassium-40 and radionuclides arising from the decay of natural radioactive uranium-238 and thorium-232 are the most important. Potassium, uranium, and thorium present in the earth crust, when disintegrating, become sources of radiation and form the background external radiation of a person, and entering the body with air, water, and food - internal background radiation. The situation in Ukraine is typical for most countries of the world, although the levels of population exposure from natural sources are somewhat higher than the world average. Industrial sources include sources of both natural origin and those created by man, if they are purposefully used in industrial, scientific, medical and other spheres of human activity with the aim of obtaining a certain benefit. Human exposure to industrial sources can occur in production conditions (professional exposure of workers) and in the living environment. Under normal operating conditions, artificial radiation sources are fully controllable, and exposure from them is predictable. Among all industrial sources of radiation of the planet population, X-ray diagnostic procedures rank first in terms of dose. A special place is occupied by the exposure of the population and personnel as a result of radiation accidents. Dozens of radiation accidents occur every year in the world, accompanied by the exposure of a small number of people. In some cases, individual radiation doses exceeded several Sieverts and even led to the death of people. The worst radiation accident in terms of the number of people exposed to accidental radiation is Chernobyl. The levels of exposure of a significant part of the population of Ukraine by man-made and enhanced sources of natural origin are

Комісова Т. Є., Гончаренко М. С., Сліпцова Н. А.

determined by certain geological characteristics of the territories. Ensuring radiation safety and anti-radiation protection should be a priority when using sources of ionizing radiation in practice.

Key words: *ionizing radiation, natural radionuclides, uranium, thorium*

ВПЛИВ НЕОРГАНІЧНИХ ХІМІЧНИХ РЕЧОВИН НА РАДІОСТІЙКІСТЬ НАСІННЯ**Б. В. СІНЕНКО**, аспірант, <https://orcid.org/0000-0003-4187-4372>*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

E-mail: bogdan.sinenko@gmail.com

[https://doi.org/10.31548/dopovidi3\(103\).2023.003](https://doi.org/10.31548/dopovidi3(103).2023.003)

Анотація. Іонні неорганічні сполуки можуть впливати на радіостійкість рослин. Є багато досліджень, що описують ефекти тих чи інших сполук та намагаються пояснити механізм їх дії. Але огляд сучасних досліджень показав нестачу в комплексному аналізі концентрацій та впливу іонних сполук на насіння під час опромінення. У зв'язку з цим, метою дослідження було зібрати та структурувати цей матеріал для кращого розуміння механізмів дії. Результатом роботи стала аналітична таблиця ефектів взаємодій катіонів і аніонів при обробці насіння перед опроміненням рентгенівським та γ -випромінюванням. Також, було окреслено основні закономірності впливу іонних солей з прикладами їх застосування. Так галогеніди лужних та лужноземельних металів мають сильний радіозахисний ефект. Вплив сульфатів та двовалентних металів залежить від їх концентрації та взаємодії з клітинними структурами. Нітрати важких металів та азидів негативно впливають на радіостійкість насіння рослин. Ефект від дії катіонів залежить значною мірою від хімічних та фізіологічних властивостей. Водночас комплекси металів з високим протонним числом можуть виступати в якості сенсibilізаторів внаслідок фізичних ефектів продуктів фізіологічного обміну рослин. На основі проаналізованої інформації можна зробити висновок, що вплив простих неорганічних солей потребує додаткової уваги та поглибленого дослідження. У перспективі, вивчення ефекту від їх застосування може допомогти в розумінні загальних закономірностей радіозахисту рослин. А також у фундаментальному розумінні взаємозв'язку між ґрунтовим розчином солей на засолених ґрунтах та його впливом на радіостійкість рослин.

Ключові слова: насіння, рослини, неорганічні речовини, іони, рентгенівське випромінювання, γ -випромінювання

Актуальність. Вплив неорганічних речовин на радіостійкість рослин є важливою проблемою й потребує додаткової уваги, оскільки вони можуть модифікувати чутливість рослин до іонізуючого випромінювання при підготовці насіння до сівби, а також у

разі опромінення безпосередньо в ґрунті, внаслідок радіаційних аварій та імовірних ядерних конфліктів. Оскільки багато класичних добрив (нітратні, фосфатні, калійні) є неорганічними водорозчинними речовинами, й щорічно надходять у ґрунт, їх дія матиме безпосередній

Сіненко Б. В.

вплив на радіостійкість проростаючих рослин. Початкова оцінка проведених досліджень дозволить уникнути повторів та визначити межі додаткового вивчення проблеми.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Було проведено огляд сучасних наукових робіт з радіозахисту та радіосенсибілізації рослин (Duarte et al., 2023; Georgieva & Vassileva, 2023; Gudkov et al., 2019), але комплексного літературного огляду щодо впливу неорганічних іонних сполук на радіостійкість насіння знайдено не було.

Мета. Метою роботи був збір та систематизація інформації щодо впливу водорозчинних неорганічних іонних сполук на радіостійкість насіння.

Методи. Було проведено збір, обробку та аналіз наукового матеріалу. Для концептуалізації матеріалу було обрано формат, подібний до таблиці розчинності солей.

Результати. Використання хімічних речовин перед та після опромінення може модифікувати дію іонізуючого випромінювання. Але при їх застосуванні слід враховувати й інші фактори, що можуть вплинути: рН (Lunec & Parker, 1980; Sideris et al., 1973), осмотичний тиск розчину (Osterrieth, 1963) та вологість насіння (Baek et al., 2003). Всі ці чинники можуть вплинути на сукупний показник радіостійкості насіння.

Важливо враховувати й сумісність хімічних факторів. Додаткове використання речовин, які впливають на чутливий до надлишку солей протеїн (SOS1), що активує обмінники Na^+/H^+ (NHXs), може призвести до додаткових ушкоджень внаслідок осмотичного та сольового стресу (Keisham et al., 2018).

Також деякі речовини, навіть в дуже низьких концентраціях (10^{-2} – 10^{-3} М), можуть посилювати пошкодження ДНК, підвищуючи радіочутливість клітин (Osterrieth, 1963).

1. Вплив аніонів

Галогеніди лужних та лужноземельних металів чинять сильний радіозахисний ефект.

Витримування насіння ячменю (*Hordeum vulgare* L.) впродовж 12 годин в 0,5 М розчинах KCl, NaCl, CaCl_2 , BeCl_2 , SrCl_2 та BaCl_2 підвищує радіостійкість при гострому опроміненні в діапазоні доз від 0 до 105,2 Гр (Gillet et al., 1963). Але дані про радіозахисну дію BaCl_2 на різні види рослин достатньо суперечливі (Gillet et al., 1963) й потребують додаткового дослідження.

Використання CaCl_2 у концентраціях від 0,06 М до 1 М за 1 годину до γ -опромінення у дозі 175,4 Гр знижує негативний вплив (Conger, 1975).

Намочування насіння ячменю в 0,1 М розчині SnCl_2 продовж 16 годин перед рентгенівським опромінюванням в дозі 43,9 Гр значно

Сіненко Б. В.

знижувало відсоток проростання, але дещо збільшувало довжину 10-денних проростків (Biswas & Matsuo, 1966).

Обробка ячменю 0,1 М розчином KBr впродовж 20 годин перед рентгенівським опромінюванням в дозі 131,5 Гр має радіозахисну дію. Розчин 0,1 М підвищує довжину 10-денних проростків на 31%, а 0,5 М знижує кількість хромосомних аберацій в меристемах коренів на 75% порівняно з намоченими у воді (з 366 до 93 на 800 клітин) (Biswas & Matsuo, 1966).

Розчини сполук йоду 0,5 М KI, 0,05 М NaI та 0,05 М KIO₃ підвищує довжину проростків на 72%, 15% та 8% відповідно (Biswas & Matsuo, 1966).

Використання 0,5 М KН₂РO₄ зменшує кількість хромосомних аберацій та загальну кількість аномальних клітин у меристемах коренів ячменю (Biswas & Matsuo, 1966).

Застосування Na₂S₂O₄ дещо підвищувало довжину проростків, але на дві третини знижувало схожість ячменю (Biswas & Matsuo, 1966). Негативний вплив на схожість може бути пов'язаний з сильним відновним ефектом, який чинить дітіоніт натрію (Božić & Kokol, 2008). Водночас зменшення пошкоджень у рослин, що вижили, може бути наслідком відновлення вільних радикалів.

Захисний вплив сульфатів двовалентних металів залежить від

концентрації та їх хімічної взаємодії з клітинними структурами.

Намочування насіння кроталарії (*Crotalaria intermedia* Kotschy) в 0,01 М розчинах MnSO₄, ZnSO₄ та MgSO₄ й подальше висушування не мало статистично значущого впливу на зміну чутливості до рентгенівського випромінювання (Bhatia, 1967). Збільшення концентрації розчинів до 0,2 М в дослідах з ячменем призводило до прояву слабкого радіозахисного ефекту (Hazama et al., 1963), але він був дуже нестійким й сильно залежав від складу повітря та вологості.

Розчин CuSO₄ за тих же умов підвищував радіосенсибілізацію. Імовірно, внаслідок зв'язування іонів міді з ДНК і макромолекулами, що підвищувало їх чутливість до вільних радикалів (Bhatia, 1967). Обробка 0,1 М розчином FeSO₄ підвищувало довжину ростків на 42%, але його захисна дія зумовлена, значною мірою, іонами заліза (Biswas & Matsuo, 1966).

Нітрати важких металів негативно впливають на радіостійкість насіння.

Обробка насіння ячменю впродовж 7 годин 0,2 М розчинами Ba(NO₃)₂, Pb(NO₃)₂ і UO₂(NO₃)₂ за 15 годин до рентгенівського опромінення призводила до появи 6,62%, 6,77%, та 5,67% летальних мутацій хлорофілу серед проростків. Дія іонізуючого випромінювання на контрольну групу було причиною

Сіненко Б. В.

2,78% мутацій. За відсутності опромінення, як і при застосуванні лише розчину $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$, появи летальних мутацій не помічалось (Stadler, 1928).

Застосування NaN_3 для обробки насіння призводить до посилення радіосенсибілізації (Jahan et al., 2020). Він є сильним мутагеном (Yafizham & Herwibawa, 2018), що індукує мутації основних ознак (Gruszka et al., 2012; Hossein pour et al., 2022) у багатьох видів рослин (Yafizham & Herwibawa, 2018). Його ефективність залежить від рН розчину й збільшується при переході від лужного до кислого середовища (Sideris et al., 1973), досягаючи максимальної ефективності при рН 3 (Gruszka et al., 2012).

Азид натрію призводить до накопичення гідрогенпероксидази, що інгібує каталазу та пероксидазу (Kleinhofs et al., 1975). Потрапляючи в клітини рослин, він метаболізує до мутагенного агента, аналога амінокислот, L-азидоаланіну ($\text{N}_3\text{-}$

$\text{CH}_2\text{-CH}(\text{NH})_2\text{-COOH}$). Продуктування цього метаболіту відбувається за участі O-ацетилсеринсульфгідрилази, що каталізує конденсацію сульфідру або азиду з O-ацетилсерином, що призводить до утворення L-цистеїну чи азидоаланіну відповідно (Khan et al., 2009).

Його використання, як сам по собі, так і при опроміненні насіння іонізуючим випроміненням, призводить до підвищення кількості мутацій, у тому числі й летальних.

Намочування насіння ячменю на 1 годину в розчині аскорбінової кислоти після витримання 2 години в розчині NaN_3 зменшує пошкодження після γ -опромінення ^{60}Co . Водночас вплив аскорбінової кислоти впродовж 1 години перед 2-годинною обробкою NaN_3 не дає значного результату в зменшенні пострадіаційних пошкоджень (Conger, 1973).

Загальний вплив відомих комбінації катіонів та аніонів приведено на рисунку 1.

	K ⁺	Na ⁺	Be ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Sr ²⁺	Ba ²⁺	Sn ²⁺	Cu ²⁺	Mn ²⁺	Zn ²⁺	Fe ³⁺	Pb ²⁺	UO ₂ ²⁺
Cl ⁻	+	+	+	+	+	+	+	+						
Br ⁻	+													
I ⁻	+	+												
IO ₃ ⁻	+													
H ₂ PO ₄ ²⁻	+													
S ₂ O ₄ ²⁻	+													
SO ₄ ²⁻					○				-	○	○	+		
NO ₃ ⁻							-						-	-
N ₃ ⁻		-												

Рис. 1. Вплив неорганічних солей на радіостійкість насіння: позитивний (+), не впливає (○), негативний (-)

2. Вплив катіонів

Вплив іонів металів на радіозахисний ефект залежить, значною мірою від їх хімічних властивостей та фізіологічних функцій.

Насичений розчин EDTA-2Na є ефективним радіопротектором. Використання EDTA та EDTA-2Mg-Na не мало захисного ефекту при опроміненні ячменю рентгенівським випромінюванням (Biswas & Matsuo, 1966). Це доводить, що основна частка захисного впливу належить іонам натрію. Захисний ефект високої концентрації Na⁺ можна пояснити осмотичним та сольовим стресом, що призводить до дегідратації клітин (Keisham et al., 2018).

Сполуки калію, особливо з галогенами, підвищують радіостійкість ячменю та рису (*Oryza sativa* L.). Це може бути пов'язано з підвищенням проникності клітинних

мембран під час опромінення, що призводить до втрати іонів калію та інгібуванню росту (Biswas & Matsuo, 1966). Попередня обробка препаратами калію компенсує його втрату та пришвидшує процеси відновлення радіоіндукованих пошкоджень (Biswas & Matsuo, 1966).

Захисний ефект катіонів кальцію базується на дегідратації насіння та зародка, інгібуванні притоку позаклітинних іонів натрію та підтримці внутрішньоклітинного балансу калію та натрію (Chen et al., 2021).

Іони срібла можуть мати сенсibilізуючу дію на ДНК під час опромінення рентгенівським опроміненням в атмосфері азоту. У той час, як в атмосфері кисню цей ефект незначний або проявляється при дуже високих концентраціях Ag⁺ (Held & Powers, 1980).

Іншими ефективними радіосенсибілізаторами можуть бути комплекси з двовалентними іонами платини, такі як цис-дихлорбіс (циклопентиламін) платини II (Szumiel, 1978), що використовується в променевої терапії. В процесі росту рослини можуть відновлювати іони платини утворюючи наночастинки, що можуть призводити до подібного ефекту (Asztemborska et al., 2015; Bali et al., 2010; Song et al., 2010).

Наночастинки металів з високим Z (числом протонів в ядрі) можуть використовуватися як ефективні радіосенсибілізатори. Перебуваючи всередині клітин під час опромінення, вони вивільняють потік вторинних електронів збільшуючи точкові пошкодження внаслідок локального накопичення енергії (Hullo et al., 2021).

Дія наночастинок платини, золота, гадолінію та гафнію підвищує чутливість пухлин до променевої терапії (Hullo et al., 2021), але їх дія на рослинні клітини під час опромінення недостатньо вивчений.

Висновки і перспективи. Дія найбільш активних груп хімічних неорганічних іонних сполук достатньо вивчена для створення первинної структури таблиці та підходів до концептуалізації результатів подальших досліджень.

Галогеніди, дигідрофосфати та дітїоніди можуть мати радіозахисний захисний ефект, у той час, як нітрати – сенсибілізуючий. Ефект впливу

сульфатів потребує додаткового дослідження, оскільки він сильно модифікується впливом активного катіона.

Катіони кальцію, натрію, калію, заліза та, частково, стронцію, здатні чинити захисну дію внаслідок прямої дії на фізіологічні механізми рослини та процеси осмотичної регуляції. Іони магнію, мангану та цинку не мають яскраво вираженої захисної дії, тому вплив солі головним чином залежить від дії залученого аніона. Катіони міді мають радіосенсибілізуючу дію через зв'язування з ДНК та макромолекулами. Ефект від впливу катіонів стронцію, барію, та олова потребує додаткового вивчення, оскільки він або має неявні прояви, або сильно піддається модифікації аніона.

Потенційно, іони металів з високим протонним числом, такі як платина, золото, гадоліній, гафній та інші, здатні утворювати наночастинки в рослинах, що можуть стати джерелом вторинних електронів призводячи до точкових уражень.

Вивчення впливу комбінацій катіонів та аніонів, а також їх подальшого впливу, потребує додаткової уваги. Детальніше дослідження цих ефектів допоможе у формуванні стратегій радіаційного захисту рослин в разі радіаційних аварій та ядерних інцидентів. А також в розумінні ролі розчинних неорганічних елементів ґрунту на

Сіненко Б. В.

радіостійкість рослин на початкових етапах росту.

Список використаних джерел

1. Duarte G.T., Volkova P.Y., Fiengo Perez F., Horemans N. Chronic Ionizing Radiation of Plants: An Evolutionary Factor from Direct Damage to Non-Target Effects. *Plants*. 2023. Vol. 12. No. 5 P. 1–27.
2. Georgieva M., Vassileva V. Stress Management in Plants: Examining Provisional and Unique Dose-Dependent Responses. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023. Vol. 24. No. 5105. P. 1–25.
3. Gudkov S.V., Grinberg M.A., Sukhov V., Vodeneev V. Effect of ionizing radiation on physiological and molecular processes in plants. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2019. Vol. 202. P. 8–24.
4. Lunec J., Parker R. The Influence of pH on the Enhancement of Radiation Damage by Hyperthermia. *International Journal of Radiation Biology and Related Studies in Physics, Chemistry and Medicine*. 1980. Vol. 38. No. 5. P. 567–574.
5. Sideris E.G., Nilan R.A., Bogyo T.P. Differential effect of sodium azide on the frequency of radiation-induced chromosome aberrations vs. the frequency of radiation-induced chlorophyll mutations in *Hordeum vulgare*. *Radiation Botany*. 1973. Vol. 13. No. 6. P. 315–322.
6. Osterrieth P.M. Induction par les Rayons X de la Destruction de L'acide Désoxyribonucléique d'*Escherichia Freundii* Induction par les Rayons X de la Destruction de L'acide Désoxyribonucléique d'*Escherichia Freundii*. *International Journal of Radiation Biology and Related Studies in Physics, Chemistry and Medicine*. 1963. Vol. 6. No. 3. P. 289–296.
7. Baek M.-H., Lee Y.-K., Lee Y.-B., Yang S.-G., Kim J.-S. Effects of Low Dose Gamma Radiation and Seed Moisture Content on Germination and Early Growth of Vegetable Crops. *Korean Journal of Environmental Agriculture*. 2003. Vol. 22. No. 3. P. 215–219.
8. Keisham M., Mukherjee S., Bhatla S.C. Mechanisms of Sodium Transport in Plants-Progresses and Challenges. *International journal of molecular sciences*. 2018. Vol. 19. No. 3. P. 1–22.
9. Gillet C., Lennes G., Bacq Z.M. Action Radioprotectrice de Chlorures Alcalino-terreux (BeCl_2 , SrCl_2 et BaCl_2) Sur La Croissance de L'orge. *International Journal of Radiation Biology and Related Studies in Physics, Chemistry and Medicine*. 1963. Vol. 7. No. 4. P. 395–399.
10. Conger B.V. Radioprotective effects of ascorbic acid in barley seeds. *Radiation Botany*. 1975. Vol. 15. No. 1. P. 39–48.
11. Biswas S., Matsuo T. Protective and recovery effects of chemicals on plant growth, chromosome aberration and mutation in irradiated seed of crop plants. *Radiation Botany*. 1966. Vol. 6. No. 6. P. 575–587.
12. Božič M., Kokol V. Ecological alternatives to the reduction and oxidation processes in dyeing with vat and sulphur dyes. *Dyes and Pigments*. 2008. Vol. 76. No. 2. P. 299–309.
13. Bhatia C.R. Modification of X-ray sensitivity by metal ions in *Crotalaria intermedia* seeds. *Radiation Botany*. 1967. Vol. 7. No. 3. P. 161–165.
14. Hazama Y., Hazama K., Ehrenberg L. The influence of paramagnetic ions on the radiation sensitivity of plant seeds. *Radiation Botany*. 1963. Vol. 3. No. 1. P. 7–18.
15. Stadler L. J. Mutations in barley induced by X-rays and radium. *Science*. 1928. Vol. 68. No. 1756. P. 186–187.
16. Jahan R., Malik S., Ansari S., Khan S. Evaluation of Optimal Doses for Gamma Rays and Sodium Azide in Linseed Genotypes. *Agricultural Science Digest*. 2020. Vol. 41. P. 207–210.
17. Yafizham, Herwibawa B. The effects of sodium azide on seed germination and seedling growth of chili pepper (*Capsicum annum* L. cv. Landung). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018. Vol. 102. No. 1. P. 12052.
18. Gruszka D., Szarejko I., Maluszynski M. *Plant Mutation Breeding and Biotechnology*. London: CABI, 2012. 608 p.
19. Hossein pour A., Tosun M., Haliloglu K. Mutagenic effects of sodium azide on in vitro mutagenesis, polymorphism and genomic instability in wheat (*Triticum*

Сіненко Б. В.

aestivum L.). *Molecular Biology Reports*. 2022. Vol. 49. No. 7. P. 10165–10174.

20. Kleinhofs A., Kleinschmidt M., Sciaky D., Von Broembsen S. Azide mutagenesis. In vitro studies. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*. 1975. Vol. 29. No. 3. P. 497–499.

21. Khan S., Al-Qurainy F., Anwar F. Sodium Azide: a Chemical Mutagen for Enhancement of Agronomic Traits of Crop Plants. *Environment & We an International Journal of Science & Technology*. 2009. Vol. 4. No. 1. P. 1–21.

22. Conger B.V. The effects of ascorbic acid and sodium azide on seedling growth of irradiated and non-irradiated barley seeds. *Radiation Botany*. 1973. Vol. 13. No. 6. P. 375–379.

23. Chen X., Zhang R., Xing Y., Jiang B., Li B., Xu X., Zhou Y. The efficacy of different seed priming agents for promoting sorghum germination under salt stress. *PLoS ONE*. 2021. Vol. 16. No. 1. P. 1–14.

24. Held K.D., Powers E.L. Sensitization to X-rays of transforming DNA by Ag⁺. *International journal of radiation biology and related studies in physics, chemistry, and medicine*. 1980. Vol. 38. No. 3. P. 293–307.

25. Szumiel I. Requirements for Potentiation of Radiation Effect by a Platinum Complex. *International Journal of Radiation Biology and Related Studies in Physics, Chemistry and Medicine*. 1978. Vol. 33. No. 6. P. 605–608.

26. Bali R., Siegele R., Harris A.T. Biogenic Pt uptake and nanoparticle formation in *Medicago sativa* and *Brassica juncea*. *Journal of Nanoparticle Research*. 2010. Vol. 12. No. 8. C. 3087–3095.

27. Song J.Y., Kwon E.-Y., Kim B.S. Biological synthesis of platinum nanoparticles using *Diopyros kaki* leaf extract. *Bioprocess and biosystems engineering*. 2010. Vol. 33. No. 1. P. 159–164.

28. Asztemborska M., Steborowski R., Kowalska J., Bystrzejewska-Piotrowska G. Accumulation of Platinum Nanoparticles by *Sinapis alba* and *Lepidium sativum* Plants. *Water, air, and soil pollution*. 2015. Vol. 226. No. 4. P. 1–7.

29. Hullo M., Grall R., Perrot Y., Mathé C., Ménard V., Yang X., Lacombe S., Porcel E., Villagrasa C., Chevillard S., Bourneuf E. Radiation Enhancer Effect of Platinum Nanoparticles in Breast Cancer Cell Lines: In Vitro and In Silico Analyses. *International journal of molecular sciences*. 2021. Vol. 22. No. 9. P. 1–18.

References

1. Asztemborska, M., Steborowski, R., Kowalska, J., & Bystrzejewska-Piotrowska, G. (2015). Accumulation of Platinum Nanoparticles by *Sinapis alba* and *Lepidium sativum* Plants. *Water, Air, and Soil Pollution*, 226(4), 1–7. <https://doi.org/10.1007/s11270-015-2381-y>

2. Baek, M.-H., Lee, Y.-K., Lee, Y.-B., Yang, S.-G., & Kim, J.-S. (2003). Effects of Low Dose Gamma Radiation and Seed Moisture Content on Germination and Early Growth of Vegetable Crops. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 22(3), 215–219. <https://doi.org/10.5338/kjea.2003.22.3.215>

3. Bali, R., Siegele, R., & Harris, A. T. (2010). Biogenic Pt uptake and nanoparticle formation in *Medicago sativa* and *Brassica juncea*. *Journal of Nanoparticle Research*, 12(8), 3087–3095. <https://doi.org/10.1007/s11051-010-9904-7>

4. Bhatia, C. R. (1967). Modification of X-ray sensitivity by metal ions in *Crotalaria intermedia* seeds. *Radiation Botany*, 7(3), 161–165. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0033-7560\(67\)80015-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0033-7560(67)80015-2)

5. Biswas, S., & Matsuo, T. (1966). Protective and recovery effects of chemicals on plant growth, chromosome aberration and mutation in irradiated seed of crop plants. *Radiation Botany*, 6(6), 575–587. [https://doi.org/10.1016/S0033-7560\(66\)80106-0](https://doi.org/10.1016/S0033-7560(66)80106-0)

6. Božič, M., & Kokol, V. (2008). Ecological alternatives to the reduction and oxidation processes in dyeing with vat and sulphur dyes. *Dyes and Pigments*, 76(2), 299–309. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2006.05.041>

7. Chen, X., Zhang, R., Xing, Y., Jiang, B., Li, B., Xu, X., & Zhou, Y. (2021). The efficacy of different seed priming agents for promoting sorghum germination under salt

Сіненко Б. В.

stress. *PLoS ONE*, 16(1 January), 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245505>

8. Conger, B. V. (1975). Radioprotective effects of ascorbic acid in barley seeds. *Radiation Botany*, 15(1), 39–48. [https://doi.org/10.1016/s0033-7560\(75\)80013-5](https://doi.org/10.1016/s0033-7560(75)80013-5)

9. Conger, B. V. (1973). The effects of ascorbic acid and sodium azide on seedling growth of irradiated and non-irradiated barley seeds. *Radiation Botany*, 13(6), 375–379. [https://doi.org/10.1016/S0033-7560\(73\)90176-2](https://doi.org/10.1016/S0033-7560(73)90176-2)

10. Duarte, G. T., Volkova, P. Y., Fiengo Perez, F., & Horemans, N. (2023). Chronic Ionizing Radiation of Plants: An Evolutionary Factor from Direct Damage to Non-Target Effects. *Plants*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/plants12051178>

11. Georgieva, M., & Vassileva, V. (2023). Stress Management in Plants: Examining Provisional and Unique Dose-Dependent Responses. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(5105), 1–25.

12. Gillet, C., Lennes, G., & Bacq, Z. M. (1963). Action Radioprotectrice de Chlorures Alcalino-terreux (BeCl₂, SrCl₂ et BaCl₂) Sur La Croissance de L'orge. *International Journal of Radiation Biology and Related Studies in Physics, Chemistry and Medicine*, 7(4), 395–399.

<https://doi.org/10.1080/09553006314551331>

13. Gruszka, D., Szarejko, I., & Maluszynski, M. (2012). Sodium Azide as a Mutagen. In Q. Y. Shu, B. P. Forster, & H. Nakagawa (Eds.), *Plant Mutation Breeding and Biotechnology* (pp. 159–166). CABI. <https://doi.org/10.13140/2.1.2105.8560>

14. Gudkov, S. V., Grinberg, M. A., Sukhov, V., & Vodeneev, V. (2019). Effect of ionizing radiation on physiological and molecular processes in plants. *Journal of Environmental Radioactivity*, 202, 8–24. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.02.001>

15. Hazama, Y., Hazama, K., & Ehrenberg, L. (1963). The influence of paramagnetic ions on the radiation sensitivity of plant seeds. *Radiation Botany*, 3(1), 7–18. [https://doi.org/10.1016/0033-7560\(63\)90003-6](https://doi.org/10.1016/0033-7560(63)90003-6)

16. Held, K. D., & Powers, E. L. (1980). Sensitization to X-rays of transforming DNA by Ag⁺. *International Journal of Radiation*

Biology and Related Studies in Physics, Chemistry, and Medicine, 38(3), 293–307. <https://doi.org/10.1080/09553008014551661>

17. Hossein pour, A., Tosun, M., & Haliloglu, K. (2022). Mutagenic effects of sodium azide on in vitro mutagenesis, polymorphism and genomic instability in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Molecular Biology Reports*, 49(7), 10165–10174. <https://doi.org/10.1007/s11033-022-07896-y>

18. Hullo, M., Grall, R., Perrot, Y., Mathé, C., Ménard, V., Yang, X., Lacombe, S., Porcel, E., Villagrasa, C., Chevillard, S., & Bourneuf, E. (2021). Radiation Enhancer Effect of Platinum Nanoparticles in Breast Cancer Cell Lines: In Vitro and In Silico Analyses. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(9), 1–18. <https://doi.org/10.3390/ijms22094436>

19. Jahan, R., Malik, S., Ansari, S., & Khan, S. (2020). Evaluation of Optimal Doses for Gamma Rays and Sodium Azide in Linseed Genotypes. *Agricultural Science Digest*, 41, 207–210. <https://doi.org/10.18805/ag.D-5165>

20. Keisham, M., Mukherjee, S., & Bhatla, S. C. (2018). Mechanisms of Sodium Transport in Plants-Progresses and Challenges. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(3). <https://doi.org/10.3390/ijms19030647>

21. Khan, S., Al-Qurainy, F., & Anwar, F. (2009). Sodium Azide: a Chemical Mutagen for Enhancement of Agronomic Traits of Crop Plants. *Environment & We an International Journal of Science & Technology*, 4(1), 1–21.

22. Kleinhofs, A., Kleinschmidt, M., Sciaky, D., & Von Broembsen, S. (1975). Azide mutagenesis. In vitro studies. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 29(3), 497–499. [https://doi.org/10.1016/0027-5107\(75\)90069-X](https://doi.org/10.1016/0027-5107(75)90069-X)

23. Lunec, J., & Parker, R. (1980). The Influence of pH on the Enhancement of Radiation Damage by Hyperthermia. *International Journal of Radiation Biology and Related Studies in Physics, Chemistry and Medicine*, 38(5), 567–574. <https://doi.org/10.1080/09553008014551381>

24. Osterrieth, P. M. (1963). Induction par les Rayons X de la Destruction de L'acide Désoxyribonucléique d'Escherichia Freundii Induction par les Rayons X de la Destruction de

Сіненко Б. В.

L'acide Désoxyribonucléique d'Escherichia Freundii. *International Journal of Radiation Biology and Related Studies in Physics, Chemistry and Medicine*, 6(3), 289–296. <https://doi.org/10.1080/09553006314550361>

25. Sideris, E. G., Nilan, R. A., & Bogyo, T. P. (1973). Differential effect of sodium azide on the frequency of radiation-induced chromosome aberrations vs. the frequency of radiation-induced chlorophyll mutations in *Hordeum vulgare*. *Radiation Botany*, 13(6), 315–322. [https://doi.org/10.1016/s0033-7560\(73\)90057-4](https://doi.org/10.1016/s0033-7560(73)90057-4)

26. Song, J. Y., Kwon, E.-Y., & Kim, B. S. (2010). Biological synthesis of platinum nanoparticles using *Diopyros kaki* leaf extract. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 33(1), 159–164. <https://doi.org/10.1007/s00449-009-0373-2>

27. Stadler, L. J. (1928). Mutations in barley induced by X-rays and radium. *Science*, 68(1756), 186–187. <https://doi.org/10.1126/science.68.1756.186>

28. Szumiel, I. (1978). Requirements for Potentiation of Radiation Effect by a Platinum Complex. *International Journal of Radiation Biology and Related Studies in Physics, Chemistry and Medicine*, 33(6), 605–608. <https://doi.org/10.1080/09553007814550531>

29. Yafizham, & Herwibawa, B. (2018). The effects of sodium azide on seed germination and seedling growth of chili pepper (*Capsicum annum* L. cv. Landung). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 102(1), 12052. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/102/1/012052>

EFFECT OF INORGANIC CHEMICALS ON RADIORESISTANCE OF SEEDS

B. Sinenko

Abstract. Ionic inorganic compounds can affect the radioresistance of plant. There are many studies describing the effects of certain compounds and trying to explain the mechanism of their action. However, a review of modern research showed a need for a comprehensive analysis of concentrations and effects of ionic compounds on plant seeds. In this regard, our study aimed to condense and structure this material for better understanding. The result of the work was a table of the effects of the interactions of cations and anions during the seeds treatment before irradiation with X-ray and γ -radiation. Also, the main regularities in the behavior of ionic salts were briefly outlined with examples of their application. Thus, halides of alkali and alkaline earth metals have a solid radioprotective effect. The effect of sulfates and divalent metals depends on their concentration and interaction with cellular structures. Nitrates of heavy metals and azides negatively affected the radioresistance of plant seeds. The effect of cations depends mainly on chemical and physiological properties. At the same time, metal complexes with a high proton number can act as sensitizers due to the physical effects of the products of the physiological metabolism of plants. Based on the analyzed data, it can be concluded that the influence of simple inorganic salts requires additional attention and in-depth research. In the future, studying the effect of their application can help in understanding the general rules of the radioprotection of plants. And also in the fundamental understanding of the relationship between the soil solution of salts on saline soils and its effect on the radioresistance of plants in the early stages of development.

Keywords: seeds, plants, inorganic substances, ions, X-ray, γ -radiation

Ілленко В. В., Волкогон І. В., Бордюг О. А., Клепко А. В., Лазарєв М. М., Гудков І. М.

УДК 631.461:579.64, 57.043::539.1]:579.22, 574::539.1.04, 504.5:628.4.047:631.466

ЦЕЛЮЛОЗОРУЙНУЮЧА АКТИВНІСТЬ ҐРУНТОВОЇ МІКРОФЛОРИ ЗА ВПЛИВУ РІЗНИХ РІВНІВ РАДІОНУКЛІДНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

В. В. ІЛЛЕНКО, кандидат біологічних наук, старший викладач,

<https://orcid.org/0000-0002-0058-0442>

E-mail: illienko@nubip.edu.ua

І. В. ВОЛКОГОН, аспірант*, <https://orcid.org/0000-0003-2987-2235>

О. А. БОРДЮГ, магістрант†

А. В. КЛЕПКО, доктор біологічних наук, старший науковий співробітник,
завідувач кафедри загальної екології, радіобіології та безпеки життєдіяльності

<http://orcid.org/0000-0002-7061-453X>

М. М. ЛАЗАРЄВ, кандидат біологічних наук, доцент,

<https://orcid.org/0000-0001-6286-0063>

І. М. ГУДКОВ, доктор біологічних наук, професор,

<http://orcid.org/0000-0003-3297-6190>

Національний університет біоресурсів і природокористування України

[https://doi.org/10.31548/dopovidi3\(103\).2023.004](https://doi.org/10.31548/dopovidi3(103).2023.004)

Анотація. Отримані результати щодо впливу різних рівнів радіоактивного забруднення ґрунту на мікробіоту і целюлозоруйнуючу мікрофлору. Стан вказаної мікрофлори є одним із показників загальної активності мікроорганізмів ґрунту та характеризує трансформацію органічної речовини та залучення важкодоступних форм вуглецю в біологічний кругообіг чи вивільнення в атмосферу. У віддалений період після Чорнобильської радіаційної аварії постає і вирішується проблема використання у народному господарстві радіоактивно забруднених територій та повернення до господарської діяльності земель, що були виведені з обігу у 1991–1996 рр. за радіологічними показниками.

Під час проведення наукової роботи, нами були використані наступні методи дослідження – спектрометричний та радіохімічний аналіз, мікробіологічні, агрохімічні, статистичні.

Для проведення польових досліджень у зоні безумовного (обов'язкового) відселення та зоні відчуження ЧАЕС обрано та обстежено по одному полігону в межах яких, за результатами радіологічного та агрохімічного аналізу, визначені місця закладки рослинного матеріалу. Для полігонів відмічений значний градієнт за радіологічними показниками та забезпечено максимально можливе дотримання однорідності агрохімічних характеристик ґрунту. Радіаційний фон коливається в

* науковий керівник – доктор біологічних наук, професор І. М. Гудков

† науковий керівник – кандидат біологічних наук, старший викладач В. В. Ілленко

Іллєнко В. В., Волкогон І. В., Бордюг О. А., Клепко А. В., Лазарєв М. М., Гудков І. М.

межах від $0,13 \pm 0,01$ до $34,8 \pm 0,5$ мкЗв/год. Питома радіоактивність ґрунту цих полігонів характеризується такими параметрами: за ^{137}Cs – від 600 ± 45 до 203800 ± 4100 Бк/кг, за ^{90}Sr – від 33 ± 4 до 34000 ± 300 Бк/кг. Розрахунок потужності поглинутих доз на мікробіоту показав на 1-му полігоні максимальні значення до $1,57$ мкГр/год, на 2-му полігоні – до $84,00$ мкГр/год. Отримано дані щодо целюлозолітичної активності мікроорганізмів ґрунту обох полігонів, виконано розрахунок коефіцієнтів ТВІ-індексу та оцінено чисельність мікроорганізмів ґрунту за результатами посіву ґрунтової суспензії на поживні середовища.

Ключові слова: ґрунтова мікрофлора, забруднена радіонуклідами територія, питома активність радіонукліду, ^{137}Cs , ^{90}Sr

Актуальність. Вивчення стану мікроорганізмів ґрунту на радіоактивно забруднених територіях (у тому числі з великим радіаційним навантаженням) знаходиться на початковому рівні, навіть не зважаючи на інтенсивний розвиток таких досліджень після радіаційної аварії у Японії групою дослідників з Університету Токіо під керівництвом професора Т. Такахаші (Tadao Takahashi).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Слід відмітити, що в Україні спробу дати комплексну оцінку стану мікробного ценозу в ґрунтах, забруднених радіонуклідами внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС, було здійснено З.В. Калашніковою та ін. (1996), Л. В. Григор'євою та ін. (1999). Вони визначали чисельність певних груп мікроорганізмів: автохтонну й алохтонну мікрофлору, серед яких, головним чином, були представлені амоніфікатори та нітрифікатори [1, 2].

Було відзначено зменшення кількості фізіологічних груп мікроорганізмів при збільшенні щільності забруднення понад 10 Ки/км^2 (555 кБк/м^2). І.К. Кравченко та ін. (1999) реєстрували значне зниження кількості ґрунтових бактерій у забруднених радіонуклідами ґрунтах, яке позитивно корелювало зі зменшенням радіусу від ЧАЕС [3].

За даними літератури дослідження були спрямовані в основному на вивчення потенціалу мікроорганізмів щодо перетворення фізико-хімічних форм радіоактивних речовин [4–6]. Так, велику увагу приділяють мікроорганізмам, виділеним з уранових шахт, та інших природних середовищ з підвищеним вмістом радіонуклідів. Дослідженнями провідної наукової групи під керівництвом Ейвері та співавторів з 1992 по 1999 рр. було зібрано і детально описано різні шляхи фізико-хімічного перетворення сполук цезію і стронцію, що відбуваються під дією

Іллєнко В. В., Волкогон І. В., Бордюг О. А., Клепко А. В., Лазарєв М. М., Гудков І. М.

мікробіоти [7–11]. Поряд з мікроорганізмами, істотний вплив на руйнування целюлозовмісних органічних сполук мають мікроміцети. Вплив підвищених доз іонізуючого опромінення на метаболізм мікроміцетів і зміни в їх популяціях була детально досліджена групою Н.М. Жданової (1999), а пізніше і Т.І. Тугай (2005). Дослідники показали підвищення синтезу меланіну, радіотропізм та стимуляцію розвитку мікроміцетів під впливом іонізуючого випромінювання [4, 12].

ТВІ-індекс за даними Keuskamp et al., 2013 [13] є найбільш чутливим до зміни природно кліматичних умов. Вони у своїй роботі показали, що значення k збільшувались зі збільшенням середніх значень річної температура та кількості опадів у відповідності до загального зростання швидкості розкладання рослинного матеріалу. Разом з тим, значення S зменшувались разом зі зниженням середньорічної температури та кількості опадів. За очікуваннями авторів, S повинен зростати для територій, що мають ґрунтовий покрив з високим потенціалом поглинання вуглецю. Були отримані наступні закономірності: S був низьким у тропічних лісах, мав проміжні значення в лісі на гумусових ґрунтах і високі на торфовищах, що акумулюють вуглець. Також

відмічено, що S був нижчим для ділянок з вищою температурою.

Peñalver-Alcalá et al., 2021 [14] відмітили зростання k від 0,004 до 0,016 для забруднених важкими металами хвостосховищ за використання рослинних решток та компосту як меліоранту. Аналізуючи низку інших параметрів ґрунту, автори дійшли висновку про підвищення функціональної здатності ґрунту. Kulagowski et al., 2021 [15] досліджували вплив різних методів обробітку ґрунту на його родючість та загальний функціональний стан та відзначили, що зростання k може слугувати індикатором покращення біологічної активності ґрунту.

Метод ТВІ набуває все ширшої популярності, як додатковий інструмент аналізу функціонального стану ґрунту. Хоча найбільшу чутливість зміни коефіцієнтів ТВІ-індексу мають до ґрунтово-кліматичних умов, але в своїх роботах науковці часто використовують його для дослідження різноманітних техногенно-змінених екосистем та відмічають зміну коефіцієнтів ТВІ-індексу у відповідь на дію різноманітних чинників. В нашому дослідженні цим чинником є забруднення штучними радіоактивними ізотопами.

Мета дослідження полягає у вивченні стан целюлозоруйнуючої

Іллєнко В. В., Волкогон І. В., Бордюг О. А., Клепко А. В., Лазарєв М. М., Гудков І. М.

мікрофлори радіоактивно забруднених ґрунтів Українського Полісся та оцінити її активність за різних рівнів іонізуючого випромінювання.

Матеріали і методи дослідження. На обраних ділянках був проведений відбір зразків ґрунту для визначення поточного рівня радіонуклідного забруднення, заміри рівня гамма-фону (дозиметром-радіометром РКС-01 «СТОРА-ТУ»). У підготовлених пробах ґрунту питому активність ^{137}Cs визначали за допомогою γ -спектрометрії (СЕГ-001 “АКП-С”-63), ^{90}Sr виділяли з проб за допомогою радіохімічних методів [16], а його активність потім вимірювали шляхом β -спектрометрії (СЕБ-01-70). Для визначення швидкості процесів розкладання органічної речовини мікрофлорою використано стандартизований у світовій практиці метод Tea Bag Index (TBI) [13]. Суть методу полягає у використанні чайних пакетиків ТМ Lipton двох видів – зеленого чаю (EAN8714100770542) та ройбушу (EAN8722700188438), як стандартизованого рослинного матеріалу. Пакетики зважували на електронних вагах (AXIS ADG200C) та маркували, потім закопували в ґрунт на глибину 8 см і залишали на 90 днів. Після завершення експозиції, пакетики діставали, обережно та ретельно очищували від залишків ґрунту, висушували в сушильній шафі за

температури 70 °С 48 годин і повторно зважували чай. Отримані дані використали для розрахунку параметрів ТВІ-індексу: коефіцієнту розкладання (k) та коефіцієнту стабілізації (S) [13]. Визначення потужності поглиненої дози для мікроорганізмів ґрунту в місцях закладки рослинного матеріалу проводили згідно з рекомендаціями [17]. Після того як в лабораторії було визначено питому активність радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у ґрунті, провели розрахунок дозового навантаження зовнішнього γ - і β -випромінювання у 10 см шарі ґрунту для кожного радіонукліда окремо та визначили сумарну потужність поглинутої дози. Коефіцієнти дозового перетворення для ^{137}Cs по γ -випромінюванню – $4,82\text{E-}03$ (мкГр/добу)/Бк/кг_{ґрунту}, по β -випромінюванню відповідно – $2,47\text{E-}03$ (мкГр/добу)/Бк/кг_{ґрунту}. Коефіцієнти дозового перетворення для $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$ по β -випромінюванню – $1,56\text{E-}02$ (мкГр/добу)/Бк/кг_{ґрунту}. Активність мікробіологічних процесів та загальну чисельність мікроорганізмів у ґрунті визначали за загальноприйнятими мікробіологічними методами [18]. Досліди проводили у триразовій повторності, статистичне опрацювання отриманих результатів виконували з використанням пакетів програм MS Excel 2016 та STATISTICA 10.

Іллєнко В. В., Волкогон І. В., Бордюг О. А., Клепко А. В., Лазарєв М. М., Гудков І. М.

Результати досліджень та їх обговорення. Були обрані два дослідні полігони – перший на межі з зоною Відчуження (Народицький район, Житомирська область) В межах цього полігону виділені три точки закладання рослинного матеріалу та відбору зразків ґрунту: Народичі Min – N51,24076°, E29,21497°; Народичі Med – N51,24029°, E29,22043°; Народичі Max – N51,23815°, E29,22245°. Другий полігон обрали безпосередньо в зоні

Відчуження Чорнобильської АЕС (ЧЗВ). На другому полігоні виділені дві точки закладання рослинного матеріалу та відбору ґрунту: ЧЗВ Min – N51,38595°, E30,03035°; ЧЗВ Max – N51,38231°, E30,03298°. Обидва полігони характеризуються достатньо значимим градієнтом радіонуклідного забруднення та мають ґрунт однорідний за агрохімічними показниками таблиця 1.

1. Агрохімічна характеристика точок для закладки рослинного субстрату на полігонах

Агрохімічні показники	1-й полігон			2-й полігон	
	Народичі Min	Народичі Med	Народичі Max	ЧЗВ Min	ЧЗВ Max
кислотність обмінна (рН _{KCl})	6,2±0,05	6,2±0,02	6,3±0,5	4,0±0,3	5,0±0,7
кислотність гідролітична (Н _г), мг-екв/100 г ґрунту	1,23±0,04	1,23±0,03	1,25±0,04	2,1±0,25	2,3±0,27
сума ввібраних основ, мг-екв/100 г ґрунту	8,7±1,3	9,5±0,7	9,8±0,8	7,7±0,5	8,5±0,7
рухомі фосфати, мг/кг ґрунту (за Кірсановим)	428±90	434±20	444±59	76±11	50±8
обмінний калій, мг/кг ґрунту (за Кірсановим)	164±18	161±20	196±78	29±8	35±9
гумус, %	2,3±0,1	2,6±0,2	2,7±0,1	1,2±0,2	0,9±0,1
азот легко-гідролізований, мг/кг	75±8	80±11	81±2	н/д	н/д
нітратний азот мг/кг	6,2±4,1	7,5±4,3	5,4±3,5	н/д	н/д
загальний азот, %	0,09±0,01	0,1±0,02	0,09±0,01	н/д	н/д

Результати визначення радіологічних характеристик обраних експериментальних полігонів наведені у таблиці 2.

Отримані результати, свідчать, що на обох полігонах дотримано умови проведення експерименту, а саме – наявність достовірного градієнту радіоактивного забруднення ґрунту.

Питома активність радіонуклідів у різних точках відрізняється у рази і, логічно, що доза опромінення ґрунтової мікрофлори буде відрізнятися у рази. Такий градієнт радіологічної характеристики дозволить оцінити результати саме впливу радіаційної ситуації на активність целюлозоруйнуючих

Ілленко В. В., Волкогон І. В., Бордюг О. А., Клепко А. В., Лазарєв М. М., Гудков І. М.

мікроорганізмів як такі, що обумовлені
переважно радіологічними
характеристиками.

2. Радіологічна характеристика точок для закладки рослинного субстрату на дослідних полігонах

Точка відбору проби	Потужність еквівалентної дози γ -випромінювання, мкЗв/год	Питома активність ^{137}Cs у ґрунті, Бк/кг	Питома активність ^{90}Sr у ґрунті, Бк/кг	Сумарна потужність поглинутої дози, мкГр/год ($^{137}\text{Cs}+^{90}\text{Sr}$)
Народичі Min	$0,13\pm 0,01$	600 ± 45	33 ± 4	0,20
Народичі Med	$0,41\pm 0,03$	2900 ± 80	180 ± 15	1,00
Народичі Max	$0,74\pm 0,04$	4600 ± 110	270 ± 12	1,57
ЧЗВ Min	$1,7\pm 0,04$	10400 ± 200	800 ± 100	3,68
ЧЗВ Max	$34,8\pm 0,5$	203800 ± 4100	34000 ± 300	84,00

На 2-му полігоні в зоні відчуження визначені місця з більш високим рівнем забруднення радіонуклідами. При цьому різниця в потужності поглинутої дози для точки з найнижчим рівнем забруднення 1-го полігону та точки з найвищим рівнем забруднення 2-го полігону сягає більше, ніж 420 разів.

Були отримані результати активності целюлозоруйнуючих

мікроорганізмів у радіоактивно забрудненому ґрунті для 1-го полігону. Так, розраховані коефіцієнти S та k для зразків чаю (рис. 1), що були в ґрунті 88 днів (з жовтня по січень 2021р.) при найнижчій активності радіоактивних ізотопів складають $0,588\pm 0,020$ та $0,0105\pm 0,0026$, при середній активності – $0,494\pm 0,001$ та $0,0175\pm 0,0059$, та при найвищій активності – $0,456\pm 0,032$ та $0,0113\pm 0,0006$ відповідно.

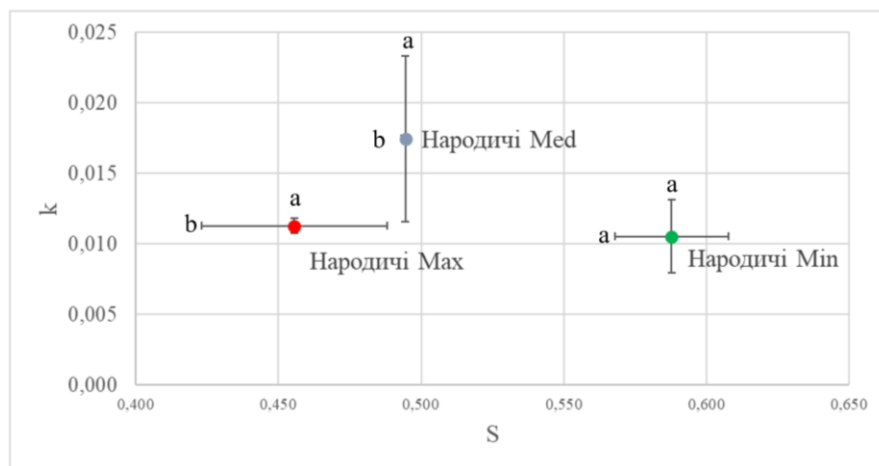


Рис. 1. Параметри ТВІ-індексу 1-го полігону

Примітка. Тут і далі: букви a, b, c, d позначають належність варіантів до різних гомогенних рядів за методом Фішера при $p \leq 0,05$. Порівнювати треба кожний коефіцієнт окремо.

Іллєнко В. В., Волкогон І. В., Бордюг О. А., Клепко А. В., Лазарєв М. М., Гудков І. М.

Для 2-го полігону при найнижчій активності $0,463 \pm 0,035$ та $0,008 \pm 0,001$ (рис. 2).
та при найвищій активності – $0,486 \pm 0,058$ та $0,007 \pm 0,002$ відповідно (рис. 2).

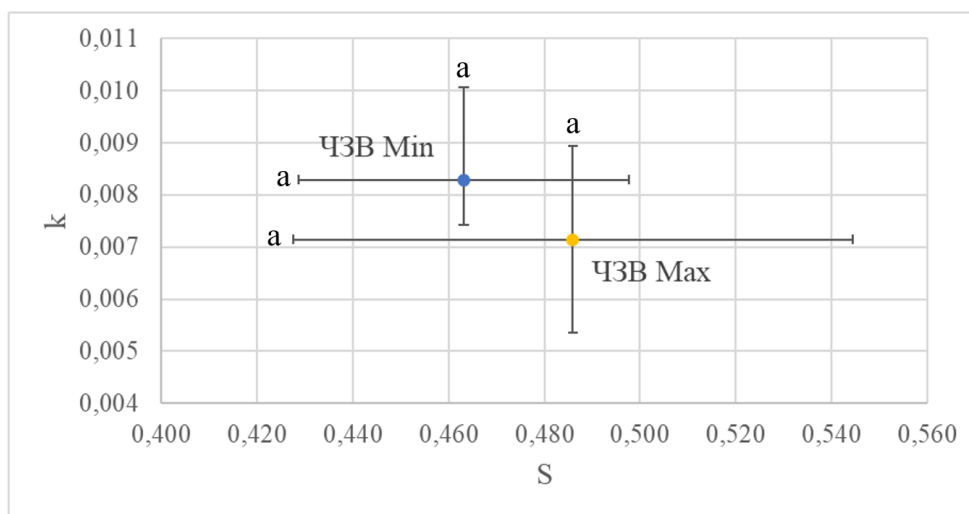


Рис. 2. Параметри ТВІ-індексу 2-го полігону

З отриманих нами даних бачимо, що зафіксовані зміни коефіцієнтів ТВІ-індексу для 1-го полігону підтверджують вплив іонізуючого випромінювання на активність мікрофлори ґрунту (рис. 1). Найвищу активність розкладання зафіксовано на ділянці з найвищим рівнем радіонуклідного забруднення (рис. 3). Разом з тим ці процеси потребують подальшого дослідження, зокрема аналізу зразків з другого полігону зі значно вищими рівнями забруднення. Хоча з уже отриманих даних видно, що вплив іонізуючого випромінювання на целюлозоруйнуючу мікрофлору ґрунту за досліджуваних рівнів забруднення радіонуклідами не є основним

чинником. Домінуючий вплив здійснює температура та вологість. Рівні забруднення 1-го полігону мають ознаки стимуляції целюлозоруйнуючої активності мікрофлори.

Аналізуючи отримані результати щодо целюлозоруйнуючої активності на 1-му полігоні (рис. 3), варто відмітити, що при однакових ґрунтово-кліматичних умовах, найінтенсивніше процес розкладання рослинного матеріалу проходив у точці з найвищим рівнем забруднення (Народичі Max). Щодо розкладання більш стійкого субстрату – ройбушу, то видно найнижчу швидкість розкладання у точці Народичі Min.

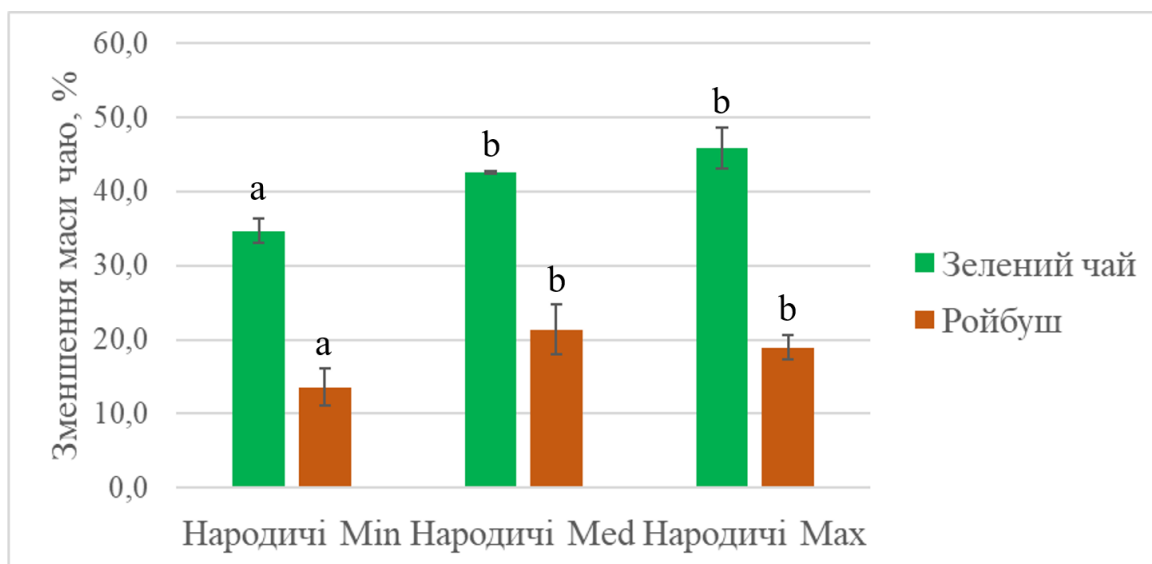


Рис. 3. Інтенсивність розкладання рослинного матеріалу на дослідних ділянках 1-го полігону

Що ж до результатів ще двох точок зони відчуження Чорнобильської АЕС, то як видно з рис. 4 для зеленого чаю інтенсивність розкладання знаходиться на рівні з точкою Народичі Max. А інтенсивність розкладання ройбушу була дещо нижчою. Порівняння результатів з двох полігонів є не зовсім коректне, адже вони мають різні ґрунтово-кліматичні умови. А як відомо, то саме вони є визначними у зміні швидкості процесів розкладання. Хоча, з отриманих результатів можна констатувати – радіонуклідне забруднення також вносить зміни у досліджуваний процес. Проте вплив цього фактору не є визначальним, а більш сильно впливає, наприклад, вологість, температура та наявність доступних поживних елементів в ґрунті. Хоча порівнювати значення

коефіцієнтів ТВІ-індексу ми можемо лише в межах одного полігону. Для полігону в зоні відчуження Чорнобильської АЕС потрібно підбір додаткових точок для закладання рослинного матеріалу для одержання додаткових даних.

Для 1-го полігону проведено облік чисельності мікроорганізмів на різних селективних середовищах. Чисельність представників усіх еколого-трофічних груп мікроорганізмів (посів на ґрунтовому агарі, середовищі Чапека, Імшенецького-Солнцевої, Муромцева, Ешбі та Гільтая) є найвищою у варіанті з найвищою радіоактивністю (за виключенням амоніфікаторів). На другому місці за чисельністю більшості досліджених мікроорганізмів – варіант з найнижчою радіоактивністю і найменшу

Іллєнко В. В., Волкогон І. В., Бордюг О. А., Клепко А. В., Лазарєв М. М., Гудков І. М.

чисельність відмічено для варіанту з проміжною радіоактивністю (табл. 3).

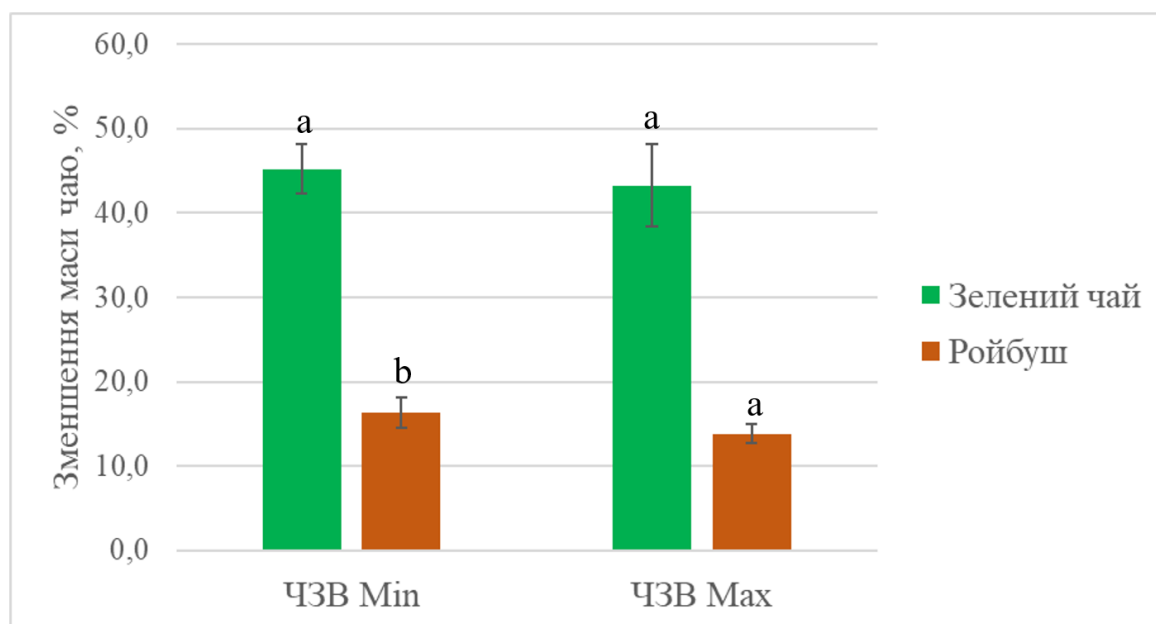


Рис. 4. Інтенсивність розкладання рослинного матеріалу на дослідних ділянках 2-го полігону

3. Облік чисельності мікроорганізмів ґрунту 1-го полігону, тис./г

Точки відбору проби	Народичі Min	Народичі Med	Народичі Max
Мікроорганізми			
що засвоюють переважно органічний азот (амоніфікатори) (середовище МПА)	3800±195	6950±450	2367±381
що засвоюють переважно мінеральні сполуки азоту (середовище КАА)	2167±150	900±83	7867±470
гриби (середовище Чапека)	120,0±0,090	33,3±0,004	433,0±0,310
оліготрофи (ґрунтовий агар)	933±22	277±13	2280±184
що розчиняють мінералофосфати (середовище Муромцева)	433	400	2533
азотфіксатори (середовище Ешбі)*	0,459	0,459	45,000
денітрифікатори (середовище Гільтая)*	2500	950	25000
целюлозоруйнівні бактерії (середовище Імшенецького-Солнцевої)*	0,459	0,450	95,000

*) облік мікроорганізмів на рідких середовищах (Імшенецького-Солнцевої, Гільтая) і напіврідких (Ешбі) передбачає процедуру визначення чисельності за методом граничних розведень і таблицями Мак-Креді, які розроблено за використання статистичних методів, тож статистична обробка результатів не потрібна

Іллєнко В. В., Волкогон І. В., Бордюг О. А., Клепко А. В., Лазарєв М. М., Гудков І. М.

Найвищу активність біологічних процесів (емісія CO_2 , потенційна активність денітрифікації, потенційна активність азотфіксації, співвідношення $\text{N}_2\text{O}/\text{CO}_2$) спостерігали у зразку з найвищим рівнем радіонуклідного забруднення. У пробі з середнім рівнем забруднення відмітили найменшу активність процесів. Отримані результати дозволяють припустити, що у варіанті

з середнім рівнем радіонуклідного навантаження процеси або приглушені, або ж у варіанті з найвищим рівнем забруднення вони стимулюються. Варіант з найнижчим рівнем забруднення радіонуклідами займає проміжне положення, проте більшою мірою наближається до варіанта з середнім рівнем забруднення (табл. 4).

4. Активність біологічних процесів ґрунту 1-го полігону

Точки відбору проби	Народичі Min	Народичі Med	Народичі Max
Активність процесу			
Емісія CO_2 , нмоль $\text{CO}_2/\text{г ґрунту/годину}$	764,9±7,0	730,4±16,3	839,0±26,8
Потенційна активність денітрифікації, нмоль $\text{N}_2\text{O}/\text{г ґрунту/годину}$	32,98±1,38	19,42±0,86	41,81±3,01
Потенційна активність азотфіксації, нмоль етилену/г ґрунту/годину	16,8±4,38	10,0±1,6	95,4±10,9
Співвідношення $\text{N}_2\text{O}/\text{CO}_2$ (питомі втрати N_2O на одиницю емісійного CO_2)	0,050	0,027	0,043

У таблиці 5 наведено результати обліку чисельності мікроорганізмів ґрунту на 2-му полігоні. У зв'язку з раннім відбором зразків (низькі температури повітря, що передували відбору) не було виявлено мікроорганізмів певних екологіко-трофічних груп: азотфіксатори та целюлозоруйнівні для обох точок відбору, а для точки з найвищим рівнем радіонуклідного забруднення також не було виявлено грибів на середовищі Чапека та

фосфатмобілізівних бактерій на середовищі Муромцева.

У той же час, у ґрунті з точки ЧЗВ Min доволі багато мінеральних сполук азоту, про що свідчить як кількість мікроорганізмів, що засвоюють переважно мінеральні сполуки азоту, так і чисельність денітрифікаторів (вірогідно, це наслідки минулої (літньо-осінньої) активної амоніфікації). Порівнюючи зразки, можна сказати наступне: результати даного висіву показали значну різницю у чисельності мікроорганізмів ґрунту

Іллєнко В. В., Волкогон І. В., Бордюг О. А., Клепко А. В., Лазарєв М. М., Гудков І. М.

між точками з різним рівнем вищою в точці з меншим рівнем радіонуклідного забруднення. забруднення.

Чисельність мікроорганізмів була

5. Облік чисельності мікроорганізмів ґрунту 2-го полігону, тис./г

Точки відбору проби	ЧЗВ Min	ЧЗВ Max
Мікроорганізми		
що засвоюють переважно органічний азот (амоніфікатори) (середовище МПА)	650,1±37	391,8±19
що засвоюють переважно мінеральні сполуки азоту (середовище КАА)	12826±510	45±5
гриби (середовище Чапека)	23,8±4	не виявлено
оліготрофи (ґрунтовий агар)	10246±160	6214±119
що розчиняють мінералофосфати (середовище Муромцева)	1024±92	не виявлено
азотфіксатори (середовище Ешбі)*	не виявлено	не виявлено
денітрифікатори (середовище Гільтая)*	4770	988
целюлозоруйнівні бактерії (середовище Імшенецького-Солнцевої)*	не виявлено	не виявлено

*) облік мікроорганізмів на рідких середовищах (Імшенецького-Солнцевої, Гільтая) і напіврідких (Ешбі) передбачає процедуру визначення чисельності за методом граничних розведень і таблицями Мак-Креді, які розроблено за використання статистичних методів, тож статистична обробка результатів не потрібна

Також були отримані дані по потенційною емісією CO₂), що біологічній активності ґрунту (за відображені в таблиці 6.

6. Активність біологічних процесів ґрунту 2-го полігону

Точки відбору проби	ЧЗВ Min	ЧЗВ Max
Активність процесу		
Емісія CO ₂ , нмоль CO ₂ /г ґрунту/годину	355±5,0	225±16,3

Нажаль, ще не отримані показники активності процесів азотфіксації та біологічної денітрифікації, які буде визначено пізніше. Емісія CO₂ є нижчою для точки ЧЗВ Max, що підтверджується меншою кількістю мікроорганізмів у цьому зразку за

результатами посіву на поживні середовища.

Значення коефіцієнта стабілізації (S) для 1-го полігону статистично достовірно відрізняється для точок Народичі Med і Народичі Max від значень для точки Народичі Min (рис.

Іллєнко В. В., Волкогон І. В., Бордюг О. А., Клепко А. В., Лазарєв М. М., Гудков І. М.

1). Те саме стосується і показника інтенсивності розкладання рослинного матеріалу (рис. 3): інтенсивність розкладання статистично достовірно більша у точках Народичі Мед і Народичі Мах порівняно зі значеннями для точки з найменшою радіоактивністю ґрунту. Результати обліку чисельності мікроорганізмів (табл. 3) для 1-го полігону показали найбільшу кількість практично всіх груп мікроорганізмів (крім амоніфікаторів) у точці Народичі Мах, а ось точка Народичі Мед відзначилася лише найвищою чисельністю амоніфікаторів. Активність біологічних процесів для точки Народичі Мах відмічена на найвищому рівні (табл. 4). Проаналізувавши вищезазначене, можемо припустити, що рівні радіонуклідного забруднення в точці Народичі Мах можуть бути стимулюючими для розвитку мікроорганізмів. Якщо також взяти до уваги результати визначення вмісту гумусу в ґрунті 1-го полігону, то в точці Народичі Min вміст гумусу є найнижчим – $2,3 \pm 0,1\%$. А як показують значення коефіцієнта S TVI-індексу тут ми відмічаємо найвищий на полігоні рівень накопичення органічної речовини ґрунтом. Разом з тим, ми проаналізували в даній роботі малоінтенсивний період розвитку ґрунтових мікроорганізмів протягом року – з жовтня по січень. Отже, для 1-

го полігону можна зробити висновок, що в точках з вищим рівнем радіонуклідного забруднення відмічено зниження накопичення органічної речовини в ґрунті та підвищену інтенсивність целюлозолітичних процесів за рахунок збільшення чисельності та активності ґрунтових мікроорганізмів.

Статистично достовірної різниці для точок 2-го полігону в значеннях коефіцієнтів TVI-індексу не було знайдено. Разом з тим інтенсивність розкладання рослинного матеріалу була вища для точки ЧЗВ Min (для ройбушу цей показник відрізняється статистично). Аналізуючи результати посівів ґрунтової суспензії (табл. 5), відмічаємо, що загальна чисельність мікроорганізмів та активність емісії CO_2 є вищою в точці ЧЗВ Min. Але, як бачимо з таблиці 1, вміст гумусу в точці ЧЗВ Min є також вищим, ніж у точці ЧЗВ Мах. Враховуючи достатньо високу різницю в інтенсивності радіонуклідного забруднення між точками ЧЗВ Min та ЧЗВ Мах (потужність поглинутої дози відрізняється більше, ніж у 20 разів), та результати досліджень 1-го полігону, ми припускаємо, що поглинуті дози іонізуючого випромінювання сформовані на мікроорганізми ґрунту в точках Народичі Мах та ЧЗВ Min можуть мати стимулюючий ефект на розвиток мікроорганізмів, а вищі дози

Іллєнко В. В., Волкогон І. В., Бордюг О. А., Клепко А. В., Лазарєв М. М., Гудков І. М.

(на рівні значень поглинутої дози в точці ЧЗВ Мах) пригнічують діяльність ґрунтових мікроорганізмів. Хоча активність мікрофлори зберігається за всіх досліджуваних нами рівнів радіонуклідного забруднення ґрунту.

Робота продовжується в даному напрямку і вже підібрані додаткові точки та проведена закладка рослинного матеріалу.

Висновки і перспективи. У зоні безумовного (обов'язкового) відселення та зоні відчуження Чорнобильської АЕС відібрано та обстежено перед закладанням рослинного матеріалу по одному полігону. Обидва полігони характеризуються градієнтом радіонуклідного забруднення та відносною однорідністю агрохімічних характеристик ґрунту та однаковими кліматичними умовами в межах кожного окремого полігону.

Розрахунок потужності поглинутих доз показав, що в залежності від активності радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у ґрунті максимальні сумарні потужності поглинутої дози для мікрофлори дорівнювали: на 1-му полігоні – 1,57 мкГр/год, на 2-му полігоні – 84,00 мкГр/год. Зафіксовані

зміни коефіцієнтів целюлозолітичної активності мікрофлори (ТВІ) підтверджують вплив іонізуючого випромінювання на активність мікрофлори ґрунту.

За результатами аналізу даних з 1-го полігону відмічено, що в точках з вищим рівнем радіонуклідного забруднення відбувається зниження накопичення органічної речовини в ґрунті та підвищену інтенсивність целюлозолітичних процесів за рахунок збільшення чисельності та активності ґрунтових мікроорганізмів.

Розрахована потужність поглинутої дози іонізуючого випромінювання на мікроорганізми ґрунту в межах від 1,00 до 3,68 мкГр/год нами вбачається як стимулююча, а дози вище 84,00 мкГр/год навпаки пригнічують розвиток мікроорганізмів. Проте, за отриманими нами результатами поки ми не можемо говорити про більш чітку межу поглинутої дози іонізуючого випромінювання при якій стимуляція розвитку мікрофлори переходить у пригнічення. Плануємо вирішення цього питання у подальших дослідженнях.

ПОДЯКА

Автори висловлюють подяку Національному фонду наукових досліджень України за підтримку цієї роботи в рамках проекту НФДУ №200/01/0489 «Целюлозоруйнуюча активність мікрофлори ґрунтів Українського Полісся в

Іллєнко В. В., Волкогон І. В., Бордюг О. А., Клепко А. В., Лазарєв М. М., Гудков І. М.

умовах радіоактивного забруднення та її участь у ґрунтоутворюючих процесах (включаючи пірогенно трансформовані ґрунти».

Список використаних джерел

1. Григор'єва Л. В., Корчак Г. И., Єрусалимська Л. Ф. Вплив різних рівнів радіаційного забруднення ґрунту на індикаторні та патогенні мікроорганізми. Довкілля та здоров'я. 1999. № 1. С. 53–56.

2. Калашникова З. В., Корчак Г. И., Карачев И. И. та ін. Оценка доступности радионуклидов растениям при разных условиях жизнедеятельности микробиоценозов почвы. Проблемы Чернобыльской зоны отчуждения. 1996. Т. 3. С. 168–174.

3. Кравченко И. К., Семенов А. М., Дедыш С. Н. та ін. Анализ природных популяций микроорганизмов в почвах, подвергнутых воздействию аварии на ЧАЭС. Биоиндикация радиоактивных загрязнений. М.: Наука, 1999. С. 313–322.

4. Жданова Н. Н., Василевская А. И., Захарченко В. О. Микромицеты почв, загрязненных в результате чернобыльской катастрофы, и их вклад в процессы миграции радионуклидов. Биоиндикация радиоактивных загрязнений. М.: Наука, 1999. С. 352–356.

5. Кравець О. П. Радіологічні наслідки радіоактивного забруднення агроценозів" Логос, 2008. 241 с.

6. Жданова Н. Н., Лашко Т. Н., Редчиц Т. И. и др. Взаимодействие почвенных микромицетов с "горячими" частицами в модельной системе. Микробиол. журн. 1991. 53(4). С. 9 – 17.

7. Avery S. V. Caesium accumulation by microorganisms: Uptake mechanisms, cation competition, compartmentalization and toxicity. Journal of Industrial Microbiology. 1995. 14(2). P. 76–84. <https://doi.org/10.1007/BF01569888>

8. Avery S. V. Fate of caesium in the environment: Distribution between the abiotic and biotic components of aquatic and terrestrial ecosystems. Journal of Environmental

Radioactivity. 1996. 30(2). P. 139–171. [https://doi.org/10.1016/0265-931X\(96\)89276-9](https://doi.org/10.1016/0265-931X(96)89276-9)

9. Avery S. V., Codd G. A., & Gadd G. M. Y. Transport kinetics, cation inhibition and intracellular location of accumulated caesium in the green microalga *Chlorella salina*. Microbiology. 1993. 139(4). P. 827–834. <https://doi.org/10.1099/00221287-139-4-827>

10. Avery S. V., Smith S. L., Ghazi A. M., & Hoptroff M. J. Stimulation of Strontium Accumulation in Linoleate-Enriched *Saccharomyces cerevisiae* Is a Result of Reduced Sr^{2+} Efflux. Applied and Environmental Microbiology. 1999. 65(3). P. 1191–1197.

11. Avery S. V., & Tobin J. M. Mechanisms of strontium uptake by laboratory and brewing strains of *Saccharomyces cerevisiae*. Applied and Environmental Microbiology. 1992. 58(12). P. 3883–3889.

12. Тугай Т. И., Жданова Н. Н., Желтоножский В. А. та ін. Ответные реакции грибов, выделенных из различных по уровню радиоактивного загрязнения помещений объекта "Укрытие", на действие ионизирующего излучения. Збірник наукових праць інститут ядерних досліджень. 2005. С. 128–136.

13. Keuskamp J. A., Dingemans B.J.J., Lehtinen T., Sarneel J.M. and Hefting M.M. Tea Bag Index: a novel approach to collect uniform decomposition data across ecosystems. Methods Ecol. Evol. 2013. 4. P. 1070–1075. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12097>

14. Peñalver-Alcalá A., Álvarez-Rogel J., Conesa H. M., & González-Alcaraz M. N. Biochar and urban solid refuse ameliorate the inhospitality of acidic mine tailings and foster effective spontaneous plant colonization under semiarid climate. Journal of Environmental Management. 2021. 292. P. 112824. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112824>

15. Kulagowski R., Thoumazeau A., Leopold A., Lienhard P., Boulakia S., Metay A., Sturm T., Tixier P., Brauman A., Fogliani B., &

Іллєнко В. В., Волкогон І. В., Бордюг О. А., Клепко А. В., Лазарєв М. М., Гудков І. М.

Tivet F. Effects of conservation agriculture maize-based cropping systems on soil health and crop performance in New Caledonia. *Soil and Tillage Research*. 2021. 212. P. 105079. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105079>

16. ISO 18589-5:2009. International standard. Measurement of radioactivity in the environment. Soil. Part 5: Measurement of strontium-90. 2009.

17. Спирин Е. В., Пименов Е.П. Разработка дозиметрических моделей для оценки доз облучения почвенного микробоценоза и мезофауны при радиоактивном загрязнении окружающей среды. Обнинск: ВНИ-ИСХРАЭ, 2011. 55 с.

18. Експериментальна ґрунтова мікробіологія / за ред. В.В. Волкогона. К.: Аграрна наука, 2010. 464 с.

References

1. Hryhor'yeva L. V., Korchak H. Y., Yerusalymka L. F. (1999). Vplyv riznykh rivniv radiatsiynoho zabrudnennya gruntu na indykatori ta patohenni mikroorhanizmy [Influence of different levels of radiation contamination of soil on indicator and pathogenic microorganisms]. *Dovkillya ta zdorov'ya*. 1, pp. 53–56. (in Ukrainian).

2. Kalashnikova Z. V., Korchak G. I., Karachev I. I. ta ін. (1996). Otsenka dostupnosti radionuklidov rasteniyam pri raznykh usloviyakh zhiznedeiatel'nosti mikrobiotsenozov pochvy [Assessment of the availability of radionuclides to plants under different conditions of soil microbiocenoses' vital activity]. *Problemy Chernobyl'skoy zony otchuzhdeniya*. 3, pp. 168–174. (in Russian).

3. Kravchenko I. K., Semenov A. M., Dedysh S.N. ta ін. (1999). Analiz prirodnikh populyatsiy mikroorganizmov v pochvakh, podvergnutykh vozdeystviyu avarii na CHAES [Analysis of natural populations of microorganisms in soils affected by the Chernobyl accident]. *Bioindikatsiya radioaktivnykh zagryazneniy*. M. : Nauka, pp. 313–322. (in Russian).

4. Zhdanova N. N., Vasilevskaya A.I., Zakharchenko V.O. (1999). Mikromitsety pochv, zagryaznennykh v rezul'tate

chernobyl'skoy katastrofy, i ikh vklad v protsessy migratsii radionuklidov [Micromycetes of soils contaminated as a result of the Chernobyl disaster and their contribution to the migration of radionuclides]. *Bioindikatsiya radioaktivnykh zagryazneniy*. M. : Nauka, pp. 352–356. (in Russian).

5. Kravets O. P. (2008). Radiolohichni naslidky radionuklidnoho zabrudnennya ahrotsenoziv [Radiological consequences of agrocenoses radionuclide contamination]. K.: Logos. 244 p. (in Ukrainian).

6. Zhdanova N. N., Leshko T. N., Redchetz T. I. (1991). Vzaimodeystviye pochvennykh mikromitsetov s «goryachimi» chastitsami v model'nykh sistemakh [Interaction of soil micromycetes with "hot" particles in model systems]. *Microbiol. Journal*. 53(4), pp. 9–17. (in Russian).

7. Avery S. V. (1995). Caesium accumulation by microorganisms: Uptake mechanisms, cation competition, compartmentalization and toxicity. *Journal of Industrial Microbiology*. 14(2), pp. 76–84. <https://doi.org/10.1007/BF01569888>

8. Avery S. V. (1996). Fate of caesium in the environment: Distribution between the abiotic and biotic components of aquatic and terrestrial ecosystems. *Journal of Environmental Radioactivity*. 30(2), pp. 139–171. [https://doi.org/10.1016/0265-931X\(96\)89276-9](https://doi.org/10.1016/0265-931X(96)89276-9)

9. Avery S. V., Codd G. A., & Gadd G. M. Y. (1993). Transport kinetics, cation inhibition and intracellular location of accumulated caesium in the green microalga *Chlorella salina*. *Microbiology*. 139(4), pp. 827–834. <https://doi.org/10.1099/00221287-139-4-827>

10. Avery S. V., Smith S. L., Ghazi A. M., & Hoptroff M. J. (1999). Stimulation of Strontium Accumulation in Linoleate-Enriched *Saccharomyces cerevisiae* Is a Result of Reduced Sr^{2+} Efflux. *Applied and Environmental Microbiology*. 65(3), pp. 1191–1197.

11. Avery S. V., & Tobin J. M. (1992). Mechanisms of strontium uptake by laboratory and brewing strains of *Saccharomyces*

Ілленко В. В., Волкогон І. В., Бордин О. А., Клепко А. В., Лазарев М. М., Гудков І. М.

cerevisiae. Applied and Environmental Microbiology. 58(12), pp. 3883–3889.

12. Tugay T. I., Zhdanova N. N., Zheltonozhskiy V. A. та ін. (2005). Otvetyye reaktsii gribov, vydelennykh iz razlichnykh po urovnyu radioaktivnogo zagryazneniya pomeshcheniy ob'yekta [Response reactions of the fungi, isolated from inner locations of "ukrytitya", which have different levels of radioactivity]. *Scientific papers of the institute for nuclear research*. 1(14). pp. 128–136 (in Russian).

13. Keuskamp J. A., Dingemans B. J. J., Lehtinen T., Sarneel J.M. and Hefting M.M. (2013). Tea Bag Index: a novel approach to collect uniform decomposition data across ecosystems. *Methods Ecol Evol*. 4, pp. 1070–1075. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12097>

14. Peñalver-Alcalá A., Álvarez-Rogel J., Conesa H. M., & González-Alcaraz M. N. (2021). Biochar and urban solid refuse ameliorate the inhospitality of acidic mine tailings and foster effective spontaneous plant colonization under semiarid climate. *Journal of Environmental Management*. 292, pp. 112824. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112824>

15. Kulagowski R., Thoumazeau A., Leopold A., Lienhard P., Boulakia S., Metay A., Sturm T., Tixier P., Brauman A., Fogliani B., & Tivet F. (2021). Effects of conservation agriculture maize-based cropping systems on soil health and crop performance in New Caledonia. *Soil and Tillage Research*, 212, pp. 105079.

<https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105079>

16. ISO 18589-5:2009 (2009). International standard. Measurement of radioactivity in the environment. Soil. Part 5: Measurement of strontium-90.

17. Spirin Ye.V., Pimekhov Ye.P. (2011). Razrabotka dozimetricheskikh modeley dlya otsenki doz oblucheniya pochvennogo mikrobotsenoza i mezofauny pri radioaktivnom [Development of dosimetric models for assessing the radiation doses of soil microbocenosis and mesofauna in case of radioactive contamination of the environment]. Obninsk : VNIISKHRAE. 55 p. (in Russian).

18. Volkogon V.V. (2010). Eksperymental'na gruntova mikrobiologiya: Monohrafiya [Experimental soil microbiology: Monograph]. (V.V. Volkogon, Ed.). K.: Agricultural science, 464 p. (in Ukrainian).

CELLULOSE DESTRUCTIVE ACTIVITY OF SOIL MICROFLORA AT THE INFLUENCE OF DIFFERENT RADIONUCLIDE CONTAMINATION LEVELS

V. Illienko, I. Volkogon, O. Bordin, A. Klepko, M. Lazarev, I. Gudkov

Abstract. *The results on impact of different levels of soil radionuclide contamination on microbiota and cellulosedestroying microflora obtained. The state of this microflora is one of the indicators of the overall soil microbial activity. In the remote period after Chernobyl accident, there is a problem of the agricultural use of radionuclide contaminated territories and returning to economic activity the lands that withdrawn from circulation in 1991-1996.*

We used the following research methods - spectrometric, radiochemical analysis, microbiological, agrochemical and statistical analysis.

For field research in the zone of unconditional (compulsory) resettlement and exclusion zone of the Chernobyl NPP, two sites selected and inspected, within which the burial places for plant material identified and soil samples took for radiological and agrochemical analysis. For sites, a significant gradient in radiological parameters observed. The radiation background varies from 0.13 ± 0.01 to 34.8 ± 0.5 $\mu\text{Sv/h}$. The

Ілленко В. В., Волкогон І. В., Бордюг О. А., Клепко А. В., Лазарєв М. М., Гудков І. М.

radionuclides activity concentrations in the soil of sites is characterized by the following parameters: ^{137}Cs - from 600 ± 45 to 203800 ± 4100 Bq/kg, ^{90}Sr - from 33 ± 4 to up to 34000 ± 300 Bq/kg. The absorbed dose rate for microbiota showed maximum values up to $1.57\text{ }\mu\text{Gy/h}$ at the 1st site and up to $84.00\text{ }\mu\text{Gy/h}$ at the 2nd site. Data on cellulolytic activity of soil microorganisms of both sites were obtained, TBI index coefficients were calculated and the number of soil microorganisms was estimated based on the results of sowing soil suspension on nutrient media.

Keywords: soil microflora, territory contaminated radionuclides, radionuclide activity concentration, ^{137}Cs , ^{90}Sr

ОСОБЛИВОСТІ НАСІННОГО РОЗМНОЖЕННЯ *AILANTHUS ALTISSIMA* (MILL.) SWINGLE В УМОВАХ МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

О.В. КОРОЛЬОВА, кандидат біологічних наук, доцент

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

E-mail: korolyova@chmnu.edu.ua

[https://doi.org/10.31548/dopovidi3\(103\).2023.005](https://doi.org/10.31548/dopovidi3(103).2023.005)

Анотація. У статті представлені дані про насінне розмноження *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle в умовах Миколаївської області. Матеріалами роботи є плоди 20 особин *A. altissima*, зібрані у 2018, 2020 і 2022 рр. в урбанізованих екотопах (парки м. Миколаєва) та екотопах у складі напівприродних ландшафтів (околиці с. Веселинове, Миколаївська обл.), а також польові спостереження за рослинами. У результаті наших досліджень встановлено, що *A. altissima* формує плоди розміром від 2,5 до 4,2 см довжиною (середнє значення $3,3 \pm 0,01$ см), від 0,8 до 1,5 шириною (середнє значення $1,2 \pm 0,01$ см). Насінина 0,3-0,5 см завдовжки (середнє значення $0,42 \pm 0,01$ см), 0,1-0,3 см завширшки (середнє значення $0,23 \pm 0,01$ см). Маса 1000 насінин – 21 г. Встановлена карпологічна характеристика *A. altissima* відповідає видовій нормі. В лабораторних умовах визначено показники якості насіння *A. altissima*: доброякісність і життєздатність становили 84% і 92% відповідно, показники схожості варіювали від 80 до 86%, енергії проростання – від 68 до 80%. Встановлено, що насіння *A. altissima* здатне зберігати посівні якості впродовж 4-річного терміну зберігання. Репродуктивна здатність *A. altissima* в умовах Миколаївської області висока (6 балів). Отримані характеристики генеративного розмноження *A. altissima* ілюструють високі репродуктивні можливості виду.

Ключові слова: *Ailanthus altissima*, насінне розмноження, Миколаївська область, інвазивні види

Актуальність. Айлант найвищий (далі *A. altissima*) – це декоративна деревна рослина-інтродуцент, інвазивний вид, який використовується в озелененні населених пунктів та лісорозведенні як в Миколаївській області, так і в Україні в цілому. Завдяки значним адаптивним можливостям рослина стала інвазивною на всіх континентах за виключенням Антарктиди [1-5].

Здатність *A. altissima* проникати в рослинні угруповання та змінювати їх природні структуру відмічена в літературі [6-11], в тому числі – і на території Миколаївської області [12]. При вивченні закономірностей поширення айланту найвищого ряд авторів також вказують на тенденцію проникнення до деградованих екотопів, що виступають в якості осередків розселення цього виду

Корольова О. В.

[13,14], а в ряді країн застосовується інвентаризація, картування, різноплановий моніторинг з метою обмеження насаджень [15-18] та побудови моделей поширення цього виду [19]. У 2023 р. *A. altissima* внесений до «Переліку чужорідних видів дерев, заборонених у відтворенні лісів», що забороняє подальше використання цього виду для створення і відновлення лісів та пожезахисних смуг в Україні [20].

Зважаючи на здатність виду колонізувати широкий спектр місцезростань є необхідність встановити контроль за його природним поширенням, отже, вивчення аспектів репродуктивної біології *A. altissima* в умовах природних місцезростань залишається актуальним питанням. В першу чергу, *A. altissima* активно розмножується вегетативним шляхом, але, не менш значущу роль у розповсюдженні виду відіграє генеративне розмноження.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Здатність рослин-інтродуцентів до самостійного генеративного розмноження в нових умовах свідчить про значний рівень адаптації виду до екологічних факторів, що його оточують [21, 22]. Аналіз сучасних літературних даних показав, що особливості насінного розмноження айланта найвищого, так само, як і багатьох інших інвазивних видів [22], останнім часом досліджуються в

аспекті адвентизації флори з метою прогнозування можливостей розселення популяцій цього виду і контролю за ними [23]. Так, саме під цим кутом зору ряд авторів вивчали вплив температури, солоності, зволоженості на схожість і проростання насіння в лабораторних та природних умовах [24, 25], вплив біотичних факторів (мікроміцетів та шкідників) на природні популяції айланту [26-28], особливості розповсюдження насіння [29, 30] та терміни збереження його життєздатності [31].

Багаторічні дослідження морозостійкості, посухостійкості, сезонних ритмів розвитку та росту *A. altissima* із наступною комплексною оцінкою успішності його інтродукції в Правобережному Лісостепу і Степу були проведені співробітниками Уманського національного університету садівництва України [32-35]. Автори вказують, що на території м. Миколаєва (як і в умовах Степу в цілому) вид має найвищі бали успішності інтродукції та акліматизації [35].

Як інвазійний вид у складі урбанофлори м. Миколаєва айлант найвищий досліджувався В.Г. Миколайчук [12]. Зокрема, вивчення ростових процесів, посухостійкості та зимостійкості, ступеню натуралізації та оцінка імовірної загрози інтродуцента показали, що в агрокліматичних умовах м.

Корольова О. В.

Миколаєва А. *altissima* є рослиною-експлерентом [12].

Мета дослідження – встановлення особливостей насінного розмноження *A. altissima* та оцінка його репродуктивної здатності в урбанізованих та напівприродних місцезростаннях Миколаївської області. Основними завданнями було: провести вивчення кількісних карпологічних параметрів рослин *A. altissima*, визначити посівні якості насіння та провести оцінку репродуктивної здатності. Об'єктом дослідження є репродуктивна біологія *A. altissima*, предметом дослідження – особливості насінного розмноження *A. altissima* в умовах різних типів екотопів.

Матеріали і методи дослідження. Матеріалами роботи є плоди *A. altissima*, зібрані у жовтні вегетаційних сезонів 2018, 2020 і 2022 рр. на території Миколаївської області, а також польові спостереження за рослинами. З метою врахування різноманітності умов різних місцезростань, як модельні були обрані 20 особин *A. altissima* генеративного віку в урбанізованих екотопах (парки м. Миколаєва) та напівприродних екотопах (деревно-чагарникові насадження в околицях смт. Веселинове Вознесенського району Миколаївської області). Всього було опрацьовано 2000 плодів (по 100 штук з кожної дослідженої рослини), що відбиралися способом випадкової вибірки. В роботі

використані методи збору та камеральної обробки рослинного матеріалу, лабораторні та статистичні методи морфологічних досліджень, загальноприйняті методи визначення якості насіння [36-38]. Нами були комплексно проаналізовані наступні біологічні параметри рослин, які характеризують генеративне розмноження *A. altissima*: 1) морфометричні параметри плодів і насіння, маса 1000 насінин; 2) доброякісність та життєздатність насіння; 3) енергія проростання та схожість свіжого насіння, насіння після періоду спокою, насіння після 2-річного та 4-річного зберігання; 4) репродуктивна здатність.

Масу 1000 насінин визначали як показник, що характеризує повноважність, крупність і вирівняність насіння [36]. Доброякісність насіння *A. altissima* оцінювали як кількість повнозерних здорових насінин із характерною для даного виду забарвленням зародку і ендосперму, виражене у відсотках від загального числа насінин, взятих для аналізу [37]. Посівні якості насіння *A. altissima* визначали в лабораторних умовах. Схожість визначали за відсотком нормально пророслого насіння (таким вважалося насіння, в якого довжина корінця є не меншою від довжини насінини). Енергію проростання визначали за відсотком пророслого насіння [37]. Репродуктивну здатність *A. altissima* визначали емпірично за шкалою 6-

Корольова О. В.

бальною шкалою А.А. Калініченка [9]. Математичні розрахунки проводилися за допомогою програми Statistics 17 та програми Microsoft Excel.

Результати дослідження та їх обговорення. При вивченні морфологічних особливостей плодів і насіння *A. altissima* в умовах Миколаївської області нами встановлена їх наступна характеристика. Для айланта найвищого характерний сухий нерозкритий однонасінний плід із розрослим плоским придатком ромбоподібної форми – крилатка. Крильце добре виражене, видовжене, трохи закручене на кінцях, витягнуте з боків, оточує насінину. Насінина гладка, темно-коричнева, плоска, яйцеподібна, розташована в центрі плоду, з тонким ендоспермом або без нього, зародок дрібний із двома яйцеподібними або майже округлими сім'ядолями. Шляхом вимірювання морфометричних параметрів плодів встановлено, що *A. altissima* формує крилатки розміром від 2,5 до 4,2 см довжиною (середнє значення $3,3 \pm 0,01$ см), від 0,8 до 1,5 шириною (середнє значення $1,2 \pm 0,01$ см). Встановлені параметри крилаток відповідають видовій нормі, але дещо варіюють за розмірами, що розширює потенціал розповсюдження насіння *A. altissima* як за допомогою вітру, так і за

допомогою води [30]. Середнє значення маси крилатки – 0,03 г. Насінина 0,3-0,5 см завдовжки (середнє значення $0,42 \pm 0,01$ см), 0,1-0,3 см завширшки (середнє значення $0,23 \pm 0,01$ см). Малі розміри і дрібна вага насіння адаптована до первинного механізму розповсюдження, при цьому насіння айланту має маленький зародок і незначний розвиток ендосперму (теоретично, у рослин-інтродуцентів це може бути причиною швидкої загибелі зародка, несхожості насіння, і в цілому, утруднення насінного розмноження [39]).

Показники якості насіння *A. altissima* визначали для стиглого насіння врожаю 2022 р. в пробах з 4 досліджених популяцій (табл. 1). Маса 1000 повітряно-сухих повністю стиглих насінин *A. altissima* врожаю 2022 р. в середньому становить 21 г, що збігається з даними літератури [3, 23]. Маса 1000 насінин дещо змінювалась в пробах, взятих з рослин 4-х популяцій, що може розглядатися як характеристика екологічної пластичності виду та його адаптованості до місцевих умов. Цей показник насіння *A. altissima* не є стабільним і, на нашу думку, потребує подальшого дослідження, бо маса значно варіює в залежності від регіону [23, 38]

1. Показники якості стиглого насіння *A. altissima* в умовах Миколаївської області

Популяції	Показники		
	Маса 1000 насінин, г	Доброякісність насіння, %	Життєздатність насіння, %
1 – Парк Перемоги	20,4±0,63	86±1,84	91±1,07
2 – Народний сад	26,6±0,41	81±0,65	90±0,82
3 – околиці с. Веселинове	19,3±0,56	84±1,50	92±1,55
4 – околиці с. Веселинове	17,8±0,52	83±1,04	94±1,05

Встановлена нами доброякісність насінин *A. altissima* в середньому складає 84 %, життєздатність – 92 %, що вказує на високий рівень схожості [38].

Посівні якості (енергія проростання та схожість) насіння *A. altissima* визначались нами в

лабораторних умовах в 4-х варіантах досліджу – свіжого насіння врожаю 2022 р., насіння після періоду спокою в природних умовах, насіння після 2-річного та 4-річного зберігання (табл. 2). Накльовування насіння почалося на 5 добу, проростання – на 6 добу.

2. Посівні якості насіння *A. altissima* різного часу зберігання

Варіант досліджу	Показники посівних якостей насіння	
	Енергія проростання, %	Лабораторна схожість насіння, %
1. Свіже стигле насіння врожаю 2022 р. (без періоду спокою)	72±0,15	86±0,24
2. Насіння врожаю 2022 р. після періоду спокою	80±0,28	88±0,20
3. Насіння врожаю 2020 р. після зберігання (2 роки)	70±0,15	83±0,15
4. Насіння врожаю 2018 р. після зберігання (4 роки)	68±0,18	80±0,31

Нами була встановлена висока схожість та енергія проростання насіння *A. altissima* в лабораторних умовах, як свіжого, так і при зберіганні (табл. 2). Показник схожості варіює в діапазоні від 80 % до 86 %, енергія проростання – від 68 % до 80 %.

Відомості щодо змін схожості насіння під час зберігання *A. altissima* досить обмежені: висока схожість утримується достатньо довго та помітно знижується (до 48 %) на лише 5-й рік зберігання [31]; оптимумом

при висіванні вважається термін 1,5-2 роки [37, 40]. Нами встановлено, що посівні якості насіння *A. altissima* (отже, і його життєвість) незначно змінюються в межах 4-річного періоду зберігання. Найбільший показник схожості та енергії проростання відмічені у насіння врожаю 2022 р. після періоду спокою (стратифіковане 2 місяці при 5 С°) – відповідно 88 та 80 %. Достатньо високі показники має і нестратифіковане насіння (табл. 2). Між показниками посівних якостей

Корольова О. В.

A. altissima спостерігається пряма кореляція. Найбільш дружними сходами відзначається насіння після 1 періоду спокою.

Спостереження за природним насіннєвим поновленням *A. altissima* на контрольних ділянках показало, що рослина рясно утворює самосів. В нормі самосів проростає весною наступного за плодоношенням року, але, у вересні 2022 р. на контрольній ділянці у парку Перемоги нами була відмічена поява нових молодих проростків, утворених без періоду спокою із свіжого самосіву плодоношення 2022 р. Вік проростків був встановлений нами за ступенем їх зрілості: були наявні сім'ядолі та наступила 2 фаза ювенільного періоду – фаза першого справжнього листка. Це явище ілюструє високу ступінь адаптивності *A. altissima*, а отже, високу конкурентоздатність в зелених насадженнях.

Певні особливості має поширення самосіву насіння *A. altissima* в рослинних угрупованнях. Сіянци були знайдені як безпосередньо під материнськими рослинами, так і за їх межами, а також в місцях, де відсутні генеративні рослини, що притаманно деяким анемохорним та орнітохорним видам [9]. Первинний механізм розповсюдження *A. altissima* – анемохорія [30], але, в умовах міських екотопів поширенню насіння *A. altissima* сприяють додаткові фактори (наприклад, рознесення вітром і

водою по асфальтовому покриттю, розвіювання в результаті руху автотранспорту, перенесення людиною під час прибирання паркових зон та вулиць тощо).

За результатами дворічних спостережень за рослинами *A. altissima* в природі, нами була емпірично оцінена його репродуктивна здатність, яка за шкалою А.А. Калініченка отримала найвищий бал – 6 балів. Тобто, рослини генеративного віку цвітуть, формують життєздатне насіння, утворюють рясний самосів, розселяючись природним шляхом без участі людини. Таким чином, в умовах Миколаївської області у айланта найвищого відмічене ефективне природне насінне розмноження.

Висновки і перспективи подальших досліджень.

В умовах Миколаївської області у особин *A. altissima* формуються крилатки від 2,5 до 4,2 см довжиною (середнє значення $3,3 \pm 0,01$ см), від 0,8 до 1,5 шириною (середнє значення $1,2 \pm 0,01$ см). Насінина 0,3-0,5 см завдовжки (середнє значення $0,42 \pm 0,01$ см), 0,1-0,3 см завширшки (середнє значення $0,23 \pm 0,01$ см). Маса 1000 насінин становить 21 г. Встановлена карпологічна характеристика *A. altissima* відповідає видовій нормі.

Насіння *A. altissima* в лабораторних умовах має високі показники доброякісності і

Корольова О. В.

життєздатності (відповідно 84 % і 92 %), а також високу схожість (від 80 до 86 %) та енергію проростання (від 68 до 80 %). Насіння здатне зберігати посівні якості впродовж 4-річного зберігання.

Репродуктивна здатність *A. altissima* в умовах Миколаївської області висока – рослина рясно цвіте,

Список використаних джерел

1. Протопопова В.В., Шевера М.В., Мосякін С.Л., Соломаха В.А. Інвазійні види у флорі Північного Причорномор'я. Київ: Фітосоціоцентр, 2009. 59 с.
2. Weber E., Gut D. Assessing the risk of potentially invasive plant species in central Europe. *Journal for Nature Conservation*. 2004. Vol. 123. P. 171–179. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2004.04.002>
3. Kowarik I., Säumel I. Biological flora of Central Europe: *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*. 2007. Vol. 8, Issue 4. P. 207–237. <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2007.03.002>
4. Basnou C., Vila M. *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle, Tree of Heaven (Simaroubaceae, Magnoliophyta). Handbook of a alien species in Europe (Ed.: Daisie). Springer, Dordrecht, 2009. P. 342.
5. Fotiadis G., Kyriazopoulos A.P., Fraggakis I. The behaviour of *Ailanthus altissima* weed and its effects on natural ecosystems. *Journal of Environmental Biology*. 2011. Vol. 32, No.6. P. 801–806.
6. Espenschied-Reilly A.L., Runkle J.R. Distribution and changes in abundance of *Ailanthus altissima* (Miller) Swingle in a Southwest Ohio Woodlot. *Ohio J. of Science*. 2008. Vol. 108, No. 2. P. 16–22.
7. Knapp L.B. Invasion of an old-growth forest in New York by *Ailanthus altissima*: sapling growth and recruitment in canopy gaps. *J. Torrey Bot. Soc.* 2000. Vol. 127. P. 307–315. <https://doi.org/10.2307/3088649>
8. Environ J. The behaviour of *Ailanthus altissima* weed and its effects on natural ecosystems. *Journal of Environmental Biology*. 2011. Vol. 32. P. 801–806.
9. Спрягайло О.В. Репродуктивна здатність видів культивованої дендрофлори Середнього Придніпров'я. Біологічний вісник МГПУ імені Богдана Хмельницького. 2012. Т.3, вип. 6. С. 90–95.
10. Sladonja B., Sušek M., Guillermic J. Review on Invasive Tree of Heaven (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) Conflicting Values: Assessment of Its Ecosystem Services and Potential Biological Threat. *Environmental Management*. Vol. 56, No. 4. P.1009–1034. <https://doi.org/10.1007/s00267-015-0546-5>
11. Terzi M., Fontaneto D., Casella F. Effects of *Ailanthus altissima* Invasion and Removal on High-Biodiversity Mediterranean Grasslands. *Environmental Management*. 2021. Vol. 68, No. 6. P. 914–927. <https://doi.org/10.1007/s00267-021-01522-6>
12. Миколайчук В.Г., Алхімов С.Ю. *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle (Sumaroubaceae) в урбаніфлорі м. Миколаєва: екологічні особливості, стратегія поширення. *Рослини та урбанізація: матеріали шостої Міжнародної науково-практичної конференції* (м. Дніпро, 1-2 березня 2017 р.). Дніпро, 2017. С. 131–133.
13. Motti R., Zotti M., Bonanomi G., Cozzolino A., Stinca A., Migliozi A. Climatic and anthropogenic factors affect *Ailanthus altissima* invasion in a Mediterranean region. *Plant Ecol.* 2021. Vol. 222. P. 1347–1359. <https://doi.org/10.1007/s11258-021-01183-9>
14. Gavrilidis A., Gradinaru S., Onete M., Breuste J., Ioja C. The Influence of Vacant Land Presence on Proliferation of Invasive Alien Plant Species: The Case of *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle Var. *altissima*. *Making Green Cities*. 2023. P. 279–295. https://doi.org/10.1007/978-3-030-73089-5_18

15. O'Neal E.S., Davis D.D. Biocontrol of *Ailanthus altissima*: Inoculation protocol and risk assessment for *Verticillium nonalfalfae* (Plectosphaerellaceae: Phyllachorales). *Biocontrol Science and Technology*. 2015. Vol. 25, No. 8. P. 950–967. <https://doi.org/10.1080/09583157.2015.1023258>
16. Sladonja B., Poljuha D. Citizen science as in biological recording – A case study of *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle. *Forests*. 2018. Vol. 9, No. 1. P. 31. <https://doi.org/10.3390/f9010031>
17. Vojnich V.J., Ferencz Á., Tóth T., Tempfli K., Magyar D. Pollen Concentration of *Ailanthus altissima* on the South Transdanubia Region in Hungary. In: Pascuzzi, S., Santoro, F. (eds) *Farm Machinery and Processes Management in Sustainable Agriculture*. FMPMSA 2022. Lecture Notes in Civil Engineering. Vol. 289. Springer, Cham. P. 265–274. https://doi.org/10.1007/978-3-031-13090-8_27
18. Pisuttu C., Lo Piccolo E., Paoli L., Cotrozzi L., Nali C., Pellegrini E., Lorenzini G. Physiochemical responses of *Ailanthus altissima* under the challenge of *Verticillium dahliae*: elucidating the decline of one of the world's worst invasive alien plant species. *Biol. Invasions*. 2023. Vol. 25, Issue 7. P. 61–78. <https://doi.org/10.1007/s10530-022-02891-7>
19. Albright T.P., Chen H., Chen L., Guo Q. The ecological niche and reciprocal prediction of the disjunct distribution of an invasive species: the example of *Ailanthus altissima*. *Biol. Invasions*. 2010. Vol. 12, Issue 8. P. 2413–2427. <https://doi.org/10.1007/s10530-009-9652-8>
20. Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України № 184 від 03.04.2023 р. «Про затвердження переліку інвазійних видів дерев із значною здатністю до неконтрольованого поширення, заборонених до використання у процесі відтворення лісів» (zareestrovano v Ministerstvi yustitsii Ukraini 19 kvitnya 2023 r. za № 641/39697). Режим доступу: <https://mepr.gov.ua/mindovkilliya-zatverdyllo-perelik-chuzhoridnyh-vydiv-derev-zaboronenyh-u-vidtvorenni-lisiv/>
21. Бурда Р.І., Ігнатюк О.А. Методика дослідження адаптивної стратегії чужорідних видів рослин в урбанізованому середовищі. К.: ЗАТ «Віпол», 2011. 112 с.
22. Зав'ялова Л. Огляд методів дослідження адвентивних рослин. *GEO&BIO*. 2019. Т. 18. С. 64–76. <https://doi.org/10.15407/gb1806>
23. Клименко Т.К., Сягайло І.О. Успішність впровадження інвазійних видів деревних рослин в урбофітоценози. *Екологічні науки*. 2020. Вип. 1(28). С. 328–334. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco>
24. Stevens M.T., Roush C.D., Chaney L. Summer Drought Reduces the Growth of Invasive Tree-of-Heaven (*Ailanthus altissima*) Seedlings. *Natural Area J.* 2018. Vol. 38, No. 4. P. 230–236. <https://doi.org/10.3375/043.038.0403>
25. Kheloufi A., Mansouri L.M., Zerrouni R., Abdelhamid O. Effect of temperature and salinity on germination and seedling establishment of *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle (Simaroubaceae). *Reforesta*. 2020. No. 9. P. 44–53. <https://dx.doi.org/10.21750/REFOR.9.06.80>
26. Pisuttu C., Marchica A., Bernardi R., Calzone A., Cotrozzi L., Nali C., Pellegrini E., Lorenzini G. Verticillium wilt of *Ailanthus altissima* in Italy caused by *V. dahliae*: new outbreaks from Tuscany. *iForest - Biogeosciences and Forestry*. 2020. Vol. 13, No. 3. P. 238–245. <https://doi.org/10.3832/ifor3238-013>
27. Brooks R. K., Wickert K. L., Baudoin A., Kasson M. T., Salom S. Field-inoculated *Ailanthus altissima* stands reveal the biological control potential of verticillium nonalfalfae in the mid-atlantic region of the united states. *Biological Control*. 2020. Vol. 148. Article number: 104298. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104298>
28. Jung M., Kho J.W., Gook D.H., Lee Y.S. Lee D.-H. Dispersal and oviposition patterns of *Lycorma delicatula* (Hemiptera: Fulgoridae) during the oviposition period in *Ailanthus altissima* (Simaroubaceae). *Scientific Reports*. 2022. Vol. 12. Article number: 9972. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-14264-0>
29. Landenberger R.E., Kota N.L., McGraw J.B. Seed dispersal of the non-native

Корольова О. В.

invasive tree *Ailanthus altissima* into contrasting environments. *Plant. Ecol.* 2007. Vol. 192. P. 55–70. <https://doi.org/10.1007/s11258-006-9226-0>

30. Planchuelo G., Catalán P., Delgado J.A. Gone with the wind and the stream: Dispersal in the invasive species *Ailanthus altissima*. *Acta Oecologica*. 2016. Vol.73. P. 31–37.

<https://doi.org/10.1016/j.actao.2016.02.006>.

31. Rebbbeck J., Jolliff J. How long do seeds of the invasive tree, *Ailanthus altissima* remain viable? *Forest Ecol. Manage.* 2018. Vol. 429. P. 175–179. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.07.001>

32. Мамчур В. В. Морозостійкість і зимостійкість *Ailanthus altissima* (Mill.) в умовах Правобережного лісостепу і Степу України. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017. Т. 27, №5. С. 21–24. <https://doi.org/10.15421/40270503>

33. Мамчур В. В. Оцінка посухостійкості *Ailanthus altissima* (Mill.) в умовах Правобережного Лісостепу і Степу України. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. Т. 29, № 7. С. 31–33. <https://doi.org/10.15421/40290706>

34. Шлапак В. П., Мамчур В. В., Коваль С. А., Іщук Г. П., Курка С. С. Сезонні ритми росту і розвитку *Ailanthus altissima* Mill. в умовах Правобережного Лісостепу і Степу України. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. Т. 29, № 7. С. 112–114. <https://doi.org/10.15421/40290722>

35. Шлапак В. П., Мамчур В. В., Коваль С. А., Іщук Г. П., Курка С. С. Комплексна оцінка інтродукції, акліматизації та декоративності *Ailanthus altissima* (Mill.) в умовах Правобережного Лісостепу і Степу України. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. Т. 29, № 10. С. 109–112. <https://doi.org/10.36930/40291022>

36. ДСТУ 5036:2008 Насіння дерев та кущів. Методи відбирання проб, визначання чистоти, маси 1000 насінин та вологості.

37. ДСТУ 8558:2015 Насіння дерев і кущів. Методи визначання посівних якостей (схожості, життєздатності, доброякісності).

38. Маурер В.М., Кушнір А.І. Методичні рекомендації з розмноження деревних декоративних рослин Ботанічного

саду НУБіП України. К.: Вид-во НУБіП України, 2008. 55 с.

39. Сікура Й.Й., Сікура А.Й., Капустян В.В. Морфологія плодів та насіння квіткових рослин світової флори (Кн. 2). К.: Знання України, 2006. 104 с.

40. Мамчур В.В. Насіннєве розмноження *Ailanthus altissima* Mill. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. Вип. 26.7. С. 115–119.

References

1. Protopopova, V.V. ed. (2009). *Invaziyni vydy u flori Pivnichnogo Prychornomor'ya* [Invasive species in the flora of the Northern Black Sea region]. *Fitosotsiotsentr*, 59.

2. Weber, E., Gut, D. (2004). Assessing the risk of potentially invasive plant species in central Europe. *Journal for Nature Conservation*, 123, 171–179. [doi:10.1016/j.jnc.2004.04.002](https://doi.org/10.1016/j.jnc.2004.04.002)

3. Kowarik, I., Säumel, I. (2007). Biological flora of Central Europe: *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 8 (4), 207–237. [doi:10.1016/j.ppees.2007.03.002](https://doi.org/10.1016/j.ppees.2007.03.002)

4. Basnou, C., Vila, M. (2009). *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle, Tree of Heaven (Simaroubaceae, Magnoliophyta). *Handbook of a lien species in Europe* (Ed.: Daisie). Springer, Dordrecht, 342.

5. Fotiadis, G., Kyriazopoulos, A.P., Fraggakis, I. (2011). The behaviour of *Ailanthus altissima* weed and its effects on natural ecosystems. *Journal of Environmental Biology*, 32(6), 801–806.

6. Espenschied-Reilly, A.L., Runkle, J.R. (2008). Distribution and changes in abundance of *Ailanthus altissima* (Miller) Swingle in a Southwest Ohio Woodlot. *Ohio J. of Science*, 108 (2), 16–22.

7. Knapp, L.B. (2000). Invasion of an old-growth forest in New York by *Ailanthus altissima*: sapling growth and recruitment in canopy gaps. *J. Torrey Bot. Soc.*, 127, 307–315. [doi:10.2307/3088649](https://doi.org/10.2307/3088649)

8. Environ, J. (2011). The behaviour of *Ailanthus altissima* weed and its effects on natural ecosystems. *Journal of Environmental Biology*, 32, 801–806.

9. Spryagailo, O.V. (2012). *Reproduktyvna zdattist vydiv kultyvovanyoi*

Корольова О. В.

dendroflory Serechnogo Prydniprov'ya [The reproductive ability of species of cultivated dendroflora in Middle Dnieper area]. Biological Bulletin of Bohdan Khmelnytsky Cherkasy National University, 3(6), 90–95.

10. Sladonja, B., Sušek, M., Guillermin, J. (2015). Review on Invasive Tree of Heaven (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) Conflicting Values: Assessment of Its Ecosystem Services and Potential Biological Threat. Environmental Management, 56 (4), 1009–1034. doi:10.1007/s00267-015-0546-5

11. Terzi, M., Fontaneto, D., Casella, F. (2021). Effects of *Ailanthus altissima* Invasion and Removal on High-Biodiversity Mediterranean Grasslands. Environmental Management, 68(6), 914–927. doi:10.1007/s00267-021-01522-6

12. Mykolaychuk, V.G., Alkhimov, S.Yu. (2017). *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle (Sumaroubaceae) v urbanoflori m. Mykolaieva: ekologichni osoblyvosti, strategiya poshyrennya [*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle (Sumaroubaceae) in the urban flora of Mykolaiv: ecological features, distribution strategy]. Roslyny ta urbanizatsiya: materialy shostoyi Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi. Dnipro (Ukrayina), 131–133.

13. Motti, R., Zotti, M., Bonanomi, G., Cozzolino, A., Stinca, A., Migliozi, A. (2021). Climatic and anthropogenic factors affect *Ailanthus altissima* invasion in a Mediterranean region. Plant Ecol., 222, 1347–1359. doi:10.1007/s11258-021-01183-9

14. Gavrilidis, A., Gradinaru, S., Onete, M., Breuste, J., Ioja, C. (2023). The Influence of Vacant Land Presence on Proliferation of Invasive Alien Plant Species: The Case of *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle Var. *altissima*. Making Green Cities, 279–295. doi:10.1007/978-3-030-73089-5_18

15. O'Neal, E.S., Davis, D.D. (2015). Biocontrol of *Ailanthus altissima*: Inoculation protocol and risk assessment for *Verticillium nonalfalfae* (Plectosphaerellaceae: Phyllachorales). Biocontrol Science and Technology, 25(8), 950–967. doi:10.1080/09583157.2015.1023258

16. Sladonja, B., Poljuha, D. (2018). Citizen science as in biological recording – A case study of *Ailanthus altissima* (Mill.)

Swingle. Forests, 9(1), 31. doi:10.3390/f9010031

17. Vojnich, V.J., Ferencz, Á., Tóth, T., Tempfli, K., Magyar, D. (2022). Pollen Concentration of *Ailanthus altissima* on the South Transdanubia Region in Hungary. In: Pascuzzi, S., Santoro, F. (eds) Farm Machinery and Processes Management in Sustainable Agriculture. Lecture Notes in Civil Engineering, 289. Springer, Cham, 265–274. doi:10.1007/978-3-031-13090-8_27

18. Pisuttu, C., Lo Piccolo, E., Paoli, L., Cotrozzi, L., Nali, C., Pellegrini, E., Lorenzini, G. (2023). Physiochemical responses of *Ailanthus altissima* under the challenge of *Verticillium dahliae*: elucidating the decline of one of the world's worst invasive alien plant species. Biol. Invasions, 25 (7), 61–78. doi:10.1007/s10530-022-02891-7

19. Albright, T.P., Chen, H., Chen, L., Guo, Q. (2010). The ecological niche and reciprocal prediction of the disjunct distribution of an invasive species: the example of *Ailanthus altissima*. Biol. Invasions, 12(8), 2413–2427. doi:10.1007/s10530-009-9652-8

20. Nakaz Ministerstva zakhystu dovkillya ta pryrodnykh resursiv Ukrayiny № 184 vid 03.04.2023 r. «Pro zatverdzhennya pereliku invazyynykh vydiv derev iz znachnoyu zdatsnistyu do nekontrolovanogo poshyrennya, zaboronenykh do vykorystannya u protsesi vidtvorennya lisiv» (zareyestrovano v Ministerstvi yustytseyi Ukrayiny 19 kvitnya 2023 r. za № 641/39697) [Order of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine No. 184 of 04/03/2023 "On Approval of the List of Invasive Tree Species with a Significant Ability to Uncontrolled Spread, Prohibited for Use in Forest Reproduction" (registered at the Ministry of Justice of Ukraine on April 19, 2023 under No. 641/39697)]. <https://mepr.gov.ua/mindovkillya-zatverdyllo-perelik-chuzhoridnyh-vydiv-derev-zaboronenyh-u-vidtvorenni-lisiv/>

21. Burda, R.I., Ignatyuk, O.A. (2011). Metodyka doslidzhennya adaptyvnoyi strategiyi chuzhoridnykh vydiv roslyn v urbanizovanomu seredovyschi [Methodology of the Research of Adaptive Strategy of Alien Plant Species in the Urban Environment]. Kyiv: ZAT «Vipol», 112.

22. Zavialova, L. (2019). Oglyad metodiv doslidzhennya adventyvnykh roslyn [A review of methods of investigation of alien plant species]. GEO&BIO, 18, 64–76. doi:10.15407/gb1806
23. Klymenko, T., Syagailo, I. (2020). Uspishnist vprovadzhennya invazyynykh vydiv derevnykh roslyn v urbofitotsenozy [The efficiency of implantation of invasive plant species into urban phytocenoses]. Ecological Sciences, 1(28), 328–334. doi:10.32846/2306-9716/2020.eco
24. Stevens, M.T., Roush, C.D., Chaney, L. (2018). Summer Drought Reduces the Growth of Invasive Tree-of-Heaven (*Ailanthus altissima*) Seedlings. Natural Area J., 38(4), 230–236. doi:10.3375/043.038.0403
25. Kheloufi, A., Mansouri, L.M., Zerrouni, R., Abdelhamid, O. (2020). Effect of temperature and salinity on germination and seedling establishment of *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle (Simaroubaceae). Reforesta, 9, 44–53. doi:10.21750/REFOR.9.06.80
26. Pisuttu, C., Marchica, A., Bernardi, R., Calzone, A., Cotozzi, L., Nali, C., Pellegrini, E., Lorenzini, G. (2020). Verticillium wilt of *Ailanthus altissima* in Italy caused by *V. dahliae*: new outbreaks from Tuscany. iForest – Biogeosciences and Forestry, 13(3), 238–245. doi:10.3832/for3238-013
27. Brooks, R. K., Wickert, K. L., Baudoin, A., Kasson, M. T., Salom, S. (2020). Field-inoculated *Ailanthus altissima* stands reveal the biological control potential of verticillium nonalfalfae in the mid-atlantic region of the united states. Biological Control, 148, 104298. doi:10.1016/j.biocontrol.2020.104298
28. Jung, M., Kho, J.W., Gook, D.H., Lee, Y.S. Lee, D.-H. (2022). Dispersal and oviposition patterns of *Lycorma delicatula* (Hemiptera: Fulgoridae) during the oviposition period in *Ailanthus altissima* (Simaroubaceae). Scientific Reports, 12, 9972. doi:10.1038/s41598-022-14264-0
29. Landenberger, R.E., Kota, N.L., McGraw, J.B. (2007). Seed dispersal of the non-native invasive tree *Ailanthus altissima* into contrasting environments. Plant. Ecol., 192, 55–70. doi:10.1007/s11258-006-9226-0
30. Planchuelo, G., Catalán, P., Delgado, J.A. (2016). Gone with the wind and the stream: Dispersal in the invasive species *Ailanthus altissima*. Acta Oecologica, 73, 31–37. doi:10.1016/j.actao.2016.02.006
31. Rebbeck, J., Jolliff, J. (2018). How long do seeds of the invasive tree, *Ailanthus altissima* remain viable? Forest Ecol. Manage, 429, 175–179. doi:10.1016/j.foreco.2018.07.001
32. Mamchur, V. V. (2017). Frost resistance and winter hardiness of *Ailanthus altissima* (Mill.) in Right-bank stepp and steppe of Ukraine. Scientific Bulletin of UNFU, 27(5), 21–24. doi:10.15421/40270503
33. Mamchur, V. V. (2019). *Ailanthus altissima* (Mill.) Drought Resistance Assessment in Conditions of the Coastal Forest and Steppe of Ukraine. Scientific Bulletin of UNFU, 29(7), 31–33. doi:10.15421/40290706
34. Shlapak, V. P., Mamchur, V. V., Koval, S. A., Ishchuk, G. P., & Kurka, S. S. (2019). Seasonal Rhythms of Growth and Development of *Ailanthus altissima* Mill. in the Conditions of Right-Bank Forest-Steppe and Steppe of Ukraine. Scientific Bulletin of UNFU, 29(7), 112–114. doi:10.15421/40290722
35. Shlapak, V. P., Mamchur, V. V., Koval, S. A., Ischuk, G. P., & Kurka, S. S. (2019). Complex assessment of *Ailanthus altissima* (Mill.) introduction, accumulation and decorativity in the conditions of the Right-bank Forest-steppe and Steppe of Ukraine. Scientific Bulletin of UNFU, 29(10), 109–112. doi:10.36930/40291022
36. DSTU 5036:2008 Nasinnya derev ta kushchiv. Metody vidbyrannya prob, vyznachannya chystoty, masy 1000 nasynyn ta vologosti [DSTU 5036:2008 Seeds of trees and shrubs. Methods of sampling, determination of purity, weight of 1000 seeds and humidity].
37. DSTU 8558:2015 Nasinnya derev i kushchiv. Metody vyznachannya posivnykh yakostey (skhozhosti, zhyttyezdatnosti, dobroyakisnosti) [DSTU 8558:2015 Seeds of trees and shrubs. Methods of determining seed qualities (similarity, viability, good quality)].
38. Maurer, V.M., Kushnir, A.I. (2008). Metodychni rekomendatsiyi z rozmnozheniya derevnykh dekoratyvnykh roslyn Botanichnogo sadu NUBiP Ukrayiny [Methodical

Корольова О. В.

recommendations for the propagation of woody ornamental plants of the Botanical Garden of the NUBiP, Ukraine]. Kyiv: Vyd-vo NUBiP Ukrayiny, 55.

39. Sikura, Y.Y., Sikura, A.Y., Kapustyan, V.V. (2006). Morfologiya plodiv ta nasinnya kvitkovykh roslyn svitovoyi flory

(Kn. 2) [Morphology of fruits and seeds of flowering plants of the world flora]. Kyiv: Znannya Ukrayiny, 104.

40. Mamchur, V.V. (2019). Seed Propagation of *Ailanthus altissima* Mill. Scientific Bulletin of UNFU, 26.7, 115-119.

FEATURES OF SEED PROPAGATION OF *AILANTHUS ALTISSIMA* (MILL.) SWINGLE IN THE MYKOLAIV REGION

O. V. Korolyova

Abstract. This article presents data on seed propagation of *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle in Mykolaiv region. The materials of the work are the fruits of 20 individuals of *A. altissima*, collected in 2018, 2020, and 2022 in urbanized ecotopes (parks of Mykolaiv city) and ecotopes in semi-natural landscapes (surroundings of the village of Veselinove, Mykolaiv region), as well as field observations of plants. It has been established that *A. altissima* forms fruits with the dimension of length from 2,5 to 4,2 cm (the mean is $3,3 \pm 0,01$ cm) and with the dimension of width from 0,8 to 1,5 (the mean is $1,2 \pm 0,01$ cm). The seeds are 0.3-0.5 cm long (average 0.42 ± 0.01 cm), 0.1-0.3 cm wide (average 0.23 ± 0.01 cm). The mass of 1000 seeds is 21 g. The defined carpological feature of *A. altissima* meets norms. In laboratory conditions, the quality indicators of *A. altissima* seeds were determined: good quality and viability were 84% and 92%, respectively, germination indicators varied from 80 to 86%, growth energy - from 68 to 80%. It has been established that the seeds of *A. altissima* are able to preserve their sowing qualities during a 4-year storage period. The reproductive ability of *A. altissima* in the conditions of the Mykolaiv region is high (6 points). The obtained characteristics of the generative reproduction of *A. altissima* illustrate the high reproductive potential of the species.

Key words: *Ailanthus altissima*, seed propagation, Mykolaiv region, invasive species

РЕГУЛЯТОРИ РОСТУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ НАСІННЄВОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ РОСЛИН КАПУСТИ ГОЛОВЧАСТОЇ РЕПРОДУКТИВНОЇ СТАДІЇ РОЗВИТКУ

С. І. КОНДРАТЕНКО, доктор сільськогосподарських наук, старший науковий
співробітник

Н. О. КИРЮХІНА, кандидат сільськогосподарських наук

І. М. МИТЕНКО, кандидат сільськогосподарських наук

Інститут овочівництва і багданництва НААН України,

П. Г. ДУЛЬНЄВ, кандидат хімічних наук

Товариство з обмеженою відповідальністю “Високий врожай”,

E-mail: shtirlitsmail@gmail.com

[https://doi.org/10.31548/dopovid3\(103\).2023.006](https://doi.org/10.31548/dopovid3(103).2023.006)

Анотація. Вступ. Належність сортів капусти головчастої до різних видів, сортотипів та груп стиглості вимагає постійного вдосконалення сортової технології вирощування насіння. Одним із ефективних прийомів вирішення цієї проблеми є використання регуляторів росту. Мета – дослідити регуляторну дію композиційних препаратів біологічно-активних речовин для перспективного використання у технологічних процесах вирощування насіння капусти головчастої. Методи. Загальнонаукові, вимірні, зважувально-вагові, варіаційної статистики. Результати. В роботі вивчалися два композиційних препаратів ДСК-1А і ДГУРСК, які, окрім інших складових, містили регулятори фітогормональної дії. Біотести препаратів проводилося на 3 сортах капусти головчастої (Харківська зимова, Ярославна, Палета) вітчизняної селекції. Встановлено, високу ефективність препарату ДСК-1А на трьох сортах капусти головчастої. Порівняно із абсолютним контролем, зростання насіннєвої продуктивності становило 36,30...57,47 %, а маси 1000 насінин – 15,64...39,55 %. Препарат ДГУРСК виявився ефективним на двох сортах, Палета і Харківська зимова. Відносно абсолютного контролю, приріст сформованої маси насіння у цих сортів становив 56,73...63,70 %. На формування маси 1000 насінин препарат ДГУРСК мав стабільно високий вплив у трьох сортів, який позначився у зростанні показника “маса 1000 насінин” на 16,95...25,38 % порівняно із абсолютним контролем. Висновки і перспективи. В результаті використання композиційних препаратів біологічно-активних речовин встановлено можливість підвищувати насіннєву продуктивність рослин капусти головчастої, мінімізуючи при цьому негативний вплив сортової реакції на умови вирощування.

Ключові слова: капуста головчата, насіннєва продуктивність, композиційні препарати, регулятори росту, сортова реакція

Актуальність. Однією зі стратегій головної є створення вітчизняної селекції капусти високоврожайних, з високими

технологічними якостями та більш тривалим періодом зберігання сортів і гібридів F_1 середньопізньої і пізньостиглої групи. Для розширення сортименту капустяних видів рослин, окрім селекційної роботи на капусті білоголовій, ведуться дослідження по створенню сортів капусти червоноголовій, яка відзначається більш високим вмістом вітамінів та інших цінних біохімічних компонентів [1]. За результатами маркетологічних досліджень сучасна модель сорту капусти білоголової пізньостиглої групи повинна складатися з наступних компонентів: урожайність – 60,0–80,0 т/га, маса головки – 2,5–2,9 кг, тривалість вегетаційного періоду – 158–160 діб, вміст сухої речовини – 9,0–10,0 %, загального цукру – 5,0–5,5 %, вміст вітаміну С не нижче 30 мг/100 г, висока лежкість, стійкість до хвороб – 5–7 балів (за шкалою РЕВ). Аналогічна модель для сортів капусти червоноголової середньопізньої групи має наступні показники: урожайність – 35,0–50,0 т/га, маса головки – 1,5–2,0 кг, тривалість вегетаційного періоду – 140–150 діб, вміст сухої речовини – 10,0–12,0 %, загального цукру – 5,0–6,0 %, вміст вітаміну С не нижче 35–40 мг/100 г, висока лежкість, стійкість до хвороб – 5–7 балів (за шкалою РЕВ) [2].

Головною науково-дослідною установою, яка веде селекцію капусти білоголової в Україні є Інститут овочівництва і баштанництва Національної академії аграрних наук

України. Відомими сортами-брендами селекції Інституту є Харківська зимова, Білосніжка, Ліка, Українська осінь, Ярославна, Лазурна, Леся і Яна. В результаті проведеної селекційної роботи за останні роки до Державного реєстру сортів України було занесено ще три сорти капусти головчастої різних видів: червоноголової – Палета, савойської – Розалі, білоголової – Харківська супер [3]. Належність створених сортів капусти головчастої до різних видів, сортотипів та груп стиглості вимагає постійного вдосконалення технологій вирощування добазового і базового насіння, які б враховували генотипові особливості кожного сорту та зберігали його високі посівні якості.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Одним із ефективних прийомів підвищення насіннєвої продуктивності селекційно-цінних ліній, сортів та гібридів F_1 капусти головчастої є використання регуляторів росту [4, 5]. На теперішній час накопичено значний досвід у використанні на овочевих видах рослин різних за хімічною будовою та спектром біологічної дії регуляторів. Завдяки їх використанню на буряку столовим, моркві і капусті білоголовій вдалося значно підвищити урожайність і товарну якість продукції [6, 7]. Аналогічний ефект був досягнутий на кабачках [8], помідорах [9] і огірках [10]. Різними групами дослідників відмічено високу ефективність регуляторів росту у

підвищенні насіннєвої продуктивності та покращені посівних якостей насіння різних видів капустяних рослин [11, 12, 13]. Автори опублікованих робіт, відмічають існування певних відмінностей у ростовій реакції різних генотипів капусти білоголової на обробку регуляторами. Тобто, існує певна вибірковість їхнього впливу на формоутворюючі процеси – іноді висока, а іноді недостатньо ефективна. Одним із шляхів подолання цієї проблеми є створення композиційних препаратів, які б склалися не з однієї біологічно-активної речовини, а декількох, що мають компонуватися у певних вагових співвідношеннях, найбільш сприйнятливих для реалізації генетичного потенціалу капустяних рослин щодо насіннєвої продуктивності та посівних якостей насіння. Зокрема, до складу композиційних препаратів можуть бути включені синтетичні аналоги фітогормонів, мікроелементи та інші біологічно-активні сполуки, одні з яких ініціюють механізми стійкості до стресових факторів навколишнього середовища, а інші морфогенетичні реакції рослин.

Однією із ключових реакцій рослин на дію стресових факторів агроценозів є зміна вмісту фітогормонів, які відіграють важливу функцію у ростових і адаптивних процесах. До таких сполук належить саліцилова кислота, яка будучи ендогенним фітогормоном бере

участь у формуванні стійкості рослин до біотичних та абіотичних стресорів. Вона задіяна у регуляції процесів дихання, руху прорихів, фотосинтезу, проростання насіння, впливає на ріст коренів, листків, швидкість дозрівання плодів, викликає специфічні зміни в анатомічній будові листка та хлоропластових структурах [14]. Перебудови метаболізму, зумовлені саліциловою кислотою, мають важливе значення для адаптації рослин до стресових навантажень [15].

Найрізноманітніші функції, пов'язані з дерепресією генів розвитку виконує у рослинному організмі регулятор росту – гіберелова кислота (ГК₃) [16]. У насіннєвих рослин капусти головчастої даний регулятор має вплив на стимулювання і прискорення цвітіння, що дає можливість у селекційному процесі проводити синхронізацію цвітіння та схрещувати лінії, які відрізняються між собою за фенологічними фазами розвитку. Іншою позитивною дією гіберелової кислоти є підвищення насіннєвої продуктивності капустяних рослин та формування насіння з високими посівними якостями [17].

Отже, враховуючи постійні зміни факторів напруженості навколишнього середовища, питання збереження стабільної реалізації генетичного потенціалу у рослин капусти головчастої щодо їх насіннєвої продуктивності залишається актуальним і потребує планування і

розробки відповідних заходів. Одним із варіантів вирішення цього питання є синтез біологічно-активних речовин та створення на їх основі композиційних препаратів, до складу яких входять саліцилова кислота, речовини гіберелоподібної дії та інші регулятори росту.

Мета досліджень – провести аналіз регуляторних властивостей композиційних препаратів біологічно-активних речовин для їх перспективного використання у технологічних процесах вирощування насіння капусти головчастої як регуляторів росту, здатних підвищувати насіннєву продуктивність капустяних рослин репродуктивної стадії розвитку.

Матеріали і методи досліджень. Як об'єкти досліджень у польових випробуваннях (біотестах) біологічно-активних речовин використовувалися сорти капусти головчастої пізньостиглої групи селекції Інституту овочівництва і баштанництва Національної академії аграрних наук України. А саме, два сорти капусти білоголової Харківська зимова і Ярославна (*Brassica capitata* var. *capitata* L.) та один сорт капусти червоноголової Палета (*Brassica capitata* Litzg. var. *rubra*). У роботі вивчалася два експериментальні зразки композиційних препаратів ДСК-1А і ДГУРСК, розроблених на експериментальній базі Товариства з обмеженою відповідальністю “Високий врожай” (м. Київ). До їх складу у різних

вагових співвідношеннях були включені саліцилова кислота, аналоги регуляторів гіберелінової, ауксинової дії та інші біологічно-активні речовини.

Для визначення регуляторної активності проводилася однократна обробка кореневої системи маточників випробуваними препаратами ДСК-1А і ДГУРСК перед посадкою у польові умови після завершення фази яровизації, яка тривала у весняно-зимовий період. Маточники для садіння починали готувати у першій декаді березня на завершальній стадії яровизації, згідно методичних рекомендацій [18]. Передпосадковий період складався з таких етапів, як обрізування качанів маточників зі збереженням апікальної частини та наступне їх перенесення на денне світло для виходу зі стану фізіологічного спочивання. Обрізування качанів проводилося за 2–3 тижні до висадки у відкритий ґрунт. Цей захід супроводжувався хрестоподібним надрізом апікальної частини качана для забезпечення доступу повітря до верхівкової бруньки з метою її пробудження і ініціації росту після висадки. Для забезпечення умов завершення стадійних змін у апікальній частині, температура повітря у сховищі підтримувалася на рівні +5 °С з одночасним поновленням освітлення маточників денним світлом.

Безпосередньо перед висадкою маточників у відкритий ґрунт готувалася бовтанка, яка складалася з

суміші глини, коров'яку і води. До складу бовтанки додавалися водні розчини випробуваних біологічно-активних речовин. У якості еталону використовувалася індолілоцтова кислота (ІОК), водний розчин якої додавався до складу бовтанки (фітогормональний контроль).

Для одного сорту капусти головчастої у біотестах вивчалися наступні варіанти обробки маточників перед висадкою у відкритий ґрунт:

1) одноразове вмочування коренів у суміш глини, коров'яку і води зі співвідношенням частин 1:1:3 (контроль);

2) одноразове вмочування коренів у суміш глини, коров'яку і води зі співвідношенням частин 1:1:3 з додаванням еталонного регулятора росту – індолілоцтової кислоти у діючій концентрації 3 г/л (фітогормональний контроль);

3) одноразове вмочування коренів у суміш глини, коров'яку і води зі співвідношенням частин 1:1:3 з доданими випробуваними біологічно-активними речовинами у діючій концентрації 20 мл/л;

4) попередня обрізка коренів без їх вмочування у суміш глини, коров'яку і води;

5) попередня обрізка коренів з одноразовим їх вмочуванням у суміш глини, коров'яку і води зі співвідношенням частин 1:1:3;

6) одноразове вмочування коренів у суміш глини і води зі співвідношенням частин 1:1.

Для одного варіанту дослідів рандомізовано відбиралося 30 зразків насінневих рослин певного сорту капусти з числа відібраних для проведення біотестів.

Згідно прийнятої наукової термінології маточники, які вже висаджені у ґрунт називаються насінниками або насінневими рослинами [18]. Маточники висаджували у першій декаді квітня за схемою розміщення рослин 70 x 40–50 см [18]. Вирощування насінників проводилося розсадним способом у відкритому ґрунті. Збирання сформованого насіння і підрахунок його ваги проводилося у другій декаді липня, коли насіння ставало бурого забарвлення, що є морфологічною ознакою його визрівання [18].

У досліді визначали два статистичних показники – *“середньоарифметична маса насіння з одного насінника капусти”* та *“маса 1000 насінин”*. Перший показник визначали шляхом обміру загальної ваги насіння, яку збирали з однієї насінневої рослини капусти наприкінці періоду визрівання. Враховуючи те, що у кожному варіанті дослідів використовувалося 30 зразків насінників цей статистичний показник варіював з визначеною похибкою дослідів. Біометричні обчислення вищевказаного статистичного показника проводилися згідно методичних рекомендацій [19]. Другий показник обчислювали множенням на 10 середньоарифметичної маси $\{ \bar{x} \}$

Кондратенко С. І., Кирюхіна Н. О., Митенко І. М., Дульнев П. Г.

ста зразків насіння, які рандомізовано відбиралися з наважки, яку формували після змішування насіння 30 зразків насіннєвих рослин певного сорту капусти головчастої в одному варіанті досліду по проведенню біотестів біологічно-активних речовин. Біометричні обчислення вищевказаного статистичного показника проводилися згідно ДСТУ 7160:2010 [20]. Обчислення результатів експерименту проводилося методами варіаційної статистики [21].

Результати досліджень та їх обговорення. Біотести випробуваних препаратів на рослинах капусти головчастої репродуктивної стадії розвитку проводилися протягом трьох річних досліджень, з 2020 року по 2022 рік. Одержані результати зведені для кожного сорту в окрему таблицю. Таблиця 1 містить дані по сорту капусти червоноголової Палета. Встановлено, що випробувані препарати ДСК-1А і ДГУРСК істотно вплинули на насіннєву продуктивність рослин даного сорту, збільшуючи як кількість, так і масу сформованого насіння. Відмічається, також, збільшення маси 1000 насіння, що свідчить про кращу їх виповненість і більше накопичення пластичних речовин, які потенційно зможуть позитивно вплинути на їх посівні якості.

За показником “середньоарифметична маса насіння з одного насінника капусти” лідируюче місце займає препарат ДСК-1А ($X_{med} =$

$35,31 \pm 2,32$ г). Для препарату ДГУРСК даний показник становив: $X_{med} = 29,40 \pm 0,86$ г. Обидва препарати статистично достовірно перевищили за масою сформованого насіння як насіннєві рослини з варіанту абсолютного контролю ($X_{med} = 21,57 \pm 2,21$ г), так і фітогормонального контролю ($X_{med} = 19,90 \pm 1,95$ г). Відносно абсолютного контролю таке перевищення становило $36,30 \dots 63,70$ %, відносно фітогормонального контроль це перевищення було ще більшим на $47,74 \dots 77,44$ %.

За показником “маса 1000 насіння” випробувані препарати ДСК-1А і ДГУРСК мали статистично достовірне перевищення за варіантом абсолютного контролю на $25,38 \dots 28,45$ %. Згідно таблиці 1, значення вищевказаного показника варіювало в незначних межах для двох випробуваних препаратів і практично було на одному рівні ($X_{med} = 5,73 \dots 5,87$ г). Для еталонного регулятора, ІОК, теж мала тенденцію до зростання порівняно з абсолютним контролем ($X_{med} = 4,57 \pm 0,46$ г), але статистично достовірно не перевищувало даний варіант досліду ($X_{med} = 5,35 \pm 0,65$ г). Інші варіанти передпосадкової обробки маточників капусти червоноголової сорту Палета за двома дослідженими статистичними показниками варіювали в межах даних по абсолютному контролю і істотно не вплинули на кількість і якість сформованого насіння (табл. 1).

1. Насіннєва продуктивність рослин сорту капусти червоноголової Палета залежно від варіанту обробки коренів маточників у передпосадковий період, г

Варіант обробки	Дані по роках випробувань			Середнє за 3 роки	
	2020 р.	2021 р.	2022 р.	маса	маса 1000 насінин
Контроль (абсолютний)	27,67 ± 2,64	9,93 ± 2,06	27,11 ± 1,94	21,57 ± 2,21	4,57 ± 0,46
ІОК (фітогормональний контроль)	28,98 ± 4,10	10,70 ± 1,31	20,02 ± 0,44	19,90 ± 1,95	5,35 ± 0,65
ДСК-1А	31,90 ± 1,66	14,22 ± 0,30	42,08 ± 0,61	29,40 ± 0,86	5,87 ± 0,33
ДГУРСК	28,50 ± 4,48	38,13 ± 2,03	39,29 ± 0,44	35,31 ± 2,32	5,73 ± 0,45
обрізка коренів без вмочування у бовтанку	27,78 ± 2,18	10,88 ± 0,23	29,45 ± 4,56	22,71 ± 2,32	4,35 ± 0,54
обрізка коренів + вмочування у бовтанку	28,75 ± 2,53	8,78 ± 0,44	25,38 ± 0,15	20,97 ± 1,04	4,67 ± 0,78
корені обліплені глиною	20,70 ± 1,34	7,13 ± 0,52	30,57 ± 4,67	19,47 ± 2,18	4,49 ± 0,29
НІР _{0,05}	2,79	1,75	2,33	2,05	0,58

У таблиці 2 містяться дані по сорту капусти білоголової Харківська зимова. На відміну від попереднього сорту статистично достовірне збільшення показника “середньоарифметична маса насіння з одного насінника капусти” мали варіанти обробки кореневої системи маточників еталонним регулятором ІОК, препаратами ДСК-1А, ДГУРСК та за умов передпосадкової обрізки коренів без вмочування у бовтанку. Найкращі результати одержано в разі використання препарату ДГУРСК, перевищення становило 56,73 % ($X_{med} = 37,63 \pm 1,32$ г) проти контрольного варіанту ($X_{med} = 24,01 \pm 0,91$ г). Другим за ефективністю, на 40,77 %, виявився препарат ДСК-1А ($X_{med} =$

33,80 ± 1,19 г). Позитивна дія регулятора ауксинової дії ІОК була на рівні варіанту передпосадкової обрізки коренів без вмочування у бовтанку, перевищення над контролем становило 27,91...31,82 % (табл. 2).

У сорту Харківська зимова усі вищевказані варіанти з обробки маточників, також, позитивно вплинули на зростання показника “маса 1000 насінин”, в цілому на 13,78...16,95 % порівняно з контрольним варіантом дослідження ($X_{med} = 5,37 \pm 0,13$ г). Найвищий рівень прояву даної ознаки належить варіанту обробки препаратом ДГУРСК ($X_{med} = 6,28 \pm 0,27$ г), далі за ефективністю відзначається варіант передпосадкової

Кондратенко С. І., Кирюхіна Н. О., Митенко І. М., Дульнєв П. Г.

обрізки коренів без вмочування у бовтанку ($X_{med} = 6,23 \pm 0,24$ г), варіант обробки препаратом ДСК-1А ($X_{med} = 6,21 \pm 0,31$ г) та передпосадкової обробки ауксиновим регулятором ІОК ($X_{med} = 6,11 \pm 0,25$ г). Слід відзначити, що зі статистичної точки зору, усі вищевказані чотири варіанти обробки

за ефективністю були приблизно на одному рівні, оскільки межі похибки досліду при розрахунку статистичного показника “*маса 1000 насінин*” для цих варіантів проведення біотестів препаратів перекривалися між собою (табл. 2).

2. Насіннєва продуктивність рослин сорту капусти білоголової Харківська зимова залежно від варіанту обробки коренів маточників у передпосадковий період, г

Варіант обробки	Дані по роках випробувань			Середнє за 3 роки	
	2020 р.	2021 р.	2022 р.	маса	маса 1000 насінин
Контроль (абсолютний)	27,67±2,64	9,93±2,06	27,17±0,68	24,01±0,91	5,37±0,13
ІОК (фітогормональний контроль)	28,98±4,10	10,70±1,31	35,29±2,79	30,71±2,36	6,11±0,25
ДСК-1А	31,90±1,66	14,22±0,30	46,30±4,13	33,80±1,19	6,21±0,31
ДГУРСК	28,50±4,48	38,13±2,03	36,29±0,86	37,63±1,32	6,28±0,27
обрізка коренів без вмочування у бовтанку	27,78±2,18	10,88±0,23	29,45±4,56	31,65±2,24	6,23±0,24
обрізка коренів + вмочування у бовтанку	28,75±2,53	8,78±0,44	25,38±0,04	22,63±0,41	5,89±0,38
корені обліплені глиною	20,70±1,34	7,13±0,52	30,57±4,67	23,51±1,21	5,81±0,46
НІР _{0,05}	2,35	1,66	2,19	2,24	0,37

Дані по сорту капусти білоголової Ярославна зведені в таблицю 3. Аналіз по цьому сорту свідчить про його особливу ростову реакцію на застосовані умови передпосадкової обробки маточників. На відміну від контрольного варіанту досліду, усі модифікації обробки кореневої системи майбутніх репродуктивних рослин виявилися не ефективними і призвели до

зменшення маси сформованого насіння на 2,70...31,79 %. Виняток – варіант застосування препарату ДСК-1А, випробування якого дозволило істотно підвищити рівень прояву ознаки “*середньоарифметична маса насіння з одного насінника капусти*” на 57,47 % ($X_{med} = 26,25 \pm 3,30$ г при значенні цього показника у контрольному варіанті: $X_{med} = 16,67 \pm 0,74$ г).

На противагу до першого досліджуваного статистичного показника, визначено варіанти передпосадкової обробки маточників, які істотно вплинули на зростання показника “маса 1000 насінин”. Статистично достовірне підтвердження зростання стосувалося для таких варіантів обробки як: обробка препаратом ДСК-1А (на 39,55 %); обробка препаратом ДГУРС (на 18,43 %); обрізка коренів без вмочування у бовтанку (на 40,22 %); корені обліплені глиною (на 20,67 %). Тобто, найвищу ефективність відмічено у варіанта передпосадкової обрізки коренів без наступного вмочування у бовтанку ($X_{med} = 6,24 \pm 0,44$ г проти значення цього показника для абсолютного контролю: $X_{med} = 4,45 \pm 0,37$ г). Серед випробуваних препаратів високу ефективність продемонстрував препарат ДСК-1А

($X_{med} = 6,21 \pm 0,19$ г), який, з точки зору статистичного аналізу, був на рівні кращого варіанту передпосадкової обробки маточників капусти білоголової сорту Ярославна (табл. 3). Інший випробуваний препарат ДГУРСК, також, позитивно вплинув на формування насіння збільшуючи його масу на 18,43 % ($X_{med} = 5,27 \pm 0,53$ г) порівняно із абсолютним контролем. Слід, також, відзначити, що застосування ауксинового регулятора ІОК мало негативну реакцію сорту капусти білоголової Ярославна, оскільки мало місце одночасне зниження рівня прояву двох досліджуваних ознак – виходу сформованого насіння з однієї репродуктивної рослини, так і його маси з дослідної вибірки репродуктивних рослин (табл. 3).

3. Насіннєва продуктивність рослин сорту капусти білоголової Ярославна залежно від варіанту обробки коренів маточників у передпосадковий період, г

Варіант обробки	Дані по роках випробувань			Середнє за 3 роки	
	2020 р.	2021 р.	2022 р.	маса	маса 1000 насінин
Контроль (абсолютний)	9,75±0,91	18,78±0,72	22,08±0,35	16,67±0,74	4,45±0,37
ІОК (фітогормональний контроль)	11,39±0,97	19,73±0,15	14,91±0,12	11,37±0,39	4,09±0,21
ДСК-1А	5,75±0,52	18,02±0,55	38,42±2,20	26,25±3,30	6,21±0,19
ДГУРСК	6,91±0,76	13,63±0,48	26,77±1,46	15,77±0,54	5,27±0,53
обрізка коренів без вмочування у бовтанку	9,72±0,08	12,04±0,87	22,47±0,15	16,22±1,13	6,24±0,44
обрізка коренів + вмочування у бовтанку	10,42±1,15	16,13±0,50	23,16±0,45	15,22±1,57	4,75±0,25
корені обліплені глиною	5,99±0,06	17,50±0,57	24,5±1,86	17,61±1,50	5,37±0,42
НІР _{0,05}	1,17	0,63	1,85	2,37	0,22

Висновки і перспективи. Таким чином, оцінюючи дію випробуваних композиційних препаратів слід відзначити їх високу ефективність при формуванні високоякісного насіннєвого матеріалу капусти головчастої. Порівняно із абсолютним контролем, реакція репродуктивних рослин усіх трьох відібраних сортів капусти головчастої позначилася у підвищенні виходу маси насіння з однієї насіннєвої рослини на 36,30...57,47 %, а маси 1000 насінин на 15,64...39,55 % в разі застосування препарату ДСК-1А. Регуляторна дія препарату ДГУРСК була, також, ефективною на двох сортах, Палета і Харківська зимова. Відносно абсолютного контролю, приріст сформованої маси насіння з однієї рослини становив 56,73...63,70 %, але для сорту капусти білоголової Ярославна цей препарат виявився не

ефективним, що, імовірно, може бути пов'язано зі специфічною реакцією даного сорту на дію препарату та необхідністю зменшення його робочої концентрації. На формування маси 1000 насінин певного сорту капусти головчастої препарат ДГУРСК мав в цілому стабільно високий вплив, який позначився у статистично достовірному збільшенні показника “*маса 1000 насінин*” на 16,95...25,38 % порівняно із абсолютним контролем. Усі інші модифікації способу передпосадкової обробки маточників капусти головчастої виявили високу залежність від сортової реакції. Еталонний регулятор росту ІОК мав високу ефективність лише на сорті Харківська зимова, але він істотно поступався за ефективністю від випробуваних у біотестах композиційних препаратів ДСК-1А і ДГУРСК.

Список використаних джерел

1. Романова А.В., Вирченко І.І., Рябцев Д.А. Новые отечественные сорта и гибриды позднеспелой капусты не уступают зарубежным. *Картофель и овощи*. 2009. № 1. С. 17.
2. Маркетингове дослідження ринку овочевої продукції в Україні: монографія / Р.В. Логоша, К.В. Мазур, В.Ю. Кричковський. Вінниця: ТОВ “Твори”, 2021. 344 с.
3. Кирюхіна Н.О., Пузік Л.М., Пузік В.К., Бондаренко В.А. Вивчення колекції капусти як вихідного матеріалу для селекції. *Інженерія природокористування*. 2021. № 4 (22). С. 21–26.
4. Mazed H.E.M. Effect of gibberellic acid on the growth and yield of cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.). *International Journal of Applied Research*. 2015. 01. P. 16–19.
5. Dev R., Singh V. K., Raj S., Shukla K. C. Effect of plant growth regulators on growth and yield of Cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*.

2020. 9 (3). 1024–1026. 9. P. 1024–1026. DOI: 10.22271/phyto.2020.v9.i3q.11426

6. Окрушко С.Є. Вплив стимуляторів росту на врожайність столових буряків та моркви. *Вісник ХНАУ. Серія “Грунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство, екологія ґрунтів”*. 2016. № 2. С. 109–114.

7. Окрушко С.Є. Вплив стимулятора росту Вимпел на урожайність капусти білоголової. *Вісник ХНАУ. Серія “Грунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство, екологія ґрунтів”*. 2017. № 1. С. 140–145.

8. Паламарчук І.І. Вплив сорту та стимулятора росту рослин на врожайність і якісні показники продукції кабачка в умовах правобережного лісостепу. *Вісник ХНАУ. Серія “Рослинництво, селекція і насінництво, плодовоовочівництво і зберігання”*. 2016. № 1. С. 123–132.

9. Нікончук Н.В. Вплив біологічно активних речовин на врожайність та якість томатів. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2012. №2. С. 160–163.

10. Тернавський А.Г., Накльока О.П. Ефективність застосування біостимуляторів росту на рослинах огірка в умовах лісостепу України. *Агробіологія*. 2013. № 11. С. 101–104.

11. Prodhon M.M., Sarker U., Hoque M.A., Biswas M.S., Ercisli S., Assouguem A., Ullah R., Almutairi M.H., Mohamed H.R.H., Najda A. Foliar Application of GA₃ Stimulates Seed Production in Cauliflower. *Agronomy*. 2022. 12 (6). 1394 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12061394>

12. Borovskaia A.D., Mashcenco N.E., Ivanova R.A., Shpak L.I. Impact of Plants Secondary Metabolites on White Cabbage Productivity. *Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality*. 2019. 3. P. 241–248. <https://agrobiodiversity.uniag.sk/scientificpapers/article/view/229>

14. Chen Z., Zheng Z., Huang J., Lai Z., Fan B. Biosynthesis of salicylic acid in plants. *Plant signaling & behavior*. 2009. 4 (6). P. 493–496. DOI: <https://doi.org/10.4161/psb.4.6.8392>

15. Колупаєв Ю.Е., Ястреб Т.О. Стресс-протекторные эффекты салициловой кислоты и ее структурных аналогов. *Физиология и биохимия культ. растений*. 2013. 45 (2). С. 113–125.

16. Gupta R., Chakrabarty S. K. Gibberellic acid in plant: still a mystery unresolved. *Plant signaling & behavior*. 2019. 8 (9). e25504. DOI: <https://doi.org/10.4161/psb.25504>

17. Bagale P., Pandey S., Regmi P., Bhusal S. Role of Plant Growth Regulator “Gibberellins” in Vegetable Production: An Overview. *International Journal of Horticultural Science and Technology*. 2022. 9 (3). P. 291–299. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhst.2021.329114.495>

18. Жук О.Я., Чернищенко Т.В., Ярчук Н.І., Хареба В.В., Яковенко К.І. Методика селекції овочевих рослин родини капустяних (*Brassicaceae* (Burnett)) / Сучасні методи селекції овочевих і баштанних культур. Харків: ДП Харківська друкарня № 2, 2001. С. 189–205.

19. Методичні рекомендації щодо селекції, насінництва та технології вирощування капусти червоноголової / Т.В. Чернищенко, О.Д. Вітанов, С.І. Кондратенко та ін. Харків: ІОБ НААН, 2012. 24 с.

20. Насіння овочевих, баштанних і пряно-смакових культур. Сортові і посівні якості: ДСТУ 7160:2010. К.: Держспоживстандарт України, 2010. 20 с. (Національний стандарт України).

21. Доспехов В.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 286 с.

References

1. Romanova, A. V., Vyrchenko, Y. Y., & Riabtsev, D. A. (2009). New domestic varieties and hybrids of late-ripening cabbage are not inferior to foreign ones. *Potatoes and vegetables*, 1, 17.

2. Lohosha, R. V., Mazur, K. V., & Krychkovskyi, V. Yu. (2021). Marketing research of the market of vegetable products in Ukraine. Vinnytsia: “Tvorі” LLC.

3. Kyriukhina, N. O., Puzik, L. M., Puzik, V. K., & Bondarenko, V. A. (2021). Studying the collection of cabbage as a source material for selection. *Nature management engineering*, 4 (22), 21–26.

4. Mazed, H. E. M. (2015). Effect of gibberellic acid on the growth and yield of cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.). *International Journal of Applied Research*, 1, 16–19.

5. Dev, R., Singh, V. K., Raj, S., & Shukla, K. C. (2020). Effect of plant growth regulators on growth and yield of Cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9 (3), 1024–1026. DOI: [10.22271/phyto.2020.v9.i3q.11426](https://doi.org/10.22271/phyto.2020.v9.i3q.11426)

6. Okrushko, S. Ye. (2016). The effect of growth stimulants on the yield of table beets and carrots. *KHNAU Bulletin. Series “Soil science, agrochemistry, agriculture, forestry, soil ecology”*, 2, 109–114.

7. Okrushko, S. Ye. (2017). The effect of the growth stimulator Vympel on the yield of white cabbage. *KHNAU Bulletin. Series “Soil science, agrochemistry, agriculture, forestry, soil ecology”*, 1, 140–145.

8. Palamarchuk, I. I. (2016). The effect of variety and plant growth stimulator on the yield and quality indicators of zucchini products in the conditions of the right-bank forest-steppe. *KHNAU Bulletin. Series “Plant production, selection and seed production, fruit and vegetable production and storage”*, 1, 123–132.

9. Nikonchuk, N.V. (2012). The influence of biologically active substances on the yield and quality of tomatoes. *Bulletin of Agrarian Science of the Black Sea Coast*, 2, 160–163.

10. Ternavskyi, A.H., & Nakloka, O.P. (2013). Effectiveness of the use of growth biostimulators on cucumber plants in the conditions of the forest-steppe of Ukraine. *Agrobiologia*, 11, 101–104.

11. Prodhan, M.M., Sarker, U., Hoque, M.A., Biswas, M.S., Ercisli, S., Assouguem, A., Ullah, R., Almutairi, M.H., Mohamed, H.R.H., & Najda, A. (2022). Foliar Application of GA₃ Stimulates Seed Production in Cauliflower. *Agronomy*, 12 (6):1394. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12061394>
12. Borovskaia, A.D., Mashcenko, N.E., Ivanova, R.A., & Shpak, L.I. (2019). Impact of Plants Secondary Metabolites on White Cabbage Productivity. *Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality*, 3, 241–248. <https://agrobiodiversity.uniag.sk/scientificpapers/article/view/229>
14. Chen, Z., Zheng, Z., Huang, J., Lai Z., & Fan, B. (2009). Biosynthesis of salicylic acid in plants. *Plant signaling & behavior*, 4 (6), 493–496. DOI: <https://doi.org/10.4161/psb.4.6.8392>
15. Kolupaev, Yu.E., & Yastreb, T.O. (2013). Stress-protective effects of salicylic acid and its structural analogues. *Physiology and biochemistry cult. plants*, 45(2), 113–125.
16. Gupta, R., & Chakrabarty, S.K. (2019). Gibberellic acid in plant: still a mystery unresolved. *Plant signaling & behavior*, 8 (9):e25504. DOI: <https://doi.org/10.4161/psb.25504>
17. Bagale, P., Pandey, S., Regmi, P., & Bhusal, S. (2019). Role of Plant Growth Regulator “Gibberellins” in Vegetable Production: An Overview. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 9 (3), 291–299. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhst.2021.329114.495>
18. Zhuk, O.Ya., Chernyshenko, T.V., Yarchuk, N.I., Khareba, V.V., & Yakovenko K.I. (2001). *Methods of breeding of vegetable plants of the cabbage Family (Brassicaceae (Burnett))*. In Gorova, T.R. & Yakovenko R.I. (Ed.) *Modern methods of selection of vegetable and melon crops* (189-205 p.). Kharkiv: SE Kharkiv Printing House No. 2.
19. Chernyshenko, T.V., Vitanov, O.D., Kondratenko, S.I., Chemenko, V.L., Mohylina, O.M., Ternova, T.A., ... Mykhailin, V.I. (2012). Methodical recommendations for selection, seed production and technology for growing red cabbage. Kharkiv: IOB NAAS.
20. *Seeds of vegetable, melon and spicy-flavor crops. Varietal and sowing qualities: DSTU 7160:2010. (2010)*. Kyiv: Derzhspozhivstandard of Ukraine.
21. Dospekhov, B.A. (1985). *Methods of field experience*. M.: Agropromizdat.

GROWTH REGULATORS FOR INCREASING THE SEED PRODUCTIVITY OF HEAD CABBAGE PLANTS AT THE REPRODUCTIVE STAGE OF DEVELOPMENT

S. I. Kondratenko, N. O. Kyriukhina, I. M. Mitenko, P. G. Dulnev

Abstract. *Introduction. Belonging of cabbage varieties to different species, varietal types and maturity groups requires constant improvement of varietal technologies of seed cultivation. One of the effective methods of solving this problem is the use of growth regulators. The goal is to investigate the regulatory effect of composite preparations of biologically active substances for prospective use in the technological processes of growing cabbage seeds. Methods: general scientific, measuring, weighing and weighting, variational statistics. Results. The work studied two composite preparations DSK-1A and DGURSK, which, in addition to other components, contained regulators of phytohormonal action. Biotests of the preparations were carried out on 3 varieties of cabbage (Kharkivska zimova, Yaroslavna, Paleta) of domestic breeding. It has been established that the DSK-1A drug is highly effective on three varieties of head cabbage. Compared to the absolute control, the increase in seed productivity was 36.30...57.47%, and the weight of 1000 seeds was 15.64...39.55%. The drug DGURSK was effective on two varieties, Paleta and Kharkivska zimova. Relative to the absolute control, the increase in the formed mass of seeds in these varieties was 56.73...63.70%. On the formation of the mass of 1000 seeds, the drug DGURSK had a consistently high effect in three varieties,*

Кондратенко С. І., Кирюхіна Н. О., Митенко І. М., Дульнєв П. Г.

which was reflected in the increase of the indicator "mass of 1000 seeds" by 16.95...25.38 % compared to the absolute control. Results and Discussion. As a result of the use of composite preparations of biologically active substances, it was possible to increase the seed productivity of cabbage plants, while minimizing the negative impact of varietal reaction to growing conditions.

Key words: head cabbage, seed productivity, composite preparations, growth regulators, varietal reaction

**РІСТ І РОЗВИТОК РОСЛИН НУТУ ЗАЛЕЖНО ВІД СИСТЕМ
ЖИВЛЕННЯ У ПІВДЕННОМУ СТЕПУ УКРАЇНИ****А. І. КРИВЕНКО**, доктор сільськогосподарських наук, професор**М. С. ПАРЛІКОКОШКО**, аспірант**В. М. ЧЕПУРНИХ**, аспірант*Одеський державний аграрний університет*

E-mail: Kryvenko35@ukr.net

Н. П. КОВАЛЕНКО, доктор історичних наук, старший науковий співробітник**В. Д. ОРЕХІВСЬКИЙ**, доктор історичних наук*Інститут фізіології рослин і генетики НАН України*

E-mail: BoikoNP@ukr.net

[https://doi.org/10.31548/dopovidi3\(103\).2023.007](https://doi.org/10.31548/dopovidi3(103).2023.007)

Анотація. Встановлено, що формування урожайності сільськогосподарських культур пов'язане з комплексом чинників, серед яких важливе місце займають зміни ґрунтово-кліматичних умов на глобальному, зональному та регіональному рівнях. З'ясовано, що для подолання негативного впливу зазначених чинників, важливим науково обґрунтованим заходом є створення сучасних високопродуктивних сортів і гібридів сільськогосподарських культур, стійких до температурних та водних стресових чинників, які при вирощуванні у науково обґрунтованих технологіях здатні стабілізувати формування високої урожайності за умов посухи і підвищеного температурного режиму.

Визначено, що умови зволоження мають значний вплив на ріст і розвиток рослин нуту, оскільки визначають доступність елементів живлення та забезпеченість вологою, що сприяє зростанню інтенсивності проходження ростових процесів. Встановлено, що внесення мінеральних добрив суттєво впливає на лінійні розміри рослин нуту. При використанні системи мінерального удобрення достовірно підвищення висоти рослин нуту у фазі гілкування склало від 11,4% до 22,1%. У посушливий рік більший вплив мали азотні добрива, у сприятливий за вологозабезпеченістю – всі види добрив. З'ясовано, що при використанні рідких органо-мінеральних препаратів, найкращий ріст і розвиток рослин нуту відмічався у варіантах з обробленням препаратами *Seed Treatment*, *Антистрес (SG Protector)*, *Extra* та *Полімікростим*. На фоні внесення мінерального азоту ($N_{30}+N_{30}$) підвищення становило 1,8–8,0% у порівнянні із зазначеними варіантами без внесення добрив.

Ключові слова: ріст і розвиток рослин, нут, системи живлення, мінеральні добрива, рідкі органо-мінеральні препарати, зміни клімату, посушливі умови

Актуальність. У сучасних витримувати економічний та умовах господарювання аграрним енергетичний тиск у зв'язку зі підприємствам доводиться змінами клімату та через

Кривенко А. І., Парлікокошко М. С., Чепурних В. М., Коваленко Н. П., Орехівський В. Д.

повномасштабний напад рф на Україну. Це призвело до порушення науково обґрунтованих сівозмін, в яких практично повністю відмовились від вирощування зернобобових культур при значному збільшенні посівних площ соняшника та ріпаку [1]. Водночас застосовується застаріла техніка, не витримуються технології вирощування сільськогосподарських культур, через що відбувається різке зниження продуктивності орних земель та рівня родючості ґрунтів.

Формування урожайності сільськогосподарських культур пов'язане з комплексом чинників, з-поміж яких важливе місце займають ґрунтово-кліматичні умови, зміни яких відбуваються на глобальному, зональному та регіональному рівнях [2]. Зокрема, у посушливому Південному Степу України спостерігається збільшення температурних екстремумів та аномальних явищ, значні перепади між денними і нічними температурами, подовження тривалості літньої спеки, зміни у перерозподілі кількості річних опадів, поширення опадів зливного характеру та сильних вітрів, збільшення періоду посухи.

Для подолання негативного впливу зазначених чинників, важливим науково обґрунтованим заходом є створення сучасних високопродуктивних сортів і гібридів сільськогосподарських культур,

стійких до температурних та водних стресових чинників, які при вирощуванні у науково обґрунтованих технологіях здатні стабілізувати формування високої урожайності за умов посухи і підвищеного температурного режиму [3; 4]. Встановлення адаптаційних можливостей зернобобових культур, зокрема нуту, як посухостійкої культури з високим вмістом білка у зерні, забезпечує вирішення багатьох проблем: побудову науково обґрунтованих сівозмін для збереження рівня родючості ґрунту, збагачення ґрунту біологічним азотом, збалансування білкового харчування населення [5]. Крім того, відбувається відновлення економічної стабільності України завдяки експортуванню зерна нуту до країн Азії, де ця стратегічно важлива зернобобова культура користується великим попитом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За результатам досліджень Міжнародної Корпорації розвитку досліджень зернових культур (GRDC) розроблено систему визначення стадій росту і розвитку нуту за системою «Nolan», яка базується на основі підрахунку кількості вузлів на його головному стеблі [6]. Їх описи розроблені на підґрунті візуального спостереження вегетативних (V) і репродуктивних (R) фаз нуту. Стадію «V» визначали шляхом підрахунку кількості розвинених вузлів на головному

Кривенко А. І., Парлікокошко М. С., Чепурних В. М., Коваленко Н. П., Орехівський В. Д.

стеблі над рівнем землі. Вузол, у якому з'являється перша гілка головного стебла над ґрунтом, вважається вузлом 1. У нуту чергові первинні гілки зазвичай походять від вузлів дещо вище від рівня землі, зазвичай це 1–8 первинних гілок на головному стеблі, залежно від умов вирощування. Вузол вважається розвиненим, коли 6–15 стулок досягають стадії, коли вони розгорнуті. Листки останнього підрахованого вузла повинні бути розгорнутими. Вегетативна стадія рахується від проростання до появи першої квітки, але особливість нуту полягає в тому, що його кінцева брунька завжди вегетативна і продовжує рости. Вегетативний ріст продовжується навіть після переходу рослини нуту на репродуктивний режим. Стадії «R» відбуваються, коли рослина починає цвісти в будь-якому вузлі, і продовжуються до повної стиглості. Таке визначення фаз вкрай громіздке і не знайшло визнання в Україні.

Вчені В. І. Січкара, О. В. Бушулян у період вегетації нуту визначають такі основні фази його росту й розвитку: сходи, бутонізацію, цвітіння, формування бобів, досягання та повну стиглість зерна [7]. За результатами досліджень В. П. Карпенка, О. О. Коробко встановлення темпів росту і розвитку сортів нуту в онтогенезі забезпечує розкриття найбільш важливої

залежності процесу формування продуктивності цієї культури [8].

Встановлено, що нут, як посухостійка рослина, є перспективною культурою в умовах глобальних змін клімату [9]. Водночас за свідченнями закордонних науковців, він реагує на зміни вологозабезпеченості й температури повітря [10; 11; 12]. Відзначається, що температурний стрес під час фази цвітіння та формування бобів позначається на довжині міжфазних періодів і викликає стрімке зниження урожайності нуту – відповідно на 44% та 50% [13]. Аналогічні результати отримані вченими у різних ґрунтово-кліматичних умовах. Зокрема, що в умовах сприятливого зволоження і помірних температур повітря, темпи росту й розвитку рослин нуту сповільнюються, а інтенсивність біопродукційного процесу зростає [14; 15; 16; 17]. Крім того, українськими вченими встановлено, що вегетаційний період нуту коливається від 80 до 120 діб і значно залежить від генетичних особливостей сорту, а також застосування елементів технології його вирощування [18; 19].

Таким чином, умови зволоження мають значний вплив на ріст і розвиток рослин нуту, оскільки визначають доступність елементів живлення та забезпеченість вологою, що сприяє зростанню інтенсивності проходження ростових процесів. За

Кривенко А. І., Парлікокошко М. С., Чепурних В. М., Коваленко Н. П., Орехівський В. Д.

нестачі вологи відбувається значне зниження урожайності зерна цієї важливої зернобобової культури. Тому актуалізується дослідження росту і розвитку рослин нуту залежно від систем живлення у посушливому Південному Степу України.

Мета дослідження. Встановити динаміку росту і розвитку рослин нуту залежно від систем живлення, зокрема, внесення мінеральних добрив та використання рідких органо-мінеральних препаратів у посушливому Південному Степу України.

Матеріали і методи дослідження. Дослідження виконували упродовж 2016–2020 рр. на дослідному полі Одеської державної сільськогосподарської дослідної станції Інституту водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України, що знаходиться у Біляївському районі Одеської області.

Для реалізації поставлених завдань виконували два двофакторних досліди: формування продуктивності нуту в залежності від рівня мінерального живлення; встановлення ефективності композицій рідких органо-мінеральних препаратів у технологіях вирощування нуту з елементами біологізації в умовах посушливого Південного Степу України. Досліди закладені відповідно до методики ведення польових досліджень зі встановлення ефективності

агротехнічних заходів при вирощуванні сільськогосподарських культур [20; 21]. Повторення у досліді п'ятиразове, розміщення рендомізоване. Варіанти у кожному ярусі зміщені у відношенні до цих же варіантів. Загальна площа ділянок – 50,0 м²; облікова – 26,4 м².

У дослідах використовували насіння нуту сорту Пам'ять, який відноситься до євро-азійського підвиду (subsp. *eurasiaticum* G. Pop.), тип *kabuli*, різновидність *bogemicoallutaceum* G. Pop. (богеміко-аллютацеум). Тривалість вегетаційного періоду 90–120 діб, висота рослин 50–55 см, висота прикріплення нижніх бобів 20–22 см. Нут висівали у ланці сівозміни: пар чорний – пшениця озима – нут – пшениця озима. Агротехніка вирощування нуту загальноприйнята для умов Південного Степу України [22].

Фенологічні спостереження виконували на закріплених ділянках, де виділяли по 50 типових рослин і відмічали настання фаз розвитку нуту. За початок фази приймали час настання її у 10 % рослин, а за повну фазу – настання її у 75 % рослин [23]. Здійснювали облік і аналіз рослинних зразків, які відбирали у фази гілкування і цвітіння та у період повної стиглості зерна за двома несуміжними повтореннями.

Результати дослідження та їх обговорення. За результатами дослідження встановлено, що терміни

Кривенко А. І., Парлікошко М. С., Чепурних В. М., Коваленко Н. П., Орехівський В. Д.

настання фенологічних фаз росту і розвитку нуту та їх тривалість значно залежать від умов зволоження у роки досліджень. Тривалість періоду від сівби до сходів знаходиться у прямій залежності від температурного фактору. Зокрема, чим вищою є сума активних температур, тим швидше з'являються сходи ($r=0,87$). Але

нестача вологи у комплексі з високими температурами затримує появу сходів (коефіцієнт детермінації = 0,85). За результатами дослідження упродовж 2016–2018 рр. повні сходи нуту відмічались: у 2016 р. – через 12 діб, 2017 р. – 15, 2018 р. – 17; 2019 р. – 16; 2020 р. – через 14 діб (табл. 1).

1. Тривалість міжфазних періодів в онтогенезі нуту, середнє за 2016–2020 рр.

Рік	Тривалість міжфазних періодів					Тривалість вегетаційного періоду
	сівба – сходи	сходи – бутонізація	бутонізація – цвітіння	цвітіння – формування бобів	формування бобів – повна стиглість	
2016	12	19	16	20	52	119
2017	15	16	16	18	50	115
2018	17	13	18	18	42	108
2019	16	15	12	16	34	93
2020	14	16	13	16	43	102
$M \pm m$	$14,8 \pm 0,9$	$15,8 \pm 1,0$	$15,0 \pm 1,1$	$17,6 \pm 0,7$	$44,2 \pm 3,3$	$107,4 \pm 4,6$

У 2016 р. погодні умови сприяли швидшій появі сходів, але подовжили вегетацію нуту у цілому. Надмірно зволожений весняний і початок літнього періоду, коли весняні опади перевищували середню багаторічну норму в 2–3 рази, а червня місяця – на 13,8%, спричинили суттєве подовження вегетації у цілому та проходження окремих фаз росту і розвитку рослин зокрема.

Зокрема, фаза повної стиглості настала через 119 днів, а у найспекотніші роки – через 93–108 днів. Середня тривалість міжфазних періодів вегетації нуту сорту Пам'ять складала: «сівба – сходи» – 14,8 днів, «сходи – бутонізація» – 15,8,

«бутонізація – цвітіння» – 17,6, «цвітіння – формування бобів» – 17,6, «формування бобів – повна стиглість» – 44,2, а також вегетаційного періоду у цілому – 107,4 днів. Середні значення були у межах стандартних відхилень вибіркового середнього від середньої вибірки з вірогідністю 95%. Результати наших досліджень про суттєвість впливу метеорологічних чинників підтверджуються й іншими дослідниками [24].

Необхідно акцентувати увагу на здійсненні автором оцінювання впливу параметрів ґрунтово-кліматичних умов, таких як опади, ГТК, сума температур $>10^{\circ}\text{C}$, запасів продуктивної вологи у метровому

Кривенко А. І., Парлікокошко М. С., Чепурних В. М., Коваленко Н. П., Орехівський В. Д.

шарі ґрунту на тривалість вегетаційного періоду нуту й окремих його міжфазних періодів. При цьому не враховувалася дія систем живлення, оскільки, по-перше, у цілому різниця у тривалості міжфазних періодів за їх варіантами не перевищувала 1–2 дні на першому етапі «сходи – бутонізація», а далі – вирівнювалася.

По-друге, ефективність та рівень впливу систем живлення також детерміновано погодними умовами. Виходили із встановлених результатів досліджень інших сільськогосподарських культур, що ритмічні коливання абіотичних чинників створюють певну напругу в реалізації фізіологічних процесів формування вегетаційного періоду нуту, структурних складових урожайності та продуктивності у цілому [25; 26; 27; 28; 29]. Отже, виявлення кореляційного зв'язку для визначення статистичних критеріїв керування мінливістю таких ознак, як тривалість міжфазних періодів нуту є актуальним дослідженням з наукової та практичної точки зору.

У табл. 2 представлено вплив погодних умов на тривалість міжфазних періодів нуту сорту Пам'ять за його вирощування у богарних умовах Південного Степу України. Вибір періоду погодних умов базується на їх відповідності фазі розвитку рослин нуту. Тобто, сума ефективних температур чи кількість опадів, що передують

настанню рослинами нуту певної фенологічної фази, може мати досить суттєвий вплив на її тривалість. Однак показники, що відповідають настанню наступних фаз росту і розвитку, не можуть визначати тривалість фаз, що вже відбулися.

На тривалість періоду «сівба – сходи» впливає сума ефективних температур $\geq +10^{\circ}\text{C}$ у квітні та опади передпосівного періоду у березні, де коефіцієнт кореляції становить відповідно $r = -0,54$ та $r = 0,53$. Очевидно, що сума ефективних температур позитивно впливає на швидкість отримання сходів нуту, скорочуючи період від посіву до появи сходів.

Тривалість міжфазного періоду «сходи – бутонізація» помірно залежить від опадів квітня й травня і становить відповідно $r = 0,58$ та $r = 0,55$. А також має досить високі коефіцієнти кореляції із сумою ефективних температур $\geq +10^{\circ}\text{C}$ на рівні значного зв'язку квітня й травня, які складають відповідно $r = -0,63$ та $r = -0,75$.

Тривалість міжфазних періодів «бутонізація – цвітіння» та «цвітіння – формування бобів» є критичною у відношенні до запасів продуктивної вологи, які становлять відповідно $r = 0,78$ та $r = 0,84$ – $0,95$. Сума ефективних температур $\geq +10^{\circ}\text{C}$ за травень і червень складає відповідно $r = 0,80$ – $0,88$ та $r = -(0,71$ – $0,70)$. Хоча рослини нуту отримали рівень теплового забезпечення на більш ранніх етапах

Кривенко А. І., Парлікошко М. С., Чепурних В. М., Коваленко Н. П., Орехівський В. Д.

росту й розвитку до початку чинників у подальший їх ріст та міжфазного періоду «бутонізація – розвиток високий. формування бобів», однак внесок цих

2. Взаємозв'язок тривалості міжфазних періодів рослин нуту та параметрів погодних умов вирощування

Міжфазний період	Показник погоди		Коефіцієнт кореляції, r
Сівба – сходи	Опади березня		0,53
	Σ температур $>10^{\circ}\text{C}$ квітня		-0,54
	Запаси продуктивної вологи в шарі ґрунту 0–100 см у період посіву		-0,14
Сходи – бутонізація	Опади квітень	квітень	0,58
		травень	0,55
	Σ температур $>10^{\circ}\text{C}$	квітень	-0,63
		травень	-0,75
Бутонізація – цвітіння	Запаси продуктивної вологи в шарі ґрунту 0–100 см		0,78
	Σ температур $>10^{\circ}\text{C}$	квітень	0,80
		травень	0,88
		червень	-0,71
Цвітіння – формування бобів	Запаси продуктивної вологи в шарі ґрунту 0–100 см		0,84-0,95
	Опади травня		0,43
	Σ температур $>10^{\circ}\text{C}$	травень	0,88
		червень	-0,70
Формування бобів – повна стиглість	Запаси продуктивної вологи в шарі ґрунту 0–100 см		0,91-0,71
	Σ температур $>10^{\circ}\text{C}$	червень	-0,70
		липень	-0,50
Весь період вегетації	Запаси продуктивної вологи в шарі ґрунту 0–100 см	посів	0,94
		цвітіння	0,98
		формування бобів	0,69
	Опади	квітень	0,71
		травень	0,54
		липень	-0,36
	Σ температур $>10^{\circ}\text{C}$	квітень	0,43
		травень	0,43
		червень	-0,70

Важливими чинниками у формуванні тривалості міжфазного періоду «формування бобів – повна стиглість» є запаси продуктивної вологи у шарі ґрунту 0–100 см, де $r = 0,91-0,71$. Сума ефективних

температур $\geq +10^{\circ}\text{C}$ за червень та липень становить відповідно $r = -0,70$ та $r = -0,50$. Прямий позитивний зв'язок між запасами продуктивної вологи у 0–100 см шарі ґрунту свідчить, що за зростання його

Кривенко А. І., Парлікокошко М. С., Чепурних В. М., Коваленко Н. П., Орехівський В. Д.

вологозабезпеченості, у рослин нуту пролонгується формування та досягання зерна, а при підвищенні суми активних температур у цей період – пришвидшується досягання, а тривалість цього міжфазного періоду скорочується.

У цілому тривалість всього вегетаційного періоду росту і розвитку рослин нуту є критичним у відношенні до запасів продуктивної вологи від посіву до формування бобів, що становить $r = 0,98-0,69$, опадів квітня і травня, де $r = 0,71-0,54$, а наприкінці вегетації у липні опади мають обернений зв'язок, де $r = -0,36$. На тривалість вегетації впливає і сума ефективних температур $\geq +10^{\circ}\text{C}$ за квітень та травень, де $r = 0,43$, а от сума ефективних температур $\geq +10^{\circ}\text{C}$ за червень має від'ємний вплив, де $r = -0,70$.

За оптимального забезпечення зернобобових культур всіма

необхідними чинниками, ріст рослин у висоту є майже нескінченним процесом, на відміну від більшості інших сільськогосподарських культур, в яких лінійні розміри формуються в основному до фази цвітіння. Якщо п дозріванні нуту випадають опади, а на рослині вже згенерувалось зерно, вона продовжує свій ріст, формує бутони, продовжує цвітіння. З технологічної точки зору це не є бажаним, тому що збирання стає неможливим і необхідно агротехнологічними заходами підсушувати масу.

За результатами досліджень не відмічається вплив передпосівної інокуляції і виду інокулянту на проходження фаз росту й розвитку рослин. Тому лінійні розміри рослин, відповідно до фаз гілкування та повної стиглості, наведено за варіантами систем удобрення і за роками досліджень (табл. 3, 4).

3. Висота рослин нуту залежно від системи удобрення у фазу гілкування

№№	Система добрив	Висота рослин, см				± до контролю	
		2016	2017	2018	середнє	см	%
1	контроль	18,5	13,4	12,9	14,9	0	0
2	P ₃₀ K ₃₀	20,6	15,3	13,8	16,6	1,7	11,4
3	P ₃₀ K ₃₀ +N ₃₀	21,6	15,4	14,1	17,0	2,1	14,1
4	P ₃₀ K ₃₀ +N ₃₀ + N ₃₀	23,4	15,3	14,2	17,6	2,7	18,1
5	P ₃₀ K ₃₀ +N ₆₀	24,4	14,8	13,6	17,6	2,7	18,1
6	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	24,6	14,6	13,5	17,6	2,7	18,1
7	N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	25,3	14,3	13,8	17,8	2,9	19,5
8	N ₃₀ при сівбі	21,3	15,4	14,1	16,9	2,0	13,4
9	N ₆₀ при сівбі	24,2	15,8	14,7	18,2	3,3	22,1
10	N ₉₀ при сівбі	25,4	14,9	14,4	18,2	3,3	22,1
11	N ₁₂₀ при сівбі	24,8	15,1	14,6	18,2	3,3	22,1
12	N ₃₀ + N ₃₀ у вегетацію	19,6	14,1	13,8	15,8	0,9	6,0
H _{IP} 05		1,1	1,3	1,5			

Кривенко А. І., Парлікокошко М. С., Чепурних В. М., Коваленко Н. П., Орехівський В. Д.

Потрібно відмітити, що контролем у середньому за роки інокулянти теж достовірно досліджень на 13,5 %, між ними підвищують лінійні розміри рослин суттєва різниця відсутня. нуту у фазу гілкування в порівнянні з

4. Висота рослин нуту залежно від системи удобрення у фазу повної стиглості

№№	Система добрив	Висота рослин, см				± до контролю	
		2016	2017	2018	середнє	см	%
1	контроль	53,1	40,3	30,8	41,6	0	0
2	P ₃₀ K ₃₀	61,7	40,9	31,0	44,5	2,9	7,1
3	P ₃₀ K ₃₀ +N ₃₀	61,7	42,3	33,3	45,8	4,2	10,0
4	P ₃₀ K ₃₀ +N ₃₀ + N ₃₀	66,9	43,8	35,2	48,6	7,0	16,9
5	P ₃₀ K ₃₀ +N ₆₀	67,8	41,2	35,1	48,0	6,4	15,5
6	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	70,4	43,7	36,2	50,1	8,5	20,4
7	N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	70,3	42,0	35,8	49,4	7,8	18,7
8	N ₃₀ при сівбі	60,9	41,5	36	46,1	4,5	10,9
9	N ₆₀ при сівбі	55,2	42,5	37,2	45,0	3,4	8,1
10	N ₉₀ при сівбі	52,8	43,1	37,6	44,5	2,9	7,0
11	N ₁₂₀ при сівбі	51,4	40,8	37,0	43,1	1,5	3,5
12	N ₃₀ + N ₃₀ у вегетацію	56,7	46,1	37,2	46,7	5,1	12,2
НІР ₀₅		1,5	1,4	1,7	24,5		

У середньому за результатами досліджень упродовж 2016–2018 рр. системи удобрення достовірно, крім варіанту 12, сприяли підвищенню висоти рослин нуту у фазу гілкування: зростання склало від 11,4 до 22,1 %. За роками досліджень ступінь впливу систем удобрення відрізнявся. Зокрема, у 2016 р. за всіма варіантами систем удобрення відмічається суттєве зростання висоти рослин, як у відношенні до контролю, так і до варіанту із внесенням лише фосфорно-калійних добрив. У 2017 р. також практично у всіх варіантах, окрім варіантів із внесенням повного мінерального добрива під передпосівну культивуацію, встановлено

достовірний приріст висоти рослин у відношенні тільки до варіанту без удобрення. У 2018 р. суттєву різницю визначено тільки між контрольним варіантом та внесенням N₆₀₋₁₂₀ за сівби.

Середня висота рослин у фазу гілкування становила: у 2016 р. – 22,8 см, 2017 р. – 14,9 см, 2018 р. – 13,9 см. Наприкінці вегетації у фазу повної стиглості середня висота рослин нуту складала: у 2016 р. – 59,9 см, 2017 р. – 42,2 см, 2018 р. – 35,1 см. Отже, системи удобрення, за невеликим відхиленням, впливають на лінійний розмір рослин у фазу повної стиглості аналогічно фазі гілкування.

Кривенко А. І., Парлікокошко М. С., Чепурних В. М., Коваленко Н. П., Орехівський В. Д.

У досліді, де встановлювали ефективність рідких органо-мінеральних препаратів, у фазу гілкування суттєвої різниці між варіантами дослідження не виявлено (табл. 5, рис. 1). Вона була в межах похибки досліду, де показник коливався від 11,2 до 11,8 см у варіантах із препаратами без внесення азоту і від 13,0 до 13,6 см при внесенні під посів N_{30} .

Це пояснюється тим, що фактори дослідження ще не встигли вплинути на ростові процеси, оскільки саме у фазу гілкування рослини нуту вперше

обробили розчинами препаратів. Під час цвітіння і наливу зерна рослини нуту суттєво різнилися за висотою, залежно від комбінації чинників дослідження.

Необхідно відмітити, що після оброблення рослин нуту у фазу гілкування, у варіантах із препаратами Amino та Аміно Мікро спостерігалися опіки, тому в наступні дві фази концентрація робочого розчину цих препаратів була зменшена вдвічі, але все ж таки рослини за вказаними варіантами відставали у розвитку від інших.

5. Вплив рідких органо-мінеральних препаратів та азотних добрив на динаміку висоти рослин нуту

Варіант	Зміст варіанту	Висота рослин нуту за фазами		
		гілкування	цвітіння	налив зерна
Без внесення азотних добрив	Контроль	11,15	28,05	32,15
	Amino	11,20	30,05	32,98
	Аміно Мікро	11,15	30,55	33,83
	Фульво TE	11,05	33,48	35,52
	SeedTreatment	11,13	32,21	34,83
	Антистрес (SG Protector)	11,82	33,15	37,05
	EXTRA	11,25	30,75	34,67
	RootMost	11,23	32,38	37,55
	Полімікростим	11,51	31,46	35,89
	Аватар органіка+Аватар захист + Аватар бар'єр	11,08	29,95	32,37
HIP ₀₅		1,25	1,85	2,23
На фоні $N_{30}+N_{30}$	Контроль	13,45	30,28	35,37
	Amino	13,25	25,48	27,43
	Аміно Мікро	13,34	27,55	31,97
	Фульво TE	13,55	33,45	35,38
	SeedTreatment	13,05	33,58	35,45
	Антистрес (SG Protector)	13,63	34,41	38,85
	EXTRA	12,98	33,72	37,37
	RootMost	13,15	34,25	36,22
	Полімікростим	13,19	34,15	38,77
	Аватар органіка+Аватар захист + Аватар бар'єр	13,02	26,70	28,5
HIP ₀₅		2,45	2,43	3,05

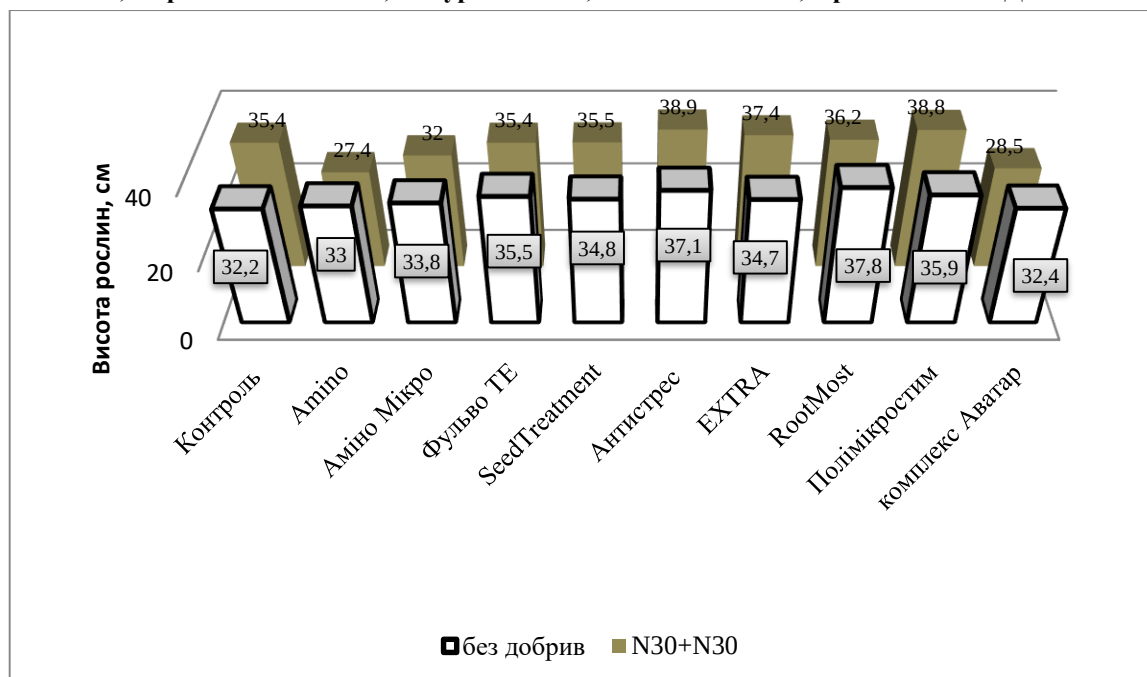


Рис. 1. Вплив фону живлення на висоту рослин нуту у фазу наливу зерна, см

Внесення під посів мінерального азоту в нормі 30 кг/га позитивно вплинуло на лінійні розміри рослин нуту, у контрольному варіанті вони мали на 10,0 % більшу висоту. Але комплексний вплив мінерального азоту та рідких органічно-мінеральних препаратів був не таким однозначним: кращий ріст і розвиток рослин відмічався у варіантах із обробленням препаратами Seed Treatment, Антистрес (SG Protector), Extra та Полімікростим, де підвищення складало від 1,8 до 8,0% проти цих же варіантів без удобрення.

Практично аналогічна тенденція зберігалась і до фази повної стиглості зерна нуту. Зокрема, рослини на ділянках із внесенням мінерального азоту були вищими за рослини з контрольних ділянок: від 6,6 % порівняно з чистим контролем, до 7,0–7,1 % у парах Amino mikro, Фульво Те, Полімікростим (рис. 2). Мінімальне зростання, яке становило 1,9 %, відмічали при використанні комплексу Аватар, а невелике зменшення, яке склало -0,6 %, – із внесенням Amino.

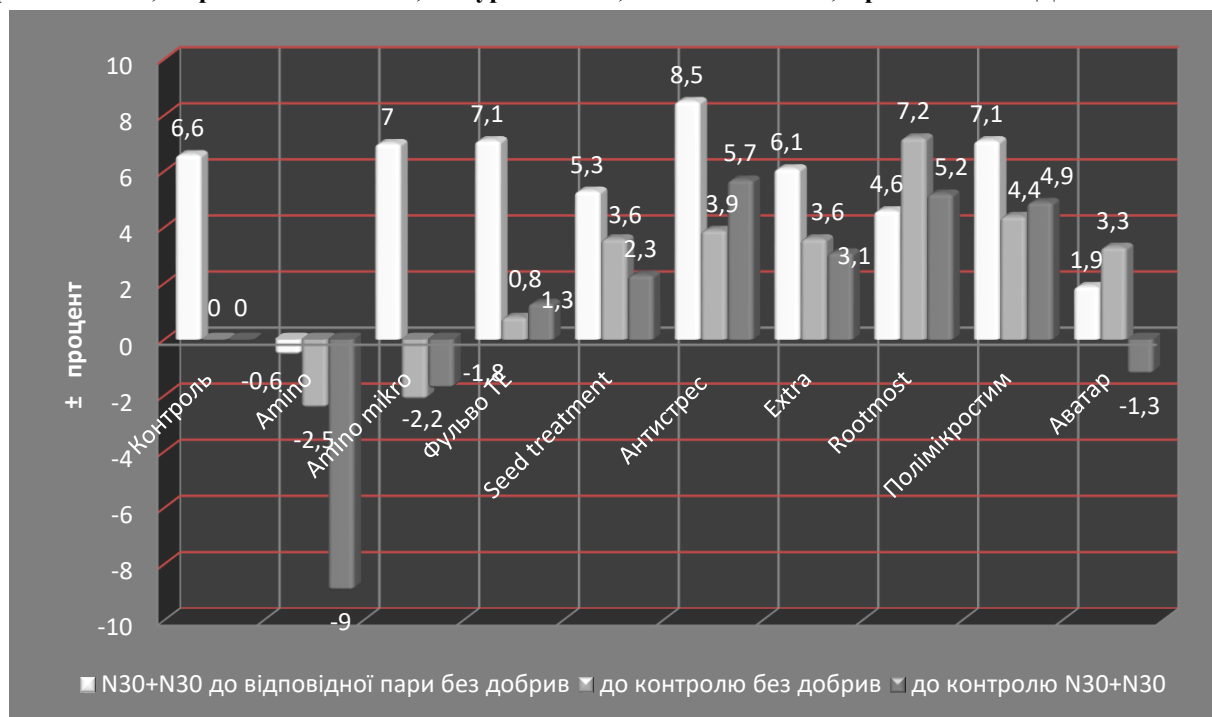


Рис. 2. Відхилення висоти рослин нуту у фазу повної стиглості

Порівняння, всередині кожного блоку живлення, варіантів із використанням біопрепаратів Amino та Amino mikro з відповідним контролем відбувалось очевидне зменшення висоти рослин нуту проти чистого контролю на 2,5–2,2 %. А комплексне внесення мінерального азоту разом з біопрепаратом Amino забезпечило граничне зменшення висоти рослин нуту на 9,0 %. На фоні азотного живлення найбільше сприяло росту й розвитку рослин нуту внесення препаратів Root Most (+5,2 %) та Антистрес (+5,7 %), максимально – на неудобреному фоні з внесенням біопрепарату Root Most (+7,2 %).

Висновки і перспективи подальших досліджень. Таким чином, здійснений математичний обробіток результатів досліджень забезпечив встановлення

кореляційного зв'язку тривалості окремих міжфазних періодів і вегетації нуту у цілому із погодними умовами: суми ефективних температур ($\geq +10^{\circ}\text{C}$) за квітень, травень, червень ($r=0,70-0,88/$), із сумою опадів ($r=0,43-0,70/$), та запасами продуктивної вологи в 1 м шарі чорнозему південного ($r=0,69-0,98$). Вказані показники погодних умов мають вплив упродовж всієї вегетації рослин нуту, водночас основні відмінності відбуваються лише у тісному зв'язку та його направленості.

Визначено, що внесення мінеральних добрив суттєво впливає на лінійні розміри рослин нуту. У середньому за 2016–2018 рр. при використанні системи мінерального удобрення достовірно підвищення висоти рослин нуту у фазу гілкування склало від 11,4 % до

Кривенко А. І., Парлікокошко М. С., Чепурних В. М., Коваленко Н. П., Орехівський В. Д.

22,1 %. У посушливий рік більший вплив мали азотні добрива, у сприятливий за вологозабезпеченістю – всі види добрив.

З'ясовано, що при використанні рідких органо-мінеральних препаратів, найкращий ріст і розвиток рослин нуту відмічався у варіантах з обробленням препаратами Seed Treatment, Антистрес (SG Protector), Extra та

Полімікростим. На фоні внесення мінерального азоту ($N_{30}+N_{30}$) підвищення становило 1,8–8,0% у порівнянні із зазначеними варіантами без внесення добрив.

Подальші дослідження будуть виконуватись у напрямі порівняння показників економічної ефективності вирощування нуту залежно від систем живлення у посушливому Південному Степу України.

Список використаних джерел

1. Коваленко Н. П. Становлення та розвиток науково-організаційних основ застосування вітчизняних сівозмін у системах землеробства (друга половина XIX – початок XXI ст.): монографія. Київ: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2014. 490 с.

2. Демиденко О. В., Бойко П. І., Блащук М. І., Шаповал І. С., Коваленко Н. П. Сівозміни та родючість чорнозему Лівобережного Лісостепу: монографія. Сміла: Чорнобаївське КПП, 2019. 484 с.

3. Моргун В. В. Генетика і селекція в Україні на межі тисячоліть: у 4 т. Київ: Логос, 2001. Т. 1. 644 с.

4. Моргун В. В. Генетика і селекція в Україні на межі тисячоліть: у 4 т. Київ: Логос, 2001. Т. 2. 636 с.

5. Юркевич Є. О., Бойко П. І., Коваленко Н. П., Валентюк Н. О. Науково-технологічні та агробіологічні основи високопродуктивних агроecosистем України: монографія. Одеса: Видавництво ТОВ «Іздательський центр», 2021. 654 с.

6. Plant Growth and Physiology. Section4. Chickpea. GRDC. September 2018. 24 p.

URL: <https://www.grdc.com.au/resources-and-publications/grownotes/crop-agronomy/chickpeagrownotes/GrowNote-Chickpea-North-4-Physiology.pdf>. (дата звернення: 10.01.2023).

7. Січкач В. І., Бушулян О. В. Нут. Ботанічна характеристика, біологічні

особливості, агротехніка та нові сорти. Одеса: СГІ-НАЦ НАІС, 2007. 24 с.

8. Карпенко В. П., Коробко О. О. Вплив біологічно активних речовин на ростові процеси рослин нуту в умовах Правобережного Лісостепу України. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2018. №29. С. 17–24.

9. Шевченко А. М. Нут – екологічно приваблива зернобобова культура посушливого землеробства. *Посібник Українського хлібороба*. 2013. Т. 2. С. 199–201.

10. Clarke H. J., Siddique K. H. M. Response of chickpea genotypes to low temperature stress during reproductive development. *Field Crops Res.* 2004. 90. 232–334.

11. Leport L., Turner N. C., Davies S. L., Siddique K. H. M. Variation in pod production and abortion among chickpea cultivars under terminal drought. *Eur. J. Agron.* 2006. 24. 236–246.

12. Thangwana N. M., Ogola J. B. O. Yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum*): Response to genotype and planting density in summer and winter sowings. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 2012. Vol. 10 (2). 710–715.

13. Gan Y., Wang J., Angadi S. V., McDonald C. L. Response of chickpea to short periods of high temperature and water stress at different developmental stages. *Proceedings of the International Crop Science Congress: 4th International Crop Science Congress*, September 26–October 1, Australia, Brisbane,

Кривенко А. І., Парлікокошко М. С., Чепурних В. М., Коваленко Н. П., Орехівський В. Д.

2004.

URL: <https://www.cropscience.org.au/icsc>.

(дата звернення: 10.01.2023).

14. Гамаюнова В. В., Томницький А. В. Вплив мінеральних добрив на поживний режим темно-каштанового ґрунту та врожайність нуту. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія»*. 2013. Вип. 3(25). С. 67–71.

15. Каленська С. М., Нетупська І. Т., Новицька Н. В. Морфогенез рослин нуту під впливом гідротермічних умов, передпосівної інокуляції насіння та удобрення.

URL: <https://www.sworld.com.ua/konfer26/853.pdf>. (дата звернення: 10.01.2023).

16. Stolf-Moreira R., Lemos E., Carareto-Alves L., Marcondes J., Pereira S., Rolla A., Pereira R., Neumaier N., Binneck E., Abdelnoor R. et al. Transcriptional profiles of roots of different soybean genotypes subjected to drought stress. *Plant Mol Biol Rep*. 2011. 29. 19–34.

17. Stoyanov Z. Z. Effect of water stress on leaf water relations of young bean. *J. Cent. Eur. Agric*. 2005. 6. 5–14.

18. Бушулян О. В., Січкач В. І. Нут: генетика, селекція, насінництво, технологія вирощування: монографія. Одеса: СГІ-НЦНС, 2009. 246 с.

19. Ушкаренко В. О., Лавренко Н. М. Урожай зерна нуту залежно від основного обробітку ґрунту, доз добрив та густоти стояння рослин за різних умов зволоження на Півдні України. *Зрошуване землеробство*. 2014. №62. С. 42–44.

20. Клименко М. О., Фещенко В. П., Вознюк Н. М. Основи та методологія наукових досліджень: навчальний посібник. Київ: Аграрна освіта, 2010. 352 с.

21. Мойсейченко В. Ф., Єщенко В. О. Основи наукових досліджень в агрономії. Київ: Вища школа, 1994. 334 с.

22. Січкач В. І., Бушулян О. В. Технологія вирощування нуту в Україні. *Пропозиція*. 2001. №10. С. 42–43.

23. Методика проведення експертизи та державного випробування сортів рослин зернових, круп'яних та зернобобових культур. *Офіційний бюлетень. Державна*

служба з охорони прав на сорти рослин. 2003. №2. Ч. 3. 242 с.

24. Осадчий В. І., Бабіченко В. М. Температура повітря на території України в сучасних умовах клімату. *Український географічний журнал*. 2013. №4. С. 32–39.

25. Бойко П. І. Кукурудза в інтенсивних сівозмінках. Київ: Урожай, 1990. 142 с.

26. Господаренко Г. М., Черно О. Д., Крижанівський В. Г., Рябовол Я. С., Любич В. В. Ріст і розвиток пшениці озимої у весняно-літній період вегетації залежно від умов мінерального живлення в Правобережному Лісостепу України. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2020. №2. С. 3. <https://doi.org/10.31395/2310-0478-2020-2-3-8>.

27. Мазур О. В., Роїк М. В., Паламарчук В. Д., Мазур О. В. Аналіз кореляційних зв'язків між цінними господарськими ознаками квасолі звичайної. *Сільське господарство та лісівництво*. 2016. №3. С. 133–138.

28. Паламарчук В. Д., Алексєєв О. О. Математичні моделі високо крохмальних гібридів кукурудзи різних груп стиглості. *Сільське господарство та лісівництво*. 2020. №16. С. 28–47. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2020-1-3>.

29. Свиридов А. М., Свиридов А. А. Формування сходів сорго зернового залежно від погодних умов Східного Лісостепу. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2019. Вип. 2. С. 62–68. [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2019-2\(102\)](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2019-2(102)).

References

1. Kovalenko N. P. (2014). *Stanovlennia ta rozvytok naukovo-orhanizatsiinykh osnov zastosuvannia vitchyznianskykh sivozmin u systemakh zemlerobstva (druha polovyna XIX–pochatok XXI st.): monohrafiia*. [Becoming and development of scientifically and organizational bases of application of home crop rotations in the systems of agriculture (the second half of XIX is beginning of XXI of century): monograph]. Kyiv: TOV «Nilan-LTD». 490.

2. Demydenko O. V., Boiko P. I., Blashchuk M. I., Shapoval I. S. &

Кривенко А. І., Парлікокошко М. С., Чепурних В. М., Коваленко Н. П., Орехівський В. Д.

Kovalenko N. P. (2019). *Sivozminy ta rodiuchist chornozemu Livoberezhnoho Lisostepu: monohrafiia* [Crop rotations and fertility of chernozem of the Left Bank Forest Steppe: monograph]. Smila: Chornobaivske KPP. 484.

3. Morhun V. V. (2001). *Henetyka i selektsiia v Ukraini na mezhi tysiacholit: u 4 tomakh* [Genetics and breeding in Ukraine at the turn of the millennium: in 4 volumes]. Kyiv: Logos, 1. 664.

4. Morhun V. V. (2001). *Henetyka i selektsiia v Ukraini na mezhi tysiacholit: u 4 tomakh* [Genetics and breeding in Ukraine at the turn of the millennium: in 4 volumes]. Kyiv: Logos, 2. 636.

5. Yurkevych Ye. O., Boiko P. I., Kovalenko N. P. & Valentiuk N. O. (2021). *Naukovo-tekhnologichni ta ahrobiologichni osnovy vysokoproduktyvnykh ahroekosystem Ukrainy: monohrafiia* [Scientific-technological and agrobiological bases of highly productive agroecosystems of Ukraine: monograph]. Odesa: Vydavnytstvo TOV «Izdatelskyi tsentr». 654.

6. (2018). Plant Growth and Physiology. Section4. Chickpea. GRDC. 24. URL: <https://www.grdc.com.au/resources-and-publications/grownotes/crop-agronomy/chickpeagrownotes/GrowNote-Chickpea-North-4-Physiology.pdf>. (date of application: 10.01.2023).

7. Sichkar V. I. & Bushulian O. V. (2007). *Nut. Botanichna kharakterystyka, biolohichni osoblyvosti, ahrotekhnika ta novi sorty* [Botanical characteristics, biological features, agricultural technology and new varieties]. Odesa: SHI-NATs NAIS, 24.

8. Karpenko V. P. & Korobko O. O. (2018). *Vplyv biolohichno aktyvnykh rehovyn na rostovi protsesy roslyn nutu v umovakh Pravoberezhnoho Lisostepu Ukrainy* [The influence of biologically active substances on the growth processes of chickpea plants in the conditions of the Right Bank Forest Steppe of Ukraine]. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika*. 29. 17–24.

9. Shevchenko A. M. (2013). *Nut – ekolohichno pryvablyva zernobobova kultura posushlyvoho zemlerobstva* [Chickpea is an ecologically attractive leguminous crop of arid

agriculture]. *Posibnyk Ukrainskoho khliboroba*. 2. 199–201.

10. Clarke H. J. & Siddique K. H. M. (2004). Response of chickpea genotypes to low temperature stress during reproductive development. *Field Crops Res.* 90. 232–334.

11. Leport L., Turner N. C., Davies S. L. & Siddique K. H. M. (2006). Variation in pod production and abortion among chickpea cultivars under terminal drought. *Eur. J. Agron.* 24. 236–246.

12. Thangwana N. M. & Ogola J. B. O. (2012). Yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum*): Response to genotype and planting density in summer and winter sowings. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 10 (2). 710–715.

13. Gan Y., Wang J., Angadi S. V. & McDonald C. L. (2004). Response of chickpea to short periods of high temperature and water stress at different developmental stages. *Proceedings of the International Crop Science Congress: 4th International Crop Science Congress*, September 26–October 1, Australia, Brisbane.

URL: <https://www.cropsscience.org.au/icsc>. (date of application: 10.01.2023).

14. Hamaiunova V. V. & Tomnytskyi A. V. (2013). *Vplyv mineralnykh dobryv na pozhyvnyi rezhym temno-kashtanovoho gruntu ta vrozhaist nutu* [The effect of mineral fertilizers on the nutrient regime of dark chestnut soil and the yield of chickpeas]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho aharnoho universytetu. Seriiia «Ahronomiia i biolohiia»*. 3(25). 67–71.

15. Kalenska S. M., Netupska I. T. & Novytska N. V. (2023). *Morfohenez roslyn nutu pid vplyvom hidrotermichnykh umov, predposivnoi inokuliatsii nasinnia ta udobrennia* [Morphogenesis of chickpea plants under the influence of hydrothermal conditions, pre-sowing seed inoculation and fertilization]. URL: <https://www.sworld.com.ua/konfer26/853.pdf>. (date of application: 10.01.2023).

16. Stolf-Moreira R., Lemos E., Carareto-Alves L., Marcondes J., Pereira S., Rolla A., Pereira R., Neumaier N., Binneck E., Abdelnoor R. et al. (2011). Transcriptional profiles of roots of different soybean genotypes subjected to drought stress. *Plant Mol Biol Rep.* 29. 19–34.

Кривенко А. І., Парлікошко М. С., Чепурних В. М., Коваленко Н. П., Орехівський В. Д.

17. Stoyanov Z. Z. (2005). Effect of water stress on leaf water relations of young bean. *J. Cent. Eur. Agric.* 6. 5–14.
18. Bushulian O. V. & Sichkar V. I. (2009). Nut: henetyka, selektsiia, nasinnytstvo, tekhnolohiia vyroshchuvannia: monohrafiia [Chickpea: genetics, selection, seed production, growing technology: monograph]. Odesa: SHI-NTsNS, 246.
19. Ushkarenko V. O. & Lavrenko N. M. (2014). Urozhai zerna nutu zalezno vid osnovnoho obrobittu gruntu, doz dobryv ta hustoty stoiannia roslyn za riznykh umov zvolozhennia na Pivdni Ukrainy [Chickpea grain yield depending on the main tillage, fertilizer doses and plant stand density under different moisture conditions in the South of Ukraine]. *Zroshuvane zemlerobstvo*. 62. 42–44.
20. Klymenko M. O., Feshchenko V. P. & Vozniuk N. M. (2010). Osnovy ta metodolohiia naukovykh doslidzhen: navchalnyi posibnyk [Fundamentals and methodology of scientific research: a study guide]. Kyiv: Ahrarna osvita, 352.
21. Moiseichenko V. F. & Yeshchenko V. O. (1994). Osnovy naukovykh doslidzhen v ahronomii [Basics of scientific research in agronomy]. Kyiv: Vyshcha shkola, 334.
22. Sichkar V. I. & Bushulian O. V. (2001). Tekhnolohiia vyroshchuvannia nutu v Ukraini [Chickpea cultivation technology in Ukraine]. *Propozytsiia*. 10. 42–43.
23. (2003). Metodyka provedennia ekspertyzy ta derzhavnoho vyprobuvannia sortiv roslyn zernovykh, krupianykh ta zernobobovykh kultur [Methodology of examination and state testing of plant varieties of grain, grain and leguminous crops]. *Ofitsiyni biuleten. Derzhavna sluzhba z okhorony prav na sorty roslyn*. 2. 3. 242.
24. Osadchyi V. I. & Babichenko V. M. (2013). Temperatura povitria na terytorii Ukrainy v suchasnykh umovakh klimatu [Air temperature on the territory of Ukraine in modern climate conditions]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal*. 4. 32–39.
25. Boiko P. I. (1990). *Kukurudza v intensyvnykh sivozminakh* [Corn in intensive crop rotations]. Kyiv: Urozhai, 142.
26. Hospodarenko H. M., Cherny O. D., Kryzhanivskiy V. H., Riabovol Ya. S. & Liubych V. V. (2020). Rist i rozvytok pshenytsi ozymoi u vesniano-litnii period vehetatsii zalezno vid umov mineralnoho zhyvlennia v Pravoberezhnomu Lisostepu Ukrainy [Growth and development of winter wheat in the spring-summer vegetation period depending on the conditions of mineral nutrition in the Right Bank Forest Steppe of Ukraine]. *Visnyk Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva*. 2. 3. <https://doi.org/10.31395/2310-0478-2020-2-3-8>.
27. Mazur O. V., Roik M. V., Palamarchuk V. D. & Mazur O. V. (2016). Analiz koreliatsiinykh zviazkiv mizh tsinnymy hospodarskymy oznakamy kvasoli zvychainoi [Analysis of correlations between valuable economic characteristics of common beans]. *Silke hospodarstvo ta lisivnytstvo*. 3. 133–138.
28. Palamarchuk V. D. & Aliksieiev O. O. (2020). Matematychni modeli vysoko krokhmalnykh hibrydiv kukurudzy riznykh hrup styhlosti [Mathematical models of high-starch corn hybrids of different maturity groups]. *Silke hospodarstvo ta lisivnytstvo*. 16. 28–47. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2020-1-3>.
29. Svyrydov A. M. & Svyrydov A. A. (2019). Formuvannia skhodiv sorho zernovoho zalezno vid pohodnykh umov Skhidnoho Lisostepu [Grain sorghum seedling formation depending on the weather conditions of the Eastern Forest Steppe]. *Visnyk ahrarnoi nauky Prychornomoria*. 2. 62–68. [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2019-2\(102\)](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2019-2(102)).

GROWTH AND DEVELOPMENT OF CHICKPEA PLANTS DEPENDS ON FOOD SYSTEMS IN THE SOUTHERN STEPPE OF UKRAINE**A. I. Kryvenko, M. S. Parlikokoshko, V. M. Chepurnykh, N. P. Kovalenko, V. D. Orekhivskyi**

Abstract. *It has been established that the formation of the yield of agricultural crops is related to a complex of factors, among which changes in soil and climatic conditions at the global, zonal and regional levels occupy an important place. It was found that in order to overcome the negative impact of these factors, an important scientifically based measure is the creation of modern high-yielding varieties and hybrids of agricultural crops, resistant to temperature and water stress factors, which, when grown in scientifically based technologies, are able to stabilize the formation of high yields under conditions of drought and elevated temperature regime.*

It was determined that moisture conditions have a significant impact on the growth and development of chickpea plants, as they determine the availability of nutrients and the supply of moisture, which contributes to the increase in the intensity of growth processes. It was established that the application of mineral fertilizers significantly affects the linear dimensions of chickpea plants. When using the mineral fertilizer system, the reliable increase in the height of chickpea plants in the branching phase was from 11,4% to 22,1%. In a dry year, nitrogen fertilizers had a greater effect, in a year favorable for moisture availability – all types of fertilizers. It was found that when liquid organo-mineral preparations were used, the best growth and development of chickpea plants was observed in variants treated with Seed Treatment, Antistress (SG Protector), Extra and Polymicrostim. Against the background of the application of mineral nitrogen (N30+N30), the increase was 1,8–8,0% in comparison with the specified options without the application of fertilizers.

Keywords: *plant growth and development, chickpea, nutrition systems, mineral fertilizers, liquid organo-mineral preparations, climate changes, arid conditions*

РОДЮЧІСТЬ ЧОРНОЗЕМУ ТИПОВОГО ЗА БАГАТОРІЧНОГО ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ В КОРОТКОРОТАЦІЙНІЙ СІВОЗМІНІ

М. В. ВОЙТОВИК, кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
<https://orcid.org/0000-0002-6943-3213>

І. Д. ПРИМАХ, доктор сільськогосподарських наук, професор,
завідувач кафедри землеробства, агрохімії та ґрунтознавства,
<https://orcid.org/0000-0002-0094-3469>

Білоцерківський національний аграрний університет

О. А. ЦЮК, доктор сільськогосподарських наук, професор,
<https://orcid.org/0000-0001-8789-522x>

В. І. МЕЛЬНИК, кандидат сільськогосподарських наук,
<https://orcid.org/0000-0002-8782-1236>

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: zemlerobstvo_@ukr.net

[https://doi.org/10.31548/dopovidi3\(103\).2023.008](https://doi.org/10.31548/dopovidi3(103).2023.008)

Анотація. У системі агротехнічних заходів, спрямованих на підвищення родючості чорноземів і продуктивності сільськогосподарських культур, важливе місце займає обробіток ґрунту. Метою досліджень обґрунтувати залежність родючості чорнозему типового в короткоротаційній сівозміні та встановити агрохімічні показники за багаторічної системи удобрення і обробітку ґрунту. Застосовувані матеріали й методи: результати багаторічних досліджень у стаціонарному польовому досліді; аналіз, узагальнення і статистична обробка даних фондових і сучасних літературних матеріалів. Подано результати вивчення застосування систем основного обробітку ґрунту на вміст гумусу, нітратного і амонійного азоту, рухомого фосфору, обмінного калію в чорноземі типовому центрального Лісостепу України. Встановлено, що органо-мінеральна система удобрення на фоні мілкого і полицево-безполицевого обробітку ґрунту вміст гумусу в орному шарі підвищується на 1,35 і 2,74 % (в абсолютних величинах). Вміст нітратного азоту на період сходів збільшується в шарі 0-25 см за полицево-безполицевого і диференційованого обробітку ґрунту порівняно з мілким обробітком. Виявлено, що за систематичного полицево-безполицевого обробітку істотно зниження вміст рухомих фосфатів не відмічено порівняно з диференційованим обробітком ґрунту. За диференційованого обробітку ґрунту виявлено зниження вмісту рухомих фосфатів в орному шарі на період сходів соняшнику. Вміст обмінного за диференційованого обробітку ґрунту мав вищі показники на період сходів соняшнику орному шарі на 24 мг/кг ґрунту, підорному – 8,8 мг/кг ґрунту порівняно з мілким безполицевим. Перспективним напрямком для подальших досліджень є вивчення якісного складу гумусу та міграції фосфатів у метровій товщі ґрунту.

Ключові слова: гумус, нітратний азот, рухомий фосфор, обмінний калій, амонійний азот

Актуальність. Визначаючим фактором у підвищенні стійкості агроєкосистем є збереження родючості ґрунту як засобу виробництва, тому що за тривалого антропогенного навантаження зменшується вміст гумусу [1, 10, 22, 26], а це порушує колообіг вуглецю в системі ґрунт – рослина [16, 24, 25].

Відтворення вмісту гумусу у ґрунті спостерігається за використанням органо-мінеральної системи удобрення з урахуванням дотримання балансу органічної речовини [22, 26]. Застосування лише одних мінеральних добрив прискорює мінералізацію гумусу. Поряд з використанням гною і мінеральних добрив заорювання післяжнивних решток сільськогосподарських культур дає можливість компенсувати дегуміфікацію органічної речовини [10].

Аналіз досліджень і публікацій з досліджуваної теми. Одним з головних завдань основного обробітку ґрунту є створення оптимальних умов мінерального живлення рослин та поповнення елементами живлення ґрунту. Існує багато думок щодо впливу обробітку на вміст поживних речовин в орному шарі [14].

Інтенсивний глибокий обробіток чорноземних ґрунтів значною мірою

посилює втрати поживних елементів та гумусу. Застосування безполицевого та поверхневого обробітків призводить до нерівномірного розподілу органічних та мінеральних добрив по профілю орного шару. При цьому спостерігається диференціація орного шару за вмістом поживних речовин, а саме нагромадження їх у верхньому і зменшення у нижньому шарах [20].

Встановлено, що безполицевий обробіток не має переваг перед оранкою в справі регулювання поживного режиму ґрунту [11].

На фоні органічних добрив доза азоту повинна компенсувати іммобілізацію азоту ґрунтового мікрофлорою з дотриманням науково-обґрунтованого балансу [10, 26]. Найбільше забезпечення ґрунту азотом спостерігається при використанні органо-мінеральної системи удобрення і наявності бобових культур у сівозміні [3,4]. Застосування азотних добрив дає можливість підвищити вміст мінерального азоту у ґрунті, сприяє зростанню сполук амонію, підвищується вміст лужногідролізованого азоту [14,20].

Для більшості польових культур, практично на всіх типах ґрунтів, характерна висока ефективність від внесення фосфорних добрив. За низького вмісту фосфору майже

Войтовик М. В., Примаєв І. Д., Цюк О. А., Мельник В. І.

неможливо отримати високі врожаї. Нестача цього елементу призводить до порушення фізіологічних процесів у рослинах, а також негативно впливає на їх азотне та калійне живлення [3].

Низка досліджень свідчать про те, що найефективнішим агрохімічним заходом у підвищенні вмісту рухомих сполук калію ґрунту є сумісне застосування органічних і мінеральних добрив. Таке поєднання уповільнює перехід калію в ґрунтовий розчин, робить цей процес рівномірним у часі, що зменшує необхідну фіксацію та вимивання калію за межі ґрунтового профілю [17, 18].

Застосування добрив сприяє накопиченню рухомих сполук калію в орному і підорному шарах ґрунту. При цьому багато вчених відмічали, що оцінювати калійний стан лише за вмістом сполук рухомого або обмінного калію в орному шарі ґрунту недостатньо [9].

Отже, проведення раціонального обробітку ґрунту та застосування оптимального удобрення сприяє підвищенню продуктивності соняшнику. Проте дослідних даних щодо зони недостатнього зволоження про вплив способів обробітку ґрунту й удобрення на продуктивність соняшнику украй недостатньо.

Мета дослідження – обґрунтувати залежність родючості чорнозему типового в короткочасній сівозміні та

встановити оптимальні агрохімічні показники за системи удобрення і обробітку ґрунту.

Методика та вихідний матеріал. Дослідження з вивчення продуктивності сівозміни залежно від системи удобрення і основного обробітку ґрунту проведені упродовж 2012-2021 рр. на дослідному полі Білоцерківського національного аграрного університету, що територіально розташовується у зоні недостатнього зволоження Лісостепу. Ґрунт дослідного поля представлений чорноземом типовим малогумусним середньосуглинковим з вмістом гумусу в 0-30 см шарі 3,7-3,9 %.

Сівозміна мала наступне чергування: 1. Люцерна; 2. пшениця озима +гірчиця біла сидерат; 3. буряки цукрові і соняшник; 4. Гречка; 5. ячмінь з підсівом люцерни. Площа посівної ділянки 171 м², облікової – 112 м², повторність – 3-разова. Вміст гумусу у ґрунті визначено в агроценозі пшениці озимої, елементи мінерального живлення в агроценозі соняшнику.

Зміст градацій першого фактора (А) систем основного обробітку ґрунту.

Диференційований (контроль) – проведення полицевого обробітку ґрунту у полях буряків цукрових і соняшнику, під пшеницю озиму, одного мілкого безполицевого обробітку під гречку та один раз чизельного обробітку під ячмінь. Полицево-безполицевий – проведення за ротацію сівозміни 1 раз

Войтовик М. В., Примаєв І. Д., Цюк О. А., Мельник В. І.

різноглибинної оранки під просапні культури, два рази мілкого безполицевого обробітку під пшеницю озиму і гречку та 1 раз – чизельного обробітку під ячмінь. Мілкий безполицевий – проведення обробітку ґрунту дисковими знаряддями на глибину 10-12 см під усі культури сівоzmіни.

Зміст градацій другого фактору (В) систем удобрення. Нульовий рівень – без добрив; органічна – внесення на 1 га 8 т та 3,0 т нетоварної частини врожаю, маси пожнивних сидератів на гектар сівоzmінної площі. Норма органічних добрив визначена за необхідністю позитивного балансу гумусу. Органо-мінеральна – для відтворення родючості ґрунту пріоритетне використання органічних добрив, внесення 8 т гною на 1 га сівоzmінної площі і 3,5 т маси післяжнивних сидератів, нетоварної частини врожаю, внесення 110 кг ($N_{27}P_{38}K_{45}$) мінеральних добрив. Мінеральна – для відтворення родючості ґрунту внесення на 1 га сівоzmінної площі 8 т гною і 222 кг ($N_{68}P_{72}K_{82}$) мінеральних добрив.

Відбирання ґрунтових проб і підготовку їх до аналізу проводили згідно з вимогами ДСТУ 4287:2004 [6] і ДСТУ ISO 11464:2007 [4]. Вміст гумусу по Тюріну ДСТУ 4289:2004 [7], нітратного і амонійного азоту

ДСТУ 4729:2007 [8], рухомого фосфору та обмінного калію за Мачігінім ДСТУ 4114:2002 [5].

Результати досліджень та їх обговорення. Система застосування добрив і обробітку ґрунту у сівоzmіні має значний вплив на вміст гумусу, його трансформацію у агроєкосистемі. Дослідження, засвідчили, що застосування безполицевого обробітку призвело до перерозподілу гумусу в 0-30 см шарі ґрунту (табл. 1). У варіанті полицевого-безполицевого обробітку на тлі орґано-мінеральної системи удобрення вмісту гумусу у шарі 0-10 см збільшився на 13,4 % , тоді як на глибині 10-20 см і в підорному шарі, навпаки зменшився на, 8 % порівняно з диференційованим.

У варіанті мілкого безполицевого обробітку ґрунту вміст гумусу в шарі 20-30 см знизився на 3,6 % порівняно з контролем. Найбільша різниця за вмістом гумусу, залежно від обробітку ґрунту, спостерігається на тлі орґано-мінеральної системи удобрення. Вміст гумусу підвищився у шарі 0-10 см за полицево-безполицевого і мілкого обробітку на 13,0-13,4% порівняно із контрольним варіантом. У шарі 10-20 см за вмістом гумусу перевагу мав диференційований варіант.

1. Вміст гумусу чорнозему типового залежно від удобрення і обробітку ґрунту, % (2018-2021рр.)

Система удобрення А	Шар ґрунту, см, С	Варіант обробітку ґрунту, В		
		Диференційований (контроль)	Полицево-безполицевий	Мілкий безполицевий
		%	%	%
Без добрив	0-10	3,20	3,75	3,77
	10-20	3,63	3,65	3,69
	20-30	3,12	3,13	3,20
Органічна	0-10	3,79	3,90	3,91
	10-20	3,76	3,73	3,32
	20-30	3,18	3,09	3,11
Органо-мінеральна	0-10	3,73	4,23	4,25
	10-20	3,96	3,61	3,85
	20-30	3,26	3,26	3,14
Мінеральна	0,10	3,72	3,83	3,85
	10-20	3,70	3,70	3,73
	20-30	3,11	3,02	3,05
НІР ₀₅ А		0,06	0,08	0,04
НІР ₀₅ В		0,11	0,10	0,15
НІР ₀₅ С		0,29	0,44	0,31

Диференціація гумусного горизонту чорнозему за елементами родючості є проявом природного ґрунтотворного процесу в агроценозах зони нестійкого зволоження, а різна реакція культур сівоzmіни на диференціацію пов'язана з їхніми біологічними особливостями, а також зі зниженням рівня агрофізичної самоорганізації чорнозему, біогенності тощо [15, 19]. Вплив досліджуваних варіантів на азотний режим ґрунту вивчали в агроценозі соняшнику.

Застосування полицево-безполицевого і диференційованого обробітку ґрунту істотно збільшує вміст нітратного азоту на період сходів в

шарі 0-25 см порівняно з мілким обробітком, а на глибині 25-50 см, навпаки, більший його вміст за полицево-безполицевого обробітку ґрунту. (табл. 2). Що стосується забезпеченості рослин цією формою азоту, то мілкий безполицевий не змінює, проте в окремі роки знижує його вміст. Застосування полицево-безполицевого обробітку ґрунту під соняшник не істотно підвищується із достатнього забезпечення його вологою порівняно із контролем [23], це стимулює нітрифікаційні процеси у чорноземі, внаслідок чого вміст нітратного азоту мав тенденцію до зростання порівняно з диференційованим обробітком.

2. Вміст нітратного і амонійного азоту в агроценозі соняшнику плодозмінної сівозміни залежно від обробітку ґрунту, мг/кг ґрунту (2013-2016 рр.)

Система обробітку ґрунту	Шар ґрунту, см	N – NO ₃		N – NH ₄	
		сходи	достигання	сходи	достигання
Диференційований (st)	0-25	14,4	6,2	17,1	15,4
	25-50	7,2	5,0	12,3	11,9
Полицево-безполицевий	0-25	17,8	6,6	17,7	13,8
	25-50	7,7	5,2	16,9	10,5
Мілкий безполицевий	0-25	10,0	6,1	16,2	14,5
	25-50	8,4	5,2	13,6	10,4
НіР ₀₅	0-25	1,3	0,7	1,4	0,9
	25-50	0,6	0,4	1,1	0,7

Сприятливі умови для накопичення амонійного азоту створюються за полицево-безполицевого обробітку ґрунту, порівняно з контролем. Перевага цього обробітку на період сходів становить 3,5 – 37 %.

За полицево-безполицевого обробітку зростає аерація, поліпшується мікробіоценоз ґрунту, посилюється газообмін, прискорюється мінералізація органічного азоту і вивільнення сполук мінерального азоту чорнозему типового.

Вміст рухомого фосфору на чорноземах типових залежить від системи обробітку ґрунту. Безполицеві системи обробітку ґрунту в сівозміні забезпечили найбільш ефективне накопичення рухомого фосфору в 0-25 см шарі (табл. 3).

3. Уміст рухомого фосфору і обмінного калію в агроценозі соняшнику плодозмінної сівозміни залежно від обробітку ґрунту, мг/кг ґрунту (2013-2016 р.р.)

Система обробітку ґрунту	Шар ґрунту, см	Рухомий фосфор		Обмінний калій	
		сходи	достигання	сходи	достигання
Диференційований (контр.)	0-25	31,4	24,8	146,0	114,0
	25-50	20,5	14,6	108,8	84,0
Полицево-безполицевий	0-25	32,5	25,3	160,0	137,0
	25-50	22,2	15,0	120	104,0
Мілкий безполицевий	0-25	33,6	26,1	122,0	103,0
	25-50	24,2	15,8	100,0	85,0
НіР ₀₅	0-25	F _ф <F ₀₅	F _ф <F ₀₅	10,9	11,7
	25-50	2,6	F _ф <F ₀₅	13,1	11,5

Застосування полицево-безполицевого обробітку не сприяв істотному зниженню вмісту рухомих фосфатів порівняно з диференційованим обробітком. Диференційований обробіток виявив зниження вмісту рухомого фосфору в орному шарі на період сходів соняшнику.

Спостерігалася істотна різниця за варіантами обробітку ґрунту в 25-50 см шарі ґрунту за $\text{НР}_{\text{оз}} = 2,6$. Істотне зростання за вмістом рухомого фосфору зафіксовано на мілкому обробітку ґрунту порівняно з контролем.

На період досягання соняшнику вміст рухомого фосфору зменшився на всіх варіантах дослідів. Рівень рухомого фосфору залежав від використання його рослинами соняшнику, а другого – зниженням мікробіологічної активності чорнозему і його нітрифікаційної здатності, фосфати у меншій мірі переходять у рухомий стан.

Чергування в сівозміні плоскорізного і полицевого обробітку (комбінований) значною мірою сприяє більш рівномірному розподілу вмісту рухомого фосфору, який вноситься з добривами, у шарі 0-40 см [13].

На чорноземі типовому після чотирьох ротацій сівозміни встановлені головні закономірності впливу різних елементів системи землеробства на транслокацію рухомого фосфору. Найістотніше

впливали на покращення фосфатного режиму мінеральні й органічні добрива. Безполицевий обробіток ґрунту сприяв закріпленню рухомого фосфору в самих верхніх шарах ґрунту, за полицевого обробітку встановлено достовірне депонування його в підорному шарі [13].

Загальною тенденцією еволюції властивостей ґрунтів після багаторічного впровадження ґрунтозберігаючої технології обробітку ґрунту Mini-till є збільшення вмісту рухомого фосфору щодо традиційного обробітку на 103 мг/кг (шар 0-25 см) та 55 мг/кг ґрунту (шар 25-50 см) [12].

Варіанти обробітку ґрунту за вирощування соняшнику призвели до достовірних різниць за вмістом обмінного калію. Так, вміст обмінного калію за диференційованого обробітку ґрунту був вищий у період сходів соняшнику в орному шарі на 24 мг/кг ґрунту, підорному – 8,8 мг/кг ґрунту порівняно з мілким безполицевим, що зумовлено аерацією ґрунту. Розподіл обмінного калію показав, що суттєве збільшення його вмісту відмічено у шарі 0-25 см, у нижніх шарах відмічається суттєве зниження вмісту обмінного калію.

Наприкінці вегетації соняшнику за полицево-безполицевого обробітку ґрунту вміст обмінного калію знаходилось у ґрунті на 23 мг/кг ґрунту більше, ніж за диференційованого обробітку. Низка

дослідників вважають, що за безполицевих обробітків ґрунту підвищується його вміст у шарі ґрунту 0-20 см на 1,7-6,2 % порівняно із класичним обробітком [2], інші переконані, що за полицевого обробітку [21]. Слід брати до уваги особливості чорнозему типового, фізико-хімічні, мікробіологічні процеси і рівень зволоження ґрунту, здатність калію добрив переходити як в рухомий, так і в необмінний стан.

Наприкінці вегетації соняшнику вміст обмінного калію зменшився в орному й підорному шарах ґрунту порівняно з періодом сходів, що зумовлено використанням калію рослинами.

Висновки

Застосування 8 т гною на 1 га сівозмінної площі і 3,5 т маси післяжнивних сидератів + $N_{27}P_{38}K_{45}$ гумус в орному шарі за використання мілкого безполицевого і полицево-безполицевого обробітку підвищується на 1,35 і 2,74%. Мілкий безполицевий обробіток, порівняно з диференційованим, змінює характер надходження гумусу у ґрунт, локалізуючи переважну кількість рослинних решток, органічних і мінеральних добрив у верхній частині оброблюваного шару, створюючи

Список використаних джерел

1. Балюк С. А., Носко Б. С., Воротинцева Л. І. Регулювання родючості ґрунтів та ефективності добрив в умовах змін клімату. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 4. С. 5–12. doi: 10.31073/agrovisnyk201804-01

умови для зміни системи «гуміфікація – мінералізація» в бік посилення гуміфікації.

Застосування полицево-безполицевого обробітку призводить до зростання вмісту $N-NO_3$ і $N-NH_4$ в орному і підорному шарах ґрунту перевага цього обробітку на період сходів становить 3,5-37%. Мілкий безполицевий обробіток призводив до неістотного зниження вмісту сполук нітратного і амонійного азоту в орному і підорному шарі ґрунту порівняно з диференційованим.

Істотних змін вмістом рухомого фосфору на чорноземах типових в орному й підорному шарі ґрунту упродовж вегетації за обробітками ґрунту не виявлено. Встановлена лише тенденція до зростання вмісту рухомого фосфору в 0-25 см і 25-50 см шарах ґрунту за безполицевого обробітку порівняно з диференційованим.

Сприятливі умови для накопичення обмінного калію в орному й підорному шарах ґрунту створюються за полицево-безполицевого обробітку.

Перспективним напрямком для подальших досліджень є вивчення якісного складу гумусу та міграція калію у метровій товщі ґрунту.

2. Гангур В. В., Лень О. І., Гангур М. В. Вплив різних систем обробітку на поживний режим ґрунту під пшеницею озимою та ячменем ярим в зоні Лівобережного Лісостепу України. *Вісник ПДАУ*. 2022. №1. С. 38-44.

3. Господаренко Г. М., Мусієнко Л. А. Поживний режим ґрунту під сочевицею

залежно від удобрення. *Аграрні інновації*. 2022. №15. С. 30-33. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.15.4>

4. ДСТУ ISO 11464:2007. Якість ґрунту. Попереднє оброблення зразків для фізико-хімічного аналізу (ISO 11464:2006, IDT). Чинний від 2009-10-01. Київ: *Держспоживстандарт України*, 2012. 18 с.

5. ДСТУ 4114:2002 Ґрунти. Визначання рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Мачигіна. [Чинний від 2003-01-01]. Київ : *Держспоживстандарт України*, 2003. 9 с.

6. ДСТУ 4287:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. [Чинний від 2005-07-01]. Київ : *Держспоживстандарт України*, 2005. 10 с.

7. ДСТУ 4289:2004 Якість ґрунту. Методи визначання органічної речовини. [Чинний від 2005-01-07]. Київ : *Держспоживстандарт України*, 2005. 9 с.

8. ДСТУ 4729:2007 Якість ґрунту. Визначення нітратного і амонійного азоту в модифікації ННЦ ІГА ім. О. Н. Соколовського [Чинний від 2008-01-01]. Київ : *Держспоживстандарт України*, 2008. III, 14 с. (Національний стандарт України).

9. Заришняк А. С., Іванніна В. В., Колібабчук Т. В. Калійний режим чорнозему опідзоленого за тривалого удобрення зерно-бурякової сівозміни. *Вісник аграрної науки*. 2013. №6. С. 10-15.

10. Іванніна В. В. Біологізація удобрення культур у сівозмінах. Київ : ЦП «Компрінт», 2016. 328 с.

11. Колос М. О. Дослідження азотного режиму та гумусового стану чорноземів звичайних залежно від технологій обробітку ґрунту. *Scientific Journal «ScienceRise»*. 2017. №12(41). С. 26-29.

12. Морозов О. В., Ісаченко С. О. Особливості формування вмісту рухомого фосфору в темно-каштанових залишково слабо- і середньосолонцюватих ґрунтах за різних систем обробітку. *Таврійський науковий вісник*. 2018. № 104. С. 187-195.

13. Носко Б.С. Фосфор у ґрунтах і землеробстві України. Х.: ФОП Бровін О.В., 2017. 476 с.

14. Примаєв І. Д., Купчик В. І., Колесник Т. В. Зміна агрохімічних властивостей чорнозему типового за різних систем основного обробітку ґрунту й удобрення в Центральному Лісостепу України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2012. № 3. С. 26-31.

15. Рідей Н., Шикіла М., Мельничук Д. Принципи біохімічної саморегуляції та саморегуляції ґрунтової родючості в біологічному землеробстві. *Ґрунтозахисна біологічна система землеробства в Україні*. Київ, 2000. С. 227-244.

16. Цвей Я. П. Родючість ґрунту і продуктивність сівозмін. Київ : ЦП «Компрінт», 2014. 413 с.

17. Цвей Я. П., Іванніна В. В., Петрова О. Т., Добовий Ю. П. Вплив тривалого внесення добрив на калійний режим чорнозему типового в різноротаційних сівозмінах. *Вісник аграрної науки*. 2013. №4. С. 17-20.

18. Цвей Я. П., Іванніна В. В., Ременюк Ю. О. Зміна агроекологічних показників чорнозему вилуженого залежно від довготривалого застосування добрив у Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2012. №7. С. 11-15.

19. Центило Л. В. Параметри вмісту гумусу в чорноземі типовому залежно від агропромислового використання. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2019. №2. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd_2019_2_19

20. Центило Л.В., Цюк О.А., Мельник В.І. Уміст поживних речовин у ґрунті під впливом застосування добрив і обробітку ґрунту. *Біоресурси і природокористування*. Т.10, № 3-4. 2018. С. 164-169.

21. Циліорик О. І. Вплив мульчувального обробітку ґрунту на живлення соняшнику. 2023. № 4. Agronom.com.ua/vplyv-mulchuvannogo-obrobittku-gruntu-nazhyvleniya-sonyashnykul.

22. Циліорик О. І. Система мульчувального обробітку ґрунту в сівозмінах Північного Степу. Львів-Дніпро : Новий Світ-2000, 2019. 297 с.

23. Шикіла М.К. Наукове обґрунтування ґрунтозахисної системи

землеробства в Україні. *Вісник аграрної науки*. 1998. №9. С.98-101.

24. Dai S., Wang J., Cheng Y., etc. Effects of long-term fertilization on soil gross N transformation rates and their implications. *Journal of Integrative Agriculture*. 2017. Vol. 16, № 12. P. 2863–2870. doi: 10.1016/S2095-3119(17)61673-3

25. Hao Y., Wang Y., Chang Q., Wei X. Effects of long-term fertilization on soil organic carbon and nitrogen in a highland agroecosystem. *Pedosphere*. 2017. Vol. 27, № 4. P. 725–736. doi: 10.1016/S2095-3119(15)61107-8

26. Maharjan B., Hergert G. W. Composted cattle manure as a nitrogen source for sugar beet production. *Agronomy journal*. 2019. Vol. 111, № 2 P. 917–923. doi: 10.2134/agronj2018.09.0567

Reference

1. Baliuk S. A., Nosko B. S., Vorotyntseva L. I. (2018). Rehuliuвання rodichosti gruntiv ta efektyvnosti dobryv v umovakh zmin klimatu [Regulation of soil fertility and fertilizer efficiency under climate change conditions]. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 4, 5-12. <http://doi:10.31073/agrovisnyk201804-01> (in Ukrainian)

2. Hanhur V. V., Len O. I., Hanhur M. V. (2022). Vplyv riznykh system obrobitku na pozhyvnyi rezhym hruntu pid pshenytsiu ozymoiu ta yachmenem yarym v zoni Livoberezhnoho Lisostepu Ukrainy [The influence of different tillage systems on the nutrient regime of the soil under winter wheat and spring barley in the Left Bank Forest-Steppe zone of Ukraine]. *Visnyk PDAA*. 1. 38-44. (in Ukrainian)

3. Hospodarenko H. M., Musiienko L. A. (2022). Pozhyvnyi rezhym hruntu pid sochevytseiu zalezno vid udobrennia [Nutrient regime of soil under lentils depending on fertilizer]. *Ahrarni innovatsii*. 15. 30-33. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.15.4>

4. DSTU ISO 11464-2007 (2012). Yakist gruntu. Poperednie obroblennia zrazkiv dlia fizyko-khimich - noho analizu [Soil quality. Preliminary processing of samples for physical and chemical analysis] (ISO 11464:2006, IDT). Chynnyi vid 2009-10-01. Kyiv: *Derzhspozhyvstandart Ukrainy*. 18 (in Ukrainian)

5. DSTU 4114-2002 (2003). Hrunty. Vyznachannia rukhomykh spoluk fosforu i kaliu za modyfikovanyim metodom Machyhina [Soils. Determination of mobile compounds of phosphorus and potassium according to the modified Machigin method]. [Chynnyi vid 2003-01-01]. Kyiv : *Derzhspozhyvstandart Ukrainy*. 9 (in Ukrainian)

6. DSTU 4287:2004. (2005). Yakist gruntu. Vidbyrannia prob. [Soil quality. Sampling of samples]. [Chynnyi vid 2005-07-01]. Kyiv: *Derzhspozhyvstandart Ukrainy*. 10. (in Ukrainian)

7. DSTU 4289:2004 Yakist hruntu. Metody vyznachannia orhanichnoi rechovyny [Soil quality. Methods of determining organic matter]. [Chynnyi vid 2005-01-07]. Kyiv : *Derzhspozhyvstandart Ukrainy*, 2005. 9. (in Ukrainian)

8. DSTU 4729:2007 (2008). Yakist gruntu. Vyznachennia nitratnoho i amoniinoho azotu v modyfikatsii NNTs IHA im. O. N. Sokolovskoho [Soil quality. Determination of nitrate and ammonium nitrogen in the modification of the National Scientific Center “Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovskiy”]. [Chynnyi vid 2008-01-01]. Kyiv : *Derzhspozhyvstandart Ukrainy*. III, 14 s. (in Ukrainian)

9. Zaryshniak A. S., Ivannina V. V., Kolibabchuk T. V. (2013). Kaliinyi rezhym chornozemu opidzolenoho za tryvalooho udobrennia zerno-buriakovoi sivozminy [The potassium regime of podzolized chernozem during long-term fertilization of the grain-beet crop rotation]. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 6. 10-15. (in Ukrainian)

10. Ivanina V. V. (2016). Biologizatsiia udobrennia kultur u sivozminakh [Biologization of crop fertilization in crop rotations]. Kyiv : *TsP «Komprint»*, 6. 328 (in Ukrainian)

11. Kolos M. O. (2017). Doslidzhennia azotnoho rezhymu ta humusovoho stanu chornozemiv zvychainykh zalezno vid tekhnolohii obrobitku hruntu [Study of the nitrogen regime and humus state of ordinary chernozems depending on soil cultivation technologies]. *Scientific Journal «ScienceRise»*. 12(41). 26-29. (in Ukrainian)

12. Morozov O. V., Isachenko S. O. (2018). Osoblyvosti formuvannia vmistu rukhomoho fosforu v temno-kashtanovykh zalyshkovo slabo- i serednosolontsiuvatykh gruntakh za riznykh system obrobittu [Peculiarities of the formation of the content of mobile phosphorus in dark-chestnut residual low- and medium-saline soils under different tillage systems]. *Tavriyskyi naukovyi visnyk*. 104. 187-195. (in Ukrainian)
13. Nosko B. S. (2017). Fosfor u gruntakh i zemlerobstvi Ukrainy [Phosphorus in soils and agriculture of Ukraine]. Kh.: *FOP Brovin O.V.*, 476. (in Ukrainian)
14. Prymak I. D., Kupchuk V. I., Kolesnyk T. V. (2012). Zmina ahrokhimichnykh vlastyivostei chornozemu typovoho za riznykh system osnovnoho obrobittu hruntu y udobrennia v Tsentralnomu Lisostepu Ukrainy [Changes in agrochemical properties of typical chernozem under different systems of main tillage and fertilization in the Central Forest-Steppe of Ukraine]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*. 3. 26-31. (in Ukrainian)
15. Ridei N., Shykula M., Melnychuk D. (2000). Pryntsypy biokhimichnoi samorehuliatcii ta samorehuliatcii gruntovoi rodiuchosti v biolohichnomu zemlerobstvi [Principles of biochemical self-regulation and self-regulation of soil fertility in biological agriculture]. *Gruntozakhysna biolohichna systema zemlerobstva v Ukraini*. Kyiv, 227–244. (in Ukrainian)
16. Tsvei Ya. P. (2014). Rodiuchist gruntuv i produktyvnist sivozmin [Soil fertility and crop rotation productivity]. Kyiv : *TsP «Komprint»*, 413. (in Ukrainian)
17. Tsvei Ya. P., Ivanina V. V., Petrova O. T., Dobovyi Yu. P. (2013). Vplyv tryvaloho vnesennia dobryv na kaliinyi rezhym chornozemu typovoho v riznorotatsiinykh sivozminakh [The effect of long-term fertilization on the potassium regime of typical chernozem in multi-rotational crop rotations]. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 4. 17-20. (in Ukrainian)
18. Tsvei Ya. P., Ivannina V. V., Remeniuk Yu. O. (2012). Zmina ahroekolohichnykh pokaznykiv chornozemu vyluzhenoho zalezho vid dohotryvaloho zastosuvannia dobryv u Lisostepu [Changes in agroecological indicators of leached chernozem depending on the long-term use of fertilizers in the Forest Steppe]. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 7. 11-15. (in Ukrainian)
19. Tsentylo L. V. (2019). Parametry vmistu humusu v chornozemi typovomu zalezho vid ahrovyrobnychoho vykorystannia [Parameters of humus content in typical chernozem depending on agricultural use]. *Naukovi dopovidi Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy*. 2. Rezhym dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd_2019_2_19
20. Tsentylo L. V., Tsiuk O. A., Melnyk V. I. (2018). Umist pozhyvnykh rehovyn u grunti pid vplyvom zastosuvannia dobryv i obrobittu gruntuv [The content of nutrients in the soil under the influence of fertilizers and tillage]. *Bioresursy i pryrodokorystuvannia*. T.10, 3-4, 164-169. (in Ukrainian)
21. Tsyliuryk O. I. (2023). Vplyv mulchuvalnoho obrobittu gruntuv na zhyvlennia soniashnyku [The effect of mulching on the nutrition of sunflower]. 4. *Agronom.com.ua/vplyv-mulchuvalnogo-obrobittu-gruntu-nazhyvlennia-soniashnykul*. (in Ukrainian)
22. Tsyliuryk O. I. (2019). Systema mulchuvalnoho obrobittu gruntuv v sivozminakh Pivnichnoho Stepu [System of mulching soil cultivation in crop rotations of the Northern Steppe]. *Lviv-Dnipro : Novyi Svit-2000*, 297. (in Ukrainian)
23. Shykula M. K. (1998). Naukove obhruntuvannia hruntozakhysnoi systemy zemlerobstva v Ukraini [Scientific justification of the soil protection system of agriculture in Ukraine]. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 9. 98-101. (in Ukrainian)
24. Dai S., Wang J., Cheng Y., etc. (2017). Effects of long-term fertilization on soil gross N transformation rates and their implications. *Journal of Integrative Agriculture*. Vol. 16. 12. 2863–2870. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61673-3](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61673-3)
25. Hao Y., Wang Y., Chang Q., Wei X. Effects of long-term fertilization on soil organic carbon and nitrogen in a highland agroecosystem. *Pedosphere*. 2017. Vol. 27, № 4. P. 725–736. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(15\)61107-8](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61107-8)
26. Maharjan B., Hergert G. W. (2019). Composted cattle manure as a nitrogen source

ERTILITY OF TYPICAL BLACK SOIL UNDER MULTI-YEAR MAIN TILLAGE IN SHORT ROTATION CROP ROTATION

M. Voitovyk, I. Prymak, O. Tsyuk, V. Melnyk

Abstract. *In the system of agrotechnical measures aimed at increasing the fertility of chernozems and the productivity of agricultural crops, soil cultivation occupies an important place. The purpose of the research is to substantiate the dependence of the fertility of typical chernozem in short-rotational crop rotation and to establish agrochemical indicators for a long-term system of fertilization and soil cultivation. Applied materials and methods: results of long-term research in a stationary field experiment; analysis, generalization and statistical processing of data from stock and modern literary materials. The results of the study of the application of the main tillage systems on the content of humus, nitrate and ammonium nitrogen, mobile phosphorus, exchangeable potassium in the black soil typical of the central forest-steppe of Ukraine are presented. It was established that the organic-mineral fertilization system against the background of shallow and shelf-less soil cultivation increases the content of humus in the arable layer by 1.35 and 2.74 % (in absolute values). The content of nitrate nitrogen during the seedling period increases in the 0-25 cm layer with shelf-less and differentiated tillage compared to shallow tillage. It was found that with systematic shelf-less tillage, there was no significant decrease in the content of mobile phosphates compared to differentiated soil tillage. A decrease in the content of mobile phosphates in the arable layer during the period of sunflower germination was found under differentiated tillage. The content of exchangeable soil during differentiated tillage had higher indicators during the period of sunflower germination in the arable layer by 24 mg/kg of soil, in the subsoil layer by 8.8 mg/kg of soil compared to the shallow non-shallow soil. A promising direction for further research is the study of the qualitative composition of humus and the migration of phosphates in a meter-long soil layer.*

Key words: *humus, nitrate nitrogen, mobile phosphorus, exchangeable potassium, ammonium nitrogen*

Свистунова І. В., Пророченко С. С., Бурко Л. М., Чумаченко І. П., Войцехівський В. І.,
Полторецький С. П., Шувар А. М., Пую В. Л., Васьківська С. В., Ночвіна О. В., Чухлеб Л. І.

УДК 636.085.1:633.2:631.5

ХІМІЧНИЙ СКЛАД КОРМУ ЛУЧНИХ ТРАВСТОЇВ ЗАЛЕЖНО ВІД ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ ВИРОЩУВАННЯ

І. В. СВИСТУНОВА, кандидат сільськогосподарських наук, доцент,

<http://orcid.org/0000-0001-8922-1261>

E-mail: irinasv@ukr.net

С. С. ПРОРОЧЕНКО, кандидат сільськогосподарських наук

Л. М. БУРКО, кандидат сільськогосподарських наук, доцент,

<http://orcid.org/0000-0003-0638-0481>

І. П. ЧУМАЧЕНКО, кандидат сільськогосподарських наук,

<https://orcid.org/0000-0002-2816-5195>

В.І. ВОЙЦЕХІВСЬКИЙ, кандидат сільськогосподарських наук,

<https://orcid.org/0000-0003-3568-0985>

Національний університет біоресурсів і природокористування України

С.П. ПОЛТОРЕЦЬКИЙ, доктор сільськогосподарських наук, професор

<http://orcid.org/0000-0003-3334-0880>

Уманський національний університет садівництва

А. М. ШУВАР, доктор сільськогосподарських наук,

<https://orcid.org/0000-0002-6016-0896>

Західноукраїнський національний університет

В. Л. ПУЮ, доктор сільськогосподарських наук,

<https://orcid.org/0000-0002-7900-9192>

ЗВО «Подільський державний університет»

С. В. ВАСЬКІВСЬКА, А. В. НОЧВІНА, Л. І. ЧУХЛЕБ, наукові співробітники

Український інститут експертизи сортів рослин

[https://doi.org/10.31548/dopovidi3\(103\).2023.009](https://doi.org/10.31548/dopovidi3(103).2023.009)

***Анотація.** Підвищення ефективності використання природних кормових угідь як джерела надходження економічно вигідних трав'яних кормів, що добре збалансовані за вмістом поживних речовин, є важливим фактором створення міцної кормової бази для тваринництва. Актуальність наукових досліджень щодо підвищення продукційного потенціалу лукопасовищних угідь особливо зростає на сучасному етапі євроінтеграції нашої держави до країн ЄС, де вимоги до якості і безпечності кормів дуже високі. Важливим параметром якості і безпечності рослинних кормів є їх мінеральний склад. Метою досліджень було вивчити вплив технологічних прийомів вирощування люцерно-злакових травосумішей на хімічний склад корму в умовах Лісостепу правобережного.*

Експериментальні дослідження проводили впродовж 2014-2016 рр. в умовах ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція» на чорноземі типовому малогумусному. Встановлено, що мінеральний склад люцерно-злакових

Свистунова І. В., Пророченко С. С., Бурко Л. М., Чумаченко І. П., Войцехівський В. І., Полторецький С. П., Шувар А. М., Пуя В. Л., Васьківська С. В., Ночвіна О. В., Чухлеб Л. І.

та люцернових травостоїв за всіх варіантів удобрення більш повно відповідає фізіологічним вимогам тварин порівняно зі злаковими кормовими багаторічними фітоценозами. Одновидові посіви бобового компоненту та його сумішки зі злаковими травами накопичують вищий вміст сирової золи (9,0-9,6 %), кальцію (0,53-0,62 %), магнію (0,13-0,18 %), фосфору (0,40-0,45 %) та дещо нижчий калію – 2,36-2,58 %. Вид злакового компоненту в змішаних бобово-злакових травосумішках не мав суттєвого впливу на мінеральний склад сухої речовини травостою. Вміст нітратів ($N-NO_3$) у сухій речовині досліджуваних травостоїв за різних фонів удобрення становив 0,01-0,03 % та не перевищував межі ГДК. Найбільш істотно азотні добрива впливали на хімічний склад злакових травостоїв.

Ключові слова: люцернові, люцерно-злакові та злакові травостої, удобрення, макроеlementи, мікроеlementи, нітрати

Актуальність. У створенні міцної кормової бази для тваринництва важлива роль належить підвищенню ефективності використання природних кормових угідь. Останні являють собою джерело надходження економічно вигідних трав'яних кормів, добре збалансованих за вмістом протеїну, мінеральних речовин і вітамінів, а також виступають фактором поліпшення екологічної ситуації в агроландшафтах, захищаючи ґрунти від ерозії, а водні джерела від замулення та забруднення [10, 12].

В Україні площа лучних угідь становить близько 7,8 млн га, з них у Правобережному Лісостепу – 1 млн га. Проте на сьогодні їхні кормовиробничі і природоохоронні можливості використовуються не в повному обсязі, оскільки технологічні прийоми, що застосовуються при створенні і використанні сіяних травостоїв, зазвичай, є занадто енерго- та ресурсовитратними, в тому числі, в зв'язку з високими

рекомендованими нормами внесення азотних добрив. Як наслідок, продуктивність лучних угідь в Україні залишається дуже низькою, хоча за проведення ефективних заходів поліпшення природні кормові угіддя можуть забезпечити збір 54,8 млн т зеленої маси і 5,7 млн т сіна [2, 8, 16].

З метою вирішення означеної проблеми вітчизняними науковими установами розроблено ряд енерго- та ресурсоефективних технологій створення та використання сінокосів і пасовищ, які ґрунтуються на залученні багаторічних бобових трав як дешевого джерела симбіотично фіксованого азоту. Проте, до нині залишаються не повністю з'ясованими теоретичні аспекти формування високої продуктивності, поживності та якості укісних травостоїв сумішок люцерни посівної з різними злаковими компонентами, в тому числі за різних норм мінерального удобрення та

Свистунова І. В., Пророченко С. С., Бурко Л. М., Чумаченко І. П., Войцехівський В. І., Полторецький С. П., Шувар А. М., Пуя В. Л., Васківська С. В., Ночвіна О. В., Чухлеб Л. І.

застосування біостимуляторів росту [7, 11].

Актуальність наукових досліджень щодо підвищення продукційного потенціалу лукопасовищних угідь особливо зростає на сучасному етапі євроінтеграції нашої держави до країн ЄС, де вимоги до якості і безпечності кормів дуже високі. За таких умов важливим науковим завданням є розробка ефективних технологій отримання якісних кормів із природних кормових угідь з урахуванням ґрунтово-кліматичних особливостей різних регіонів країни [17].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Важливим параметром якості рослинних кормів є їх мінеральний склад, який істотно впливає на здоров'я тварин та їх продуктивність. Для кожного мінерального елемента експериментально встановлено його рекомендований (оптимум, мінімум, максимум) вміст у кормах, необхідний для повноцінної годівлі великої рогатої худоби. Із розрахунку на суху речовину оптимальним вважають вміст у рослинному кормі кальцію – в межах 0,3-0,6, фосфору – 0,26-0,35, магнію – 0,12-0,26, калію – 1-3, натрію – 0,13-0,15 % та співвідношення вмісту в сухій масі кальцію до фосфору, як 0,7-2,5 та калію до кальцію з магнієм – як 2,2-2,4 [8, 19].

На рівень накопичення та співвідношення мінеральних елементів в біомасі багаторічних трав впливають, переважно, зональні та погодні умови, а також мінеральні добрива та видовий склад травостою. Найбільш суттєвий дефіцит тих чи інших мінеральних елементів у рослинній масі визначається, в основному, їх нестачею у ґрунті та низьким надходженням з добривами [9].

Вважають, що перебіг нормального процесу травлення в організмі тварин при згодовуванні кормів з лучних травостоїв можливий лише за вмісту понад 0,4 % кальцію в сухій речовині [13, 15]. Підвищені норми азотних добрив, зазвичай, знижують вміст зазначеного нутрієнту в кормі, що обумовлюється випаданням бобових компонентів із травостою та зростанням урожаю вегетативної маси за однакових запасів кальцію в ґрунті [18]. Варто також відмітити, що при формуванні сіяних травостоїв мінеральний та симбіотичний азот часто обумовлюють істотні зміни в мінеральному складі корму та призводять до порушення оптимальних співвідношень між мінеральними елементами, що негативно впливає на продуктивність тварин та інколи є причиною їх захворювань, наприклад, на тимпанію або зниження апетиту [14].

Підвищені норми азоту під посіви багаторічних кормових трав

Свистунова І. В., Пророченко С. С., Бурко Л. М., Чумаченко І. П., Войцехівський В. І.,
Полторецький С. П., Шувар А. М., Пуя В. Л., Васьківська С. В., Ночвіна О. В., Чухлеб Л. І.

інколи є небезпечними для тварин у зв'язку з високим ризиком нагромадження у трав'яному кормі нітратів (N-NO_3). Доведено, що високі норми азотних добрив обумовлюють підвищення вмісту нітратів у ґрунті з подальшою їх акумуляцією в надземній масі трав у кількостях, які значно перевищують гранично допустимі концентрації [4, 8]. Накопичення у сухій речовині понад 0,07 % N-NO_3 вважають шкідливим, 0,07-0,2 % – призводить до отруєння, а понад 0,25 % – може бути летальним [5, 11]. Тому надзвичайно важливо застосовувати такі норми азотних добрив, які не підвищують рівень нагромадження нітратів у кормі. Однак, деякі вчені [8] вказують також на те, що на вміст нітратів азотні добрива часто впливають в меншій мірі, ніж гідротермічні умови та освітлення. Внесення фосфору та калію інтенсифікує процес фотосинтезу та сприяє перетворенню мінеральних форм азоту в білки й амінокислоти, що до певної міри дозволяє зменшити рівень нагромадження нітратів в рослинній біомасі [4, 6].

Істотно погіршує якість корму та знижує урожайність багаторічних трав дефіцит магнію, за недостатньої кількості якого в раціоні тварини часто страждають на розлади травлення та трав'яну тимпанію. Згідно зоотехнічних норм, вміст магнію в трав'яному кормі має становити від 0,12 до 0,26 % на суху

речовину, 0,30 % повністю запобігає зазначеним хворобам, а 0,10 % є критичним. Найвищий вміст магнію містить різнотрав'я – 1,90 % на суху речовину, у бобових та злакових культурах його вміст складає, відповідно 0,87 та 0,40 % [8]. Калійні добрива, внесені у підвищених дозах, та повне мінеральне добриво часто обумовлюють зниження рівня накопичення магнію вегетативною масою багаторічних травостоїв. Щодо азотних добрив, то їхній вплив на нагромадження травами магнію неоднозначний, оскільки результати одних наукових експериментів свідчать про позитивну дію мінерального азоту на нагромадження цього нутрієнту, результати інших – на негативну або нейтральну [3].

У більшості випадків у травах природних кормових угідь відмічають недостатньо натрію – лише 0,04-0,06 % на суху речовину за фізіологічно обґрунтованої потреби для тварин на рівні 0,18 %. Частково компенсувати дефіцит цього мікронутрієнту на думку деяких вчених [3, 8], можливо за рахунок внесення натрієвої селітри.

На мінеральний склад корму позитивно впливає також введення до складу кормового агрофітоценозу бобових культур, що проявляється, насамперед, у зростанні вмісту в сухій речовині кальцію – до 0,86-1,07 %, фосфору – до 0,29-0,43 % та зниженні вмісту калію, порівняно зі злаковим травостоєм [3, 8, 18].

Свистунова І. В., Пророченко С. С., Бурко Л. М., Чумаченко І. П., Войцехівський В. І.,
Полторецький С. П., Шувар А. М., Пуя В. Л., Васьківська С. В., Ночвіна О. В., Чухлеб Л. І.

Таким чином, технологічні прийоми створення і використання багаторічних кормових травостоїв істотно впливають не лише на кормову їх продуктивність, але й на хімічний склад їх корму, що є надзвичайно важливим чинником високої продуктивності тварин та їх фізичного стану.

Метою досліджень було вивчити вплив технологічних прийомів вирощування лучних травостоїв на хімічний склад корму в умовах Лісостепу правобережного.

Матеріали і методи досліджень. Польові дослідження проводили впродовж 2014-2016 рр. на дослідному полі кафедри кормовиробництва, меліорації і метеорології, розташованому у ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція» [1]. Схема досліду передбачала вивчення дії та взаємодії наступних чинників: чинник А – травостій (види трав і норма висіву їхнього насіння, кг/га): 1) люцерна посівна, 16; 2) люцерна посівна, 12 + костриця східна, 10 + костриця лучна, 8; 3) люцерна посівна, 10 + костриця східна, 10 + грястиця збірна, 8; 4) люцерна посівна, 10 + стоколос безостий, 14 + пажитниця багаторічна, 10; 5) люцерна посівна, 10 + стоколос безостий, 14 + костриця східна, 8; 6) стоколос безостий, 14 + костриця східна, 8 (злаковий травостій), контроль; чинник В – удобрення (поживні елементи та їхні норми): 1) без добрив, контроль; 2)

$P_{60}K_{90}$; 3) $N_{60}P_{60}K_{90}$; 4) $N_{60}P_{60}K_{90}$ + стимулятор росту Фумар. Площа облікової ділянки – 25 м², повторність досліду – чотириразова. Технологія вирощування багаторічних трав за виключенням чинників, що були поставлені на вивчення – загальноприйнята для правобережного Лісостепу України. Азотні добрива у нормі N_{60} вносили в три прийоми: N_{20} – навесні по мерзлоталому ґрунту та по N_{20} – після першого і другого укосів. Фосфорні й калійні добрива у нормі $P_{60}K_{90}$ вносили відповідно до схеми досліду щорічно восени. Обприскування посівів стимулятором росту Фумар проводили на початку відростання трав кожного укосу в дозі 2 л/га з витрачанням води 200 л/га у період. У цей час злакові трави перебували у фенологічній фазі кущіння, а люцерна посівна – у фазі пагоноутворення.

Ґрунт дослідного поля – чорнозем типовий малогумусний середньосуглинковий. Вміст гумусу в орному шарі – 4,2-4,6 %, рухомого фосфору (за Мачигінім) – 40-55 мг/кг ґрунту, обмінного калію – 150-165 мг/кг ґрунту, легкогідролізованого азоту (за Корнфілдом) – 140-160 мг/кг, рН сольової витяжки – 6,7-7,0. Погодні умови в роки досліджень дещо відрізнялись від середніх багаторічних значень, проте в цілому, були сприятливими для росту і розвитку багаторічних злакових та бобових трав.

Свистунова І. В., Пророченко С. С., Бурко Л. М., Чумаченко І. П., Войцехівський В. І.,
Полторецький С. П., Шувар А. М., Пулю В. Л., Васильківська С. В., Ночвіна О. В., Чухлеб Л. І.

Результати дослідження та їх люцернові травостої незалежно від обговорення. Згідно з отриманими удобрення характеризувалися результатами досліджень мінеральним складом, що краще встановлено, що порівняно зі відповідає фізіологічним вимогам злаковими, люцерно-злакові та тварин (табл.1).

1. Уміст сирової золи та макроелементів і їхнє співвідношення в сіяних лучних травостоях за різних фонів удобрення, % у сухій речовині

Удобрєння	Сира зола	P	K	Ca	Mg	K:(Ca+Mg)	Ca:P
Люцерна посівна							
Без добрив	9,4	0,44	2,40	0,62	0,17	3,1	1,4
P ₆₀ K ₉₀	9,5	0,45	2,39	0,60	0,18	3,1	1,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	9,6	0,44	2,36	0,59	0,17	3,4	1,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + Фумар	9,6	0,44	2,35	0,59	0,17	3,2	1,1
Люцерна посівна + костриця східна + костриця лучна							
Без добрив	9,2	0,40	2,45	0,60	0,15	3,3	1,4
P ₆₀ K ₉₀	9,1	0,43	2,53	0,57	0,14	3,1	1,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	9,5	0,44	2,40	0,57	0,14	3,2	1,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + Фумар	9,5	0,43	2,43	0,57	0,14	3,4	1,3
Люцерна посівна + костриця східна + гречиця збірна							
Без добрив	8,8	0,42	2,42	0,55	0,14	3,5	1,3
P ₆₀ K ₉₀	8,9	0,41	2,48	0,54	0,13	3,7	1,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	8,8	0,42	2,58	0,53	0,13	3,7	1,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + Фумар	8,7	0,41	2,48	0,53	0,13	3,8	1,5
Люцерна посівна + стоколос безостий + пажитниця багаторічна							
Без добрив	9,2	0,40	2,45	0,60	0,15	3,3	1,4
P ₆₀ K ₉₀	9,1	0,43	2,53	0,62	0,14	3,1	1,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	9,5	0,44	2,40	0,61	0,14	3,2	1,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + Фумар	9,5	0,43	2,40	0,60	0,14	3,2	1,4
Люцерна посівна + стоколос безостий + костриця східна							
Без добрив	8,8	0,43	2,50	0,58	0,15	3,4	1,3
P ₆₀ K ₉₀	9,0	0,43	2,58	0,57	0,15	3,6	1,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	9,3	0,42	2,50	0,56	0,14	3,6	1,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + Фумар	9,3	0,42	2,51	0,56	0,14	3,6	1,3
Стоколос безостий + костриця східна (злаковий травостій)							
Без добрив	8,4	0,35	2,57	0,41	0,12	4,7	1,2
P ₆₀ K ₉₀	8,3	0,37	2,68	0,43	0,11	4,9	1,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	8,3	0,36	2,60	0,45	0,10	4,7	1,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + Фумар	8,4	0,37	2,62	0,45	0,10	4,7	1,2
Зоотехнічна норма	-	0,2-0,35	1,0-3,0	0,3-0,6	0,12-0,26	-	0,7-2,5
НІР ₀₅	0,4	0,02	0,12	0,03	0,01	-	

У сухій речовині зазначених фітоценозів вміст сирової золи становив 9,0-9,6 %, тоді як у злаковому травостій на 0,7-1,2 % менше.

Переважа була відмічена і за рівнем накопичення кальцію – на 0,12-0,17 %, магнію – на 0,02-0,07 % та фосфору – на 0,05-0,09 %, відносно

Свистунова І. В., Пророченко С. С., Бурко Л. М., Чумаченко І. П., Войцехівський В. І.,
Полторецький С. П., Шувар А. М., Пуя В. Л., Васьківська С. В., Ночвіна О. В., Чухлеб Л. І.

вмісту цих елементів в біомасі злакових культур, – відповідно 0,41-0,45, 0,10-0,12 та 0,35-0,37%. Водночас вміст калію на 0,07-0,24 % знижувався та становив 2,36-2,58 %.

Вид злакового компоненту в змішаних бобово-злакових травосумішках не мав суттєвого впливу на мінеральний склад сухої речовини травостою. Однак встановлено, що суха біомаса одновидових посівів люцерни посівної, порівняно з люцерно-злаковими сумішами, накопичувала на 0,02-0,04 % більше магнію.

Добрива неістотно впливали на мінеральний склад корму, проте визначено, що внесення N_{60} , порівняно з $P_{60}K_{90}$ на травостоях за участі люцерни посівної, зазвичай, призводило до збільшення вмісту сирової золи, на злаковому травостої – до незначного зниження вмісту магнію.

Зміни мінерального складу сухої речовини різнотипних лучних фітоценозів обумовлювали також зміни в співвідношенні вмісту цих мінеральних елементів. Встановлено, що у сухій біомасі люцернового та люцерно-злакового травостоїв зменшувалось відношення калію до суми кальцію і магнію – від 4,6-4,8 до 3,1-3,7 та дещо збільшилося відношення кальцію до фосфору – від 1,2 до 1,3-1,4. Однак, отримані відношення $K:(Ca+Mg)$ та $Ca:P$ не виходили за рекомендовані межі зоотехнічних норм для великої

рогатої худоби, що вказує на добру придатність отриманого рослинного корму для годівлі тварин.

Важливим показником якості і безпечності рослинного корму є вміст у ньому нітратів ($N-NO_3$). У наших дослідженнях значення даного показнику у сухій речовині люцернового, люцерно-злакових і злакового травостоїв за різних фонів удобрення були на рівні 0,01-0,03 % та не виходили за межі ГДК (0,2 %) (табл. 2).

Визначено, що суха маса бобового та бобово-злакового фітоценозу, порівняно зі злаковим травостоєм накопичувала на 0,01 % більше нітратів. Внесення азотних добрив у нормі N_{60} (варіанти $N_{60}P_{60}K_{90}$ та $N_{60}P_{60}K_{90}+$ Фумар) порівняно з безазотними фонами (контроль та $P_{60}K_{90}$) призводило до підвищення вмісту нітратів (на 0,01 %) в надземній масі люцернових та люцерно-злакових травостоїв. За аналогічних умов удобрення в біомасі злакового травостою вміст нітратів зростав на 0,02 %. Отримані результати вказують на те, що внесення мінерального азоту у дозі N_{60} більш істотно впливає на рівень накопичення $N-NO_3$, аніж використання симбіотичного азоту люцерни посівної як в одновидовому посіві, так і в суміші зі злаковими компонентами. За роками користування вміст нітратів у рослинній кормовій сировині змінювався мало.

2. Нагромадження нітратів (N–NO₃) у сухій масі люцернового, люцерно-злакових і злакового травостоїв за різних фонів удобрення, %

Удобрєння	Рік користування			Середнє
	1-й	2-й	3-й	
Люцерна посівна				
Без добрив	0,02	0,01	0,02	0,02
P ₆₀ K ₉₀	0,02	0,01	0,02	0,02
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	0,03	0,02	0,03	0,03
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + Фумар	0,03	0,02	0,03	0,03
Люцерна посівна + костриця східна + костриця лучна				
Без добрив	0,03	0,02	0,02	0,02
P ₆₀ K ₉₀	0,03	0,03	0,02	0,02
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	0,04	0,03	0,03	0,03
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + Фумар	0,04	0,03	0,03	0,03
Люцерна посівна + костриця східна + грєстиця збірна				
Без добрив	0,03	0,02	0,02	0,02
P ₆₀ K ₉₀	0,03	0,02	0,02	0,02
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	0,04	0,03	0,03	0,03
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + Фумар	0,04	0,03	0,03	0,03
Люцерна посівна + стоколос безостий + пажитниця багаторічна				
Без добрив	0,02	0,02	0,02	0,02
P ₆₀ K ₉₀	0,02	0,02	0,02	0,02
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	0,03	0,03	0,02	0,03
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + Фумар	0,04	0,03	0,02	0,03
Люцерна посівна + стоколос безостий + костриця східна				
Без добрив	0,03	0,02	0,02	0,02
P ₆₀ K ₉₀	0,03	0,02	0,02	0,02
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	0,04	0,03	0,03	0,03
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + Фумар	0,04	0,03	0,03	0,03
Стоколос безостий + костриця східна (злаковий травостій)				
Без добрив	0,01	0,01	0,01	0,01
P ₆₀ K ₉₀	0,01	0,01	0,01	0,01
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	0,04	0,03	0,03	0,03
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + Фумар	0,04	0,03	0,03	0,03
НІР ₀₅ , %	0,005	0,005	0,005	0,005

Під впливом удобрення та симбіотичного азоту істотно змінюється також мікроелементний склад сухої речовини багаторічних кормових агрофітоценозів. Так, вченими встановлено, що підвищені норми азоту обумовлюють зменшення вмісту в рослинній біомасі цинку [8]. Щодо міді, то вплив азотних добрив на вміст цього

мікроелементу залежить від наявності його в ґрунті: на бідних на мідь ґрунтах підвищені норми азоту призводять до зниження рухомості згаданого елемента внаслідок формування комплексних мідно-аміачних сполук і зменшення його вмісту в кормовій сировині. Внесення підвищених норм азотних добрив на багатих міддю ґрунтах істотно

Свистунова І. В., Пророченко С. С., Бурко Л. М., Чумаченко І. П., Войцехівський В. І., Полторецький С. П., Шувар А. М., Пуя В. Л., Васківська С. В., Ночвіна О. В., Чухлеб Л. І.

підвищує її в рослинах. Підвищені норми фосфору знижують вміст у сухій речовині лучних травостоїв цинку [8, 19].

Зоотехнічна норма вмісту мікроелементів в сухій речовині корму для жуйних тварин становить: марганцю – 250 мг/кг, заліза – 200,

цинку – 20-80, міді – 4-8 мг/кг сухої речовини [8, 15]. У наших дослідженнях включення бобового компоненту до складу травосумішей та внесення мінерального азоту в дозі N₆₀ під злаковий травостій суттєво впливали на мікроелементний склад рослинного корму (табл. 3).

3. Вміст мікроелементів і важких металів у лучних травостоях за різних фонів удобрення, мг/кг сухої маси

Удобреньня	Zn	Cu	Mn	Fe	Pb	Ni	Cd
Люцерна посівна							
Без добрив	13,7	3,4	44,7	65,7	2,1	1,9	0,2
P ₆₀ K ₉₀	14,8	3,5	46,2	72,3	2,1	1,8	0,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	14,0	3,5	48,9	70,4	2,1	1,7	0,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + Фумар	14,3	3,6	48,5	71,5	2,1	1,8	0,3
Люцерна посівна + костриця східна + костриця лучна							
Без добрив	11,4	3,7	38,5	64,1	1,9	1,7	0,2
P ₆₀ K ₉₀	11,5	3,8	39,3	63,2	1,8	1,7	0,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	12,9	4,1	45,3	73,1	1,8	1,7	0,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + Фумар	12,9	4,2	45,4	72,4	1,8	1,8	0,3
Люцерна посівна + костриця східна + гречиця збірна							
Без добрив	12,1	3,5	38,4	59,1	1,8	1,8	0,2
P ₆₀ K ₉₀	12,3	3,3	43,5	58,3	1,9	1,9	0,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	13,4	3,9	47,8	65,2	1,8	1,8	0,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + Фумар	13,5	3,8	48,1	66,1	1,8	1,9	0,3
Люцерна посівна + стоколос безостий + пажитниця багаторічна							
Без добрив	13,3	3,4	43,2	66,8	2,1	1,9	0,2
P ₆₀ K ₉₀	14,5	3,5	45,6	71,2	2,0	1,8	0,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	13,7	3,5	48,7	73,4	2,1	1,7	0,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + Фумар	13,9	3,6	49,0	72,2	2,0	1,8	0,3
Люцерна посівна + стоколос безостий + костриця східна							
Без добрив	12,2	3,5	38,8	59,1	2,0	1,8	0,2
P ₆₀ K ₉₀	12,9	3,4	43,9	58,3	1,9	1,9	0,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	13,5	3,8	48,8	65,7	2,0	1,8	0,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + Фумар	13,6	3,8	47,6	66,4	2,0	1,8	0,3
Стоколос безостий + костриця східна (злаковий травостій)							
Без добрив	9,1	3,2	45,2	54,5	1,4	1,1	0,1
P ₆₀ K ₉₀	9,2	3,6	54,3	62,7	1,5	1,2	0,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	12,5	5,5	65,8	58,1	1,7	1,3	0,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀ + Фумар	12,6	5,5	66,4	58,3	1,8	1,3	0,2
Зоотехнічна норма	20-80	4-10	250	200	1,9	-	0,3
НІР ₀₅	0,6	0,3	2,3	3,5	0,1	0,1	0,01

Свистунова І. В., Пророченко С. С., Бурко Л. М., Чумаченко І. П., Войцехівський В. І.,
Полторецький С. П., Шувар А. М., Пую В. Л., Васьківська С. В., Ночвіна О. В., Чухлеб Л. І.

Визначено, що у сухій речовині люцернового і люцерно-злакових травостоїв порівняно зі злаковим лучним фітоценозом, вирощеним за відсутності внесення мінерального азоту (варіанти: без добрив і $P_{60}K_{90}$) вміст цинку зростає від 9,1-9,2 до 12,1-14,8 мг/кг, заліза – від 54,5-62,7 до 58,3-72,3 мг, нікелю – від 1,1-1,2 до 1,8-1,9, свинцю – від 1,4-1,5 до 1,8-2,1, кадмію – від 0,1 до 0,2-0,3 мг. Тенденція до зростання вмісту в сухій речовині зазначених мікроелементів під дією симбіотичного азоту люцерни спостерігалася і на ділянках, де вносили N_{60} ($N_{60}P_{60}K_{90}$ та $N_{60}P_{60}K_{90}+$ Фумар).

На злаковому травостої за внесення N_{60} (варіанти: $N_{60}P_{60}K_{90}$ і $N_{60}P_{60}K_{90}+$ Фумар) порівняно з безазотними фонами вміст цинку в сухій речовині зростає від 9,1-9,2 до 12,5-12,6 мг/кг, марганцю – від 45,2-54,3 до 65,8-66,4, міді – від 3,2-3,6 до 5,5, свинцю – від 1,4-1,5 до 1,7-1,8, кадмію – від 0,1 до 0,2, нікелю – від 1,1-1,2 до 1,3 мг/кг. Отримані значення вмісту зазначених мікроелементів у сухій речовині досліджуваних травостоїв свідчать про їх відповідність зоотехнічним нормам годівлі великої рогатої худоби.

References

1. Babych A.O. (1994) Methods of conducting experiments on fodder production. Vinnytsia, 1994. 96.
2. Bohovin A.V., Ptashnik M.M., Dudnyk S.V. (2017) Restoration of productive

Висновки і перспективи.

Мінеральний склад люцерно-злакових та люцернових травостоїв за всіх варіантів удобрення більш повно відповідає фізіологічним вимогам тварин порівняно зі злаковими кормовими багаторічними фітоценозами. Одновидові посіви бобового компоненту та його сумішки зі злаковими травами накопичують вищий вміст сирової золи (9,0-9,6 %), кальцію (0,53-0,62 %), магнію (0,13-0,18 %), фосфору (0,40-0,45 %) та дещо нижчий калію – 2,36-2,58 %. Вид злакового компоненту в змішаних бобово-злакових травосумішках не мав суттєвого впливу на мінеральний склад сухої речовини травостою. Вміст нітратів ($N-NO_3$) у сухій речовині люцернового, люцерно-злакових і злакового травостоїв за різних фонів удобрення становив 0,01-0,03 % та не виходив за межі ГДК (0,2 %). Найбільш істотно азотні добрива впливало на хімічний склад злакових травостоїв. За внесення N_{60} на фоні $P_{60}K_{90}$ відмічене зростання у сухій речовині корму злакових фітоценозів цинку – до 12,5-12,6, міді – до 5,5, марганцю – до 65,8-66,4, свинцю – до 1,7-1,8, нікелю – до 1,3 мг та кадмію – до 0,2 мг/кг, що відповідає рекомендованим нормам.

ecologically sustainable herbaceous biogeocenoses on anthropotransformed edaphotopes: monograph. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury, 356.

3. Demydas H.I., Prorochenko S.S., Svystunova I.V. (2019) Nutritive value and

- Свистунова І. В., Пророченко С. С., Бурко Л. М., Чумаченко І. П., Войцехівський В. І., Полторецький С. П., Шувар А. М., Пуя В. Л., Васьківська С. В., Ночвіна О. В., Чухлеб Л. І. energy intensity of fodder of alfalfa-cereal grass mixtures depending on the technological factors of cultivation. *Roslynnytstvo ta gruntoznavstvo*. № 1. P. 13-21. <http://dx.doi.org/10.31548/agr2019.02.013>.
4. Karbivska U.M. (2019) The quality of fodder of meadow agrophytocenoses depending on their species composition and fertilization in the conditions of Prykarpattia. *Kormy i kormovyrobnytstvo*. № 88. P. 91-98. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo201988-13>.
5. Karbivska U.M., Butenko A.O., Onychko V.I., Masyk I.M., Hlupak Z.I., Danylchenko O.M., Klochkova T.I., Ihnatieva O.L. Effect of the cultivation of legumes on the dynamics of sod-podzolic soil fertility rate. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019. 9(3). P. 8-12. Doi: 10.15421 / 2019_702.
6. Kovtun K. P., Veklenko Yu. A., Sydoruk H.P., L. I. Bezvuhliak, Yashchuk V. A. (2018) Influence of sowing methods and spatial arrangement of components on the chemical composition of phytomass of two-component alfalfa-cereal mixtures in the conditions of the right-bank forest-steppe. *Kormy i kormovyrobnytstvo*. Vypusk 85. P. 94-100.
7. Kovtun K.P., Chornolata L.P., Bezvuhliak L.I., Yashchuk V.A., Danyliuk V.H. (2017) The influence of methods of sowing binary alfalfa-cereal mixtures on the chemical composition and quality of fodder in the conditions of the right-bank forest-steppe. *Kormy i kormovyrobnytstvo*. № 84. P. 187-193.
8. Kurhak V. H., Lukianets O. P., Titova V. M. Biochemical composition of forage of meadow grasses depending on fertilizer and mode of use. *Zbirnyk naukovykh prats Instytutu zemlerobstva*. Kyiv, 2002. Vyp. 3. P. 25-33.
9. Kurhak V. H., Titova V. M. Efficacy of plant growth stimulants and nitrogen-fixing bacterial preparations on meadow grasses. *Zbirnyk naukovykh prats Instytutu zemlerobstva*. Kyiv, 2002. Vyp. 1. P. 48-55.
10. Kurhak V. H., Voloshyn V. M. Improving the efficiency of perennial legumes in the meadows of Ukraine. *Posibnyk ukrainskoho khliboroba «Biologizatsiia zemlerobstva»*. K., 2017. Tom 1. P 288-291.
11. Kurhak V.H., Karbivska U.M., Panasiuk S.S., Havrysh Ya.V. (2019) Scientific and technological bases of organic onion cultivation. *Visnyk ahrarynoi nauky*. № 11. С. 28-33. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202004-05>
12. Makarenko P. S. The main elements of resource and energy saving in onion growing in modern conditions. *Kormy i kormovyrobnytstvo*. 2003. Vyp. 51. S. 146-149.
13. Oenema O., de Klein C., Alfaroc M. Intensification of grassland and forage use: driving forces and constraints. *Crop and Pasture Science*. 2014. Vol. 65(6). Pp. 524-537. <https://doi.org/10.1071/CP14001>
14. Olifirovych V. A., Veklenko Yu.A. (2021) Improving the efficiency of growing alfalfa and cereal mixtures on eroded slopes. *Kormy i kormovyrobnytstvo*. № 91. S. 93-102. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202191-08>
15. Onopriienko V. P., Onopriienko I.M., Khomenko L.M. Influence of Agrotechnical Measures on the Quality of Feed of Legume-Grass Mixtures. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019. № 9(4). P. 547-551. DOI: 10.15421 / 2019_788
16. Panakhyd H. Ya., Konyk H. S., Kotiash U. O. (2019) Formation of newestablished legume-grass meadow swards depending on different types of fertilizers. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnnytstvo*. 65. P. 114-124. [https://doi.org/10.32636/01308521.2019-\(65\)-10](https://doi.org/10.32636/01308521.2019-(65)-10)
17. Petrychenko V.F., Korniiichuk O.V., Veklenko Yu.A. (2020) Scientific bases of intensification of fodder production on meadows and pastures of Ukraine. *Kormy i kormovyrobnytstvo*. Vypusk 89. S. 10-22. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202089-01>.
18. Puiu V.L., Bakhmat M.I., Rykhlivskyi I.P., Shcherbatiuk N.V. (2019) Optimization of Conveyor Production of Green Fodder. *World Science*. 7 (47), Vol.1. P. 32-39. DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws.
19. Puyu V., Bakhmat M., Khmeliianchyshyn Y., Pantsyryeva H., Stepanchenko V., Bakhmat O. (2021) Social-and-Ecological Aspects of Forage Production

CHEMICAL COMPOSITION OF MEADOW GRASS FEED DEPENDS ON TECHNOLOGICAL GROWING FACTORS

I. V. Svystunova, C. C. Prorochenko, L. M. Burko, I. P. Chumachenko,
 V. I. Voitsekhivskiy, S. P. Poltoretskyi, A. M. Shuvar, V. L. Puiiu,
 S. V. Vaskivska, O. V. Nochvina, L. I. Chukhleb

Abstract. Increasing the efficiency of using natural forage lands as a source of economically profitable grass forages, well balanced in terms of nutrients, is an important factor in creating a strong forage base for animal husbandry. The relevance of scientific research on increasing the production potential of onion pasture lands is especially growing at the current stage of the European integration of our country into the EU countries, where the requirements for the quality and safety of fodder are very high. An important parameter of the quality and safety of plant feeds is their mineral composition. The purpose of the research was to study the influence of technological methods of growing alfalfa-cereal grass mixtures on the chemical composition of fodder in the conditions of the right-bank forest-steppe

Experimental studies were carried out during 2014-2016 in the conditions of the SS NULES of Ukraine "Agronomic Research Station" on typical low-humus chernozem. It was established that the mineral composition of alfalfa-cereal and alfalfa grass stands for all fertilization options more fully meets the physiological requirements of animals compared to cereal fodder perennial phytocenoses. Single-species crops of the leguminous component and its mixtures with cereal grasses accumulate a higher content of raw ash (9.0-9.6%), calcium (0.53-0.62%), magnesium (0.13-0.18%), phosphorus (0.40-0.45%) and slightly lower potassium - 2.36-2.58 %. The type of cereal component in the mixed legume-cereal grass mixture had no significant effect on the mineral composition of the dry matter of the grass stand. The content of nitrates (N-NO₃) in the dry matter of the investigated grass stands under different fertilization backgrounds was 0.01-0.03% and did not exceed the MPC. Nitrogen fertilizers had the most significant effect on the chemical composition of cereal grass stands.

Keywords: alfalfa, alfalfa-cereal and cereal grasses, fertilizers, macroelements, microelements, nitrates

УДК 636.2.053:612.176

**ВПЛИВ СТРЕСОВИХ РЕАКЦІЙ НА ФІЗІОЛОГІЧНИЙ СТАН
МОЛОДНЯКУ ВЕЛИКОЇ РОГАТОЇ ХУДОБИ****М. М. ЛУЦЕНКО**, доктор сільськогосподарських наук, професор,
<https://orcid.org/0000-0001-9548-0825>**І. О. ЛАСТОВСЬКА**, кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
<https://orcid.org/0000-0003-0763-8528>**Л. Т. КОСІОР**, кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
<https://orcid.org/0000-0002-8214-5670>**Білоцерківський національний аграрний університет**E-mail: Iryna.lastovska@btsau.edu.ua[https://doi.org/10.31548/dopovidi3\(103\).2023.010](https://doi.org/10.31548/dopovidi3(103).2023.010)

Анотація. Представлено сучасні умови транспортування худоби автомобільним, залізничним, повітряним і морським транспортом. Розкрито питання добробуту, стресу, адаптації до умов в яких знаходяться тварини під час транспортування. Проаналізовано стан захисту тварин на законодавчому рівні України та директивами ЄС. Практичні аспекти добробуту тварин стосуються підготовки, оцінки та відбору тварин перед транспортуванням, а також забезпечення відповідних умов утримання та відпочинку щодо відновлення після транспортування.

Ключові слова: транспортування, стрес, адаптація, худоба, міжнародні перевезення, стресори, фактори добробуту, захист тварин

Життя людей тісно переплітається з тваринами протягом тисячоліть. Вони цінують їх з соціальних, культурних, економічних та емоційних причин. Тому спостерігається рух тварин між областями, країнами, континентами і цей рух буде продовжуватись та наростати завдяки зростанню мобільності людей та удосконаленню умов транспортування. Добробут тварин, що перевозяться покращився як і зацікавленість у захисті цих тварин на законодавчому рівні. Досвід деяких країн світу демонструє, що тварини при

транспортуванні не страждають. Проте всі види перевезень є потенційно небезпечними і можуть бути пов'язані з стресом, стражданнями та хворобами.

За даними Karen Schwartzkopf-Genswein Jason Ahola, Lily Edwards-Callaway, Dan Hale, and John Paterson (2015) майже всі тварини транспортуються принаймні один раз у житті, а часто і 6 разів. Наприклад, телята можуть транспортуватися з ферми або ранчо на аукціонний ринок для тварин, пасовища або забійний пункт.

Не важливо на які відстані, здійснюється транспортування тварин автомобільним, залізничним, повітряним і морським транспортом. Тож виникає питання чи існує добробут тварин під час цих перевезень, незалежно від того чи відбувається вони між країнами чи в межах України. Однією з проблем міжнародного транспортування є обов'язковий захист тварин. У цьому аспекті питання добробуту тварин є предметом міжнародного занепокоєння, оскільки це впливає на передачу інфекційних та паразитарних захворювань [2,3].

Ряд вчених таких як Богачик О. Г., Козенко О.В., Двилюк І. В. та ін. (2015) підтримують кроки Міністерства аграрної політики та продовольства України щодо розгляду питання добробуту тварин за науковою тематикою: «Добробут продуктивних тварин в контексті угоди про асоціацію між Україною та ЄС та поза нею».

Тому метою цієї статті є розкриття деяких біологічних і практичних аспектів пов'язаних із захистом добробуту тварин при транспортуванні, що спирається на досвід Європейської конвенції «Про захист тварин під час транспортування» та Постанову КМУ від 16.11.2011 № 1402 .

Фізіологічні та поведінкові реакції тварин. Обмеження руху тварин при транспортуванні часто призводить до стресових реакцій у

тварин. При цьому великий вплив на добробут тварин має стрес, який пов'язаний із некомфортними умовами утримання та транспортування. Як наслідок захисний механізми боротьби тварин з новим середовищем, в якому вони знаходяться, починають руйнуватися, створюється стресова ситуація, яка може носити поведінковий, фізіологічний та організаційний характер. Стрес впливає на пристосованість тварин і може проявлятися хворобою та смертю або нездатністю рости і розмножуватись. Стресори діють по різному на системи органів і мають різний вплив наприклад порівнюючи тепло і холод. Як наслідок впливу стресових факторів на організм тварини виникає адаптаційний синдром [5-7].

Грабовський С. С. (2012 р) як і Г. Сельє (1982 р.) розділяють стрес на три стадії – реакція тривоги, резистентності організму і вичерпання. Загальний синдром адаптації здійснюється нервовою системою і гормонами.

Стрес найкраще проявляється змінами в поведінці і в фізіології тварин. Тому він може розглядатись як хвороба адаптації і провокувати інші захворювання. Стрессова реакція та загальний адаптаційний синдром проявляється між двома практичними показниками такими як захворювання та добробут. Частота захворювань є показником порушень технології транспортування,

Луценко М. М., Ластовська І. О., Косіор Л. Т.

утримання і є сигналом про наявність недоліків. Тому, основними ключовими поняттями для організації добробуту тварин повинно бути:

- свобода від голоду і недоїдання;
- свобода від термічного або фізичного дискомфорту;
- свобода від хвороб або травм;
- свобода виражати природну властиву поведінку;
- свобода від страху [10-13].

В той же час міжнародні перевезення вимагають певних умов для транспортування тварин, які повинні забезпечувати тварин збалансованими кормами; достатньою кількістю питної води; повітрям, яке не містить шкідливих газів; умовами утримання, які надають можливість вільно пересуватись і які не викликають надмірного фізичного обмеження; природним або штучним захистом від несприятливих погодних умов; захистом від паразитів; та надавати ветеринарну допомогу або сприяти гуманному забою за необхідності [14].

Аналіз технології транспортування молодняку тварин свідчить про те, що на їх добробут впливають різні фактори, зокрема:

- ❖ зміна звичного середовища і складу технологічних груп в яких перебували тварини;

❖ завантаження та розвантаження;

❖ перезавантаження та не дотримання норм утримання;

❖ незнайомі та гучні звуки;

❖ вібрація і тряска;

❖ екстремальні

температура і вологість;

❖ прискорення і

уповільнення під час руху;

❖ тривалий період

очікування, протягом якого може бути відсутність вентиляції, що чергується з швидким рухом повітря, коли транспортний засіб рухається;

❖ позбавлення корму та води [15,16].

До усіх цих факторів молода тварина повинна адаптуватись. Тому в даній ситуації ми розглядаємо здатність тварин адаптуватися до умов транспорту та розуміння принципів, які визначають хороші умови транспортування.

Що стосується процесів адаптації, в даний час існує важлива суперечлива ідея про те, що адаптаційні зміни до стресових факторів можуть бути шкідливими, а не корисними для добробуту тварин [17]. Важливими є також функції адаптації, звикання та акліматизації. Ці адаптаційні здібності можуть і повинні бути стимульовані до того, яким чином відбуватиметься транспортування, і можливість контролювати адаптаційні зміни.

Як свідчать дослідження Hanna EG, Tait PW (2011); Collier RJ,

Луценко М. М., Ластовська І. О., Косіор Л. Т.

Baumgard LH, Zimbelman RB, Xiao Y. (2019) тепла адаптація і акліматизація, наприклад, є більш повільними процесами, ніж загальна реакція стресу і включає різні фізіологічні аспекти. У цьому зв'язку фізіологічна відмінність між акліматизацією та аклімацією має практичне значення. Аклімація - це пристосування організму до штучно створених умов, постійна зміна певної функції через тривалий вплив на навколишнє середовище, таке як висока або низька температура, тоді як акліматизація - це постійний спектр змін екологічного стану.

Крім акліматизації молодим тваринам необхідно забезпечити їх адаптацію травлення до змін у раціоні, особливо у жуйних. Популяції мікрофлори молочної залози повинні пристосовуватися до змін кормових раціонів. Крім того, вибір раціону тварин, таких як вівці, включає поведінкові тонкощі, які зараз вивчаються. Все це може відбуватися в той час, коли існує підвищена потреба в поживних речовинах.

Практика міжнародних перевезень свідчить про те, що міркування щодо добробуту тварин під час перевезення були визначені в положенні Європейської конвенції про захист тварин основні ці твердження якраз і застосовують при міжнародних перевезеннях, а саме:

1. Такі кроки, як збір, завантаження і розвантаження є

спільними для всіх форм транспортування тварин і представляють особливу небезпеку для добробуту тварин. Процедури контролю якості можуть застосовуватися на всіх цих етапах.

2. Економічні чи фактори добробуту тварин не обов'язково працюють один проти одного. Повинен бути сильний фінансовий стимул для запобігання стресових захворювань і хвороб, а також для захисту добробуту тварин під час транспортування.

3. Правила та положення важливі для захисту тварин, але якість допомоги визначається навичками та ставленням людей. Якщо догляд за тваринами можна пояснити в біологічному плані, то його можна вивчити і навчити через неформальні або формальні процеси.

4. Добробут тварин можна покращити будь-якими заходами, які зменшують тривалість або кількість поїздок. Це не суперечить ідеї про те, що тварини можуть транспортуватися на великі відстані і протягом тривалого часу за відповідних умов, але краще визнати, що ступінь ризику пов'язаний з величиною впливу потенційних небезпек. Таким чином, реалізація та переміщення забійних тварин з ферм до бойні, що знаходяться на менших відстанях, без проміжних поїздок, мають чіткі переваги для добробуту[20,21].



Рис. 1. Транспорт для перевезення тварин (власні фото)

У той же час за твердженнями І. М. Ощипок (2016) перевезення тварин створює серйозний стрес фактор, не кажучи вже про додаткові ризики, які можуть призвести до загибелі худоби в процесі транспортування і все це може посилюватись через погані дороги та власне сам транспортний засіб.

Автомобільний транспорт що використовується для перевезення тварин можна розділити на три категорії: короткий, середній і довгий. Різниця між цими категоріями є значущою для добробуту, з огляду на час, який витрачається на завантаження і розвантаження великої рогатої худоби. Тому, в даний час обґрунтовані конкретні вимоги для автомобільного транспорту які включають наступні елементи:

- розробку стандартів для автомобілів, пов'язані з комфортом тварин;
- розробку стандартів для вантажно-розвантажувальних робіт;
- використання електричних погоничів;
- щільності навантаження;
- періоди відпочинку;
- кратність годівлі та напування;
- заходи щодо реагування на дорожньо-транспортні пригоди, в яких постраждали тварини [22-25].

Згідно постанови Кабінету Міністрів України від 16.11.2011 р. № 1402 щодо дорожнього транспортування тварин встановлені періоди відпочинку тварин, які повинні тривати від 12 до 24 годин після кожного 24-годинного періоду пересування. Це відноситься до коней, свиней та молодих жуйних до 3-місячного віку. Період подорожі

Луценко М. М., Ластовська І. О., Косіор Л. Т.

цих видів тварин може бути продовжений до 36 годин, якщо тварини відпочивають протягом 24 годин відносно наступної стадії подорожі. У Європі в даний час максимальна тривалість подорожі становить 24 години до періодів

відпочинку, напування та годівлі. Ці цифри є довільними і повинні розглядатися лише як індикативні та другорядні за систематичним контролем за станом тварин, що транспортуються [26].



Рис. 2. Вагони для транспортування худоби (фото з мережі Internet)

Аналіз нормативних документів і вимог відносно транспортування тварин залізничним транспортом свідчить про те, що вони є подібними до вимог дорожнього транспорт. Nielsen SS, Alvarez J, Bicout DJ at al. (2022)

встановили, що залізничний транспорт для сільськогосподарських тварин є менш комфортним тому що потребує повторного завантаження і розвантаження тварин з автомобільного в залізничний транспорт.

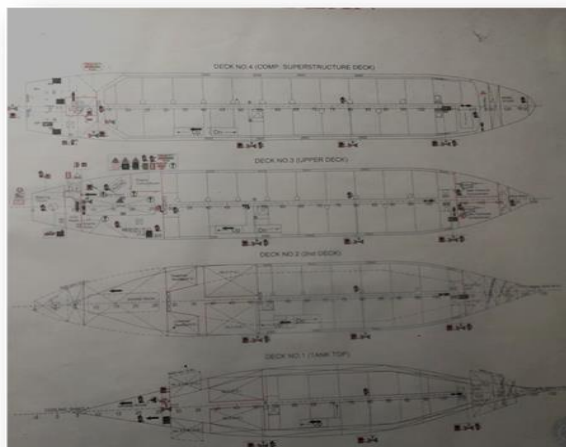


Рис. 3. Графічне зображення корабля для транспортування худоби

Досвід перевезення тварин морським транспортом свідчить про те, що в останні роки умови



Рис. 4. Розміщення бугайців на кораблі (власні фото)

перевезень значно покращилися за рахунок поліпшення конструкції судна для мореплавства та комфорту,

Луценко М. М., Ластовська І. О., Косіор Л. Т.

а також удосконаленню навігаційних засобів, що забезпечують можливість уникнути погіршення стану тварин під час транспортування [28-30].

Сукупність наукових знань, які були використані для вирішення проблем добробуту в морських перевезеннях худоби є результатом поєднання досвіду, методичного спостереження та епідеміологічного аналізу даних, а також експериментів. Усі ці знання були зібрані протягом декількох етапів, оскільки промисловість розширювалася, а конструкція судів змінювалася. Встановлено, що важливими факторами смертності тварин є ожиріння, вік, сезон року, температура та вологість [31, 32].

Проблеми з транспортуванням худоби морським транспортом припинилися з введенням в експлуатацію спеціально побудованих морських суден. Конструкція яких вирішила проблеми годівлі тварин на морських

суднах за рахунок використання гранул і сіна.

Велика рогата худоба, як правило, відчуває менше проблем з добробутом, ніж вівці під час морського транспортування, про що свідчать показники смертності. Це обумовлено адекватною попередньою підготовкою великої рогатої худоби до завантаження, особливо якщо велика рогата худоба не мала контакту з людьми. Гіпертермія і травми кінцівок були ідентифіковані як звичайні причини смертності худоби, що транспортується морем [32-36].

В останні роки спостерігається регулярний потік великої рогатої худоби до Єгипту, Йорданії, Азербайджану, Узбекистану. І особливу увагу привертає повітряний транспорт, що використовують для транспортування худоби (рис.5) в цих умовах тварини перебувають в тісних контейнерах з обмеженою можливістю рухатись [37].



Рис. 5. Транспортування худоби повітряним транспортом (фото з мережі Internet)

Багато попередніх проблем, пов'язаних з повітряним транспортуванням тварин, були задоволені досягненнями у проектуванні повітряних суден і застосуванням норм, що містяться у вичерпному посібнику Міжнародної асоціації повітряного транспорту (International Air Transport Association - IATA). Тварини, які приймаються до повітряного перевезення, обов'язково мають бути належним чином розміщені у контейнерах або клітках і мати чинні свідоцтва про вакцинації та довідки про стан їх здоров'я, дозволи на ввезення в країну призначення чи транзиту [38].

ВИСНОВКИ

Постійне зростання міжнародних перевезень тварин

References

1. Schwartzkopf-Genswein, K. S., Ahola, J. K., Edwards-Callaway, L. N., Hale, D. S., & Paterson, J. R. (2016). Symposium Paper: Transportation issues affecting cattle well-being and considerations for the future. *The Professional Animal Scientist*, 32(6), 707–716. <https://doi.org/10.15232/pas.2016-01517>
2. Kosiachku N. I. (2013) Osnovni poniattia dobrobutu tvaryn ta normatyvno-pravovi akty. *Naukovyi visnyk LNUVMBT imeni S.Z. Hzhyskoho*, 1 (55), 88-92.
3. Kozii B. I., Demchuk M.V. (2012) Matematychna model otsinky vplyvu kadrovoho zabezpechennia tvarynnytskykh pidpriemstv ta dotrymannia vymoh dobrobutu tvaryn na yikh produktyvnist. *Naukovyi visnyk LNUVMBT imeni S.Z. Hzhyskoho*, 3 (53), 31-36.
4. Bohachyk O. H., Kozenko O. V., Dvyluk I. V., Mahrelo N. V., Sus H. V., Voroniak V. V. (2015) Osnovni aspekty zakonodavstva yevropeiskoho soiuzu shchodo dobrobutu produktyvnykh tvaryn. *Naukovyi*

викликає спільну стурбованість щодо їх добробуту, стресу і хвороб, та вимагає розробки регуляторних процедур і принципів для запобігання проблемам і для вирішення цих проблем, коли вони виникають. Встановлено, що види міжнародних перевезень є потенційно небезпечними для тварин і можуть призвести до хвороб, стресу та погіршення добробуту. Ці три сутності нерозривно пов'язані між собою. Добробут тварин відноситься до життєвих процесів, які відкриті для наукового аналізу. Практичні заходи щодо поліпшення добробуту тварин можуть ґрунтуватися на наукових знаннях, які є результатом як досвіду з транспортними, так і експериментальними дослідженнями. *visnyk LNUVMBT imeni S.Z. Hzhyskoho*, 1 (61), 205-211.

5. Blasi, D. A. (2006). Record Systems for Beef Stocker Production Enterprises. *Veterinary Clinics of North America-food Animal Practice*. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2006.03.011>
6. Rotz, C. A., Asem-Hiablie, S., Place, S. E., & Thoma, G. (2019). Environmental footprints of beef cattle production in the United States. *Agricultural Systems*, 169, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.11.005>
7. Edwards-Callaway, L. N., Calvo-Lorenzo, M. S., Scanga, J. A., & Grandin, T. (2017). Mobility Scoring of Finished Cattle. *Veterinary Clinics of North America-food Animal Practice*, 33(2), 235–250. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2017.02.006>
8. Sele Hans (1982) Stres bez dystressa M.: «Prohress».
9. Hrabovskyi S.S. (2012) Stresy silskohospodarskykh tvaryn ta yoho naslidky. *Naukovyi visnyk LNUVMBT imeni S.Z. Hzhyskoho*, 3 (53), 47-58.

10. Pederson, L. A., Yates, J. D., & Wieman, A. (2018). Preparation and Response to Truck Accidents on Highways Involving Cattle. *Veterinary Clinics of North America-food Animal Practice*, 34(2), 289–307. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2018.03.001>
11. Hulbert, L., Carroll, J. A., Sanchez, N. C. B., Randel, R. D., Brown, M., & Ballou, M. (2011). Innate immune responses of temperamental and calm cattle after transportation. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 143(1–2), 66–74. <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2011.06.025>
12. Fike, K. E., & Spire, M. F. (2006). Transportation of Cattle. *Veterinary Clinics of North America-food Animal Practice*, 22(2), 305–320. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2006.03.012>
13. Falconer, L. L., & Anderson, D. E. (2006). The Stocker Cattle Supply Chain. *Veterinary Clinics of North America-food Animal Practice*, 22(2), 297–303. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2006.03.003>
14. Suprun I. O. (2012) Henezys stresu silskohospodarskykh tvaryn *Biolohiia tvaryn*, 1-2, 55-63.
15. Schwartzkopf-Genswein, K. S., Faucitano, L., Dadgar, S., Shand, P., González, L., & Crowe, T. G. (2012). Road transport of cattle, swine and poultry in North America and its impact on animal welfare, carcass and meat quality: A review. *Meat Science*, 92(3), 227–243. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.04.010>
16. Koknaroglu, H., & T, A. (2013). Animal welfare: An animal science approach. *Meat Science*, 95(4), 821–827. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.030>
17. Støier, S., Larsen, H. B., Aaslyng, M. D., & Lykke, L. (2016). Improved animal welfare, the right technology and increased business. *Meat Science*, 120, 71–77. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.010>
18. Hanna, E. G., & Tait, P. R. (2015). Limitations to Thermoregulation and Acclimatization Challenge Human Adaptation to Global Warming. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(7), 8034–8074. <https://doi.org/10.3390/ijerph120708034>
19. Collier, R. J., Baumgard, L. H., Zimbelman, R., & Xiao, Y. (2018). Heat stress: physiology of acclimation and adaptation. *Animal Frontiers*, 9(1), 12–19. <https://doi.org/10.1093/af/vfy031>
20. Zubchenko, N. I. (2015). Dobrobut tvaryn ta yikh zakhyst vid zhorstokoho povodzhennia: rozvytok doktryny mizhnarodnoho prava. <http://hdl.handle.net/11300/679>
21. Schuetze, S., Schwandt, E. F., Maghirang, R. G., & Thomson, D. U. (2017). R eview: Transportation of commercial finished cattle and animal welfare considerations. *The Professional Animal Scientist*, 33(5), 509–519. <https://doi.org/10.15232/pas.2017-01620>
22. Valadez-Noriega, M., Estévez-Moreno, L. X., Rayas-Amor, A., Rubio-Lozano, M. S., Lozano, M. S. R., & La Lama, G. C. M. (2018). Livestock hauliers' attitudes, knowledge and current practices towards animal welfare, occupational wellbeing and transport risk factors: A Mexican survey. *Preventive Veterinary Medicine*, 160, 76–84. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2018.09.023>
23. Mota-Rojas, D., Orihuela, A., Strappini-Asteggiano, A., Cajiao-Pachón, M. N., Agüera-Buendía, E., Mora-Medina, P., Ghezzi, M. D., & Alonso-Spilsbury, M. (2018). Teaching animal welfare in veterinary schools in Latin America. *International Journal of Veterinary Science and Medicine*, 6(2), 131–140. <https://doi.org/10.1016/j.ijvsm.2018.07.003>
24. Brunel, H. D. S. S., Dallago, B. S. L., De Almeida, A. N., De Assis, A. C. M., De Bento Calzada, R. J., De Alvarenga, A. B. B., Menezes, A. M., Barbosa, J. a. R. G., Lopes, P., Gonzalez, F. H. D., McManus, C., Broom, D. M., & Bernal, F. (2018). Hemato-biochemical profile of meat cattle submitted to different types of pre-loading handling and transport times. *International Journal of Veterinary Science and Medicine*, 6(1), 90–96. <https://doi.org/10.1016/j.ijvsm.2018.04.002>
25. Suprun I. O. (2012) Henezys stresu silskohospodarskykh tvaryn. *Biolohiia tvaryn*, 1-2, 55-63.
26. Pro zatverdzhennia Pravyl transportuvannia tvaryn. (n.d.). Ofitsiyni Vebportal Parlamentu Ukrainy.

Луценко М. М., Ластовська І. О., Косіор Л. Т.

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1402-2011-%D0%BF>

27. Nielsen, S., Alvarez, J., Bicout, D., Calistri, P., Canali, E., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Rojas, J. L. G., Schmidt, C., Michel, V., Chueca, M. Á. M., Padalino, B., Pasquali, P., Roberts, H., Spooler, H., Ståhl, K., Velarde, A., Viltrop, A., Winckler, C., . . . Herskin, M. S. (2022). Welfare of cattle during transport. *EFSA Journal*, 20(9). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.7442>

28. Kozenko O. V. Dvyliuk I. V., Sus H. V., Mahrelo N. V. (2015) «Dobrobut tvaryn» u prohrami navchannia studentiv ta spetsialistiv veterynarnoi medytsyny, biotekhnolohiv. *Naukovyi visnyk LNUVMBT imeni S.Z. Hzhyskoho*, 1 (61), 273-278.

29. Padurariu, M., Antioch, I., Balmus, I. M., Ciobica, A., El-Lethey, H. S., & Kamel, M. M. (2017). Describing some behavioural animal models of anxiety and their mechanistics with special reference to oxidative stress and oxytocin relevance. *International Journal of Veterinary Science and Medicine*, 5(2), 98–104. <https://doi.org/10.1016/j.ijvsm.2017.08.003>

30. Da Costa, M. M., Huertas, S., Gallo, C., & Costa, O. a. D. (2012). Strategies to promote farm animal welfare in Latin America and their effects on carcass and meat quality traits. *Meat Science*, 92(3), 221–226. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.03.005>

31. Grandin, T. (2017). On-farm conditions that compromise animal welfare that can be monitored at the slaughter plant. *Meat Science*, 132, 52–58. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.05.004>

32. La Lama, G. C. M., Villarroel, M., & María, G. A. (2014). Livestock transport from the perspective of the pre-slaughter logistic chain: a review. *Meat Science*, 98(1), 9–20.

<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.04.005>

33. Fisher, A. J., Colditz, I. G., Lee, C. S., & Ferguson, D. (2009). The influence of land transport on animal welfare in extensive farming systems. *Journal of Veterinary Behavior*, 4(4), 157–162. <https://doi.org/10.1016/j.jvneb.2009.03.002>

34. Foster, S. A., & Overall, K. L. (2014). The welfare of Australian livestock transported by sea. *Veterinary Journal*, 200(2), 205–209.

<https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2014.03.016>

35. Phillips, C. J. C., & Santurtun, E. (2013). The welfare of livestock transported by ship. *Veterinary Journal*, 196(3), 309–314. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.01.007>

36. Santurtun, E., & Phillips, C. J. C. (2015). The impact of vehicle motion during transport on animal welfare. *Research in Veterinary Science*, 100, 303–308. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2015.03.018>

37. Hocquette, J., Botreau, R., Picard, B., Jacquet, A., Pethick, D. W., & Scollan, N. D. (2012). Opportunities for predicting and manipulating beef quality. *Meat Science*, 92(3), 197–209. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.04.007>

38. Pro zatverdzhennia Instruksii z orhanizatsii perevezen vantazhiv povitrianyh transportom. (n.d.). Ofitsiinyi Vebportal Parlamentu Ukrainy. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0958-04>

INFLUENCE OF STRESS REACTIONS ON THE PHYSIOLOGICAL STATE OF YOUNG CATTLE

M.M. Lutsenko, I.O. Lastovska, L.T. Kosior

Abstract. Modern conditions of livestock transportation by road, rail, air and sea transport are presented. The issue of well-being, stress, adaptation to the conditions in which animals are during transportation is revealed. The state of animal protection at the legislative level of Ukraine and EU directives is analyzed. The practical aspects of animal welfare relate to the preparation, assessment and selection of animals before transport, as well as the provision of adequate housing and rest conditions for recovery after transport.

Луценко М. М., Ластовська І. О., Косіор Л. Т.

Key words: *transportation, stress, adaptation, livestock, international transportation, stressors, welfare factors, animal protection*

ДО ІСТОРІЇ ВИВЧЕННЯ АПАРАТУ РУХУ ВЧЕНИМИ КИЇВСЬКОЇ ШКОЛИ ПОРІВНЯЛЬНИХ МОРФОЛОГІВ**М. М. СТЕГНЕЙ**, кандидат ветеринарних наук, доцент**Н. В. ДРУЗЬ**, кандидат ветеринарних наук, доцент**Ж. Г. СТЕГНЕЙ**, кандидат ветеринарних наук, доцент**М. В. ДРОБОТ**, кандидат ветеринарних наук, старший викладач*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

E-mail: stehgney_mm@nubip.edu.ua

[https://doi.org/10.31548/dopovid3\(103\).2023.011](https://doi.org/10.31548/dopovid3(103).2023.011)

Анотація. Розглянуто питання вивчення апарату руху тварин представниками Київської школи порівняльних морфологів. У 20-х роках ХХ століття науковці, представники Київської школи порівняльних морфологів під керівництвом Б. О. Домбровського розпочали вивчення питань будови апарату руху тварин, особливо у порівняльному аспекті. У процесі своєї наукової діяльності Б. О. Домбровський ввів у наукові дослідження новий напрям в порівняльній анатомії – метод встановлення і врахування кореляції як метод синтезу структур і аналізу процесів.

Наукові дослідження В. Г. Касьяненка були присвячені вивченню будови і функції суглобів ссавців, а саме будові скакального суглобу коня у світлі його біологічної еволюції і domestикації.

Новими були і дослідження біомеханіки органів статолокомоції – розподіл межі міцності і модуля пружності ділянок кісток кінцівок та біомеханіка суглобів (Манзій С. Ф.). Крім того, були впроваджені нові методики в морфологічних дослідженнях, зокрема електрофізіологічні, які проводилися київськими морфологами вперше у Радянському Союзі.

Поряд з цим, в інституті були сформовані неструктурні лабораторії: функціонального аналізу суглобів кінцівок і ролі синовій (О. Г. Березкін), зоологічної біомеханіки (К. П. Мельник, В. І. Кликов), дослідження мускулів кінцівок (В. Ф. Мороз), морфології птахів (В.Ф. Сич), морфології рукокрилих (М. Ф. Ковтун), іннервації суглобів (М. М. Ільєнко), група по вивченню судин кінцівок (П. М. Мажуга).

У лабораторії досліджень мускулів кінцівок яку організував В.Ф. Мороз., проводилась реєстрація біопотенціалів з м'язів у стані статичної і динамічної. Важливим приладом був третбан з регулюванням швидкості доріжки і одночасно працюючими реєстраторами біопотенціалів. Це дало змогу вперше дати достовірну картину узгодженого функціонування кожного м'яза та групи м'язів.

Напрямок наукових досліджень О. П. Мельника: Біоморфологія органів локомоції хребетних у порівняльному аспекті з використанням великої кількості таксономічних груп тварин, які займають різні біологічні ніші у природі.

Ключові слова: апарат руху, суглоби кінцівок, Київська школа порівняльних морфологів

Вступ. Апарат руху являє собою сукупність пасивних органів (скелет), які виконують опорну функцію і роль важелів руху (кістки, хрящі) і активних органів скорочувальної функції (м'язи з їх допоміжними пристосуваннями) [1-3]. Апарат руху являє собою великий об'єм наукового матеріалу для досліджень.

Вивченням апарату руху займалось багато науковців світу і не виключенням були науковці, представники Київської школи порівняльних морфологів [4,5]. У продовж чотирьох років, з моменту заснування кафедри анатомії тварин ветеринарного факультету, а згодом ветеринарно-зоотехнічного інституту, а нині кафедри анатомії, гістології і патоморфології тварин ім. акад. В. Г. Касьяненка НУБіП України, співробітники кафедри працювали над створенням Української анатомічної термінології (1920-1924 рр.). З 1924 рр. завідувачем кафедри став Домбровський Б. О., учень академіка Северцева О. М., який і запровадив новий напрям дослідження – вивчення апарату руху, а саме вивчення вентральних тулубових м'язів хребетних (1925-1941 рр.). З 1945 року на кафедрі анатомії був запроваджений новий напрям досліджень – функціональна

морфологія локомоторного апарату і головної кишки хребетних.

Серед вчених Київської школи порівняльних морфологів були вчені-морфологи кафедри анатомії: Домбровський Б. О., Касьяненко В. Г., Волкобой М. Ф., Мажуга П. М., Радіонова Н. В., Манзій С. Ф., Мороз В. Ф., Мельник О.П., Ткачук С. А., доценти Абелянц Г. С., Бірук Ю. О. та інші [4,5,6]. Особливе місце серед наукових праць вказаної когорти Київських вчених-морфологів займали визнані в усьому світі наукові праці Домбровського Б. О. і, не зважаючи на його короткий період роботи на кафедрі анатомії Київського ветеринарно-зоотехнічного інституту (1924-1929 рр.), його наукові ідеї живуть в стінах кафедри майже 100 років. Широкі наукові дослідження співробітників кафедри під керівництвом Домбровського В. О. друкувалися в світових наукових журналах і визнавалися науковою спільнотою морфологів світу. Таке визнання наукової діяльності дозволило йому у 1924 році заснувати Київську школу порівняльних морфологів визнану у 1925 на III Всесоюзному з'їзді зоологів, анатомів, гістологів і ембріологів. Домбровський Б.О. запропонував новий термін в морфології тварин – біоморфологія, який поєднує морфологію і вплив

Стегней М.М., Друзь Н.В., Стегней Ж.Г. Дробот М. В.

екології на розвиток і функціонування організму в цілому. Нині термін біоморфологія, для трактування наукових досліджень широко використовується професором Мельником О. П. і учнями.

Співробітниками кафедри проводились порівняльно-анатомічні дослідження, які використовували для оцінки змін будови що відбувалися в процесі різних періодів онтогенезу. Напрямки морфологічних досліджень змінювались: «Вентральні тулубові м'язи хребетних» (1925-1941); «Функціональна морфологія локомоторного апарату і головної кишки хребетних» (1945-1965); «Вплив віку і екології на будову локомоторного апарату і головної кишки ссавців» (1965-1987). Кафедрою анатомії проводилась науково-дослідна робота з вивчення вентральної тулубової мускулатури ссавців, вивчення головної кишки ссавців, закладено основи нового функціонально-морфологічного напрямку локомоторного апарату ссавців. Дослідженнями цього періоду створене нове уявлення про функціональну й історичну зумовленість особливостей будови різних типів суглобів та їх компонентів у ссавців.

Тому, аналіз наукової діяльності представників Київської школи порівняльних морфологів, які досліджували особливості органів апарату руху в процесі онтогенезу і

філогенезу є важливими для розуміння важливості морфологічної науки в цілому.

Матеріал і методи. Основою методологічного дослідження є фундаментальні підвалини наукового аналізу – принцип історизму та системності. При проведенні досліджень використано хронологічний та аналітичний методи. Використано матеріал Державного архіву м. Київ, Інституту зоології І. І. Шмальгаузена НАН України, архівні справи кафедри анатомії, гістології і патоморфології тварин ім. акад. В. Г. Касьяненка Національного університету біоресурсів і природокористування України та видання періодичної преси.

Результати досліджень. Наукові дослідження співробітників кафедри в галузі морфології тварин мали більш глибокий характер, що було пов'язано з появою нових шляхів дослідження, незалежних від філогенетичних завдань морфології другої половини ХІХ ст., які іноді ставали в протиріччя філогенетичному напрямку. Чинне місце у вирішенні цього питання належало завідувачу кафедри анатомії ветеринарного факультету Київського ветеринарно-зоотехнічного інституту упродовж 1924-1929 рр. Домбровському Б. О. Його наукова діяльність була зосереджена на вивченні питання локомоторного апарату і

Стегней М.М., Друзь Н.В., Стегней Ж.Г. Дробот М. В.

запропонований ним науковий напрям роботи кафедри існує до тепер. Свою першу наукову працю Домбровський видрукував у 1925 році [7]. У процесі своєї наукової діяльності Домбровський Б. О. ввів у наукові дослідження новий напрям в порівняльній анатомії – метод

встановлення і врахування кореляції як метод синтезу структур і аналізу процесів. Слід зауважити, що до 1924 року Домбровський Б.О. вивчав питання філотектоніки і біоморфології дихальних м'язів ссавців і рептилій.



Домбровський Б. О. (1885-1973)

Вільне володіння німецькою мовою дозволило Домбровському Б.О., співробітникам кафедри та студентам гуртківцям, видрукувати свої наслідки досліджень в німецьких журналах «Anatomischer Anzeiger» та «Zeitschrift für anatomie und entwicklungsgeschichte», що сприяло іноземним вченим дізнатися про існування кафедри анатомії [8].

У липні 1929 р. Домбровський Б. О. залишив роботу на кафедрі й переїхав до новоствореного ветеринарного інституту в Алма-Аті. Період наукової діяльності Домбровського Б.О. в Алма-Аті характеризується розширенням і поглибленням біоморфологічного напрямку у морфології на прикладі

вивчення органів дихання, травлення, нервової, судинної і статеві систем у хребетних і безхребетних тварин шляхом врахування двох «біовекторів» – трофіки і природної регенерації.

Період роботи Домбровського Б.О. і його учнів в Алма-Аті характеризується розвитком біоморфологічного напрямку в сучасній морфології тварин на прикладі вивчення органів дихання, травлення, нервової, судинної і статеві систем хребетних і безхребетних тварин і представив нові поняття про взаємодію елементів нервової системи з функціональними системами організму у філогенезі [9,10].



Касьяненко В.Г. (1901-1987)

На початку 1929-1930 навчального року на кафедрі залишилися лише Касьяненко В. Г. та препаратори-студенти Гіммельрейх Г. О. і Волкобой М. Ф., призначені на ці посади в червні 1929 р. Завідуючим кафедрою, за сумісництвом, дирекція інституту запросила Волкобоя М. Ф., який одночасно продовжував працювати на кафедрі нормальної анатомії медичного інституту. Всю основну роботу на кафедрі, зокрема керівництво практичними заняттями студентів, вів Касьяненко В. Г., якого призначили на посаду в. о. доцента. Касьяненко В. Г. залишив особливе місце в науковій діяльності у питанні вивчення апарату руху. Ще за керівництва кафедрою Домбровським Б. О., Касьяненко В. Г. займався дослідженням будови і функції суглобів ссавців і в 1926 році ним видрукувана перша наукова праця у Записках Київського ветеринарно-зоотехнічного інституту «Дві варіації в тарсальному суглобі коня» [11].

З 1934 року колектив кафедри під керівництвом Касьяненка В. Г. розпочав вивчення вентральної мускулатури ссавців і особливості цих досліджень було вирішення питань гомології та походження цих м'язів і їх груп. Тобто вирішувалось питання еволюції м'язової системи в цілому. Проведені Касьяненком В. Г. глибокі і всебічні дослідження вентральної тулубової мускулатури хребетних показали, що міжреберні порції внутрішнього черевного м'яза є гомологами скалярних м'язів рептилій. Досліджена будова і шляхи розвитку комплексного прямого мускула живота і його піхви. Вперше доведено, що зовнішній і внутрішній міжреберні м'язи є антагоністами забезпечують вдих – зовнішній міжреберний м'яз і видих – внутрішній міжреберний м'яз. В процесі вивчення різних груп м'язів (вентральні м'язи тулуба, м'язи грудної стінки, м'язи живота, м'язи кінцівок тощо) Касьяненко В. Г.

Стегней М.М., Друзь Н.В., Стегней Ж.Г. Дробот М. В.

переконався, що пізнати апарат руху в усій його складності лише вивченням м'язів не можна, а потрібно акцентувати увагу на важелях руху, завдяки яким діють м'язи, тобто кісток і суглобів [12]. Тому свою наукову діяльність Касьяненко В. Г. акцентував на вивченні скакального суглобу коня, тобто вивчення кісток, що його утворюють і м'язів що діють на цей суглоб. Обіймаючи посаду директора Інституту зоології Касьяненко В. Г. сформував Відділ порівняльної морфології (1950), який дещо змінював свою назву: Відділ

еволюційної морфології (1960) та Відділ еволюційної морфології хребетних (нині).

Касьяненко В. Г. започаткував новий напрямок досліджень – порівняльно-анатомічний і функціональний аналіз локомоторного апарату.

Майже упродовж 10 років під керівництвом Касьяненка В. Г. захищено 5 дисертацій: з них одна докторська дисертація Касьяненка В. Г. «Скакальний суглоб коня у світлі його біологічної еволюції і доместикації» (1938) [13].



Волкобой М.Ф. (1906-1983)

Напрямом наукових досліджень доктора біологічних наук, професора Волкобая Михайла Федоровича було вивчення кістково-м'язової системи ссавців. Наукову діяльність він розпочав будучи студентом. За роки роботи на кафедрі наукова діяльність була присвячена вивченню органів різних систем і апаратів нормальної анатомії. Так, у роботі «До питання топографії пахового каналу домашніх

ссавців» дано анатомічні особливості пахових кил у всеїдних і наведені дані про будову стінки пахового каналу жуйних, свині і собаки в статичному зв'язку черевної стінки з м'язами задньої кінцівки.

У роботі «До питання морфології нижнього зубчастого м'яза ссавців» заперечено дані німецького дослідника Грау Г., зокрема іннервації шийного відділу

Стегней М.М., Друзь Н.В., Стегней Ж.Г. Дробот М. В.

вентрального зубчастого м'яза і внесені корективи щодо питання іннервації і силу розвитку різних відділів м'яза в окремих ссавців.

Вивчаючи особливості реберно-хребцевих з'єднань у домашніх ссавців Волкобой М. Ф. встановив непостійність зв'язок, що з'єднують голівки двох протилежних ребер, які можуть бути відсутні в окремих реберних парах. Автором встановлено тісний зв'язок між ступенем вираженості цих зв'язок і міжреберних апоневрозів поперечних м'язів тулуба [14]. Крім вивчення кістково-м'язової системи значне місце відводилося і вивченню судинної системи. Волкобой М. Ф. провів дослідження артерій і вен, що живлять грудну лімфатичну протоку коня, на основі чого дав оригінальний поділ протоки на відділи за типом галуження цих судин.

Дисертація Волкобоя М. Ф. на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук під науковим керівництвом професора Касьяненка В. Г. «Порівняльно-анатомічне дослідження грудного відділу т. *Transversus trunci* та особливості будови зв'язкового апарату ребер у деяких ссавців» (1940 р.) присвячена порівняльній анатомії поперечних тулубових м'язів ссавців.

Особливої уваги заслуговують дані автора відносно фіксації цих м'язів на хребті міжреберними апоневротичними тяжами, різна ступінь вираженості яких дала

можливість розділити грудну клітку на два відділи і встановити думку щодо хвилеподібного руху стінок грудної клітки при диханні, а також досліджуваних ссавців розділити на дві групи, кожна з яких має специфічний для неї тип дихання.

Подальша робота над питанням біоморфології грудних стінок дала можливість Волкобою М. Ф. у 1949 р. захистити дисертацію на здобуття наукового ступеня доктора біологічних наук «О биоморфологии грудных стенок некоторых млекопитающих» [15].

Вивчаючи особливості будови реберних стінок ссавців М. Ф. Волкобой встановив, що найдовші реберні хрящі спостерігаються у стернальних ребрах м'ясоїдних тварин, їжака, кролика і більш короткими є також стернальні ребра жуйних, свині, коня. Найбільш рухомі вентральні відділи реберних стінок у м'ясоїдних, морської свинки, їжака, кролика і менш рухомі – у коней, що мають короткі скостенілі хрящі. У досліджуваних ссавців Волкобой М. Ф. виділив два функціональних відділи в складі грудних стінок: – передній – груднинно-реберний, і задній – реберно-діафрагмальний, які функціонують у строгій одночасності при акті дихання. Основою для такого поділу є не однакова ступінь розвитку апоневрозів поперечних м'язів тулуба. Реберний тип дихання зустрічається у м'ясоїдних, у яких

Стегней М.М., Друзь Н.В., Стегней Ж.Г. Дробот М. В.

тривалість акту вдиху і видиху 1:1. Вони мають швидкий інтенсивний тип дихання. Реберно-діафрагмальний тип дихання (свині, жуйні, коні) у яких співвідношення

між актами вдиху і видиху 2:1 – тип повільний екстенсивний, а у овець співвідношення складає 3:2 – тип проміжний.



Манзій С. Ф. (1913-2008)

Манзій Сава Филімонович народився (1913-2008) на Вінниччині. У 1933 р. закінчив з відзнакою Тульчинський зоотехнічний технікум.

У 1934 р. Манзій С.Ф. поступає до Київського ветеринарного інституту. Вчився лише на відмінно і був активним членом анатомічного гуртка, яким керував Касьяненко В. Г. У 1938 р. закінчив з відзнакою Київський ветеринарний інститут і зостався старшим лаборантом при кафедрі анатомії. У 1938 році асистент С.Ф. Манзій зробив першу наукову доповідь на спільному засіданні кафедр анатомії і зоології на тему: «Еволюція грудної кістки хребетних». Доповідь була позитивно оцінена і тема рекомендована для майбутньої кандидатської дисертації.

За два роки (1947-1949) С.Ф. Манзій підготував дисертацію «Порівняльно-анатомічний аналіз кисті ссавців» і успішно захистив, а в 1959 докторську дисертацію «Запястье млекопитающих в свете эволюции и функции их грудных конечностей».

Обіймаючи посаду завідувача відділу еволюційної морфології (1960) С. Ф. Манзій запропонував нові підходи до наукової тематики відділу – це вивчення рептилій, амфібій і риб. Це були нові підходи в еволюційному вченні відносно хребетних тварин.

Крім того, були впроваджені нові методики в морфологічних дослідженнях, зокрема електрофізіологічні, які проводилися київськими морфологами вперше у Радянському Союзі.

Завдяки цим дослідженням С. Ф. Манзій увійшов до Наукової Ради АН СРСР з проблем біомеханіки, як єдиний біолог. Новими були і дослідження біомеханіки органів статолокомоції – розподіл межі міцності і модуля пружності ділянок кісток кінцівок та біомеханіка суглобів. Поряд з цим, в інституті були сформовані неструктурні лабораторії: функціонального аналізу суглобів кінцівок і ролі синовій (О. Г. Березкін), зоологічної біомеханіки (К. П. Мельник, В. І. Кликов), дослідження мускулів кінцівок (В. Ф. Мороз), морфології птахів (В.Ф. Сич), морфології рукокрилих (М.Ф. Ковтун), іннервації суглобів (М. М. Ільєнко), група по вивченню судин кінцівок (П. М. Мажуга).

С. Ф. Манзій активно виступав на різних наукових форумах не лише у Радянському Союзі, але і за кордоном (Болгарія, Італія, Німеччина, Польща, Румунія, Швеція, Угорщина, Югославія). Був єдиним від вчених Радянського Союзу членом міжнародного журналу «Zoologische Jahrbücher» (Німеччина).

На основі власних досліджень та очолюваного С. Ф. Манзієм відділу було зроблено значний внесок в порівняльну, функціональну і еволюційну морфологію хребетних [16-18].

Ним вперше доведено, що кінцівки наземних хребетних походять від плавників кистеперих риб, які використовували їх не лише

для плавання, а й для опору. В будові цих плавників уже були гомологи наземних кінцівок: базиподій, стилоподій і багато променів майбутнього зейго- мета- і акроподія.

Виявлено, що з середніх променів формувався зейгоподій двопроменевий. Автор дослідив, як формувався метаподій п'ятипроменевий і акроподій семипроменевий. Такими були кінцівки перших амфібій і такими вони залишилися у багатьох рептилій.

У деяких сучасних ссавців метаподій семипроменевий, а у п'ятипалих тварин існує перший промінь (преполекс) і сьомий (посмінімус), або додаткова кісточка зап'ястка.

Вперше зроблено біомеханічний аналіз стато-локомоторних властивостей кінцівок від семи- до однопалих тварин і доведено, що вихідною формою ходіння був опір на землю всім зейгоподієм та нижчє-розміщеними відділами. С. Ф. Манзій запропонував нову номенклатуру типів опору – зейгоплантіградія, плантіградія, дігітоградія і фалангоградія (копитні).

Манзій С. Ф. зробив новий аналіз механізму пасивної статики і показав, що цим наділені не лише однопалі ссавці (кінь), але і всі пальцеходячі, які мають особливе пристосування (фіксатор). Цим фіксатором є зап'ястковий суглоб, який дає змогу тримати кінцівку в розігнутому стані при відпочинку тварини у стоячому

Стегней М.М., Друзь Н.В., Стегней Ж.Г. Дробот М. В.

стані. Автор описав цей механізм фіксації розігнутого зап'ястка і механізм залежності від нього інших суглобів кінцівки.

Вперше показано, що синовіальна рідина суглобів є не лише змащувальною рідиною, але і «рідинним меніском», гальмуючи згинально-розгинальні рухи суглобів

в кінцевих фазах, завдяки від'ємного тиску в суглобовій порожнині.

Виявлено, що м'язи піддаються «сухожилізації» в процесі переходу від передплечоходіння до фалангоходіння, що супроводжується рухами всіх суглобів в одній парасагітальній площині. Внаслідок цього зростає швидкість бігу і зменшується стомленість.



Мажуга П.М. (1920-2011)

Мажуга Петро Маркович народився на Чернігівщині, закінчив ветеринарний технікум, працював на посаді головного лікаря, брав участь у ліквідації епізоотії корости і був рекомендований ветеринарним обласним управлінням на навчання в Київський ветеринарний інститут. Після закінчення ветеринарного інституту з 1950 р. і до 1999 р. працював в Інституті зоології ім. І. І. Шмальгаузена НАН України, пройшовши трудовий шлях аспіранта, молодшого наукового співробітника, старшого наукового співробітника, директора інституту,

завідувача науковим відділом і головного наукового співробітника. Захистив кандидатську «Про кровопостачання колінного суглоба» і докторську «Функціональна морфологія кровоносної системи кінцівок тварин і людини» дисертації.

У 1965 р. йому було присвоєно вчене звання професора по спеціальності «Цитологія», а в 1970 р. повторно – звання професора по спеціальності «Гістологія і ембріологія». Він започаткував в Академії наук України новий науковий напрям по вивченню біології клітини тварин та

Стегней М.М., Друзь Н.В., Стегней Ж.Г. Дробот М. В.

закономірностей розвитку тканинних структур і органів в організмі тварин. За ініціативою П. М. Мажуги був створений відділ цитології і гістогенезу.

Мажуга П. М. розробив метод виготовлення прозорих макро- і мікропрепаратів на капілярному рівні показав особливості розвитку і будови кровоносних судин на анатомічних компонентах суглобів кінцівок. Він показав наявність периваскулярних капілярних сплеть, що розвиваються в гіаліновому хрящі під час його заміщення кістковою тканиною. На клітинно-молекулярному рівні Мажуга П. М. дослідив механізм субституції (біологічного заміщення) в онтогенезі тварин і людини провізорних хрящових закладок кісткових органів. Розкрив функціональні особливості остеокластами тканинної резорбції та показав роль в розвитку та ремоделюванні кісткової тканини. Спільно з імунологами розробив спосіб біологічного стимулювання зрощення переломів кісток, який підтверджений авторським свідоцтвом і рішенням фармакологічного комітету МОЗ про впровадження в клінічну практику. Є автором монографій, у яких

ґрунтовно викладені відомості про розвиток і будову кровоносних капілярів кісткового мозку та клітинні механізми процесу кровотворення. Значна кількість наукових робіт автора висвітлює особливості розвитку скелета кінцівок наземних хребетних та розвиток і структуру окістя як основного джерела росту і регенерації кісткової тканини [19-22].

З відділу еволюційної морфології у 1963 році виділився Відділ цитології і гістогенезу, яким керував професор П. М. Мажуга. Поглиблене дослідження механізму остеогенезу із застосуванням методів авторадіографії, цитофотометрії і електронної мікроскопії проводили П. М. Мажуга, Н. В. Радіонова та Т. П. Вечерська. Значним внеском у розвиток скелета були дослідження про механізми формування, розвитку і росту хрящових закладок, як структурних і функціональних попередників кістки, механізми процесу заміщення хряща і розвиток на його основі кісткової тканини (П. М. Мажуга, А. Я. Жітніков, Л. І. Харчук, В. П. Пегета).

За період роботи Відділу (1963–1980) були підготовлені один доктор наук і 13 кандидатів наук, видано чотири монографії, п'ять тематичних збірників і біля 400 наукових статей.

**Родіонова Н.В. (1945-2016)**

Родіонова Н. В. досліджувала закономірності розвитку, функціональної морфології і адаптивних властивостей кісткової тканини в онтогенезі у наземних хребетних. Одержані нові дані про клітинні механізми морфогенетичних процесів у кістковому скелеті, а також про порушення цих процесів при дії на організм антропогенних забруднювачів зовнішнього середовища (свинцевих та фенольних сполук). Спільно з співробітниками відділу брала участь у дослідженні впливу наслідків Чорнобильської катастрофи на живі організми. Встановлено, що тривале надходження та накопичення в кістковому скелеті радіоактивного стронцію та цезію призводить до остеодистрофічних процесів і прогресуванню вікового остеопорозу. Автором одержані унікальні дані для науки і практики про гравічутливість стромальних клітин кісткового мозку і клітин кісткової тканини,

цитологічні механізми гравітаційно-залежних адаптивних і деструктивних перебудов у кістковому скелеті в умовах мікрогравітації [23].

З відділу еволюційної морфології у 1963 році виділився Відділ цитології і гістогенезу, яким керував професор П.М. Мажуга.

Поглиблене дослідження механізму остеогенезу з приміненням методів авторадіографії, цитофотометрії і електронної мікроскопії проводили П. М. Мажуга, Н. В. Радіонова та Т. П. Вечерська.

Значним внеском у розвиток скелета були дослідження про механізми формування, розвитку і росту хрящових закладок, як структурних і функціональних попередників кістки, механізми процесу заміщення хряща і розвиток на його основі кісткової тканини (П. М. Мажуга, А. Я. Жітніков, Л. І. Харчук, В. П. Пегета).

За період роботи Відділу (1963–1980) було підготовлено один доктор

Стегней М.М., Друзь Н.В., Стегней Ж.Г. Дробот М. В.

наук і 13 кандидатів наук, видано чотири монографії, п'ять тематичних збірників і біля 400 наукових статей.



Березкін О.Г. (1937-2010)

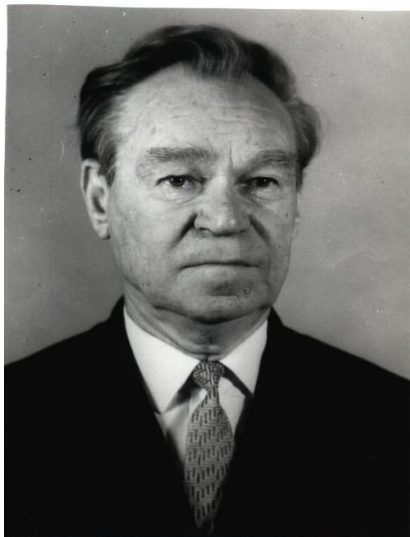
Березкін Олександр Георгійович проводив дослідження у галузі порівняльної морфології та біомеханіки локомоторного апарату наземних хребетних. Вивчав морфофункціональні адаптації та закономірності пристосувальних перебудов компонентів суглобів кінцівок. Проведені ним дослідження дали змогу визначити роль синовіальної рідини у біомеханіці локомоторного апарату.

У середині сімдесятих років ХХ століття в Інституті зоології ім. І. І. Шмальгаузена НАН України Березкін О. Г. очолив новостворену лабораторія функціонального аналізу суглобів кінцівок і ролі синовій. Лабораторія працювала із співробітниками Інституту ортопедії і травматології. Вперше в лабораторії

були застосовані рапідкінозйомки для вивчення рухів коней при різних алюрах. Особлива увага приділялася дослідженню синовіальної рідини та її ролі в біомеханіці суглобів. Синовія була не лише всебічно досліджена, але й штучно було створено синовію, яку випробували в клініці ортопедії при так званих «сухих» суглобах.

За матеріалами дослідження О.Г. Березкін захистив кандидатську (1968) та докторську дисертацію (1994): «Морфофункціональний аналіз суглобів кінцівок ссавців та ролі синовії як фактора їх надійності» [24].

Біомеханічні методи досліджень у відділі розпочалися наприкінці 50-х років, але особливого розмаху набули з 1962 року, коли з'явилася нова наука «Біоніка».



Безносенко В. Г. (1905-1976)

Безносенко Георгійович випускник Київського ветеринарного інституту морфолог, доктор біологічних наук, (1952), професор (1953), завідувач кафедри гістології (1938-1969).

Безносенко Георгійович вивчав гістоархітектуру трубчастих кісток, мікроструктуру та гістохімію скелетних м'язів сільськогосподарських тварин

залежно від їхньої породи, рівня годівлі та умов утримання. Досліджував гістоархітектуру трубчастих кісток, мікроструктуру і гістохімію скелетних м'язів тварин, залежно від породи і рівня годівлі та умов утримання [25-27]. Результати його досліджень увійшли в численні рекомендації для розробки науково обґрунтованих технологій годівлі та утримання сільськогосподарських тварин.



Мороз В. Ф. (1935-2007)

Стегней М.М., Друзь Н.В., Стегней Ж.Г. Дробот М. В.

Мороз Вадим Федорович закінчив ветеринарний факультет Української академії сільськогосподарських наук (1960 р.), науковий співробітник відділу еволюційної морфології Інституту зоології ім. І. І. Шмальгаузена НАН України (1966-1999), асистент кафедри анатомії тварин, головний науковий співробітник Національного аграрного університету (1991-2007). Науковий напрямок досліджень – порівняльна анатомія сомних хребетних. Лабораторію досліджень мускулів кінцівок організував В.Ф. Мороз., який проводив реєстрацію біопотенціалів з м'язів у стані статичної і динаміки.

Важливим приладом був третбан з регулюванням швидкості доріжки і одночасно працюючими реєстраторами біопотенціалів. Це дало змогу вперше дати достовірну картину узгодженого функціонування кожного м'яза та групи м'язів.

На основі досліджень на унікальному приладокомплексі була захищена кандидатська дисертація В.Ф. Морозом: «Морфология, частная и групповая функция мышц грудных конечностей млекопитающих» (1975).

У 2005 році В.Ф. Мороз захистив докторську дисертацію: «Механізм функціонування м'язово-скелетної системи та закономірності її розвитку у хребетних» [28].



Мельник О. П. 1964

Напрямок наукових досліджень Мельника О. П.: Біоморфологія органів локомоції хребетних; пластинація (полімерне бальзамування анатомічних препаратів).

У 2011 році Мельник О. П. захистив докторську дисертацію за темою: «Біоморфологія плечового поясу хребетних». На основі широких

порівняльно-анатомічних досліджень плечового поясу хребетних Мельник О. П. встановив, що принципи та особливості будови скелета, його внутрішньої структури та диференціації м'язів плечового поясу хребетних обумовлені біоморфологічними адаптаціями, а саме типом та швидкістю пересування у середовищі існування.

Стегней М.М., Друзь Н.В., Стегней Ж.Г. Дробот М. В.

Наводиться трактування причин походження різних скелетних структур плечового поясу та диференціації його м'язів у різних класів хребетних. Встановив, що принципи відмінності в будові плечового поясу хребетних обумовлені формою та біоморфологічними адаптаціями, а саме типом та швидкістю пересування у середовищі існування [29,30].

Висновки.

1. На початку ХХ століття (1925 р.), на кафедрі анатомії ветеринарно-зоотехнічного інституту створена Київська школа порівняльних морфологів, співробітниками якої, упродовж 100 років вирішуються глобальні питання біоморфології апарату руху, які також стоять і перед науковцями світу, а саме будова скелета, як опори для м'язових тканин, зокрема м'язів, будова та диференціація м'язів обумовлених біоморфологічними пристосуваннями, а саме типом та швидкістю пересування у середовищі існування.

Список використаних джерел

1. Воккен Г.Г. Основные закономерности окостенения скелета туловища и конечностей домашних животных. Архив анатомии, гистологии и эмбриологии. 1968. Т.LV, Вып.7. С.8-13.

2. Хрусталева И.В., Криштофорова Б.В. Функциональная морфология некоторых элементов кости как органа и ее зависимость от влияния факторов окружающей среды. МВА, 1983. 33 с.

2. Поряд з анатомічними дослідженнями апарату руху, дослідниками Київської школи порівняльних морфологів вирішувались питання будови складових апарату руху на мікроскопічному рівні, зокрема Родіонова Н. В. досліджувала закономірності розвитку, функціональної морфології і адаптивних властивостей кісткової тканини в онтогенезі у наземних хребетних.

3. Проведені порівняльно-анатомічні дослідження з використанням великих груп тварин, і використання особливих методів дослідження проведена реєстрація біопотенціалів з м'язів у стані статичної і динаміки, що дало змогу подати достовірну картину узгодженого функціонування кожного м'яза та групи м'язів. Дана методика дослідження використовувалась у наукових дослідженнях виключно науковцями даної школи, а результати застосовували для оцінки змін будови органів локомоції що відбувалися в процесі різних періодів онтогенезу.

3. Техвер Ю.Т. Гистология локомоторной системы домашних животных. Таллин: Валгус, 1988. 100 с.

4. Рудик С.К. Київська школа ветеринарних морфологів. Київ: НАУ, 1998. 72 с.

5. Рудик Станіслав. Завжди перші . К.: НУБіП України, 2010. 229 с.

6. <https://www.izan.kiev.ua>

7. Домбровський Б. До біоморфології слонів. Записки Київського

Стегней М.М., Друзь Н.В., Стегней Ж.Г. Дробот М. В.

ветеринарно-зоотехнічного інституту, 1925. Т. 3. С. 100-107.

8. Dombrowski B. Zur Morphologie und Dynamik der Atmungsmuskulatur der Säugetiere. Z. für Anatomie. Entwicklungsgeschichte, 1927, Bd. 84, H. 5/6, S. 787-794.

9. Домбровский Б.О. О функциональной морфологии сосудистой и нервной систем позвоночных. Тр./Ин-т физиологии АН Казахстана. Материалы по биоморфологии животных, 1963, Т. 4. С. 8–20.

10. Домбровский Б.О. Основы сравнительной морфологии животных. Алма-Ата: 1961. 196 с.

11. Касьяненко В.Г. Дві варіації в тарсальному суглобі коня. Записки Київського ветеринарно-зоотехнічного інституту, 1926. - Т. 4. - С. 10-17.

12. Касьяненко В.Г. Про особливості спеціалізації колінного суглоба у деяких ссавців. Праці інституту зоології АН УРСР. 1948. Т. I. С. 70-83

13. Касьяненко В. Г. Скакательный сустав лошади в свете ее биологической эволюции и доместикиации: дис...докт. наук, 16.00.02 Киев, 1938. 90 с.

14. Волкобой М.Ф. Про деякі особливості кістково-вертебральних сполучень у свійських ссавців. Наукові праці Київського вет. інституту, 1940. Т. II. С. 61-67.

15. Волкобой М.Ф. Порівняльно-анатомічне дослідження грудного відділу т. transversus trunci та особливості будови зв'язкового апарату ребер у деяких ссавців: дис... канд. наук.: 16.00.02 Київ, 1940. 180 с.

16. Манзий С.Ф. О статической роли мышц грудной конечности некоторых млекопитающих. Вестник зоологии. 1975. № 5. С. 28–33.

17. Манзий С.Ф. Развитие сравнительно-морфологических исследований в Институте зоологии АН УССР. Вестник зоологии. 1980. № 6. С. 3–5.

18. Манзий С.Ф. Загальні принципи будови і функції кисті деяких комахоїдних та хижих. Труды інституту зоології АН УРСР. 1950. Т. III. С. 96–113.

19. Мажуга П.М. Функциональная морфология кровеносных сосудов конечностей человека и животных. Київ, Наукова думка, 1966. 278 с.

20. Мажуга П.М. Кровеносные капилляры и ретикулоэндотелиальная система костного мозга. Київ, Наукова думка, 1978. 198 с.

21. Мажуга П.М., Домашевская Е.И. Развитие и структура надкостницы у наземных позвоночных. Київ, Наукова думка, 1966. 278 с.

22. Мажуга П.М., Житников А.Я., Ницевич Т.П. Развитие скелета конечностей у наземных позвоночных. Київ, Наукова думка, 1993. 182 с.

23. Родионова Н.В. Функциональная морфология клеток в онтогенезе. К: Наукова думка, 1989. 196 с.

24. Березкін О.Г. Морфофункціональний аналіз суглобів кінцівок та роль синовії як фактора їх надійності. К. НАУ – Автореферат... док. вет наук: 16.00.02. 1994. 30 с.

25. Безносенко А.Г. Сравнительная гистоархитектоника компактного вещества трубчатых костей лошади и крупного рогатого скота. К., 1952.

26. Безносенко О.Г., Король В.І., Рачинський В.Н. Порівняльна мікроскопія і гістоархітектоніка діафрагми та литкового м'яза буро-карпатської породи та її помісей. Наукові праці УСГА, 1972. Вип. 60. С.57-61.

27. Безносенко А.Г., Чеканова М.И., Красий В.В., Солошенко В.Ф. О микрометрии мышечных волокон скелетной мускулатуры крупного рогатого скота Материалы докладов Всесоюзной научной конференции Казанского вет. института, 1974. Т 2. С. 390-392.

28. Мороз В.Ф. Механізм функціонування м'язово-скелетної системи та закономірності розвитку: дис. на здобуття наукового ступеня докт. вет наук за спеціальністю 16.00.02. Київ, НАУ, 2005. 351 с.

29. Мельник О.П. порівняльна анатомія та функціональний аналіз плечового поясу ссавців. НАУ. К. Автореферат... док. вет наук: 16.00.02. 1996. 30 с.

30. Мельник О.П. Про достовірність теорії міграції черевних плавців риб і краніальному напрямку Вісник Білоцерківського ДАУ. 1998. Вип. 6. Ч.1. С. 156-158.

References

1. Vokken G.G. (1968). Osnovnyye zakonomernosti okosteneniya skeleta tulovishcha i konechnostey domashnikh zhivotnykh. Arkhiv anatomii, gistologii i embriologii. T.LV, Vyp.7. P. 8-13.
2. Khrustaleva I.V., Krishtoforova B.V. (1983). Funktsional'naya morfologiya nekotorykh elementov kosti kak organa i yeye zavisimost' ot vliyaniya faktorov okruzhayushchey sredy. MVA, 33.
3. Tekhver YU.T. (1988). Gistologiya lokomotornoj sistemy domashnikh zhivotnykh. Tallin: Valgus, 100.
4. Rudik S.K. (1998). Kiïvs'ka shkola veterinarnikh morfologiv. Kiïv: NAU, 72.
5. Rudik Stanislav. (2010). Zavzhdi pershi . K.: NUBiP Ukraïni, 229.
6. <https://www.izan.kiev.ua>
7. Dombrovskiy B. (1925). Do biomorfologii sloniv. Zapiski Kiïvs'kogo veterinarno-zootekhničnogo institutu, T. 3. P. 100-107.
8. Dombrowski B. (1927)/ Zur Morphologie und Dynamik der Atmungsmuskulatur der Saugetiere. Z. fur Anatomie. Entwick lungsgeschichte, Bd. 84, H. 5/6, P. 787-794.
9. Dombrovskiy B.O. (1963). O funktsional'noy morfologii sosudistoy i nervnoy sistem pozvonochnykh. Tr./In-t fiziologii AN Kazakhstana. Materialy po biomorfologii zhivotnykh, T. 4. P. 8-20.
10. Dombrovskiy B.O. (1961). Osnovy sravnitel'noy morfologii zhivotnykh. Alma-Ata: 196.
11. Kas'yanenko V.G. (1926). Dvi variatsii v tarsal'nomu suglobi konya. Zapiski Kiïvs'kogo veterinarno-zootekhničnogo institutu, T. 4. P. 10-17.
12. Kas'yanenko V.G. (1948). Pro osoblivosti spetsializatsii kolinnogo sugloba u deyakikh ssavtsiv. Pratsi institutu zoologii AN URSR, T. I. P. 70-83.
13. Kas'yanenko V. G. (1938). Skakatel'nyy sustav loshadi v svete yeye biologicheskoy evolyutsii i domestikatsii: dis...dok. nauk, 16.00.02 Kiyev, 90.
14. Volkoboy M.F. (1940). Pro deyaki osoblivosti kistkovo-vertebral'nikh spoluchen' u sviys'kikh ssavtsiv. Naukoví pratsi Kiïvs'kogo vet. institutu, T. II. P. 61-67.
15. Volkoboy M.F. (1940). Porivnyal'no-anatomichne doslidzhennya grudnogo vidilu m. transversus trunci ta osoblivosti budovi zv'yazkovogo aparatu reber u deyakikh ssavtsiv: dis... kand. nauk.: 16.00.02 Kiïv, 180.
16. Manziy S.F. (1975). O staticheskoy roli myshts grudnoy konechnosti nekotorykh mlekopitayushchikh. Vestnik zoologii. № 5. P. 28-33.
17. Manziy S.F. (1980). Razvitiye sravnitel'no-morfologicheskikh issledovaniy v Institute zoologii AN USSR. Vestnik zoologii. № 6. P. 3-5.
18. Manziy S.F. (1950). Zagal'ni printsipi budovi i funktsii kisti deyakikh komakhoïdnikh ta khizhikh. Trudi institutu zoologii AN URSR. T. III. P. 96-113.
19. Mazhuga P.M. (1966). Funktsional'naya morfologiya krovenosnykh sosudov konechnostey cheloveka i zhivotnykh. Kiïv, Naukova dumka, 278.
20. Mazhuga P.M. (1978). Krovenosnyye kapillyary i retikuloendotelial'naya sistema kostnogo mozga. Kiïv, Naukova dumka, 198.
21. Mazhuga P.M., Domashevskaya Ye.I. (1966). Razvitiye i struktura nadkostnitsy u nazemnykh pozvonochnykh. Kiïv, Naukova dumka, 278.
22. Mazhuga P.M., Zhitnikov A.YA., Nitsevich T.P. (1993). Razvitiye skeleta konechnostey u nazemnykh pozvonochnykh. Kiïv, Naukova dumka, 182.
23. Rodionova N.V. (1989). Funktsional'naya morfologiya kletok v ontogeneze. K: Naukova dumka, 196.
24. Berezkin O.G. (1994). Morfofunktsional'nyy analiz suglobiv kintsivok ta rol' sinovii yak faktora ikh nadiynosti. K. NAU – Avtoreferat... dok. vet nauk: 16.00.02. 30.
25. Beznosenko A.G. (1972). Sravnitel'naya gistoarkhitektonika kompaktnogo veshchestva trubchatykh kostey loshadi i krupnogo rogatogo skota. K., 1952.
26. Beznosenko O.G., Korol' V.I., Rachinskii V.N. Porivnyal'na mikroskopiya i

Стегней М.М., Друзь Н.В., Стегней Ж.Г. Дробот М. В.

gístoarkhítektoníka díafragmi ta litkovogo m'yaza buro-karpats'koí porodi ta її pomísey. Naukoví pratsí USGA, Vip. 60. P. 57-61.

27. Beznosenko A.G., Chekanova M.I., Krasiy V.V., Soloshenko V.F. (1974). O mikrometrii myshechnykh volokon skeletnoy muskulatury krupnogo rogatogo skota Materialy dokladov Vsesoyuznoy nauchnoy konferentsii Kazanskogo vet. instituta, T2. P. 390-392.

28. Moroz V.F. (2005). Mekhanízm funktsionuvannya m'yazovo-skeletnoí sistemi

ta zakonómírností rozvitku: dis. na zdobuttya naukovoogo stupenya dokt. vet nauk za spetsíal'nístyu 16.00.02. Kiív, NAU, 351.

29. Mel'nik O.P. (1996). porívnal'na anatomíya ta funktsíonal'niy analíz plechovogo poyasu ssavtsív. NAU. K. Avtoreferat... dok. vet nauk: 16.00.02. 30.

30. Mel'nik O.P. (1998). Pro dostovírníst' teoríi mígratsíi cherevnykh plavtsív rib í kraníal'nomu napryamku Vísnik Bilotserkívs'kogo DAU. Vip. 6. CH.1. 156-158.

TO THE HISTORY OF THE LOCOMOTIVE APPARATUS STUDY BY THE SCIENTISTS KYIV SCHOOL OF COMPARATIVE MORPHOLOGISTS

M. M. Stehnei, N. V. Druz, Zh. G. Stehnei, M. V. Drobot

Abstract. *The issue has been considered of studying the apparatus of animal movement by representatives of the Kyiv School of Comparative Morphologists. In the 20s of the 20th century, scientific works of representatives of the Kyiv School of Comparative Morphologists under the leadership of B.O. Dombrovsky began studying the structure of the animal movement apparatus, especially in the comparative aspect. In the course of his scientific activity, B. O. Dombrovskyi introduced a new direction in comparative anatomy to scientific research - the method of establishing and taking into account correlation as a method of synthesizing structures and analyzing processes.*

V. G. Kasyanenko's scientific research was devoted to the study of the structure and function of the joints of mammals, namely the structure of the horse's hock joint in the light of its biological evolution and domestication.

Research on the biomechanics of statolocomotion organs was also new - the distribution of the limit of strength and the modulus of elasticity of parts of the bones of the limbs and the biomechanics of joints (Manziy S.F.). In addition, new methods were introduced in morphological studies, in particular electrophysiological ones, which were carried out by Kyiv morphologists for the first time in the Soviet Union.

Along with this, non-structural laboratories were formed at the institute: functional analysis of limb joints and the role of synovium (O.G. Berezkin), zoological biomechanics (K.P. Melnyk, V.I. Klykov), research of limb muscles (V.F. Moroz), morphology of birds (V.F. Sych), morphology of bats (M.F. Kovtun), innervation of joints (M.M. Ilyenko), group for the study of limb vessels (P.M. Mazhuga).

In the laboratory of limb muscle research organized by V.F. Moroz., registration of biopotentials from muscles in the state of statics and dynamics was carried out. An important device was a treadmill with track speed control and simultaneously working biopotential recorders. This made it possible for the first time to give a reliable picture of the coordinated functioning of each muscle and muscle group.

Стегней М.М., Друзь Н.В., Стегней Ж.Г. Дробот М. В.

The direction of scientific research of O.P. Melnyk: Biomorphology of vertebrate locomotion organs in a comparative aspect using a large number of taxonomic groups of animals that occupy different biological niches in nature.

Key words: *apparatus of movement, joints of limbs, Kyiv school of comparative morphologists*

ЗМІНИ КЛІТИННОГО СКЛАДУ СИНОВІАЛЬНОЇ РІДИНИ ЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОСТЕОАРТРОЗУ КОЛІННОГО СУГЛОБУ В КРОЛІВ

І. М. ГОРКАВА, аспірантка, <https://orcid.org/0000-0001-7305-2547>

E-mail: [vet.dr.irypanickolaevna@gmail.com](mailto:veter.dr.irypanickolaevna@gmail.com)

М. О. МАЛЮК, доктор ветеринарних наук, професор, завідувач кафедри
хірургії і патофізіології ім. акад. І.О. Поваженка,

<https://orcid.org/0000-0003-3019-6035>

E-mail: nikolai_malyuk@ukr.net

Національний університет біоресурсів і природокористування України
[https://doi.org/10.31548/dopovid3\(103\).2023.012](https://doi.org/10.31548/dopovid3(103).2023.012)

Анотація. Патологія апарату руху в тварин різних видів займає одне із ключових питань. Остеоартроз поширений серед собак великих порід і становить до 85 % від загальної кількості обстежених тварин, у яких спостерігається "хронічна" кульгавість. Схильність до ураження остеоартрозом мають німецькі та східноєвропейські вівчарки, відповідно 25 і 15 % від загальної кількості досліджених собак. У віці від 4 до 8 років було виявлено 90 % хворих на остеоартроз собак. Встановлено переважання в 4 рази патології у псів порівняно із суками.

У дослідженні представлені особливості змін клітинного складу синовіальної рідини, відібраної з колінного суглобу кролів за експериментально змодельованого остеоартрозу колінного суглоба в лабораторних умовах з використанням внутрішньосуглобово препарату Yellow peel 2*5 ml (виробник Medicare, Німеччина).

Проведені дослідження засвідчили, що синовіальна рідина відіграє важливу роль в метаболічному процесі всередині суглобу і містить в своєму складі багато поживних речовин, а також зміни показників на 7му добу суттєво відрізнялись від показників контрольної групи тварин, яким внутрішньосуглобово вводили ізотонічний 0,9 % розчин NaCl.

Відмічено, що на 7му добу зміни складу синовію у дослідної групи тварин вказували на розвиток гострого запального процесу, наслідки якого на 21добу експерименту проявились у вигляді дегенеративних змін хрящової тканини всередині колінного суглоба тварин.

Ключові слова: Синовіоцити, лімфоцити, макарофаги, псевдоеозинофіли, апарат руху, дегенеративні зміни

Вступ. Остеоартроз колінного суглоба (ОА) – це дегенеративне захворювання суглобів, яке виникає внаслідок порушення взаємовідношень між механічними

навантаженнями на суглобову поверхню хряща та можливістю компенсації цього навантаження [2, 3]. Основною патологічною зміною за ОА є прогресуюча дегенерація

Горкава І. М., Малюк М. О.

суглобового хряща, однак синовіт є також основним фактором розвитку ОА. Деякі дослідники вважають синовіт основною причиною болю та набряку у пацієнтів за остеоартрозу. При ОА синовіальний об'єм збільшується, оскільки синовіальна оболонка запалюється і виділяє синовіальну рідину (SF) та її компоненти, такі як фактор некрозу пухлини (TNF) та інтерлейкіни (IL). Зменшення ступеня синовіту є важливою метою терапії ОА [4].

Відомо, що хрящова тканина побудована із хондроцитів, протеогліканів і глікозаміногліканів; вона здатна до ремоделювання, самооновлення (проліферація та диференціація хондроцитів, синтез протеогліканів, колагену тощо) та катаболізму хряща з участю металопротейнази (стромелізину, колагенази тощо). Баланс цих процесів забезпечує її нормальне функціонування. При остеопорозі руйнівна дія агресивних ферментів домінує над процесами оновлення, і матрикс хряща поступово втрачає чітку волокнисту структуру. У місцях найбільш вираженої деструкції виникає запалення з розвитком реактивного синовіту, що призводить до появи клінічних симптомів захворювання [3].

Синовіальна рідина – жовта прозора рідина, яку виділяє синовіальна оболонка і яка зволожує суглобові поверхні кісток, зменшуючи цим їх тертя при рухах. В

утворенні суглобової рідини велику роль відіграють лімфатичні і кровоносні судини синовіальної оболонки [5]. Через їх тонкі напівпроникні стінки відбувається ультрафільтрація лімфи і крові, їх компоненти частково проникають в суглоб із плазми через „гемато-синовіальний бар'єр”. З відфільтрованої рідини в подальшому і формується синовіальна. Цим можна пояснити схожість складу останньої з складом плазми крові [6].

Синовіальна рідина з неураженого суглоба – це ультрафільтрат плазми, модифікований секрецією гіалуронової кислоти, глікопротеїнів та інших макромолекул. Менші молекули, такі як глюкоза та електроліти, можуть міститися у синовіальній рідині в концентраціях, еквівалентних концентраціям у плазмі. Однак протеїни з плазми включені в цей синовіальний діалізат лише в обмеженій мірі. Синовіальна рідина виконує дві основні функції: по-перше, це джерело живлення та видалення продуктів життєдіяльності суглобових хондроцитів; по-друге, суглобова рідина змащує протилежні поверхні суглобового хряща, обмежуючи тертя та зношування під час контакту. Хоча гіалуронова кислота має деякі змащувальні властивості, глікопротеїни є основним джерелом

Горкава І. М., Малюк М. О.

зменшення тертя під час руху суглобів [7].

У нормі синовіальна рідина тонким шаром покриває суглобову порожнину. Її компоненти частково проникають в суглоб із плазми через „гемато-синовіальний бар'єр”, а деякі (гіалуронова кислота і любрицин) синтезуються синовіоцитами. Клітини, що містяться в синовіальній рідині - це в основному моноцити і лімфоцити, та в меншій мірі гранулоцити, які проникають у суглоб з кровотоку, а також поодинокі синовіоцити [2; 4; 6].

Синовіальна рідина забезпечує функціонування синовіальної оболонки та суглобового хряща шляхом транспортування поживних речовин та забезпечення метаболічного обміну. Окрім цього рідина забезпечує ковзання суглобових поверхонь хрящів та виконує роль амортизатора [4; 6].

При патологічних процесах кількість синовіальної рідини збільшується, також змінюються її фізико-хімічні властивості та клітинний склад, може відбуватись кристалізація деяких сполук та інфікування [3; 6].

Є багато причин підвищення кількості синовіальної рідини та зміни її фізико-хімічних властивостей, вмісту окремих компонентів та клітин, але найчастішою є артрит. Підвищення кількості рідини також може відбуватись внаслідок травми та

системної затримки рідини. До суглобових змін асоційованих із утворенням ексудату можуть призводити злоякісні захворювання кровотворної системи. Гемартроз може супроводжувати перебіг гемофілії та інших геморагічних діатезів, а також може бути наслідком руйнування суглобових поверхонь при нейродистрофічних синдромах [3; 4; 6; 7].

Слід відмітити, що дослідження синовіальної рідини дозволяє одразу підтвердити діагноз та застосувати правильне лікування.

Мета дослідження: провести дослідження змін складу синовіальної рідини колінного суглобу за експериментального остеоартрозу в кролів.

Матеріали і методи: Об'єктом дослідження служити 24 кролі-самці вагою від 2,5 до 2,8 кг, клінічно здорові. Вони були розділені на дві групи тварин: контрольна група – 12 тварин; дослідна група – 12 тварин. Контрольній групі тварин – внутрішньосуглобово вводили ізотонічний 0,9% розчин NaCl в дозі 0,7 мл. Дослідній групі тварин – моделювали експериментальний ОА шляхом внутрішньосуглобового уведення 4% розчину ретинолу ацетату і коєвої кислоти (препарат Yellow peel, Medicare, Німеччина) в дозі 0,7 мл. Внутрішньосуглобові введення проводили за допомогою голки 23G (0,6 * 32 мм) з інтервалом 7 діб дворазово.

Під час моделювання експериментального остеоартрозу проводили загальне спостереження за тваринами, а також пункцію порожнини колінного суглобу

Пункція суглобу (артроцентез) – це малоінвазивна лікарська маніпуляція, що передбачає прокол з проникненням голки в суглобову порожнину з метою відбору синовіальної рідини. Виконується з діагностичною та лікувальною метою [6]. Діагностичне завдання процедури спрямовано на цитологічне дослідження синовіальної рідини [7].

Проведення пункції відбувається під загальним наркозом відповідно до безпечних анестезіологічних протоколів «Standard operating procedure #114 rabbit anesthesia» [8] та принципів проведення анестезії відповідно до настанов «Principles of rabbit anaesthesia for veterinary nurses» [9]. А саме використовували для седації препарат «Дексметомедин» в дозуванні 0,05 – 0,2mg/kg та для індукції використовували „Пропофол 1 %„ у дозуванні 1 – 2mg/kg .

Проведення пункції суглобу проводили дотримуючись правил асептики і антисептики

Пункцію суглобу проводили таким чином. У більшості випадків артроцентез виконується у боковому положенні. Пальпація суглоба під час ручного згинання та розгинання

допомагає визначити простір, у який потрібно увійти. При медіальному доступі позаду надколінника голку (22 G) вводили нижче широкого медіального м'язу (*m. vastus medialis*), між медіальним надвиростком стегнової кістки та центром надколінника, скеровуючи її краніально – кінець голки знаходиться у наднаколінковому заглибленні (*bursa suprapatellariis*) із мінімальним ризиком пошкодження хряща надколінника і хряща стегнової кістки. При латеральному доступі немає необхідності обходження м'яза. При цьому, голку (22 G) вводили латерально на межі середньої і верхньої 1/3 частини надколінника, на половині відстані між надколінником та надвиростком стегнової кістки. Поршень шприца слід відпустити перед тим, як голку витягнути із суглобової щілини [6].

Після аспірації із суглобової порожнини синовіальної рідини, накладали стерильну компресійну пов'язку [6]. Після відбору синовіальної рідини проводили цитологічні дослідження.

Синовіальну рідину наносили на предметне скло та за допомогою шліфованого скла від краплі під кутом 45° і просувають його вправо до зіткнення з синовією [7].

Вичікують, поки крапля синовії розпливеться по всьому ребру шліфованого скла, і потім легким швидким рухом ведуть його справа наліво доти, поки не буде вичерпана

Горкава І. М., Малюк М. О.

вся крапля. Потім мазок ставили сушитись [7].

Для фіксації та фарбування мазків було обрано набір «Лейкоциф 200».

Дослідження синовіальної рідини колінного суглобу кролів проводили на базі ННЛ «Банк крові тварин» кафедри хірургії і патофізіології ім. акад. І.О. Поваженка факультету ветеринарної медицини Національного університету біоресурсів і природокористування України. Мікроскопічні дослідження

проводились з використанням мікроскопу Sigeta biogenic (Китай).

Результати та їх обговорення.

Дослідження синовіальної рідини за остеоартрозу є важливим методом не лише в діагностиці патологічного процесу всередині суглобу, а й дозволяє проводити моніторинг якості проведеного лікування.

У тварин контрольної групи (таблиця 1) впродовж всього періоду досліджень за експериментального остеоартрозу цитологічні показники синовіальної рідини залишались в межах референтних значень.

1. Зміни клітинного складу синовіальної рідини у кролів за експериментального остеоартрозу, ($M \pm m$, $n=12$)

Показники	Контрольна група	Дослідна група			
		7 доба	14 доба	21 доба	28 доба
Колір	безбарвний	рожевий	рожевий	солом'яний	безбарвний
Вязкість	+++	+	++	++	++
Прозорість	прозора	мутна	мутна	мутна	мутна
Нейтрофіли, %	поодинокі	$50 \pm 0,7^{**}$	$50 \pm 0,4^{**}$	$49 \pm 0,5^{***}$	$49 \pm 0,5^{***}$
Еозинофіли, %	поодинокі	$11 \pm 0,6^{***}$	$9 \pm 0,4^{***}$	$9 \pm 0,3^{***}$	$8 \pm 0,5^{***}$
Лімфоцити, %	$49 \pm 16,9$	$2,1^{***}$	$1,7^*$	$2,5^{**}$	$1,4^{***}$
Макрофаги, %	поодинокі	$21 \pm 0,4^{***}$	$22 \pm 0,2^{***}$	$17 \pm 0,6^{***}$	$17 \pm 0,5^{***}$
Синовіальні клітини, %	$5,2 \pm 0,4$	$6,3 \pm 0,4^{**}$	$7,6 \pm 1,3^{**}$	$9 \pm 1,7^{**}$	$7 \pm 0,6^{**}$
Наявність бактерій	негативно	негативно	негативно	негативно	негативно

Примітка: * - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$; *** - $p < 0,001$ порівняно з контрольною групою.

Нами встановлено, що у тварин дослідної групи (таблиця 1) на 7 – му добу дослідження відмічалось помутніння синовіальної рідини, поява рожевого відтінку та більш рідкий характер рідини. Нами встановлено (табл.1) підвищення

рівня еозинофілів (рис. 1) в 11 разів, макрофагів в 21 раза, нейтрофілів (рис.1) в 50 разів порівняно з контрольною групою тварин. Кількість синовіальних клітин (рис. 2 та рис. 3) знизилась в 1,2 раза порівняно з контрольною групою.

Горкава І. М., Малюк М. О.

Дані зміни пов'язані з виникненням колінному суглобі тварин дослідної гострого запального процесу в групі.

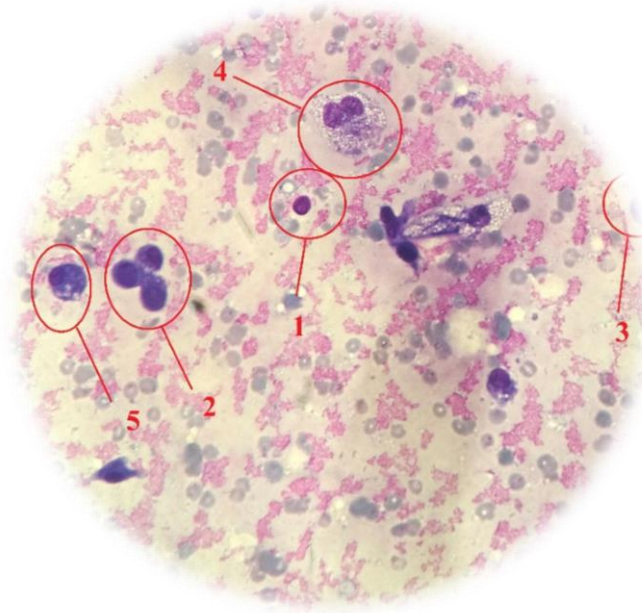


Рис. 1. Зображення цитологічного складу синовіальної рідини : 1- синовіоцит , 2- лімфоцит, 3- нейтрофіл , 4 – еозинофіл , 5 - моноцит

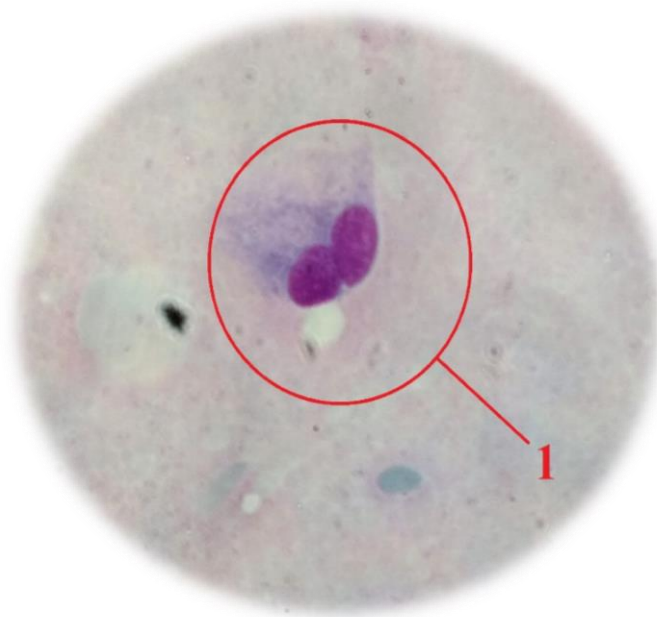


Рис. 2. Зображення синовіоцита (1) в аспірованій рідині колінного суглобу за цитологічного дослідження

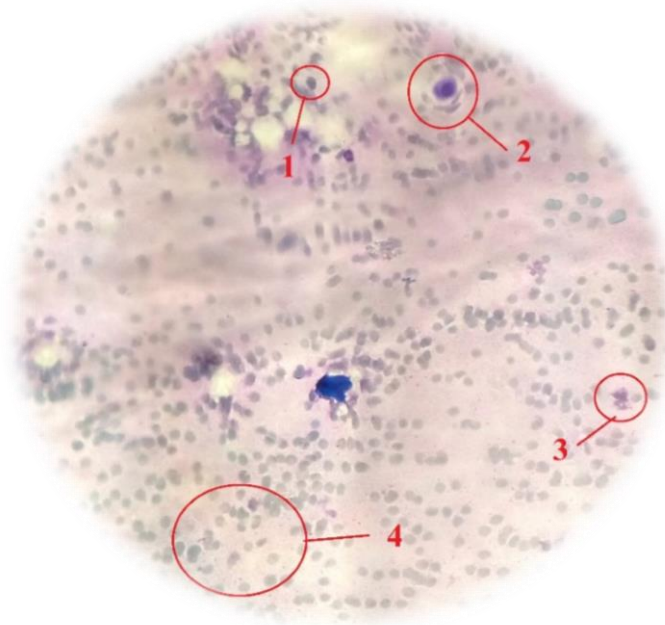


Рис. 3. Зображення цитологічного складу синовіальної рідини : 1- синовіоцит, 2- моноцит, 3- псевдоеозинофіли, 4 – еритроцити, які потрапили при введенні 0,9 % ізотонічного розчину натрію хлориду

У тварин дослідної групи на 14 – ту добу дослідження рівень лімфоцитів в 1,05 раза і макрофагів (рис.2) в 1,04 раза збільшується, а рівень нейтрофілів залишається сталим, разом з тим, рівень еозинофілів знизився в 1,2 раза

(таблиця 1). Це пов'язано з припиненням дії препарату, який викликав виникнення запального процесу в середині суглобу, що відповідає результатам досліджень Юян Вонг [2].

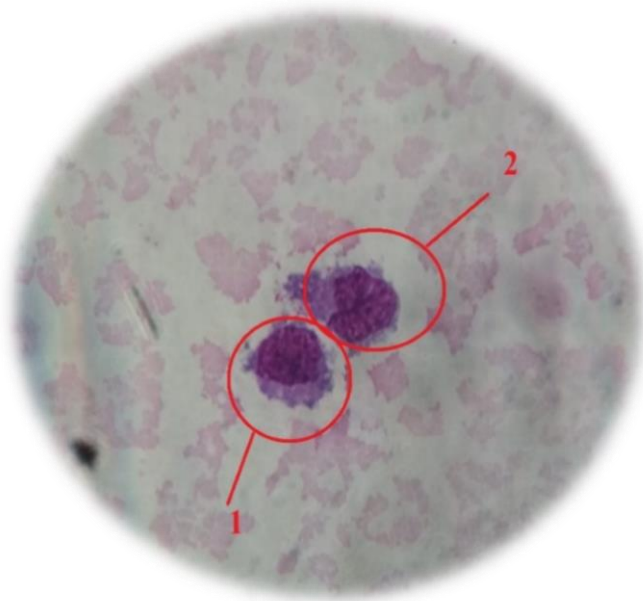


Рис. 4. Цитологічний склад синовіальної рідини : 1- моноцит, 2- нейтрофіл

Горкава І. М., Малюк М. О.

Як видно із таблиці 1, у тварин дослідної групи на 21 – шу добу експериментального дослідження рожевий відтінок з пунктованої синовіальної рідини зникає, колір стає солом'яний, рідина стає більш в'язкою, залишається мутною. Наші дослідження збігаються з результатами досліджень Юян Вонг [2]. Рівень макрофагів в 1,3 раза і

нейтрофілів (рис. 4) в 1,02 раза знижується, разом з тим залишаються вище рівня показників контрольної групи тварин в 17 разів і в 49 разів відповідно (таблиця 1). Також ми відмічали появу в цитологічних зразках клітин Тутона (рис 5), що вказує на дегенеративні зміни в суглобі.

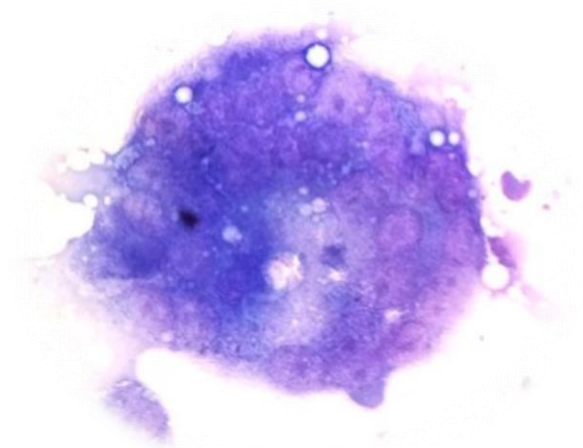


Рис. 5. Багатоядерна клітина Тутона у синовіальній рідині

У тварин дослідної групи на 28 – му добу дослідження забарвлення синовіальної рідини зникає, проте вона залишається мутною. Рівень нейтрофілів, еозинофілів, лімфоцитів

(рис. 6) та макрофагів залишаються майже без змін (табл. 1), що відповідає результатам досліджень Юян Вонг [2].

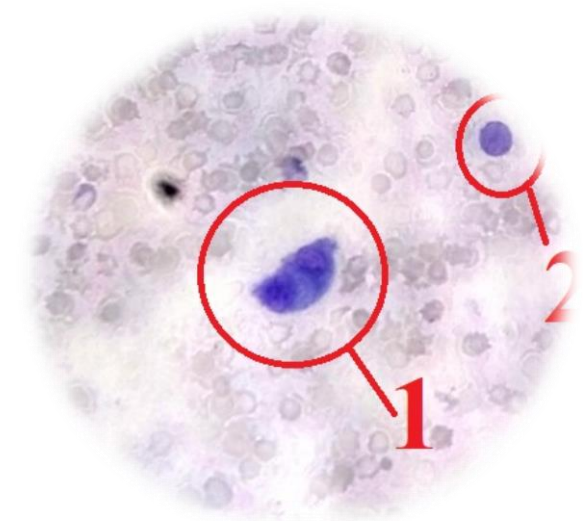


Рис. 6. Зображення цитологічного складу синовіальної рідини: 1- синовіоцит, 2- лімфоцит

Висновки

1. Синовіальна рідина містить багато поживних речовин і відіграє важливу роль в внутрішньосуглобовому метаболічному процесі.

2. За даної методики моделювання патологічного процесу в колінному суглобі у кролів можна відмітити, що за період дослідження зміни, яких зазнає суглоб є не оборотними.

3. Колір синовіальної рідини залежить від яскравості запального процесу. Встановлено, що за гострого перебігу остеоартрозу колір синовіальної рідини набуває рожевого відтінку, при зменшенні

впливу подразнюючої рідини запальний процес стає менш виражений і рідина поступово світлішає.

4. Зміни клітинного складу синовіальної рідини у контрольній і дослідній групах були діагностично значними. Слід зазначити, що у тварин дослідної групи на 28 добу дослідження рівень лейкоцитарних клітин не зменшився до референсних значень, в той час, як у контрольної групи вони залишились без змін.

Перспективи подальших досліджень. Вивчення ефективності використання аутологічної плазми, збагаченої тромбоцитами за артрозів у тварин.

Список використаних джерел

1. Климчук В.В. (2018). Поширеність суглобової патології у собак в м. Києві. Науковий вісник Національного університету і природокористування України(№ 293), сс. С.155-162.

2. Yuyan Wang, D. W. (07 October 2020 p.). Synovial fluid lubricin increases in spontaneous canine cruciate ligament rupture. (16725). Department of Clinical Sciences, College of Veterinary Medicine, Cornell University, Ithaca, NY,, USA: Scientific Reports. doi:<https://doi.org/10.1038/s41598-020-73270-2>

3. Денесюк В. І, ,. Д. (2019). Остеоартроз. у з. р. Коваленка (Ред.), Внутрішня медицина. Підручник для студентів закладів вищої медичної освіти III–IV рівня акредитації та лікарів післядипломної освіти на основі рекомендацій доказової медицини (Т. Розділ 6. Ревматичні хвороби, с. 960 с. + 8 с. кол. вкл.). Київ, Україна: Моріон. doi:ISBN 978-966-2066-74-6

4. Qinglu Luo, X. Q. (15 Jul 2018 p.). The change of synovial fluid proteome in rabbit surgery-induced model of knee osteoarthritis. Am J Transl Res., сс. 2087-2101. Отримано з

https://www.ncbi.nlm.nih.gov.translate.goog/pmc/articles/PMC6079142/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=uk&_x_tr_hl=uk&_x_tr_pto=op,sc

5. Паламарчук, Л. С. (2000 - 2013). «Словник української мови». (В. М. ін., Ред.) Київ: НАН України, Інститут мовознавства ім. О. О. Потебні, Інститут української мови ;. Отримано 200

6. Дослідження синовіальної рідини. (2018/19). у П. Г. ВОЙЦЕХ БОДЗОНЬ, & А. І. Яремчук-Качмарчик Адріана (Ред.), Внутрішні хвороби. Підручник, заснований на принципах доказової медицини (А. І. ін., Перекл., с. 1632). Краков, Польща: «ПРАКТИЧНА МЕДИЦИНА». Отримано 2018

7. Caitlyn R. Martinez, D. a. (5 Oct 2016 p.). Preanalytical Considerations for Joint Fluid Evaluation. Vet Clin North Am Small Anim Pract(47(1)), сс. 111–122. doi:[10.1016/j.cvs.2016.07.007](https://doi.org/10.1016/j.cvs.2016.07.007)

8. Jim Gourdon, A. J. (13 January 2021 p.). STANDARD OPERATING PROCEDURE #114. Montréal (Québec), Canada: McGill University Animal Care Committee. Отримано 3

Горкава І. М., Малюк М. О.

https://www.mcgill.ca/research/files/research/14_rabbit_anesthesia_-_jan_2021.pdf

9. Sibbald, R. (2 May 2018 p.). Principles of rabbit anaesthesia for veterinary nurses. Отримано з The Veterinary Nurse: <https://www.theveterinarynurse.com/review/article/principles-of-rabbit-anaesthesia-for-veterinary-nurses>

10. Пункція суглоба з евакуацією вмісту (під УЗ наглядом). (2003 - 2023). Київ, Україна. Отримано з Клініка сучасної ревматології: <https://revmo.com.ua/punktsiia-sugloba-z-evakuatsiiei-vmistu-pid-uz-nagliadom>

References

1. Klimchuk V.V. (2018). Prevalence of joint pathology in dogs in Kyiv. Scientific Bulletin of the National University and Nature Management of Ukraine (No. 293), pp. P.155-162.

2. Yuyan Wang, D.W. (07 October 2020 p.). Synovial fluid lubricin increases in spontaneous canine cruciate ligament rupture. (16725). Department of Clinical Sciences, College of Veterinary Medicine, Cornell University, Ithaca, NY,, USA: Scientific Reports. doi:<https://doi.org/10.1038/s41598-020-73270-2>

3. Denesyuk V. I, . D. (2019). Osteoarthritis in z. R. Kovalenko (Ed.), Internal medicine. Textbook for students of institutions of higher medical education III-IV accreditation level and doctors of postgraduate education based on the recommendations of evidence-based medicine (Vol. Section 6. Rheumatic diseases, p. 960 p. + 8 p. col. incl.). Kyiv, Ukraine: Morion. doi: ISBN 978-966-2066-74-6

4. Qinglu Luo, X. Q. (15 Jul 2018 p.). The change of synovial fluid proteome in rabbit surgery-induced model of knee osteoarthritis.

Am J Transl Res., pp. 2087-2101. Retrieved from https://www.ncbi-nlm-nih-gov.translate.goog/pmc/articles/PMC6079142/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=uk&_x_tr_hl=uk&_x_tr_pto=op,sc

5. Palamarchuk, L. S. (2000 - 2013). "Dictionary of the Ukrainian language". (V. M. in., Ed.) Kyiv: NAS of Ukraine, Institute of Linguistics named after O. O. Potebny, Institute of the Ukrainian Language; Received 200

6. Study of synovial fluid. (2018/19). in P. H. VOITSEH BODZON, & A. I. Yaremchuk-Kachmarchyk Adriana (Eds.), Internal diseases. A textbook based on the principles of evidence-based medicine (A.I. and others, Trans., p. 1632). Krakow, Poland: PRACTICAL MEDICINE. Received 2018

7. Caitlyn R. Martinez, D. a. (5 Oct 2016 p.). Preanalytical Considerations for Joint Fluid Evaluation. Vet Clin North Am Small Anim Pract(47(1)), pp. 111–122. doi:10.1016/j.cvsm.2016.07.007

8. Jim Gourdon, A. J. (13 January 2021 p.). STANDARD OPERATING PROCEDURE #114. Montréal (Québec), Canada: McGill University Animal Care Committee. Retrieved from https://www.mcgill.ca/research/files/research/14_rabbit_anesthesia_-_jan_2021.pdf

9. Sibbald, R. (2 May 2018 p.). Principles of rabbit anesthesia for veterinary nurses. Retrieved from The Veterinary Nurse: <https://www.theveterinarynurse.com/review/article/principles-of-rabbit-anaesthesia-for-veterinary-nurses>

10. Joint puncture with evacuation of contents (under ultrasound guidance). (2003 - 2023). Kyiv, Ukraine. Retrieved from the Clinic of Modern Rheumatology: <https://revmo.com.ua/punktsiia-sugloba-z-evakuatsiiei-vmistu-pid-uz-nagliadom>

CHANGES IN THE CELLULAR COMPOSITION OF SYNOVIAL FLUID IN EXPERIMENTAL OSTEOARTHRITIS OF THE KNEE JOINT IN RABBITS

I. Gorkava, M. Malyuk

Abstracts. Pathology of the locomotion system in animals of various species is one of the key issues. Osteoarthritis is common among large breed dogs and accounts for up to 85% of the total number of examined animals with "chronic" lameness. German and Eastern European Shepherds are most susceptible to osteoarthritis,

accounting for 25% and 15% of the total number of dogs examined, respectively. At the age of 4 to 8 years, 90 % of dogs with osteoarthritis were found. The prevalence of pathology in males was found to be 4 times higher than in females.

The study presents the peculiarities of changes in the cellular composition of synovial fluid taken from the knee joint of rabbits with experimentally modelled osteoarthritis of the knee joint in laboratory conditions of the joint using intra-articular Yellow peel 2*5 ml (manufacturer Medicare, Germany).

The studies showed that synovial fluid plays an important role in the metabolic process inside the joint and contains many nutrients, and changes in the indicators on the 7th day were significantly different from those of the control group of animals that were intra-articularly injected with an isotonic 0.9% NaCl solution.

It was noted that on the 7th day there was a clouding of the synovial fluid, the appearance of a pinkish tint and a more liquid character of the fluid. We found an increase in the level of eosinophils, macrophages, neutrophils and other cells compared to the control group of animals. The number of synovial cells decreased by 1.2 times compared to the control group.

In animals of the experimental group on the 14th day of the study, the level of lymphocytes and macrophages increased, and the level of neutrophils remained constant, while the level of eosinophils decreased.

In the experimental group of animals, on the 21st day of the experimental study, the pink tint of the punctured synovial fluid disappears, the colour becomes straw, the fluid becomes more viscous and remains cloudy. The level of macrophages and neutrophils decreases, but remains above the level of the control group of animals. We also noted the appearance of Tuton cells in the cytological samples, indicating the development of degenerative changes in the cartilage tissue in the joint.

It was noted that in the animals of the experimental group on the 28th day of the study, the colour of the synovial fluid disappeared, but it remained cloudy. The level of neutrophils, eosinophils, lymphocytes and macrophages remained almost unchanged.

Key words: Synoviocytes, lymphocytes, macrophages, pseudo-esophophils, musculoskeletal system, degenerative changes

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА

ПРОБІОТИКУ «СПОРО-ЛЕКС»

О. В. МАЧУСЬКИЙ, докторант

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: dr.machuskyu@yahoo.com

[https://doi.org/10.31548/dopovid3\(103\).2023.013](https://doi.org/10.31548/dopovid3(103).2023.013)

Анотація. Важливим елементом якості пробіотиків є технологія їх виробництва. Існує велика варіабельність між результатами доклінічних та клінічних випробувань пробіотичних мікроорганізмів. Великою мірою на це впливає технологія та умови виробництва пробіотиків.

Метою роботи було порівняння технологій виробництва пробіотику «Споро-лекс». Пробиотик «Споро-лекс» - це суміш пробіотичних культур *Bacillus licheniformis* VK-25 та *Bacillus subtilis* МК-3, сорбованих на комплексі активованих із додаванням природного стандартизованого сорбенту. Було розроблено два варіанти технології виробництва пробіотику «Споро-лекс»: в рідкому поживному середовищі та на щільному поживному середовищі. Під час випробувань розробляли проміжні контролю якості.

У результаті проведених досліджень було сформовано переліки проміжних контролів якості під час виробництва пробіотику «Споро-лекс» в рідкому поживному середовищі та на щільному поживному середовищі. Встановлено, що виготовлення на щільному поживному середовищі є більш швидким та рентабельним, оскільки потребує лише 4 стадії проміжного контролю, порівняно із 5 стадіями під час виготовлення в рідкому поживному середовищі. У залежності від стадії та технології виробництва проводили різні проміжні дослідження, що включали в себе мікроскопію, визначення типовості росту, визначення контамінації сторонньою бактеріальною та грибною мікрофлорою, визначення спороутворення, визначення концентрації колонієутворюючих одиниць. Також під час досліджень було сформовано та випробувано перелік показників контролю якості готового пробіотику «Споро-лекс». Доведено, що процес спороутворення під час виготовлення пробіотику «Споро-лекс» на щільному поживному середовищі відбувався швидше на 24 години у порівнянні з технологією виробництва у рідкому поживному середовищі. Технологія виготовлення пробіотику на щільному поживному середовищі забезпечувала формування більш зрілої спори, що призводило до стабільності препарату під час зберігання за показником «кількість живих клітин в 1 г продукту». За рештою показників якості, обидві технології однаково забезпечували стабільність продукту в процесі зберігання протягом 36 місяців.

Ключові слова: пробиотик, технологія виробництва, стабільність, контроль якості

Одним із головних факторів, що впливають на здоров'я та продуктивність тварин, є мікробіологічний баланс їхньої травної системи. Існує велика кількість чинників зовнішнього середовища, що погіршує стан кишкової мікрофлори тварин, викликаючи різного ступеня дисбіози (Riviere et al., 2009). Пробиотики – це мікроорганізми, які забезпечують травну систему тварин корисною мікрофлорою. Вони допомагають покращити здоров'я тварин, поліпшити їх добровну ефективність та забезпечити більш ефективну продуктивність. Пробиотики стали важливою частиною сучасної технології в тваринництві (Cho et al., 2010). За останні кілька десятиліть використання пробіотиків у тваринництві значно зросло, оскільки їхнє використання допомагає забезпечити належний рівень здоров'я та продуктивності тварин, що в свою чергу позитивно впливає на доходи фермерів. На ринку існує велика кількість різних продуктів, що містять пробіотичну для тварин мікрофлору. Це як і монокомпонентні препарати, так і багатокомпонентні. Багатокомпонентні препарати можуть містити різні пребіотичні добавки, вітаміни, амінокислоти тощо (Salem, 2013). Але, на наш погляд, не менш важливою складовою технології годівлі тварин є сорбенти. Переважно, вони використовуються для підтримання здоров'я та

продуктивності тварин, захищаючи від негативного впливу мікотоксинів. Тому, було розроблено пробіотик «Споро-лекс», що містить сорбент (монтморилоніт). Сорбенти – це матеріали, що взаємодіють з токсинами та іншими небезпечними речовинами, затримуючи їх у своїй структурі та запобігаючи їхньому впливу на травну систему тварин. Монтморилоніт – це мінерал, що має властивості зберігати та затримувати шкідливі речовини в травній системі тварин.

Використання монтморилоніту може допомогти знизити ризик захворювання тварин, забезпечити їхнє здоров'я та добробут. Монтморилоніт має високу поверхню поглинання та здатність взаємодії з різними токсинами та іншими небезпечними речовинами. Використання монтморилоніту може допомогти зменшити негативний вплив шкідливих речовин на травну систему тварин, запобігти розвитку захворювань та покращити продуктивність (Gupta et al., 2019).

Важливим елементом якості пробіотиків є технологія їх виробництва. Оскільки пробиотики – це складні промислові продукти, а більшість досліджень штамів пробіотичних бактерій проводяться з нативними культурами штамів. Мало відомо про вплив промислових процесів на властивості мікроорганізмів. (Nivoliez et al., 2012) у своєму дослідженні порівняли характеристики пробіотичного

Мачуський О. В.

бактеріального штаму *Lactobacillus rhamnosus Lcr35 (R)* разом із чотирма його комерційними композиціями, включаючи три кишкові формули та одну вагінальну суміш. Виробничий штам, вирощений з кишкових сумішей, продемонстрував підвищену стійкість до кислого рН і жовчі та показав на 4,5 log більшу кількість життєздатних бактерій порівняно з результатами, отриманими з контрольним природним *Lcr35*. Адгезія до кишкових клітин була значно вищою з пакетом *Lcr Restituo (R)* і капсулою *Lcr Restituo (R)* порівняно з *Lcr35 (R)*. Бактерії з вагінального препарату мали підвищену здатність метаболізувати глікоген, тим самим збільшуючи виробництво молочної кислоти. *In vitro* інгібування росту збудника *Candida albicans* було значно вищим у бактерій із вагінального препарату (різниця 4,5 log) і в присутності вагінальних епітеліальних клітин, ніж у нативного штаму.

Існує велика варіабельність між результатами доклінічних (лабораторних) та клінічних (польових) випробувань пробіотичних мікроорганізмів. Великою мірою на це впливає технологія та умови виробництва пробіотиків (Mortazavian et al., 2022). Умови виробничого процесу, такі як середовище для росту та методи попередньої обробки, можуть суттєво вплинути на адгезійну здатність

досліджуваних штамів. Умови росту, середовище росту, методи попередньої обробки та різні комбінації пробіотиків повинні бути ретельно вивчені для контролю якості пробіотиків. Адже пробіотична мікрофлора ветеринарного пробіотику може мати вплив і на людей (Grzeskowiak et al., 2013).

Оскільки пробіотики – це живі мікроорганізми за визначенням, а отже, одним із найважливіших аспектів якості є збереження життєздатності пробіотичних мікроорганізмів протягом тривалого часу. Тому важливо, щоб готовий продукт містив життєздатні клітини. Життєздатність зазвичай вимірюється в колонієутворюючих одиницях. В додаток, для оптимальної ефективності пробіотичної формули для кінцевого споживача важливо забезпечити життєздатність мікробних клітин до кінця терміну придатності (стабільність). Багато різних факторів можуть впливати на стабільність пробіотиків, включаючи фактори навколишнього середовища такі як, вологість, температура зберігання, рН продукту і вплив кисню (Gioia & Biavati, 2018). Щоб забезпечити життєздатність і стабільність пробіотиків, слід приділяти увагу технологічним аспектам продукту, таким як посівні культури, кінцевий формат продукту, пакувальний матеріал, умови зберігання, транспортування та логістика, оскільки всі ці фактори

Мачуський О. В.

можуть мають великий вплив на життєздатність продукту протягом усього терміну придатності (Drumet et al., 2020).

Метою роботи було порівняння технологій виробництва пробіотику «Споро-лекс».

Матеріали і методи. Пробіотик «Споро-лекс» - це суміш пробіотичних культур *Bacillus licheniformis* VK-25 та *Bacillus subtilis* МК-3, сорбованих на комплексі активованих із додаванням природного стандартизованого сорбенту (Таблиця 1).

1. Склад 1 г пробіотику «Споро-лекс»

Активні компоненти	<i>Bacillus licheniformis</i> VK-25	$\geq 10^8$ КУО
	<i>Bacillus subtilis</i> МК-3	$\geq 10^8$ КУО
Допоміжні компоненти	монтморилоніт	до 1 гр
	маннанолігосахариди	

Для досягнення поставленої мети, на основі літературних даних (Charalampopoulos & Rastall, 2009; Sola-Oladokun et al., 2017), було розроблено два варіанти технології

виробництва пробіотику «Споро-лекс»: в рідкому поживному середовищі та на щільному поживному середовищі (Рисунок 1 та Рисунок 2).

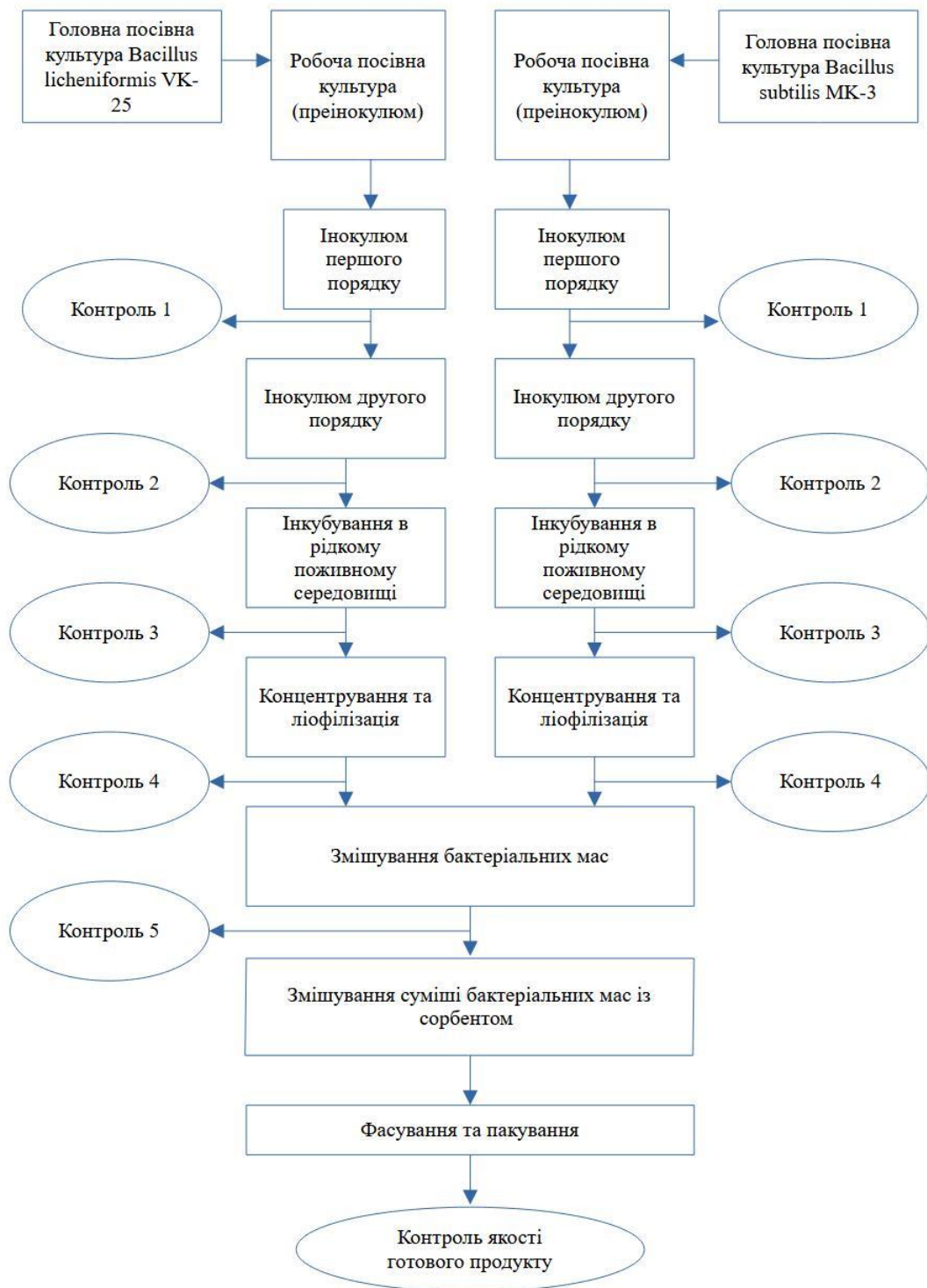


Рис. 1. Схематичне зображення технології виробництва пробіотику «Споро-лекс» в рідкому поживному середовищі

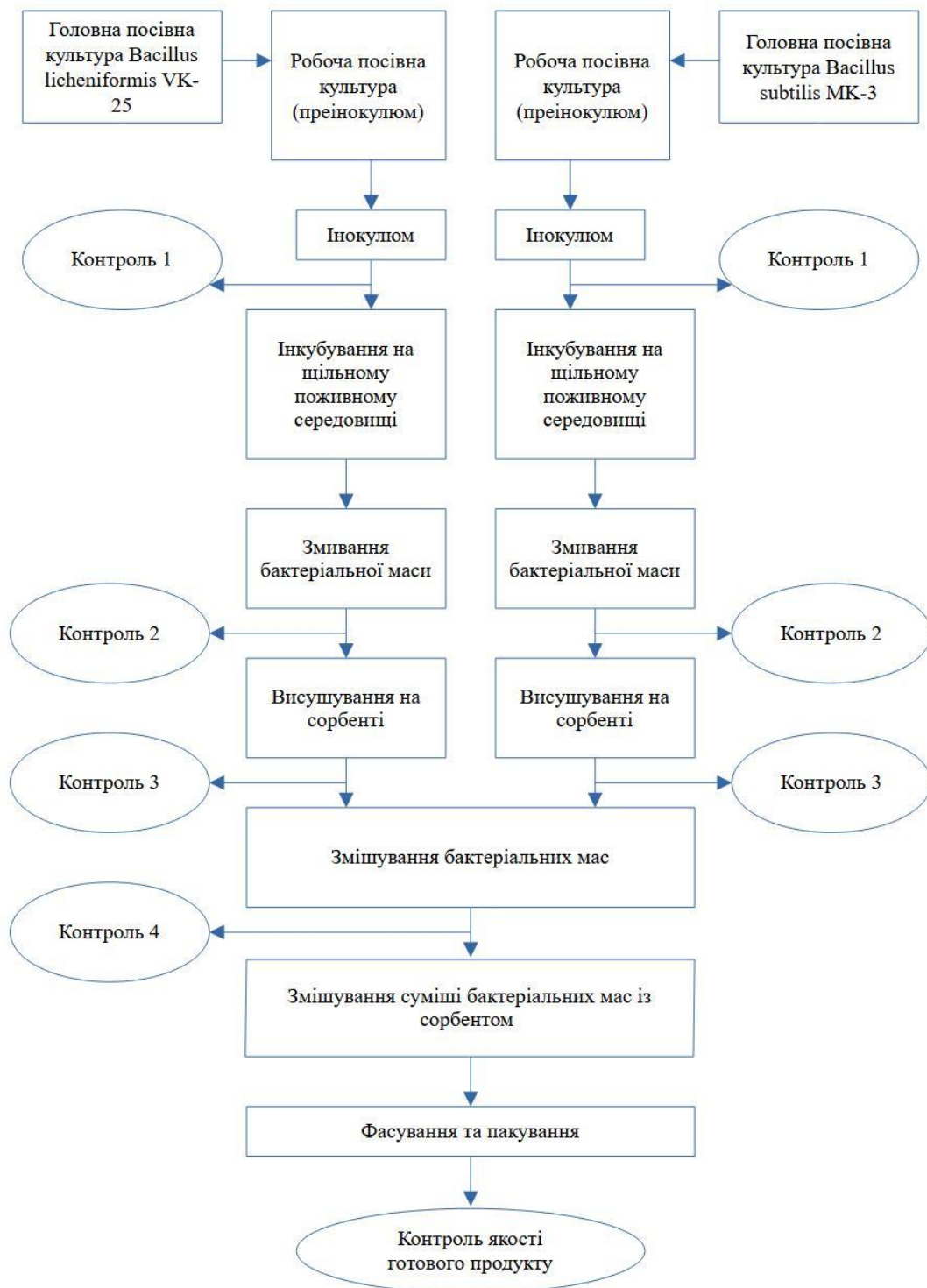


Рис. 2. Схематичне зображення технології виробництва пробіотику «Споро-лекс» на щільному поживному середовищі

Мачуський О. В.

Під час випробувань розробляли проміжні контролю якості (контроль якості під час виробництва), що забезпечували контрольоване виробництво.

Дослідження проводили на Херсонському державному підприємстві – біологічна фабрика.

Для виробництва пробіотику використовували виробничі штами *Bacillus licheniformis* VK-25 та *Bacillus subtilis* МК-3, депоновані в Національному центрі штамів мікроорганізмів.

Штам бактерій *Bacillus licheniformis* VK-25 виділено з ґрунту. Клітини грампозитивні, здатні утворювати спори, тип дихання аеробний. Гідролізує глюкозу, мальтозу, сахарозу, оксидазо- і каталазопозитивні. При аеробному вирощуванні утилізує ацетат і цитрат. Пригнічує ріст стафілококів, сальмонел, протея, кандидомікозів, синьогнійної палички та інших патогенних мікроорганізмів. Розміри вегетативних клітин 3-5 мкм. Спори поодинокі, центральні або овальні.

Вегетативні клітини *Bacillus licheniformis* VK-25 добре ростуть на збагачених поживних середовищах - мясопептонний агар (МПА), мясопептонний бульйон (МПБ) і напіврідкий агар (ПЖА) за температур 40 ° С, рН 5,0-8,0. На МПА утворює колонії білого кольору. Пігмент в середовище не виділяє. Спостерігається ріст до 8% NaCl. Не зброджує лактозу та маніт.

Для культивування штаму *Bacillus licheniformis* VK-25 використовують рідке поживне середовище на основі 0,3 % ферментативних гідролізатів м'язів сухого (ФГМС), рН 6,0, що містить 0,2 % глюкозу (по сухій речовині), 0,005% амінопептиду.

Штам бактерій *Bacillus subtilis* МК-3 є аеробом та факультативним анаеробом. Росте за температури 20-45⁰ (оптимум 40⁰ С). Морфологія колоній: конфігурація колоній варіює від опуклої, круглої та волокнистої з мембраноподібною поверхнею до компактних колоній з вертикальним гребенем з білуватою мембраною, що утворює хрестоподібну конфігурацію. Колонії не прикріплені або, частково прикріплені до поживного середовища. Діаметр колоній 4-8 мм. Мікроскопія мазків за Грамом: прямі палички 0.5-2.5×1.2 - 10 мкм з заокругленими або обрубленими кінцями, часто в парах, ланцюжком. Грампозитивні. Ендоспори овальні, іноді сферичні, циліндричні. Рухливість: рухливі за рахунок перитрихіальних джгутиків. Хемоорганотрофи; метаболізм бродильного або дихального типу. Каталазопозитивні.

Штами *Bacillus licheniformis* VK-25 та *Bacillus subtilis* МК-3 нетоксичні для тварин, людей і рослин. Продукують протимікробні речовини широкого спектру дії, що пригнічують ріст стафілококів,

Мачуський О. В.

мікроскопічних грибів і синьогнійної палички.

Під час проведення контролів у процесі виробництва та контролю якості готового продукту проводили наступні дослідження:

- визначення зовнішнього вигляду проводили візуально в циліндрі з притертим корком або в біологічній пробірці з використанням фону білого кольору;

- визначення вологості препарату виконували згідно з ДСТУ 8611:2016;

- визначення маси продукту у одиниці пакування проводили шляхом зважування на повірених електронних терезах;

- визначення контамінації сторонньою бактеріальною і грибною мікрофлорою (КСБГМ) проводили згідно з ДСТУ 4483-2005;

- визначення типовості росту проводили шляхом культивування виробничих штамів на поживних середовищах: м'ясопептонний агар (МПА), м'ясопептонний бульйон (МПБ) і напіврідкий агар (ПРА) за температур 40 ° С, рН 5,0-8,0;

- визначення спороутворення проводили шляхом мікроскопії краплі нативного матеріалу в камері Горяєва;

- кількість колонієутворюючих одиниць (КУО) в 1 грамі визначали методом серійних розведень з послідовним висівом на щільні поживні середовища та підрахунком колоній, що вирости;

Підрахунок проводили відповідно до формули:

$$K = a/n \times 10 \times 10^x, \text{ де}$$

K - кількість живих бактерій у 1 см³ даного розведення);

a - кількість колоній у чашках;

n - кількість чашок;

10 - коефіцієнт перерахунку на 1 см³;

10^x - ступінь розведення.

- нешкідливість визначали на білих мишах вагою 18-20 г, згодовуючи препарат *per os*.

- антагоністичні властивості визначали методом відстроченого антагонізму, використовуючи еталонні тест-культури *Staphylococcus aureus* ATCC 6538, *Escherichia coli* O157, *Proteus mirabilis* H-237 або 56/10 та *Candida albicans* ATCC 10231, що отримували із Національного центру штамів мікроорганізмів.

Утримання та поводження з тваринами проводили з дотриманням вимог «Європейської конвенції про захист хребетних тварин, що використовуються для дослідних та інших наукових цілей» від 18 березня 1986 року.

Експериментальні дані обробляли методами варіаційної статистики за загально прийнятими методиками.

Результати й обговорення. У результаті проведених досліджень було сформовано переліки проміжних контролів якості під час виробництва пробіотику «Споро-лекс» в рідкому

Мачуський О. В.

поживному середовищі (Таблиця 2) та на щільному поживному середовищі (Таблиця 3).

2. Проміжні контролю якості під час виробництва пробіотику «Споро-лекс» в рідкому поживному середовищі

Номер контролю	Показник	Референтне значення
Контроль 1	Мікроскопія	Типові паличкоподібні мікроорганізми
	КСБГМ	Вільний від контамінації
Контроль 2	Мікроскопія	Типові паличкоподібні мікроорганізми
	Типовість росту	Типові культуральні властивості
	КСБГМ	Вільний від контамінації
Контроль 3	Мікроскопія	Типові паличкоподібні мікроорганізми
	КСБГМ	Вільний від контамінації
	Спороутворення	$\geq 98\%$
	Концентрація КУО	$\geq 10^8$ КУО/гр
Контроль 4	КСБГМ	Вільний від контамінації
	Концентрація КУО	$\geq 10^8$ КУО/гр
Контроль 5	Концентрація КУО	$\geq 2 \times 10^8$ КУО/гр

Встановлено, що виготовлення на щільному поживному середовищі є більш швидким та рентабельним, оскільки потребує лише 4 стадії проміжного контролю, порівняно із 5 стадіями під час виготовлення в рідкому поживному середовищі.

У залежності від стадії та технології виробництва проводили

різні проміжні дослідження, що включали в себе мікроскопію, визначення типовості росту, визначення контамінації сторонньою бактеріальною та грибною мікрофлорою, визначення спороутворення, визначення концентрації колонієутворюючих одиниць.

3. Проміжні контролю якості під час виробництва пробіотику «Споро-лекс» на щільному поживному середовищі

Номер контролю	Показник	Референтне значення
Контроль 1	Мікроскопія	Типові паличкоподібні мікроорганізми
	КСБГМ	Вільний від контамінації
Контроль 2	Мікроскопія	Типові паличкоподібні мікроорганізми
	КСБГМ	Вільний від контамінації
	Спороутворення	$\geq 98\%$
	Концентрація КУО	$\geq 10^8$ КУО/гр
Контроль 3	Мікроскопія	Типові паличкоподібні мікроорганізми
	КСБГМ	Вільний від контамінації
	Спороутворення	$\geq 98\%$
	Концентрація КУО	$\geq 10^8$ КУО/гр
Контроль 4	Концентрація КУО	$\geq 2 \times 10^8$ КУО/гр

На всіх етапах під час проведення мікроскопії, спостерігали

типів для виробничих штамів паличкоподібні мікроорганізми,

Мачуський О. В.

сторонньої мікрофлори не виявлено. Контамінації сторонньою бактеріальною та грибною мікрофлорою, також не було виявлено. Спороутворення в рідкому поживному середовищі, в середньому, відбувалося на 24 години

довше, ніж за технології на щільному середовищі.

Також під час досліджень було сформовано та випробувано перелік показників контролю якості готового пробіотику «Споро-лекс» (Таблиця 4).

4. Показники контролю якості готового пробіотику «Споро-лекс»

Показник	Характеристика і референтне значення
Зовнішній вигляд	Порошок для перорального застосування від світло-коричневого до темно-коричневого кольору.
Наявність сторонніх домішок, плісняви	Не допускається
Визначення вологості препарату	3 - 5 %
Визначення маси продукту у одиниці пакування	Відхилення не більше ніж 3%
Контамінація сторонньою мікрофлорою, 1 грам	Не більше 50 КУО/г не патогенної мікрофлори
Типовість росту	Культурально-морфологічні та тинкторіальні властивості мікроорганізмів повинні бути типовими для виробничих мікроорганізмів
Кількість живих клітин, 1 грам	Загальне мікробне число не менше ніж 2×10^8 КУО/г
Нешкідливість	При введенні білим мишам в дозі $0,5 \text{ см}^3$ не повинен викликати їх загибелі протягом 14 діб

Контроль якості готового пробіотику «Споро-лекс», виготовленого за різними технологіями, проведений відповідно до запропонованих показників на п'яти послідовних серіях препарату (Таблиця 5 та Таблиця 6).

Зовнішній вигляд препаратів, виготовлених за обома технологіями, під час зберігання протягом 36 місяців не змінювався. Сторонніх домішок та плісняви не візуалізувалося.

Вологість пробіотику коливалася в межах 3,2-3,5% та була в межах норми, як наслідок коливань маси продукту теж не спостерігалось.

Контамінація продукту, за обох схем виготовлення, була в межах норми протягом 36 місяців і не перевищувала 50 КУО на 1 г продукту.

У всіх партіях пробіотику під час спостереження типовість росту виробничих штамів була адекватною, препарат був нешкідливим та не призводив до загибелі мишей.

Мачуський О. В.

5. Результати контролю якості готового продукту п'яти послідовних серій пробіотику «Споро-лекс», виготовленому в рідкому поживному середовищі протягом 36 місяців

Показник	Референтне значення	M0	M3	M6	M12	M18	M24	M30	M36
Зовнішній вигляд	Порошок від світло-коричневого до темно-коричневого кольору	Відповідає	Відповідає	Відповідає	Відповідає	Відповідає	Відповідає	Відповідає	Відповідає
Наявність сторонніх домішок, плісняви	Не допускається	Відсутні	Відсутні	Відсутні	Відсутні	Відсутні	Відсутні	Відсутні	Відсутні
Визначення вологості препарату	3 – 5 %	3,2	3,3	3,3	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
Визначення маси продукту у одиниці пакування	Відхилення не більше ніж 3%	Відповідає	Відповідає	Відповідає	Відповідає	Відповідає	Відповідає	Відповідає	Відповідає
Контамінація сторонньою мікрофлорою, 1 грам	≤ 50 КУО/г не патогенної мікрофлори	< 50 КУО/г	< 50 КУО/г	< 50 КУО/г	< 50 КУО/г	< 50 КУО/г	< 50 КУО/г	< 50 КУО/г	< 50 КУО/г
Типовість росту	Типові культурально-морфологічні та тинкторіальні властивості мікроорганізмів	Типові	Типові	Типові	Типові	Типові	Типові	Типові	Типові

Мачуський О. В.

Кількість живих клітин, 1 грам	$\geq 2 \times 10^8$ КУО/г	$2,21 \times 10^8$ КУО/г	$2,18 \times 10^8$ КУО/г	$2,15 \times 10^8$ КУО/г	$2,13 \times 10^8$ КУО/г	$2,13 \times 10^8$ КУО/г	$2,12 \times 10^8$ КУО/г	$2,12 \times 10^8$ КУО/г	$2,12 \times 10^8$ КУО/г
Нешкідливість	Не повинен викликати загибелі білих мишей протягом 14 діб	Відповідає	Відповідає	Відповідає	Відповідає	Відповідає	Відповідає	Відповідає	Відповідає

М – місяць, число – кількість місяців від дати виробництва

6. Результати контролю якості готового продукту п'яти послідовних серій пробіотику «Споро-лекс», виготовленому на щільному поживному середовищі протягом 36 місяців

Показник	Референтне значення	М0	М3	М6	М12	М18	М24	М30	М36
Зовнішній вигляд	Порошок від світло-коричневого до темно-коричневого кольору	Відповідає	Відповідає	Відповідає	Відповідає	Відповідає	Відповідає	Відповідає	Відповідає
Наявність сторонніх домішок, плісняви	Не допускається	Відсутні	Відсутні	Відсутні	Відсутні	Відсутні	Відсутні	Відсутні	Відсутні
Визначення вологості препарату	3 – 5 %	3,3	3,5	3,4	3,4	3,4	3,5	3,3	3,2
Визначення маси продукту у одиниці пакування	Відхилення не більше ніж 3%	Відповідає	Відповідає	Відповідає	Відповідає	Відповідає	Відповідає	Відповідає	Відповідає

Мачуський О. В.

Контамінація сторонньою мікрофлорою, 1 грам	≤ 50 КУО/г не патогенної мікрофлори	< 50 КУО/г	< 50 КУО/г	< 50 КУО/г	< 50 КУО/г	< 50 КУО/г	< 50 КУО/г	< 50 КУО/г	< 50 КУО/г
Типовість росту	Типові культурально-морфологічні та тинкторіальні властивості мікроорганізмів	Типові	Типові	Типові	Типові	Типові	Типові	Типові	Типові
Кількість живих клітин, 1 грам	$\geq 2 \times 10^8$ КУО/г	$2,23 \times 10^8$ КУО/г	$2,22 \times 10^8$ КУО/г	$2,22 \times 10^8$ КУО/г	$2,22 \times 10^8$ КУО/г	$2,21 \times 10^8$ КУО/г	$2,21 \times 10^8$ КУО/г	$2,21 \times 10^8$ КУО/г	$2,20 \times 10^8$ КУО/г
Нешкідливість	Не повинен викликати загибелі білих мишей протягом 14 діб	Відповідає	Відповідає	Відповідає	Відповідає	Відповідає	Відповідає	Відповідає	Відповідає

М – місяць, число – кількість місяців від дати виробництва

Кількість живих клітин в 1 г продукту варіювалася і залежала від технології виробництва. Під час зберігання протягом 36 місяців пробіотику «Споро-лекс», виготовленому в рідкому поживному середовищі, кількість живих клітин знизилася з $2,21 \times 10^8$ КУО/г до $2,12 \times 10^8$ КУО/г. У той час як серії пробіотику, виготовлені на щільному поживному середовищі мали не таке значне зменшення: від $2,23 \times 10^8$ КУО/г на початку зберігання, та $2,20 \times 10^8$ КУО/г через 36 місяців.

Таким чином, в результаті проведених досліджень, встановлено, що обидві технології виробництва пробіотику «Споро-лекс» забезпечували виробництво якісного продукту. При цьому більш рентабельною була технологія виробництва на щільному поживному середовищі, а також вона забезпечувала більшу стабільність препарату за показником «кількість живих клітин в 1 г» в процесі зберігання.

Висновки

У результаті проведених досліджень встановлено, що технологія виробництва пробіотику «Споро-лекс» на щільному

поживному середовищі є більш швидкою та рентабельною за рахунок меншої кількості контролів якості в процесі виробництва. Процес спороутворення під час виготовлення пробіотику «Споро-лекс» на щільному поживному середовищі відбувався швидше на 24 години у порівнянні з технологією виробництва у рідкому поживному середовищі. Технологія виготовлення пробіотику на щільному поживному середовищі забезпечувала формування більш зрілої спори, що призводило до стабільності препарату під час зберігання за показником «кількість живих клітин в 1 г продукту». За рештою показників якості, обидві технології однаково забезпечували стабільність продукту в процесі зберігання протягом 36 місяців.

Перспективи досліджень

Подальші дослідження мають бути спрямовані на пошук більш дешевих компонентів поживних середовищ для нарощування біомаси виробничих штамів. Необхідним є подальше вивчення стабільності пробіотику «Споро-лекс», а також вивчення його безпечності та ефективності у виробничих умовах.

References

1. Riviere J. E., Boothe D. M., Czarnecki-Maulden G. L., Dzanis D. A., Harris P. A., Hendriks W. H., Kirk W. H., Warren L. K. Safety of Dietary Supplements for Horses,

Dogs, and Cats. Washington DC: The National Academies Press; 2009. 513.

2. Cho S. S., Finocchiaro E. T. Handbook of Prebiotics and Probiotics Ingredients. Health Benefits and Food

Applications. Boca Raton: CRC Press; 2010. 455.

3. Salem A. F. Z. M. Nutritional Strategies of Animal Feed Additives. New York: Nova Science Publishers; 2013. 231.

4. Gupta R. C., Srivastava A., Lall R. Nutraceuticals in Veterinary Medicine. Cham, Switzerland: Springer; 2019. 852.

5. Nivoliez A., Camares O., Paquet-Gachinat M., Bornes S., Forestier C., Veisseire P. Influence of manufacturing processes on in vitro properties of the probiotic strain *Lactobacillus rhamnosus* Lcr35. *Journal of Biotechnology*. 2012; 160: 236-241.

6. Mortazavian A. M., Khorshidian N., Gomes da Cruz A. In Vitro Functionality of Probiotics in Foods. New York: Nova Science Publishers; 2022. 390.

7. Grzeskowiak Ł., Endo A., Collado M.C., Pelliniemi L.J., Beasley S., Salminen S.

The effect of growth media and physical treatments on the adhesion properties of canine probiotics. *Journal of Applied Microbiology*. 2013; 115: 539-545.

8. Gioia D. D., Biavati B., Probiotics and Prebiotics in Animal Health and Food Safety. Cham, Switzerland: Springer; 2018. 275.

9. Drumet L., Tromp Y., Stiegelbauer V. The Development of High-Quality Multispecies Probiotic Formulations: From Bench to Market. *Nutrients*. 2020; 12: 1-19.

10. Charalampopoulos D., Rastall R. A. Prebiotics and Probiotics Science and Technology. New York: Springer; 2009. 1273.

11. Sola-Oladokun B., Culligan E.P., Sleator R.D. Engineered Probiotics: Applications and Biological Containment. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.* 2017; 8:16.1–16.18.

TECHNOLOGY DEVELOPMENT OF PROBIOTIC “SPORO-LEKS” MANUFACTURING

O. V. Machusky

Abstract. *An important element of the probiotics quality is the technology of their production. There is great variability between the results of preclinical and clinical trials of probiotic microorganisms. To a large extent, this is influenced by the technology and conditions of production of probiotics.*

*The purpose of the work was to compare the manufacturing technologies of “Sporo-leks” probiotic. Probiotic “Sporo-leks” is a mixture of probiotic cultures of *Bacillus licheniformis* VK-25 and *Bacillus subtilis* MK-3, sorbed on a complex activated with the addition of a natural standardized sorbent. Two versions of the “Sporo-leks” probiotic manufacturing technologies were developed: in a liquid nutrient medium and on a dense nutrient medium. During the tests, intermediate quality controls were developed.*

As a result of the conducted research, lists of intermediate quality controls were formed during the production of the probiotic “Sporo-leks” in a liquid nutrient medium and on a dense nutrient medium. Dense nutrient media manufacturing has been found to be faster and more cost-effective as it requires only 4 intermediate control stages compared to 5 stages in liquid nutrient media manufacturing. Depending on the stage and production technology, various intermediate studies were carried out, which included microscopy, determination of typicality of growth, determination of contamination by foreign bacterial and fungal microflora, determination of sporulation, determination of the concentration of colony-forming units. Also, during the research, a list of quality control indicators of the finished probiotic “Sporo-leks”

was formed and tested. It has been proven that the process of sporulation during the production of the probiotic "Sporo-leks" on a dense nutrient medium occurred faster by 24 hours compared to the technology of production in a liquid nutrient medium. Probiotic production technology on a dense nutrient medium ensured the formation of a more mature spore, which led to the stability of the drug during storage according to the indicator "the number of living cells in 1 g of product." According to the rest of the quality indicators, both technologies equally ensured the stability of the product during storage for 36 months.

Key words: *probiotic, production technology, stability, quality control*

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТРОЯНДИ ФЛОРІБУНДА В УМОВАХ ПОДІЛЛЯ

Р. О. М'ЯЛКОВСЬКИЙ, доктор сільськогосподарських наук, професор
ЗВО «Подільський державний університет»

Г. В. ПАНЦИРЕВА, кандидат сільськогосподарських наук, доцент, провідний
науковий співробітник

Вінницький національний аграрний університет

E-mail: apantsyreva@ukr.net

П. В. БЕЗВІКОННИЙ, кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
ЗВО «Подільський державний університет»

[https://doi.org/10.31548/dopovidi3\(103\).2023.014](https://doi.org/10.31548/dopovidi3(103).2023.014)

Анотація. Проведено науково-експериментальні дослідження з вивчення перспектив використання троянди флорібунда в умовах Поділля. Доведено екологічне значення троянд для сучасного озеленення. Здійснено системний літературний аналіз джерел та узагальнено відомості про поширення, морфобіологічні особливості троянди флорібунда в Україні. На основі одержаних даних розроблено наукові основи введення в культуру троянди флорібунда та особливості розмноження, встановлено їх продуктивний потенціал, а також запропоновано шляхи практичного використання у сучасному зеленому будівництві. Доведено, що для створення сучасних садових композицій в умовах Поділля найбільш доцільними у використанні є культивари троянди флорібунди: Pomponella, Lovely Green, Carmagnola, Arthur Bell, Lilli Marleen, Bella Rosa, які добре адаптувались до умов вирощування, практично не пошкоджувались шкідниками та не уражувалися хворобами, були достатньо стійкими до несприятливих факторів навколишнього середовища. В умовах Поділля вперше розроблено біологоекологічні основи вирощування троянди флорібунда внаслідок, чого збагачено видове різноманіття культурфітоценозів та розширено асортимент нових квіткових рослин за рахунок їх введення у культури. Розроблено рекомендації щодо їх культивування, встановлено особливості біології цвітіння та використання в озелененні. Висока їх оцінка за комплексом критеріїв свідчить про перспективність та придатність для вирощування в умовах Поділля, а також цінність для різних варіантів використання троянд флорібунда: клумбах, рабатках, міксбордерах, композиціях ландшафтного типу та їх зменшених варіантах, що імітують природні угруповання.

Ключові слова: троянда флорібунда, асортимент, садова група, озеленення, варіанти використання

Актуальність. Актуальність досліджень обумовлена проблемою збагачення і оновлення асортименту декоративних квітникових рослин. Все це викликано, як природним зростанням рівня людських вимог з

розвитком цивілізації, так і старінням сортів, які упродовж тривалого часу беззмінно перебувають у центрі уваги.

Квітникарство – галузь сільського господарства, яка останнім часом розвивається досить швидкими темпами, зокрема в Україні. Хоча вітчизняна продукція на ринку квітів становить мізерну частку, поступово українські виробники розвиваються та нарощують обсяги виробництва. Це зумовлене тим, що вітчизняна продукція за якістю не поступається імпортній, а коштує значно дешевше. Серед багатьох проблем, які постають перед українськими квітникарями на шляху інтегрування до світового економічного простору, однією з головних є створення оптимальних умов для розвитку зовнішньоекономічних відносин з іншими країнами та вихід української продукції на світовий ринок [1, 2].

Кількість нормативно-правових законодавчих актів, які регулюють правове забезпечення ЗЕД, торговельні відносини України з іншими країнами світу, стимулюють потенціал експортерів та захищають внутрішній споживчий ринок від проникнення неякісних імпортних товарів, дуже велика. Проте українські квітникарі можуть вирощувати таку знакову кількість троянд, яка свідчить про зрілість ринку та необхідність подолання законодавчих перешкод у боротьбі за участь у міжнародному

співробітництві. Останньою перешкодою є дотримання вимог до маркування та показників якості, що сприятиме забезпеченню відповідних до нормативної документації споживних властивостей протягом транспортуванні та реалізації [2, 3, 4, 5, 6].

Види і сорти роду *Rosa* L. мають важливе соціальне значення і економічну цінність у квітникарстві, фармацевтичній і косметичній галузях [2]. Троянда була відома в стародавньому Вавилоні і отримала особливе поширення в Персії (тепер Іран), де вирощувалася у величезній кількості. Перські поети Гафіз та Сааді називають свою країну «Гюлістан» – «Сад троянд» («Гюль» – «троянда») [2, 7]. З давніх часів троянди були дуже поширені в садівництві і привертати до себе увагу ботаніків, проте вивчення дикоростучих троянд було розпочато тільки в першій половині минулого століття [2, 8].

За своєю декоративністю троянда перевершує майже всі відомі квіткові рослини. Вона насправді є королевою квітів, посідаючи одне з найголовніших місць не лише в декоративному квітникарстві, але й в садово-парковому будівництві. На відміну від інших декоративно-квітучих кущів, які квітнуть переважно весною, більшість видів троянд квітнуть протягом всього періоду вегетації. Завдяки стрижці, яку троянди добре переносять, можна

М'ялковський Р. О., Панцирева Г. В., Безвіконний П. В.

створити найрізноманітніші форми крони, які чудово прикрашатимуть будь-який об'єкт озеленення [2].

Підбір батьківських форм при схрещуванні троянд – одне з основних питань селекції. Від цього в більшості випадків залежить успіх селекційної роботи. Велика кількість сортів троянд отримано в результаті багаторазових міжсорткових і міжвидових схрещувань. Тому для правильного вирішення певного селекційного завдання потрібний підбір батьківських пар, з яких не всі однаково добре передають свої властивості гібридним сіянцям. Часто троянди з бажаними характеристиками не дають насіння [7, 9, 10, 15].

Троянда – один з найпопулярніших представників родини *Rosaceae*, який вирощується у садах і поєднує від 150 до 300 видів та форм [2, 11, 16]. Вирощування садових троянд має багатовікову історію. На створення величезного різноманіття нині існуючих видів та сортів вплинули природний добір, схрещування, багатовікова селекція та гібридизація [12, 14]. Широкий сортимент сучасних троянд дозволяє створювати яскраві композиції, які будуть вражати своєю оригінальністю та насиченістю. Садову ділянку можна прикрасити виключно трояндами або ж гармонійним поєднанням троянд з іншими декоративними рослинами та квітами [13]. Тому вивчення біологічних

особливостей та декоративних ознак сортів троянд є актуальним питанням для сучасного ведення садово-паркового господарства.

Матеріал і методи досліджень.

Науково-експериментальні дослідження проводили проводили упродовж 2018-2022 рр. на базі архітектурно-експозиційної ділянки кафедри лісового, садово-паркового господарства, садівництва та виноградарства факультету агрономії та лісівництва Вінницького національного аграрного університету. Ґрунтово-кліматичні умови зони дослідження сприятливі для вирощування троянди флорібунда. Ґрунтовий покрив дослідної ділянки представлений сірими лісовими ґрунтами, які характеризуються низьким вмістом гумусу – 1,97 %. Сума ввібраних основ становить – 1,44 мг-екв. на 100 г ґрунту. Гідролітична кислотність сірих лісових ґрунтів дослідної ділянки – 3,44 мг-екв. на 100 г ґрунту, а рН ґрунту – 5,1. Зволоження ґрунту відбувається за рахунок атмосферних опадів, так як рівень ґрунтових вод знаходиться на глибині до 15 м.

Первинне інтродукційне випробування і відповідну оцінку досліджуваних квітниково-декоративного виду здійснювали за допомогою загальноприйнятих методик в декоративному садівництві і методикою державного сортовипробування. Опис морфологічних ідентифікаційних

ознак сорту здійснювали методом візуальної оцінки та за допомогою вимірювань і підрахунків. Проведено морфометричний аналіз листків сортів троянд групи флорібунда.

При дослідженні інтродукованих сортів троянди флорібунда вивчено адаптивні можливості інтродуцентів до нових умов використовували рекомендації М.А. Авроріна. Морозостійкість визначали візуально у фазу весняного відростання шляхом підрахунку рослин, які не загинули за зиму. У процесі росту та розвитку рослин здійснювали морфологічний опис, визначали інтенсивність цвітіння в різні строки відповідної фази, його календарні строки і тривалість життя однієї квітки.

Мета роботи полягала у встановленні морфо-біологічних особливостей із проведеною оцінкою перспективності використання троянди флорібунда в умовах Поділля.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

- провести аналіз літературних джерел та узагальнити відомості про поширення, морфо-біологічні особливості троянди флорібунда;
- провести первинну інтродукційну оцінку троянди флорібунда;
- розробити наукові основи введення в культуру троянди флорібунда та особливості розмноження, встановити їх

продуктивний потенціал, запропонувати шляхи практичного використання у сучасному зеленому будівництві.

Об'єкт дослідження – особливості біології цвітіння троянд групи флорібунда в умовах культури.

Предмет дослідження – квітниково-декоративні рослини троянди флорібунда (Pomponella, Lovely Green, Carmagnola, Arthur Bell, Lilli Marleen, Bella Rosa).

Результати досліджень та їх обговорення. Розмір листка, разом з його формою, забарвленням та блиском мають важливе значення для формування загального враження від об'єкту озеленення та визначають декоративну цінність відповідного сорту. Наявність блиску також підвищує господарську цінність сорту, оскільки відповідна ознака впливає на стійкість рослин до посухи та ураження грибковими хворобами. Результати досліджень дають можливість відбирати цінні для декоративного садівництва сорти не лише з урахуванням декоративності квітки, а й за особливостями листкового апарату.

Листки сортів троянд групи флорібунда істотно відрізняються за особливостями поверхні листкової пластини, формою та розміром. Відповідно до проведеного нами морфометричного аналізу листків 6 сортів троянд групи флорібунда встановлено, що найважчими біометричними показниками

М'ялковський Р. О., Панцирева Г. В., Безвіконний П. В.

характеризувався сорт Carmagnola листкової пластинки 11,3 см² та (табл. 1), з середньою площею довжиною складного листка – 13,5 см.

1. Морфометричні параметри листків сортів троянд групи флорібунда (2018-2022 рр.)

Сорт	Розмір складного листка, см		Кількість листкових пластинок, шт.	Площа листкової пластинки, см ²	Довжина черешка, см
	довжина	ширина			
Pomponella	12,9	10,3	6,1	11,2	2,3
Lovely Green	12,5	8,8	6,3	8,6	2,2
Carmagnola	13,5	11,1	5,7	11,3	2,1
Arthur Bell	12,6	10,0	6,3	8,2	2,6
Lilli Marleen	13,2	10,5	5,1	10,6	1,7
Bella Rosa	10,8	6,4	6,3	6,2	2,0
НІР _{0,05}	0,6	0,5	0,3	0,5	0,1

Листки еліптичної форми із загостреною верхівкою, світло-зелені з слабким блиском (рис. 1). Середня площа листкової пластини сорту Bella Rosa – 6,2 см², довжина складного листка – 10,8 см, листкові пластинки помірно глянцеві, розріджені і кріпляться на певній відстані одна від одної. Кількість пластинок коливається у межах 6-7 штук. Довжина черешка – 2 см. Листкові пластинки сорту Cream Abundance темно-зелені, помірно глянцеві площею 5,8 см², зубчасті. Сорт Pomponella має великі загострені, блискучі листкові пластинки яйцеподібної форми з слабо вираженими зубчастими краями, площею 11,8 см². Довжина черешка 2,3 см.

Сорти Lovely Green істотно відрізняються від інших сортів

вузькоеліптичною видовженою формою листкових пластинок з гострою верхівкою, середня площа яких становить 8,6 см² та 6,9 см², відповідно. Черешки у Lovely Green світло-рожеві, довжиною 2,3 см.

У сорту Carmagnola листки великі, довжиною 13,5 см; листкові пластинки блискучі, помірно-зеленого кольору з загостреними краями. Черешок зеленого кольору, довжиною 2,1 см.

Листкова пластинка сорту Lilli Marleen еліптичної форми з гострою верхівкою, насиченість зеленого кольору – середня, краї – зубчасті. Довжина складного листка – 13,2 см, площа листкової пластинки – 10,6 см². Сорт Arthur Bell має світло-зелені листкові пластинки еліптичної форми з слабким блиском та майже рівними краями, площею 8,2 см².



Carmagnola



Lilli Marleen



Pomponella

Рисунок 1. Лінійні параметри троянд групи флорібунда

Такі параметри, як розмір, глянсуватість поверхні, хвилястість краю та насиченість зеленого кольору мають важливе біологічне та декоративне значення і впливають на формування загального враження від об'єкту озеленення. Площа листової поверхні визначає інтенсивність перебігу процесу фотосинтезу та, відповідно, впливає на швидкість формування вегетативних і генеративних органів рослини.

Наявність кутинового шару впливає на процес випаровування води з поверхні листків, тим самим підвищується стійкість рослин до посухи. Троянди з блискучим листям менше уражаються грибковими хворобами, що робить їх ще привабливішими та ціннішими для господарського використання. Яскравий блиск разом із насиченим темно-зеленим забарвленням листя даних сортів роблять їхні кущі виразнішими та яскравішими і, тим

самим, більш привабливішими для використання у декоративному садівництві [2].

Флорибунда (англ. Floribunda (Fl.) – група сортів троянд за класифікацією, прийнятою в 1976 р в Оксфорді Всесвітньою федерацією товариств троянд (World Federation of Rose Societies, або WFRS). Багаторічні кущові рослини. Група включає низькі бордюрні сорти (до 40 см.), середньорослі (близько 60-80 см) і високі (від 1 м. і вище). Флорибунда об'єднує багато сортів, квіти яких знаходяться в проміжку між поліантовими і чайно-гібридними трояндами, включаючи гібриднополіантові [2, 14].

Цвітіння троянд групи флорибунда – рясне, і цвітуть вони довше, ніж чайно-гібридні. У деяких сортів цей процес безперервний. Відрізняються високою зимостійкістю і стійкістю до хвороб. Це одна з найпопулярніших груп садових троянд. Троянди

М'ялковський Р. О., Панцирева Г. В., Безвіконний П. В.

флорибунди стають зрілими на 3-й рік, в той момент, коли остаточно формується коренева система. Недолік троянд флорибунди – майже повна відсутність аромату у багатьох сортів.

Кількість квіток у суцвіттях досліджуваних рослин становила

2. Кількісні показники квіток у суцвітті троянд групи флорібунда (2018-2022 рр.)

Сорт	Кількість квіток у суцвітті, шт.	Діаметр квітки, см		Кількість пелюсток, шт	
		max	min	max	min
Pomponella	5±3	6,3±0,3	4,2±0,2	82±6	64±6
Lovely Green	6±3	5,4±0,2	4,2±0,2	32±4	24±4
Carmagnola	7±4	4,5±0,2	3,2±0,2	38±4	31±4
Arthur Bell	6±3	5,7±0,2	3,4±0,2	60±6	46±6
Lilli Marleen	16±5	4,5±0,2	3,2±0,2	32±4	27±4
Bella Rosa	6±3	4,4±0,2	4,1±0,2	37±4	26±4

Початок цвітіння у досліджуваних сортів припадав на I–II декаду червня. Найбільш раннє цвітіння, в середньому з 7 червня, спостерігали в 2021 р. Спочатку розкривалися поодинокі верхівкові бутони, масове цвітіння спостерігали на 5–8-й день, максимум цвітіння — через 10–24 дні після початку залежно

від сорту та погодних умов. Цвітіння припинялося з настанням похолодання в III декаді жовтня — I декаді листопада, причому на кущах рослин усіх досліджуваних сортів спостерігали значну кількість бутонів. Загальна тривалість цвітіння становила в середньому 131 день (табл. 3).

3. Дати настання і тривалість бутонізації та цвітіння троянд групи флорібунда (2018-2022 рр.)

Сорт	Початок бутонізації	Тривалість бутонізації, дні	Початок цвітіння	Загальна тривалість цвітіння, дні
Pomponella	27.05 (±4 дні)	16±3	12.06 (±3 дні)	134±4
Lovely Green	25.05 (±3 дні)	16±3	10.06 (±5 днів)	133±4
Carmagnola	25.05 (±3 дні)	17±3	06.06 (±5 днів)	126±3
Arthur Bell	23.05 (±3 дні)	18±3	09.06 (±5 днів)	139±4
Lilli Marleen	29.05 (±5 дні)	19±4	14.06 (±3 дні)	137±4
Bella Rosa	26.05 (±3 дні)	18±3	12.06 (±5 днів)	135±4

У троянд двох сортів (Pomponella та Lilli Marleen) протягом усього

періоду спостережень ми відзначали безперервне цвітіння. У двох сортів

М'ялковський Р. О., Панцирева Г. В., Безвіконний П. В.

(Lovely Green та Arthur Bell) щороку мала місце перерва у цвітінні протягом 13–16 днів, яка припадала переважно на II–III декаду липня. У решти досліджуваних сортів таку перерву ми спостерігали не щороку. Перша хвиля цвітіння була найінтенсивнішою — утворювалося 45–53 % квіток. Інтенсивність наступної хвилі цвітіння залежала від погодних умов і догляду. Календар цвітіння наведено на рис.2.

Водночас середня тривалість цвітіння досліджуваних сортів флорібунда Carmagnola та Arthur Bell становила у середньому 102 та 114 днів відповідно і була меншою, ніж у троянд Pomponella (131 день), оскільки закінчення цвітіння у сортів троянд цих груп наставало дещо раніше, усі рослини з досліджуваних сортів флорібунда припиняли цвітіння в I декаді жовтня без утворення бутонів, лише у двох сортів Carmagnola та Arthur Bell.

Тривалість бутонізації троянд флорібунда залежить від кліматичних умов. Нестача вологи у ґрунті й повітрі на початкових етапах вегетації зумовлює подовження тривалості бутонізації. Цвітіння троянд патіо рясне і тривале, переважно безперервне.

У сучасному ландшафтному дизайні троянди групи флорібунда є популярною декоративною багаторічною рослиною. Троянда флорібунда володіє безліччю чудових якостей: барвистість, прекрасний аромат, тривала декоративність, невибагливість і стійкість до морозів. Це все робить дані троянди одним з найбільш популярних у ландшафтному дизайні. Рослина використовується в бордюрах, квітниках і клумбах, в якості декоративних живоплотів [7, 8].

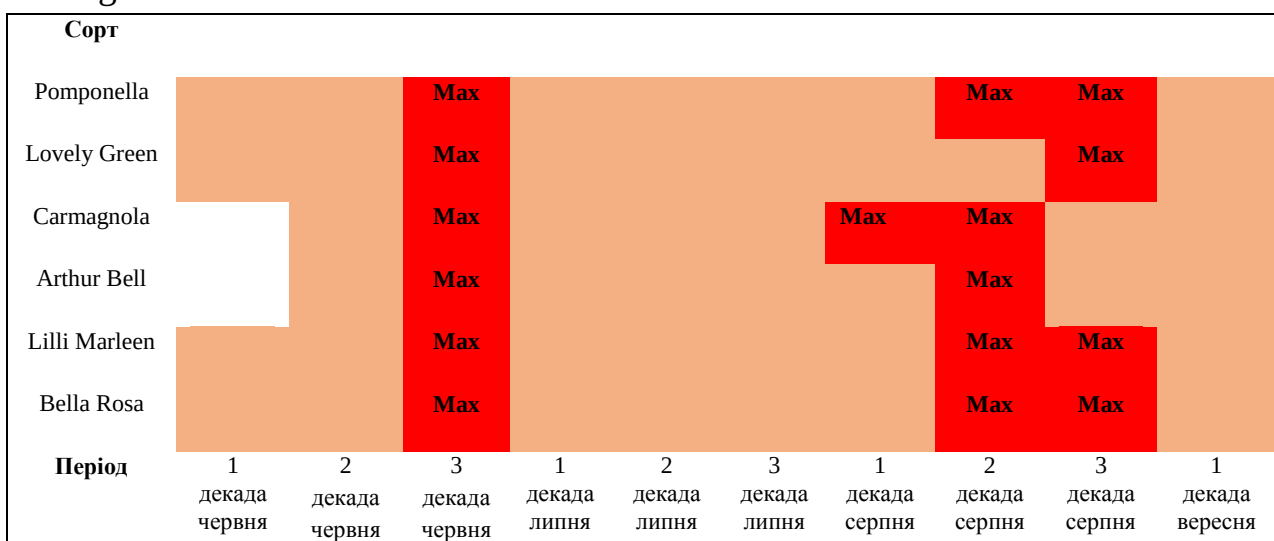


Рис. 2. Динаміка цвітіння троянд групи флорібунда (2018-2022 рр.)

Включення троянд групи міста збільшить їх естетичну флорібунда до об'єктів озеленення привабливість та екологічність.

М'ялковський Р. О., Панцирева Г. В., Безвіконний П. В.

Архітектурно-художній вигляд міста, як і якість його середовища, значною мірою залежить від площі озелених територій, що знаходяться в його межах. Вони також надають значні можливості для організації повноцінного відпочинку городян, здійснюючи позитивний вплив на їх психологічний стан. Особливий ефект досягається, якщо забезпечується безперервність зеленої мережі, тому містобудівні норми передбачають

певну площу озеленення на одного жителя. Добре озеленим вважають місто, у якому на 1 жителя припадає 20-30 м² і більше зелених насаджень загального користування (найбільш характерно для міст-курортів) [14-15].

Троянди флорібунда використовують в створенні міксбордерів, кам'янистих садів, альпінаріїв, а також для зрізання у букети, які відрізняються особливою легкою ніжністю і красою (табл. 4).

4. Рекомендації з використання троянд групи флорібунда в озелененні

Сорт	Варіанти використання
Pomponella	групові та поодинокі посадки, міксбордер, рабатки, клумби, бордюри, на зріз, монокультурні сади
Lovely Green	альпінарії, на зріз, групові міксбордер, рабатки, клумби, бордюри, на зріз, монокультурні сади
Carmagnola	на зріз, групові та поодинокі посадки, міксбордер, букети, рабатки, клумби, бордюри, підпірні стінки, солітери на фоні газону, монокультурні сади
Arthur Bell	на зріз, групові та поодинокі посадки, міксбордер, на зріз, букети, рабатки, клумби, бордюри, підпірні стінки, солітери на фоні газону, монокультурні сади
Lilli Marleen	групові та поодинокі посадки, міксбордер, на зріз, рабатки, клумби, бордюри, монокультурні сади
Bella Rosa	групові та поодинокі посадки, міксбордер, на зріз, рабатки, клумби, бордюри, монокультурні сади

Рослини троянд флорібунда характеризуються чисельною кількістю кольорової різноманітності і форм суцвіть, тривале цвітіння, невибагливість і багато інших переваг сприяють всезростаючій популярності даних рослин [13]. Яскраво забарвлені квіти чудово

виглядатимуть в групових посадках, у живоплотах, вздовж алей, що ведуть до будівлі, альтанки чи водойми, в контейнерах чи горщиках на відкритій терасі. Також можливе поєднання у міксбордерах з іншими квітами: цибулевими та ромашками.

Висновки і перспективи.

Згідно аналізу літературних джерел встановлено, що рід *Rosa* L. відноситься до родини *Rosaceae*, батьківщиною якого є Центральна Америка, відноситься від 150 до 300 видів та форм. Встановлено, що серед досліджуваних троянд широке поширення в багатьох країнах світу і Україні отримали завдяки універсальності використання такі сорти троянд групи флорібунда, як *Pomponella*, *Lovely Green*, *Carmagnola*, *Arthur Bell*, *Lilli Marleen*, *Bella Rosa*. Листки сортів троянд групи флорібунда істотно відрізняються за особливостями поверхні листкової пластини, формою та розміром. Відповідно до проведеного нами морфометричного аналізу листків 6 сортів троянд групи флорібунда встановлено, що найвищими біометричними показниками характеризувався сорт *Carmagnola*, з середньою площею

листової пластинки 11,3 см² та довжиною складного листка – 13,5 см. Листки еліптичної форми із загостреною верхівкою, світло-зелені з слабким блиском. Цвітіння троянд групи флорібунда – рясне, і цвітуть вони довше, ніж чайно-гібридні. Відтак, кількість квіток у суцвіттях досліджуваних рослин становила залежно від сорту у період максимального цвітіння у середньому від 5 (*Pomponella*) до 16 (*Lilli Marleen*). Діаметр квіток і кількість пелюсток у квітках зменшуються у суцвіттях базипетально. Початок цвітіння у досліджуваних сортів припадав на I–II декаду червня. Найбільш раннє цвітіння, в середньому з 7 червня, спостерігали в 2021 р. Загальна тривалість цвітіння становила в середньому 131 день. Троянди флорібунда використовують в створенні міксбордерів, кам'янистих садів, альпінаріїв, а також для зрізання у букети.

albus L.) в Україні. Вінниця. 2016. Вип. 4. С. 88-93.

5. Puyu V., Bakhmat M., Pantsyryeva H., Khmeliianchyshyn Y., Stepanchenko V., Bakhmat O. Social-and-Ecological Aspects of Forage Production Reform in Ukraine in the Early 21st Century. *European Journal of Sustainable Development*. (2021). Vol. 10(1). P. 221-228

6. Kaletnik G., Honcharuk I., Yemchyk T., Okhota Yu. The World Experience in the Regulation of the Land Circulation. *European Journal of Sustainable Development*. 2020. № 9(2). P. 557-568.

7. Матусяк М.В. Дослідження та аналіз складу трав'яного покриття фітоценозів м. Вінниця на прикладі окремих ділянок лісопарку та ботанічного саду ВНАУ. Молодий вчений. 2019. №3 (67). С.224-228.

Список використаних джерел

1. Мазур В.А., Панцирева Г.В. «Рід *Lupinus* L. в Україні: генофонд, інтродукція, напрями досліджень та перспективи використання». ВНАУ. 2020. С. 235.
2. Поліщук В.В. Використання видів *Rosa* L. при створенні об'ємнопросторової композиції малого саду. Тези Всеукр. наук.-практ. конф. Перспективи розвитку лісового і садово-паркового господарства, Умань, УНУС, 2015. С. 155-157.
3. Honcharuk, I. Use of wastes of the livestock industry as a possibility for increasing the efficiency of aic and replenishing the energy balance. *Visegrad Journal on Bioeconomy and Sustainable Development*. 2020. vol. 9, no. 1, pp. 9–14.
4. Панцирева Г. В. Дослідження сортових ресурсів люпину білого (*Lupinus*

8. Сорокіна С.Д., Акмен В.О., Летута Т.М. Дослідження впливу різних чинників на збереження декоративності зрізаних троянд. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь: ТДАТУ, 2015. Вип. 15. Т. 4. С. 86-95.

9. Velichko, Y.A. Early sprouting eyes in roses when summer budding, causes and their solution. Scientific Herald NLTU: Collection of scientific papers tenichnyh. Lviv: Publishing NLTUU, 2013, no. 342–346, pp.

10. Mazur, V.A., Pantsyрева, H.V., Mazur, K.V., & Monarkh, V.V. Ecological and biological evaluation of varietal resources *Paeonia* L. In Ukraine. *Acta Biologica Sibirica*, 2019. 5 (1), 141-146. <https://doi.org/10.14258/abs.v5.i1.5350>

11. Melnychuk, N.Y., & Henyk, Y.V. (2019). Топокліматичні особливості садово-паркових композиційних груп у парках міста Львова. Науковий вісник НЛТУ України, 29(7), 108-111. URL: <https://doi.org/10.15421/40290721>

12. Prokopchuk V., Pantsyрева H., Tsyhanska O. Biostationary and exposition plot of Vinnytsia national agrarian university as an educational, scientific and manufacturing base in preparation of the landscape gardening specialist. *The scientific heritage*. 2020. Volume 51. P. 8-17.

13. Прокопчук В.М., Дідур І.М., Панцирева Г.В. Особливості підбору декоративних культур закритого середовища для проектування фітотомула в умовах інтер'єру. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. *Сільське господарство та лісівництво*. № 12. Вінниця. 2019. С. 142-153.

14. Дідур І.М., Прокопчук В.М., Панцирева Г.В., Циганська О.І. Рекреаційне садово-паркове господарство. Навчальний посібник. Вінниця: ВНАУ. 2020. 321 с.

15. Прокопчук В.М., Панцирева Г.В., Матусяк М.В., Ковальчук Я.Д. Сучасний стан та перспективи створення розарію на базі паркової зони Вінницького національного аграрного університету. *Сільське господарство та лісівництво*. 2021. № 4 (23). С. 124-136. DOI 10.37128/2707-5826-2021-4-10

16. Matusyak M.V., Pantsyрева H.V., Prokopchuk V.M. Assessment of decorative value and prospects of the genus *Magnolia* compositional use on the territory of Vinnytsia. *Сільське господарство та лісівництво*. 2021. № 4 (23). С. 137-147. DOI: 10.37128/2707-5826-2021-4-11

References

1. Mazur V.A., Pantsyрева H.V. (2020). «*Lupinus* L. genus in Ukraine: gene pool, introduction, directions of research and prospects of use». VNAU. P. 235.

2. Polishchuk V.V. (2015). The use of *Rosa* L. species in the creation of a volume-spatial composition of a small garden. Theses of the All-Ukrainian science and practice conf. Prospects for the development of forestry and horticulture, Uman, UNUS, P. 155-157.

3. Honcharuk, I. (2020). Use of wastes of the livestock industry as a possibility for increasing the efficiency of aic and replenishing the energy balance. *Visegrad Journal on Bioeconomy and Sustainable Development*. vol. 9, no. 1, pp. 9–14.

4. Pantsyрева H. V. (2016). Doslidzhennia sortovykh resursiv liupynu biloho (*Lupinus albus* L.) v Ukraini. Vinnytsia. Vyp. 4. S. 88-93.

5. Puyu V., Bakhmat M., Pantsyрева H., Khmelianchyshyn Y., Stepanchenko V., Bakhmat O. (2021). Social-and-Ecological Aspects of Forage Production Reform in Ukraine in the Early 21st Century. *European Journal of Sustainable Development* Vol. 10(1). P. 221-228

6. Kaletnik G.M., Zabolotnyi, G.M. Kozlovskiy S.V (2011), «Innovative models of strategic management economic potential within contemporary economic systems», *Actual Problems of Economics*, vol, 4(118), pp.11.

7. Matusiak M.V. (2019). Research and analysis of the composition of the grass cover of phytocenoses in Vinnytsia using the example of individual sections of the forest park and botanical garden of VNAU. A young scientist. No. 3 (67). P.224-228.

8. Sorokina S.D., Akmen V.O., Letuta T.M. (2015). Study of the influence of various factors on the preservation of decorativeness of cut roses. Proceedings of the Tavri State Agro-Technological University. Melitopol: TDAU,

Vol. 15. Vol. 4. P. 86-95.

9. Velichko, Y.A. (2013). Early sprouting eyes in roses when summer budding, causes and their solution. Scientific Herald NLTU: Collection of scientific papers tenichnyh. Lviv: Publishing NLTUU, no. 342–346, pp.

10. Mazur, V.A., Pansyryeva, H.V., Mazur, K.V., & Monarch, V.V. (2019). Ecological and biological evaluation of varietal resources *Paeonia* L. In Ukraine. *Acta Biologica Sibirica*, 5 (1), 141-146. <https://doi.org/10.14258/abs.v5.i1.5350>

11. Melnychuk, N.Y., & Henyk, Y.V. (2019). Topoclimatic features of garden and park compositional groups in the parks of the city of Lviv. *Scientific bulletin of NLTU of Ukraine*, 29(7), 108-111. URL: <https://doi.org/10.15421/40290721>

12. Prokopchuk V., Pansyryeva H., Tsyhanska O. (2020). Biostationary and exposition plot of Vinnytsia national agrarian university as an educational, scientific and manufacturing base in preparation of the landscape gardening specialist. *The scientific heritage*. Volume 51. P. 8-17.

13. Prokopchuk V.M., Didur I.M., Pansyryeva G.V. (2019). Peculiarities of the selection of decorative indoor crops for the design of a phytomodule in interior conditions. *Collection of scientific works of the Vinnytsia National Agrarian University. Agriculture and forestry*. No. 12. Vinnytsia. P. 142-153.

14. Didur I.M., Prokopchuk V.M., Pansyryeva G.V., Tsyganska O.I. (2020). *Recreational horticulture*. Tutorial. Vinnytsia: VNAU. 321 p.

15. Prokopchuk V.M., Pansyryeva G.V., Matusiak M.V., Kovalchuk Y.D. (2021). The current state and prospects of creating a rose garden on the basis of the park zone of Vinnytsia National Agrarian University. *Agriculture and forestry*. No. 4 (23). P. 124-136. DOI 10.37128/2707-5826-2021-4-10

16. Matusyak M.V., Pansyryeva H.V., Prokopchuk V.M. (2021). Assessment of decorative value and prospects of the genus *Magnolia* compositional use on the territory of Vinnytsia. *Agriculture and forestry*. No. 4 (23). P. 137-147. DOI: 10.37128/2707-5826-2021-4-11

PROSPECTS OF USING FLORIBUNDA ROSE IN PODILLIA CONDITIONS

R. Myalkovsky, H. Pansyryeva, P. Bezvikonnyi

Abstract. *Scientific and experimental studies were conducted to study the prospects of using the floribunda rose in the conditions of Podillia. The ecological importance of roses for modern gardening has been proven. A systematic literary analysis of sources was carried out and information on the distribution, morphobiological features of the floribunda rose in Ukraine was summarized. On the basis of the obtained data, the scientific basis of the introduction of the floribunda rose into culture and the peculiarities of reproduction were developed, their productive potential was established, and ways of practical use in modern green construction were proposed. It has been proven that for the creation of modern garden compositions in the conditions of Podillia, floribunda rose cultivars are the most appropriate to use: Pomponella, Lovely Green, Carmagnola, Arthur Bell, Lilli Marleen, Bella Rosa, which adapted well to growing conditions, were practically not damaged by pests and were not affected diseases, were sufficiently resistant to adverse environmental factors. In the conditions of Podillia, biological and ecological bases of floribunda rose cultivation were developed for the first time, as a result of which the species diversity of cultural phytocenoses was enriched and the assortment of new flowering plants was expanded due to their introduction into cultures. Recommendations for their cultivation have been developed, the peculiarities of the biology of flowering and their use in landscaping have been established. Their high evaluation according to a set of*

М'ялковський Р. О., Панцирева Г. В., Безвіконний П. В.

criteria indicates the perspective and suitability for cultivation in the conditions of Podillia, as well as the value for various options for using floribunda roses: flower beds, rabatkas, mix borders, landscape-type compositions and their reduced versions imitating natural groupings.

Keywords: *floribunda rose, range, garden group, landscaping, options for use*

ЕЖЕКЦІЙНА ВІТРОВА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ

З. С. СІРКО, кандидат технічних наук

С. М. ОХРИМЕНКО, О. Ю. ЦАПКО, PhD,

Д. П. ТОРЧИЛЕВСЬКИЙ, Є. А. СТАРИШ, В. М. ГРИЦУН

Український державний науково-дослідний інститут «Ресурс»

E-mail: z.sirko@ukr.net

[https://doi.org/10.31548/dopovid3\(103\).2023.015](https://doi.org/10.31548/dopovid3(103).2023.015)

Анотація. У статті висвітлені питання, пов'язані із нетрадиційними джерелами електроенергії, а саме з вітровою енергетикою. Показано, що енергія вітру з кожним роком використовується все більшими масштабами з метою задоволення потреби людства у надійних та екологічно чистих джерелах енергії. Зазначено, що у багатьох країнах Європи у вітроенергетиці було вироблено значну кількість енергії, що складає приблизно 2 % її світового споживання. У розвинутих країнах Європи вітроенергетика уже зараз становить досить вагомую частку всієї електроенергетики. У порівнянні з країнами Західної Європи та Середземномор'я, Україна являє собою безвітряний регіон, де більш стабільно вітри дмуть тільки в Прикарпатті та на азовському узбережжі. Незважаючи на це, в Україні уже побудовано значну кількість вітрових електростанцій. Швидкість вітру для роботи промислових вітрових електростанцій повинна бути не менше 3 м/с. Внаслідок слабого вітру або його тимчасової відсутності вітроустановки в середньому працюють на 35 % розрахункової потужності. У статті запропонована конструкція ежекційної вертикальної вітрової електростанції, яка забезпечить ефективну роботу та зможе працювати на 100 % розрахункової потужності за рахунок створення постійного висхідного потоку повітря. У роботі виконані розрахунки швидкості повітряного потоку на ежекційному вітрозабірнику, динамічного тиску вентилятора, імпульсу сили повітряного потоку на лопаті ротора, прогнозованої потужності, терміну окупності. Наведені показники лінійного переміщення обтічника який є в конструкції ежекційної електростанції, в залежності від перепаду атмосферного тиску. Розроблена ежекційна вітрова електростанція забезпечить електронезалежність, охорону довкілля, безпеку експлуатації та економічність.

Ключові слова: ежекційна вітрова електростанція, конструкція, потужність, термін окупності, економічність

Постановка проблеми.

Технологія вітрової енергетики є визначальною на сьогоднішній день і безперечно буде передовою у майбутньому. Існує відоме прислів'я «Хто підкорить вітер, підкорить й

майбутнє».

Енергія вітру

використовується з кожним роком все більшими масштабами з метою задоволення потреби людства у надійних та екологічно чистих джерелах енергії [1-3]. Вітрова

Сірко З. С., Охріменко С. М., Цапко О. Ю., Торчиловський Д. П., Стариш Є. А., Грицун В. М.

енергетика вважається найекологічнішим та найбезпечнішим видом відновлювальних джерел енергії. Сучасна вітроенергетика зосереджується насамперед на отримання електроенергії, хоча іноді вітряки використовують для виконання механічної роботи. За даними World Wind Energy Association станом на 2019 рік у вітроенергетиці було вироблено 340 ТВт·год енергії, це приблизно 2 % її світового споживання. У багатьох країнах Європи вітроенергетика уже зараз становить досить вагомую частку всієї електроенергетики: в Данії – 20 %, в Іспанії – 14 %, в Португалії – 14 %, в Німеччині – 12 %. У порівнянні з країнами Західної Європи та середземномор'я, Україна являє собою безвітряний регіон, де більш стабільно вітри дмуть тільки в Прикарпатті та на азовському узбережжі. Незважаючи на це, в Україні уже побудовано значну кількість вітрових електростанцій. Стимулами темпів росту вітроенергетики є проблеми, що гостро постали перед країнами світу – енергонезалежність, охорона довкілля, безпека експлуатації та економіка. На відміну від основного виду енергетичних ресурсів – викопного палива, енергія вітру практично невичерпна, скрізь доступна та досить екологічна [4-7].

Швидкість вітру для роботи промислових вітрових

електростанцій становить від 3 м/с. Внаслідок слабого вітру або його тимчасової відсутності, вітроустановки працюють в середньому на 35 % розрахункової потужності. Для забезпечення ефективної роботи вітрової електростанції, яка не залежить від низької вітрової активності, є необхідність створити вітрову електростанцію, що зможе працювати на 100 % розрахункової потужності за рахунок створення постійного висхідного потоку повітря.

Мета дослідження – розробити ежекційну вітрову електростанцію, що зможе працювати на 100 % розрахункової потужності за рахунок створення постійного висхідного потоку повітря.

Методика досліджень. В роботі застосували аналітичний метод дослідження, який ґрунтується на розрахунках швидкості повітряного потоку на ежекційному вітрозабірнику, динамічного тиску вентилятора, імпульсу сили повітряного потоку на лопатки ротора, прогнозованої потужності, терміну окупності.

Для визначення швидкості повітряного потоку використовували анемометр цифровий моделі GM 816 (Китай) з точністю вимірювання швидкості повітря $\pm 5\%$.

Результати досліджень. На основі експериментальних досліджень була створена

вертикальна
ежекційна
електростанція (рис. 1) [8].

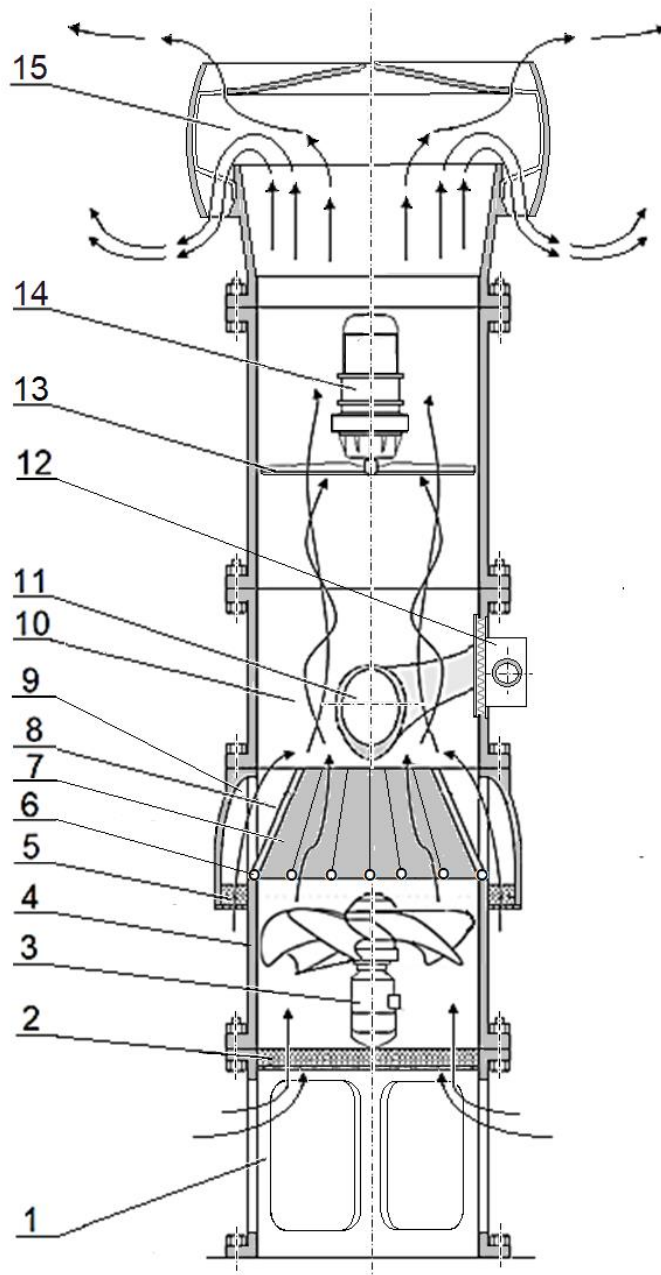


Рис. 1. Загальний вигляд вертикальної ежекційної електростанції: 1 – повітряний канал; 2. – фільтр; 3 – вентилятор; 4 – ежектор; 5 – фільтр; шарніри; 7 – елементи-пелюстки конфузора; 8 – конфузмом; 9 – повітрозбірник; 10 – змішувальна камера потоків повітря; 11 – обтічник яйцевидної (овоїдної) форми; 12 – рейковий пристрій для піднімання та лінійного переміщення обтікача; 13 – лопаті вітроелектричної установки; 14 – вітроелектрична установка; 15 – турбодефлектор

Отримані шляхом експериментальних досліджень дані, щодо кінематичної структури потоку в камері змішування ежектора, засвідчили, що при малих коефіцієнтах ежекції виникають відривні зони, які характеризуються високим рівнем дисипативних процесів, на підтримання яких витрачається певна частина кінетичної енергії потоку, що призводить до зниження коефіцієнта корисної дії вітроелектростанції. Для усунення відривних зон була застосована заміна області їх

існування твердими поверхнями-обтікачами, що вводяться до камери змішування ежектора.

З метою створення активного висхідного потоку повітря, на вході повітряного каналу встановлюється нагнітальний вентилятор, продуктивністю $W = 3.650 \text{ м}^3/\text{год}$ ($1,015 \text{ м}^3/\text{сек}$); динамічним тиском $P = 10.000 \text{ кгс/м}^2$ (1 атм) + 2,7...3,5%; електроспоживанням $N = 1,1 \text{ кВт}$.

Площу поперечного перетину ежекційних щілин, яких конструктивно приймаємо 8 елементів, вираховуємо, як:

$$\Delta Se = 0,85\pi(R^2 - r^2) \times Ke = 2,67 \times (0,41^2 - 0,38^2) \times 1,2 = 0,095 \text{ м}^2.$$

Швидкість повітряного потоку на ежекційному вітрозабірнику складе:

$$Ve = W : \Delta Se = 1,015 \text{ м}^3/\text{сек} : 0,095 \text{ м}^2 = 10,7 \text{ м/с}.$$

Площа 3-х лопаток 1 ротора, наприклад, $Sr = 0,05 \text{ м}^2$. У приводного вітрогенератора перепад тиску на лопатці невеликий, тому для збільшення сили тиску і підвищення ККД необхідно збільшувати площу лопаток або середній перепад тиску, оскільки сила тиску: $F = \Delta P \times Sr$.

з нього може потребувати декількох радіально розташованих на валу ступенів тиску.

Динамічний тиск вентилятора, з урахуванням сумарного коефіцієнта ежекції ΣKe , складе: $\Sigma P = 10.350 \text{ кгс/м}^2 \times (1,2 \times 2 \text{ секції}) = 24.840 \text{ кгс/м}^2$.

Збільшення перепаду тиску на вході в лопатковий апарат і на виході

Імпульс сили повітряного потоку на лопатки ротора складе:

$$F = \Sigma P \times \Sigma Sr = 24.840 \text{ кгс/м}^2 \times (0,05 \text{ м}^2 \times 2 \text{ ротори}) = 2.484 \text{ кгс}.$$

Пропонована конструкційна схема ежекційної вітроелектростанції, з її комплектацією двома роторами і

двома секціями щілинних повітрозабірників, забезпечать виробництво прогнозованої потужності:

$$Ne = F \text{ кгс} \times Ve \text{ м/с} \times 0,00981 \text{ кВт/(кгс} \cdot \text{м/с)} = 260,7 \text{ кВт}.$$

Річний об'єм генеруємої комерційної електроенергії, з урахуванням власних потреб

виробництва 2,7 кВт і щорічного техобслуговування

Сірко З. С., Охріменко С. М., Цапко О. Ю., Торчиловський Д. П., Стариш Є. А., Грицун В. М.

вітроелектростанції ТО - 15 днів,
складе:

$$W = (260,7 - 2,7) \text{ кВт} \times (365 - 15) \text{ дн.} \times 24 \text{ год/дн.} = 2.167.200 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Пільговий тариф на продаж
електроенергії становить:

$$FT = P \times K \times A \times VAT \times R = 2,27 \text{ грн/кВт, де}$$

$P = 0,05385 \text{ €/кВт}$ - роздрібна ціна електроенергії 2 класу напруги споживачів, станом на 2009 р, згідно Постанови НКРЕ від 23 грудня 2008 року № 1440;

$K = 0,96$ - коефіцієнт «зеленого» тарифу для об'єктів, введених в експлуатацію, згідно Закону України від 4 червня 2015 року № 514-VIII, для електроенергії, виробленої з енергії вітру вітроелектростанціями, які складаються з вітроустановок одиничною встановленою

потужністю до 600 кВт, в період 01.01.2020...31.12.2024 р.;

$A = 1,1 - 10\%$ надбавка до «зеленого» тарифу, при рівні 50 % використання обладнання українського виробництва;

$VAT = 1,2 - 20\%$ податок на додану вартість;

$R = 33,266 \text{ грн/€}$ - поточний курс НБУ гривні до Євро.

Щорічний валовий дохід від продажу електроенергії по «зеленому» тарифу державному підприємству «Енергоринок» складе:

$$NR = W \times FT = 2.167.200 \times 2,27 = 4.919.600 \text{ грн.}$$

Сума коштів, що мають бути вкладені в капітальні витрати та витрати на роботи і послуги при будівництві об'єкта, буде залежати від існуючих технологічно-конструктивних можливостей, запланованої потужності, постачальника енергогенеруючого

обладнання, місця розташування тощо. ТОВ «Віндкрафт Україна» пропонує поставку із країн ЄС бувших у використанні вітрових турбін за 30...50 % від ціни нових вітряків. Орієнтовні витрати наведені у табл. 1 та складуть:

1. Орієнтовні витрати на використанні вітрові турбіни

Науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи	240000
Передпроектні роботи	180000
Робоча документація	600000
Загальнобудівельні роботи	280000
Металоконструкції	350000
Вітрова турбіна	3400000
Електрогенератор	2000000
Допоміжне обладнання	1000000
Монтаж-пусконаладження	1000000
Витрати на запуск виробництва	690000
Введення об'єкта в експлуатацію	20000
IP:	9760000

Щорічні валові витрати експлуатаційного підприємства наведені у табл. 2 і можуть скласти:

2. Щорічні валові витрати експлуатаційного підприємства

Фонд оплати праці	795000
Адміністративно-управлінські витрати	25000
Спецодяг персонала	15000
Техобслуговування обладнання	1850000
Страховання технологічного обладнання	35000
GE:	2720000

Питома вартість ежекційної електростанції при будівництві буде становити: $CPU = IP : Ne = 9.760.000 \text{ грн} : 260.700 \text{ Вт} = 37,4 \text{ грн/Вт}$,

що дорівнюється будівництву сонячних електростанцій (33,5 грн/Вт) і значно нижче будівництва ТЕС (79,8 грн/Вт).

Термін окупності Проекту буде включати строк створення об'єкта (РС

0,5 року) і складе: $PB = IP : EBITDA + PC$;

$PB = 9.760.000 : (4.919.600 - 2.720.000) + 0,5 \text{ року} = 4,9 \text{ року}$, де

$EBITDA = 2.199.600 \text{ грн}$ – різниця між валовими доходом і витратами, до сплати податків та амортизаційних вірахувань.

Підвищенні ККД ежекційної вітроелектростанції досягається

Сірко З. С., Охріменко С. М., Цапко О. Ю., Торчиловський Д. П., Стариш Є. А., Грицун В. М.

шляхом розміщення перед конфузоров, в циліндричній змішувальній камері повітряних потоків (інжектуючого та інжектуємого), обтікача овоїдної (яйцеподібної) форми з пристроєм лінійного переміщення, в якій здійснюється передача кінетичної енергії інжектуючого потоку інжектуємому, при їх безперервному змішуванні, з подальшим збуренням повітряного потоку перепорою овоїдної форми для формування досконалого потоку повітря при розкручуванні лопатей турбіни вітроелектричної установки.

У трубах круглого перерезу з гладкою внутрішньою поверхнею, при значенні числа Рейнольдса $Re > 2300 \dots 2320$ (критичне значення), створюється стійкий турбулентний режим потоку повітря. За рахунок збурення потоку перепорою при обтіканні овоїда обертання (опуклої кривої з однією віссю симетрії), що зменшує показник критичного значення, досягається багаторазове перевищення числа Рейнольдса його критичного значення, з метою мінімізації сили в'язкого тертя потоку, що спрямована проти руху, в повітряному каналі ежекційної електростанції та забезпечення лінійної швидкості лопаток турбіни $V \geq 7$ м/с.

Характеристики газового потоку в каналі електростанції залежать від вираженого числом Рейнольдса співвідношення показників густини,

швидкості повітря, лінійного розміру аеродинамічного тунелю та реальної в'язкості, що змінюється за рахунок регульованого переміщення обтікача потоку.

Емпіричні дослідження показали можливість змінення сили в'язкого тертя та зміни швидкості потоку, за рахунок лінійного переміщення обтікача потоку вздовж осі повітряного каналу, за допомогою пристрою забезпечення механічним способом плавного руху у зворотно-поступовому напрямку. При зміні атмосферних умов змінюються і характеристики вхідного повітряного потоку. Регульованим переміщенням обтічника встановлюється оптимальна швидкість потоку в повітряному каналі електростанції, що забезпечує розрахункові характеристики ККД вітрової турбіни.

Анемометр, встановлений в повітряному каналі ежекційної електростанції для визначення швидкості повітряного потоку, з'єднаний з контролером, який передає керуючий сигнал на механізм забезпечення зворотно-поступовому руху овоїдного обтікача, для підтримки постійної швидкості повітряного потоку.

Число Рейнольдса становить:

$$R_e = \frac{\rho \cdot u \cdot d}{\eta} = \frac{u \cdot d}{\nu}, \text{ де}$$

- динамічна в'язкість $\eta = \nu \rho$;
- ν - кінематична в'язкість;
- ρ - густина газу;

Сірко З. С., Охріменко С. М., Цапко О. Ю., Торчиловський Д. П., Стариш Є. А., Грицун В. М.

- u - характеристична швидкість;

діаметр повітряного каналу $d =$

- d – визначальний діаметр

0,75 м;

повітряного каналу;

середня за перерізом повітряного

Дослідження робочого газу в

каналу швидкість $u = 10,7$ м/с;

аеродинамічному каналі проводились

критерій Рейнольдса $Re =$

при наступних константах:

531.457

температура потоку $T = 20^{\circ}\text{C}$;

Показники лінійного переміщення

кінематична в'язкість повітря

обтічника потоку дослідної установки,

$\nu = 1,51 \cdot 10^{-5}$ м²/с;

в залежності від перепаду

атмосферного тиску, наведені в табл. 3.

3. Показники лінійного переміщення обтічника

№ досліджу	Атмосферний тиск		Лінійне переміщення обтікача, мм
	МПа	мм рт ст	
1.	0,0960	720	0,00
2.	0,0973	730	1,25
3.	0,0993	745	3,75
4.	0,0999	750	6,00
5.	0,1013	760	11,50
6.	0,1027	770	18,75
7.	0,1040	780	35,35

Залежність лінійного перепаду атмосферного тиску переміщення обтічника потоку представлена на графіку (рис. 2). ежекційної вітроелектростанції від

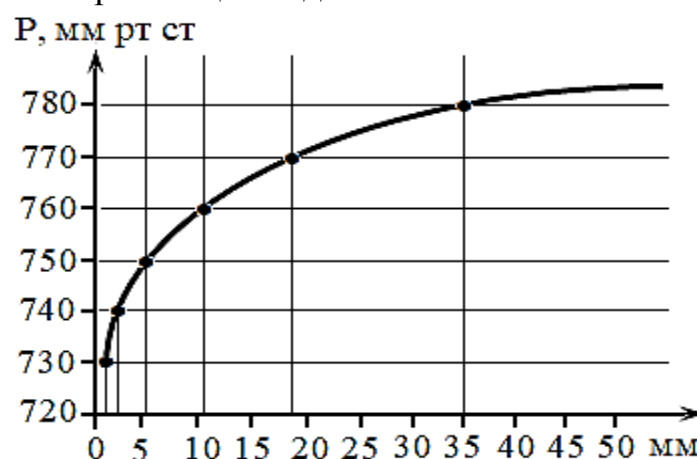


Рис. 2. Залежність лінійного переміщення обтічника ежекційної вітроелектростанції від перепаду атмосферного тиску

Із графіка, що наведений на рис. 2, випливає, що від перепаду атмосферного тиску суттєво залежить лінійне переміщення обтічника.

Висновки.

1. Проведені експериментальні дослідження дозволили отримати дані щодо кінематичної структури потоку в камері змішування ежектора.

2. Проведені розрахунки швидкості повітряного потоку на ежекційному вітрозабірнику, динамічного тиску вентилятора, імпульсу сили повітряного потоку на

лопаті ротора, прогнозованої потужності, терміну окупності.

3. Розроблена ежекційна вітрова електростанція забезпечує 100 % розрахункову потужність за рахунок створення постійного висхідного потоку повітря, енергонезалежність, охорону довкілля, безпеку експлуатації та економічність.

Список використаних джерел

1. Бурячок Т.О., Буцьо З.Ю., Варламов Г.Б., Дубовської С.В., Жовтянський В.А. Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі. Київ: «Фоліо», 2013. 250 с.

2. Книш К., Кудря С., Лівіцька А., Галабала М., Січківська О., Шморган Б., et al. Біла книга 2021. Офшорна вітроенергетика та «зелений» водень: відкриття нових меж енергетичної потужності України. Київ: «Астерс», 2021. 12 с.

3. Сиротюк С.В., Боярчук В.М., Гальчак В.П. Альтернативні джерела енергії. Енергія вітру: навчальний посібник. Київ: Магнолія, 2020. 182 с.

4. Півняк Г., Шкрабець Ф., Нойбергер Н., Циценков Д. Основи вітроенергетики: підручник. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2015. 335 с.

5. Оніпко О.Ф. Вітроенергетика та енергетична стратегія. Київ: Фенікс, 2008. 250 с.

6. Сидоров В.І. Технології гідро-та вітроенергетики. Черкаси: Вертикаль, 2016. 166 с.

7. Василюк О., Кривохижа М., Прекрасна Є., Норенко К. Київ: UNCG, 2015. 32 с.

8. Охріменко С.М., Вишняков І.Ю., Протасов О.С., Сірко З.С., Вождяєнко М.О., винахідники. Вертикальна ежекційна

електростанція. Український патент, № 147080, 2021.

Reference

1. Buryachok T.O., Butso Z.IU., Varlamov G.B., Dubovskoi S.V., Zhovtyanskii V.A. (2013). Elektroenergetyka ta okhorona navkolyshnogo sere dovyscha. Funktsionuvanya energetyky v suchasnomu sviti. Kyiv: «Folio», 250.

2. Knysh K., Kudrya S., Livitska A., Galabala M., Sichkovska O., Shmorgun B., et al. Bila knyga (2021). Ofshorna vittroenergetyka ta «zelenyi» voden: vidkryttya novykh mezh energetychnoi potuzhnosti Ukrainy. Kyiv: «Asters», 12.

3. Syrotyk S.V., Boyarchuk V.M., Galchak V.P. (2020). Alternatyvni dzhерела energii. Energiya vitru: navchalnyi posibnyk. Kyiv: Magnoliya, 182.

4. Pivnyak G., Shkrabets F., Noiberger N., Tsyplenkov D. (2015). Osnovy vitroenergetyky: pidruchnyk. Dnipropetrovsk: Natsionalnyi girnychiy universytet, 335.

5. Onipko O.F. (2008). Vitroenergetyka ta energetychna strategiya. Kyiv: Feniks, 250.

6. Sydorov V.I. (2016). Tekhnologii gidro-ta vitroenergetyky. Cherkasy: Vertykal, 166.

7. Vasyluk O., Kryvokhyzha M., Prekrasna E., Norenko K. (2015). Kyiv: UNCG, 32.

8. Okhrimenko S.M., Vyshnyakov I.Yu., Protasov O.S., Sirko Z.S., Vozhdaenko M.O., (2021). vynakhidnyky. Vertykalna ezhektsiina elektrostantsiya. Ukrainskii patent, № 147080.

EJECTION WIND POWER PLANT

Z. Sirko, S. Okhrimenko, O. Tsapko, D. Torchilevsky,
E. Starish, V. Hrytsun

Abstract. *The article covers issues related to non-traditional sources of electricity, namely wind energy. It is shown that every year wind energy is used on an increasingly large scale in order to satisfy the need of mankind for reliable and environmentally friendly sources of energy. It is noted that in many European countries a significant amount of energy was produced in wind energy, which is approximately 2 % of its global consumption. In the developed countries of Europe, wind energy already makes up a fairly significant share of all electricity. Compared to the countries of Western Europe and the Mediterranean, Ukraine is a windless region, where winds blow more stably only in the Carpathians and on the Azov coast. Despite this, a significant number of wind power plants have already been built in Ukraine. The wind speed for the operation of industrial wind power plants must be at least 3 m/s. As a result of weak wind or its temporary absence, wind turbines operate on average at 35 % of the calculated capacity. The goal of the research is to develop an ejection wind power plant that can operate at 100 % of the calculated capacity due to the creation of a constant upward flow of air. The article proposes the design of an ejection vertical wind power plant, which will ensure efficient operation and will be able to operate at 100 % of the calculated capacity. The methodology uses an analytical research method, which is based on the calculations of the main indicators of the ejection power plant. Also, the methodology provides means of determining the speed of the air flow, which ensures the efficient operation of power plants. In the work, the calculations of the speed of the air flow on the ejection wind intake, the dynamic pressure of the fan, the impulse of the force of the air flow on the rotor blade, the projected power, and the payback period were performed. The indicators of the linear movement of the fairing, which is in the design of the ejection power plant, depending on the drop in atmospheric pressure, are given. The developed ejection wind power plant will ensure electronic independence, environmental protection, operational safety and economy.*

Keywords: *ejection wind power plant, design, capacity, payback period, cost-effectiveness*