

**ЕКОЛОГІЧНА ДЕТЕРМІНОВАНІСТЬ УМІСТУ ХЛОРОФІЛУ
В ЛИСТКАХ ДЕРЕВ ПРИРОДНО ЗРОСТАЮЧИХ
НА ДЕВАСТОВАНИХ ЗЕМЛЯХ ЗАЛІЗОРУДНОГО ВІДВАЛУ**

- ¹**БЄЛИК Ю. В.**, аспірант кафедри фізіології та інтродукції рослин
ORCID: 0000-0002-2029-6051,
E-mail: belik.uliya@gmail.com
- ²**САВОСЬКО В. М.**, кандидат біологічних наук, доцент кафедри ботаніки та екології
ORCID: 0000-0002-6943-1111,
E-mail: savosko1970@gmail.com
- ¹**ЛИХОЛАТ Ю. В.**, доктор біологічних наук, професор,
завідувач кафедри фізіології та інтродукції рослин
ORCID: 0000-0003-3354-8251,
E-mail: lykholat2006@ukr.net
- ³**ХАЛЬМАЄРГ.**, доктор філософії, професор, Інститут наук про життя,
ORCID: 0000-0001-5935-0396,
E-mail: hermann.heilmeyer@ioez.tu-freiberg.de
- ⁴**ГРИГОРЮК І. П.**, доктор біологічних наук, професор, член-кореспондент НАН України, професор кафедри фізіології, біохімії рослин та біоенергетики
ORCID: 0000-0002-1706-9077,
E-mail: grigoryik@ukr.net
- ¹**Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара**
²**Криворізький державний педагогічний університет**
³**Технічний університет «Фрайберзька гірнича академія»**
⁴**Національний університет біоресурсів і природокористування України**

Анотація. Актуальність досліджень зумовлено необхідністю вивчення закономірностей самозаростання девастрованих земель залізрудного відвалу Криворіжжя як важливої передумови фітооптимізації навоколишнього природного середовища в індустріально розвинених регіонах України. Мета дослідження – з позицій екосистемного аналізу з'ясувати екологічну детермінованість вмісту хлорофілу в листках деревних видів рослин, що природно зростають на девастрованих землях відвалу. Матеріалами для виконання роботи слугували результати власних польових та лабораторних досліджень, які виконували впродовж

2018 – 2021 рр. на території Петровського залізорудного відвалу (Криворізький гірничо-металургійний регіон, Дніпропетровська обл.). Доведено, що екологічні умови девастрованих земель залізорудного відвалу обумовлюють зменшення концентрації хлорофілу (на 25-65 %) у листках дерев, що природно зростають на його теренах. Кількісні показники вмісту цього пігменту в листках дали змогу нам впорядкувати деревні види у такий ряд зменшення їхньої стійкості до екологічних умов відвалу: Береза повисла > Робінія звичайна > Клен ясенелистий. Результати кореляційних розрахунків підтвердили, що між вмістом хлорофілу в листках деревних видів рослин та екологічними характеристиками девастрованих земель Петровського залізорудного відвалу існує статистично достовірний зв'язок. Водночас тривалість формування рослинного покриву найбільш істотно впливає на кількість хлорофілу в листках дерев. За кількісними показниками зменшення сили кореляційного зв'язку види дерев упорядковані у такий спосіб: Робінія звичайна > Береза повисла > Клен ясенелистий. Отримані результати можуть бути використані для обґрунтування заходів озеленення та фітооптимізації девастрованих земель Криворіжжя та інших промислових регіонів України.

Ключові слова: девастровані землі, хлорофіл, Клен ясенелистий, Береза повисла, Робінія звичайна, залізорудний відвал, Криворіжжя.

Вступ. У житті рослин фотосинтез відіграє надважливу роль, забезпечуючи рослинний організм енергетично важливими сполуками (Bhatla, S.C., Lal, M.A. 2018; Dogutan, D.K., Nocera, D.G. 2019; Stasik, O.O., Kiriziy, D.A., Priadkina, G.O. 2021; Zhuravleva, V.V., Kazazayev, V.V. 2017). Проте сам фотосинтетичний апарат є дуже вразливим до дії окремих чинників, що набувають значної інтенсивності в умовах сучасного техногенного впливу на довкілля (Clemens, S. (ed.). 2019; Masikevich, A.Yu. 2019; Pessaraki, M. (Ed.). 2016; Willey, N. 2016). Доведено, що стан навколишнього середовища промислових регіонів викликає суттєві фізіологічні порушення в рослин, спричиняючи зменшення вмісту фотосинтезувальних пігментів (Dogutan, D.K., Nocera, D.G. 2019; Pessaraki, M. (Ed.). 2016; Stasik, O.O., Kiriziy, D.A., Priadkina, G.O. 2021). Тому, показники кількості

хлорофілу в листках деревних видів є інформативними маркерами біологічної продуктивності цих рослин, а також їхньої стійкості та пристосованості до наслідків техногенезу.

Вміст хлорофілу в листках дерев за умов техногенного впливу достатньо добро висвітлений у численних наукових публікаціях (Abakumov, A.I., Pak, S.Ya. 2018; Bukhanov, E.R., Korshunov, M.A. and other 2018; Chypylyak, T.F. 2017; Croft, H., Chen, J.M., Wang, R. and other 2020; Masikevich, A.Yu. 2019). Однак у більшості випадків досліджувалися рослини, що зростають у зелених насадженнях міст, приміських зелених зонах та санітарно-захисних насадженнях промислових підприємств (Bussotti, F., Pollastrini, M. 2017; Dwivedi, P.R., Singh, A.O., Singh, V.C. 2020; Ivanishchev, V.V. 2021; Sepúlveda, P., Johnstone, D.M. 2019).

У той час як, фотосинтезувальний комплекс деревних видів, що природно зростають на дегазованих землях (відвалах, кар'єрах, промислових майданчиках, шламосховищах та ін.), фактично залишилися поза увагою дослідників. Водночас варто зазначити, що площі таких земель постійно збільшуються та сягають значень, які вражають: у Світі приблизно 1,5 млн га, в Україні – 500 тис. га, у Дніпропетровській області – 60 тис. га, в утому числі в Криворізькому гірничо-металургійному регіоні – 30 тис. га. Також доведено, що дегазовані землі є джерелом надпотужного негативного впливу на стан довкілля промислових регіонів та умови життя людини (Kudela, A.D. 1984; Savosko, V.M., Lykholat, Y.V. and other 2019; Savosko, V.M., Lykholat, Y.V., Bielyk Y.V. 2021; Savosko, V.M., Bielyk, Y.V. and other 2021).

Ось чому так актуальні екологічно обґрунтовані та економічно ефективні заходи з упорядкування та відновлення дегазованих земель.

Перспективним напрямом оптимізації дегазованих земель є створення деревних насаджень переважно з використанням видів, що природно поширені на їхніх територіях (Ivanishchev, V.V. 2018; Ke, J. 2021; Luo, X., Croft, H. and other 2019; Mazura, M.Yu. 2020; Tulkova, E.G. 2019).

Однак, у рослин закономірно спостерігаються певні негативні явища: формується водний дефіцит, пригнічується дихання та ріст клітин та загалом гальмуються провідні фізіологічні процеси (Bessonova, V.P., Chongova, A.S., Sklyarenko, A.V. 2020; Korshykov, I. 2019; Korshykov, I., Sushynska, N.

2019; Savosko, V.M. and other 2019).

Тому добір видів дерев, пристосованих до умов дегазованих земель, залишається над актуальною науковою проблемою сьогодення (Savosko, V.M., Alekseeva, K.M. 2007; Savosko, V.M., Lykholat, Y.V. and other 2019; Savosko, V.M., Lykholat Y.V., Bielyk Y.V. 2021; Shupranova, L.V., Lykholat, Y.V. and other 2017).

Першим кроком у її розв'язанні є обґрунтування маркерів, що маніфестують екологічну пристосованість та стійкість деревних видів рослин (Savosko, V.M., Lykholat Y.V., Bielyk Y.V. 2021; Shupranova, L.V., Lykholat, Y.V., Khromikh, N.O., Grytzaj, Z.V., Alexeyeva, A.A., Bilchuk, V.S. 2017; Sokolova, G.G. 2020; Sokolova, G.G. 2020).

На нашу думку, актуальним є вивчення вмісту хлорофілу в листках деревних видів рослин, що природно зростають на дегазованих землях Петровського залізрудного відвалу. Цей відвал розташований у центральній частині Криворіжжя та є типовим за віком, способом утворення і складом порід.

На відвалі не буди виконані роботи з рекультивації, тому на його територіях спостерігаються природні процеси відновлення рослинного покриву. Саме тому територію Петровського залізрудного відвалу нами було обрано в якості модельного для різноманітних еколого-ботанічних досліджень (Bielyk, Yu.V. and other 2019; Bielyk, Y., Savosko, V. and other 2020; Savosko, V.M., Bielyk, Y.V., and other 2021).

Мета роботи – з позицій екосистемного аналізу з'ясувати екологічну детермінованість вмісту

дені роботи з посадки дерев і чагарників та/або посіву багаторічних трав. З часом на девастрованих землях цього відвалу розпочалися

природні процеси самовідновлення рослинного покриву та ініціального ґрунтоутворення.

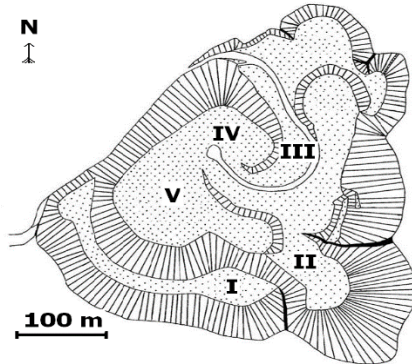


Рис. 1. План-схема Петровського заліззрудного відвалу (I, II, III, IV, V – моніторингові ділянки)

Ми встановили (Bielyk, Yu.V., Savosko, V.M., Lykholat, Y.V. 2019), що на території Петровського заліззрудного відвалу природно зростають 32 види деревних рослин і чагарників, які належать до 25 родів та 15 родин. За кількістю родів і видів провідними родинами визначено: розові (*Rosaceae* Juss.) – 9 родів і 9 видів, вербові (*Salicaceae* Mirb.) – 2 роди і 5 видів, кленові (*Aceraceae* Juss.) – 1 рід і 3 види, а також в'язові (*Ulmaceae* Mirb.) – 1 рід і 3 види. Серед дерев і чагарників цього відвалу за кількісними показниками перевагу мають алохтонні види (59,38 %) порівняно з автохтонними (40,62 %). Серед апофітних видів переважають геміапофіти, а серед з антропофітних за часом занесення – неофіти, способом інвазії – ергазіофіти, ступенем адаптації – ергазіофіти та аргіофіти.

Екологічні умови росту та розвитку деревних видів рослин на Петровському відвалі є дуже складними. Так, нами попередньо встановлено (Bielyk, Y., Savosko, V.,

Lykholat, Y. and other 2020; Savosko, V.M., Bielyk, Y.V., Lykholat, Y.V. and other 2021), що на девастрованих землях та в листках дерев спостерігається нестача біофільних елементів, насамперед Фосфору та Калію, а також надмірний вміст токсичних важких металів (Заліза, Марганцю, Цинку, Плюмбуму та Кадмію).

Уміст хлорофілу в листках дерев із контрольної території. Вміст хлорофілу в листках деревних видів рослин, що зростають у сприятливих екологічних умовах природного середовища, достатньо вивчений. Так, за даними наукових публікацій, концентрація хлорофілу в листках Клену ясенелистого коливається від 0,29 до 30,00 мг/г (Likhachev, S.V., Pimenova, E.V., Zhakova, S.N. 2019; Pessarakli, M. (Ed.). 2016; Tulkova, E.G. 2019). Нами встановлено, що вміст пігменту в листках цього виду на контрольних територіях перебуває в зазначеному діапазоні – $3,87 \pm 0,07$ мг/г.

Дослідники з'ясували, що в природних умовах вміст хлорофілу в листках Берези повислої становить 1,10-7,22 мг/г (Balandaykin, M.E. 2014; Sokolova, G.G. 2020; Tulkova, E.G. 2019; Yashin, D.F., Zaitsev, G.A. 2015). Результати власних досліджень довели, що на контрольних ділянках концентрація хлорофілу в листках цього виду має значення $3,18 \pm 0,12$ мг/г.

Природний діапазон концентрації хлорофілу в листках Робінії звичайної становить 1,73-4,50 мг/г (Balandaykin, M.E. 2014; Kalacheva, N.V., Kashulin, P.A., Zhurina, E.I. 2018; Tulkova, E.G. 2019). В умовах нашого контролю вміст пігменту в листках цього виду тотожний – $4,14 \pm 0,12$ мг/г.

Вміст хлорофілу в листках дерев із дегазованих земель. Цілком логічно, що екологічні умови дегазованих земель Петровського залізничного відвалу певним чином істотно впливають на концентрацію хлорофілу в листках деревних видів, що природно зростають на їхніх територіях (табл. 1). Аналіз отриманих результатів довів, що проти контрольних значень

статистично достовірно лише зменшення концентрацій цього пігменту. Також варто зазначити, що досліджені нами види дерев характеризуються певними особливостями адаптованості до умов дегазованих земель.

Клен ясенелистий (*Acer negundo* L.) – дерево заввишки до 25 м, часто з кривим стовбуром і розлогою широкою кроною, природно зростає в Північній Америці. Упродовж кількох останніх століть європейці досить активно використовували клен ясенелистий для озеленення. Як наслідок, станом на початок ХХІ ст. цей вид розповсюджений як натуралізована рослина майже на всій території Європи та в деяких частинах Африки й Азії. В Україні поширений у культурі з початку ХІХ століття (Likhachev, S.V., Pimenova, E.V., Zhakova, S.N. 2019; Sokolova, G.G. 2020). Клен ясенелистий характеризується середньою вибагливістю до родючості ґрунтів (мезотроф), невибагливістю до рівня зволоження ґрунтів (ксеромезофіт) та стійкістю до освітлення (геліофіт).

1. Уміст хлорофілу в листках дерев, що природно зростають на дегазованих землях Петровського залізничного відвалу, (мг/г)

Ділянка	Статистичні параметри					
	M	m	CV%	P%	tst	% до контролю
Клен ясенелистий (<i>Acer negundo</i> L.)						
Контроль	3,87	0,07	3,18	1,84	–	–
I	2,55**	0,09	6,07	3,51	11,62	65,73
II	1,45**	0,08	9,24	5,34	22,98	37,53
III	1,37**	0,02	3,10	1,79	33,19	35,46

IV	2,02**	0,09	7,69	4,44	16,22	52,08
V	1,78**	0,01	0,42	4,44	29,27	45,86
Береза повисла (<i>Betula pendula</i> Roth.)						
Контроль	3,18	0,12	6,48	3,74		
I	3,42	0,05	2,41	1,39	1,87	107,55
II	3,24	0,01	0,42	0,24	0,52	101,96
III	3,27	0,12	6,15	3,55	0,54	102,81
IV	3,33	0,04	2,08	1,20	1,16	104,57
V	2,48**	0,05	3,76	2,17	5,35	78,02
Робінія звичайна (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.)						
Контроль	4,14	0,12	4,91	2,84	–	–
I	–	–	–	–	–	–
II	4,14	0,07	3,12	1,80	0,04	99,85
III	3,12**	0,12	6,46	3,73	6,20	75,27
IV	–	–	–	–	–	–
V	2,02**	0,05	4,63	2,67	16,44	48,70

Примітки: М – середнє арифметичне, m – абсолютна похибка, CV% – коефіцієнт варіації, Р% – статистична значущість, t_{st} – критерій Стюдента, ** – різниця з контролем достовірна

За результатами наших досліджень, вміст хлорофілу в листках Клену ясенелистого на всіх ділянках Петровського залізорудного відвалу статистично достовірно менше контрольних показників (табл. 1). Мінімальні значення вмісту хлорофілу були виявлені на ділянках II та III, відповідно $1,45 \pm 0,08$ та $1,37 \pm 0,02$ мг/г. Такі результати статистично достовірно на 65-68 % менші за контрольні показники ($P < 0,05$). Максимальні значення вмісту хлорофілу були встановлені на ділянках IV та I, відповідно, $2,02 \pm 0,09$ та $2,55 \pm 0,09$ мг/г, що на 34-48 % менше за контроль ($P < 0,05$).

Береза повисла (*Betula pendula* Roth.) дерево заввишки до 25 м з ажурною кроною, повислими гілками. Природно поширена майже у всій Європі та на території західного Сибіру й Алтаю. Цей вид невибагливий до родючості ґрунтів (оліготроф), середньо вибагливий до вологості ґрунту (мезофіт) та надає перевагу освітленим ділянкам (геліофіт) (Balandaykin, M.E. 2014; Sokolova, G.G. 2020; Willey, N. 2016). В умовах Криворіжжя Береза повисла виявилася стійкою до низьких температур, порівняно стійкою до посухи та стійкою до пилогозових забруднювачів повітря.

Аналіз отриманих результатів показав, що вміст хлорофілу в листках цього виду на дослідних ділянках I, II, III та IV перебуває на рівні контрольних значень. Лише на ділянці V вміст хлорофілу статистично достовірно на 22 % менше за контрольні показники ($P < 0,05$).

Робінія звичайна (*Robinia pseudoacacia* L.) – дерево заввишки до 30 м із прямим стовбуром, крона розлога, ажурна, часто неправильної форми. Цей вид природно поширений у Північній Америці та широко культивується в Європі, Азії, Африці й в Україні. Робінія звичайна мало вибаглива до родючості ґрунтів (оліготроф), є типовим ксеромезофітом та перевагу надає освітленим ділянкам (геліофіт) (Baladaykin, 2014; Kalacheva, N.V. et all. 2018; Tulkova, E.G. 2019). В умовах Криворіжжя цей вид виявився стійким до низьких температур, посухи та пило-газових забруднювачів повітря. Встановлено, що на моніторингових ділянках III та V були виявлені найменші концентрації хлорофілу в листках Робінії звичайної, відповідно $3,12 \pm 0,12$ та $2,02 \pm 0,05$ мг/г. Такі значення є статистично достовірно на 24-51 % меншими за контроль ($P < 0,05$).

Загалом, екологічні умови дегазованих земель Петровського залізничного відвалу зумовлюють зменшення вмісту хлорофілу в листках деревних рослин. Види дерев за кількісними показниками зменшення концентрацій хлорофілу можуть бути упорядковані наступним чином: Береза повисла > Робінія звичайна > Клен ясенелистий. Моніторингові ділянки відвалу за кількісними показниками зменшення концентрацій хлоро-

філу також можуть бути упорядковані у такий спосіб $V < III < II < IV < I$.

Екологічна детермінованість вмісту хлорофілу в листках дерев. Різноманітність та контрастність екологічних умов моніторингових ділянок Петровського залізничного відвалу дало можливість нам їх упорядкувати в певні екосерії за вектором впливу певного екологічного чинника.

Тривалість розвитку рослинного покриву на дегазованих землях є важливим чинником формування більш сприятливих умов для росту та розвитку деревних видів рослин. На залізничному відвалі час завершення відсіпки гірських порід (початок самовідновлення рослинного та ґрунтового покриву) чітко визначається за місцерозташуванням ділянки. Так, на першій та другій бермі розташовані дослідні ділянки I та II, де були насамперед завершені роботи з відсіпки гірських порід. Ділянки IV та III також перебувають на другій бермі відвалу. Проте вони розташовані ближче до дороги, по якій відбувався рух автотранспорту задля відсіпки відвалу. Розміщення ділянки V на плато відвалу свідчить про те, що ця територія була відсіпана гірськими породами в останню чергу. Отже, за показником тривалості відновлення рослинного покриву моніторингові ділянки впорядковуються в таку екосерію: $I > II > III > IV > V$.

В умовах посушливого степового клімату Криворізького регіону наявність додаткових джерел зволоження є надважливим екологічним чинником успішного росту та розвитку деревних видів рослин. На теренах Петровського залізничного відвалу додаткові джерела

зволоження можливі лише внаслідок перерозподілу атмосферного повітря, що визначається мікрорельєфом.

Ділянки I та II розташовані поруч з потужними (за довжиною) схилами. Регулярний стік дощової води позитивним чином впливає рівні зволоження територій цих ділянок. Розташування ділянки V на плато відвалу унеможливорює наявність додаткових джерел зволоження. Території ділянок IV та III мають невеликий ухил, що зумовлює певні втрати дощової вологи. Отже, за показником наявності додаткового зволоження внаслідок перерозподілу атмосферних опадів моніторингові ділянки упорядковуються у таку екосерію: $I > II > V > IV > III$.

Орографічні особливості території Петровського відвалу зумовлюють певний вплив на інтенсивність сонячної радіації. Так, ділянка V, яка розташована на палато відвалу, закономірно характеризується максимальними рівнями цього екологічного чинника. Дислокація ділянки I на південній частині відвалу поруч зі схилом південної експозиції також зумовлює достатньо інтенсивну сонячну радіацію. Розміщення ділянки II на східній

частині відвалу поруч зі схилом східної експозиції детермінують середні значення сонячної радіації. Розташування ділянок IV та III на північній та північно-східній околиці відвалу також закономірно характеризується мінімальними рівнями цього екологічного чинника. За показником інтенсивності сонячної радіації ділянки упорядковуються у таку екосерію: $V > I > II > III > IV$.

Загалом, використовуючи зазначені вище закономірності розташування моніторингових ділянок у межах девастрованих земель Петровського залізорудного відвалу та значення вмісту хлорофілу в листках деревних видів рослин нами була розроблена кореляційна матриця, яка ґрунтується на числових значеннях коефіцієнтів рангової кореляції Спірмена.

Результати кореляційних розрахунків підтвердили, що між вмістом хлорофілу в листках деревних видів рослин та екологічними характеристиками девастрованих земель Петровського залізорудного відвалу існує достовірний зв'язок (табл. 2). Водночас статистично значущими виявилися 9 коефіцієнтів рангової кореляції Спірмена (за можливих 9).

2. Кореляційна матриця залежності вмісту хлорофілу в листках дерев від екологічних характеристик девастрованих земель Петровського залізорудного відвалу

Уміст хлорофілу в листках деревних видів рослин	Екологічні характеристики девастрованих земель Петровського залізорудного відвалу		
	Тривалість формування рослинного покриву	Додаткове зволоження за рахунок перерозподілу атмосферних опадів	Інтенсивність сонячної радіації
Клен ясенелистий	0,867*	0,933**	0,700*

Береза повисла	0,933**	0,867**	0,767*
Робінія звичайна	0,875*	0,842*	0,975**

Примітки: «*» – коефіцієнти рангової кореляції Спірмена достовірні на рівні значущості $P < 0,05$; «**» – $P < 0,01$.

У всіх випадках наявний прямий зв'язок ($r_2 > 0$), тобто в разі зростання показників екологічних характеристик дегазованих земель відбувається збільшення числових значень вмісту хлорофілу в листках деревних видів рослин. Водночас, не був виявлений зворотній кореляційний зв'язок ($r_2 < 0$). На підставі оцінки сили кореляційного зв'язку між вмістом хлорофілу в листках деревних видів рослин та екологічними характеристиками дегазованих земель встановлено такі статистичні закономірності. У шести випадках прослідковувався сильний зв'язок ($0,7 < |r_2| < 0,9$), а в трьох – дуже сильний кореляційний зв'язок ($|r_2| > 0,9$).

Загалом, серед екологічних характеристик дегазованих земель відвалу на вміст хлорофілу в листках деревних видів рослин найбільш істотно впливає тривалість формування рослинного покриву. Для цієї екологічної характеристики виявлена максимальна кількість достовірних коефіцієнтів кореляції з найбільшою силою зв'язку. Серед видів деревних рослин найбільш залежними від екологічних характеристик дегазованих земель виявилася робінія звичайна.

Висновки і перспективи.

Екологічні умови дегазованих земель Петровського залізничного відвалу зумовлюють зменшення концентрації хлорофілу (на 25-65 %) у листках дерев, що природно зростають на його теренах.

Кількісні показники вмісту цього пігменту в листках дали можливість нам впорядкувати деревні види в такий ряд зменшення стійкості до екологічних умов відвалу: Береза повисла > Робінія звичайна > Клен ясенелистий.

Результати кореляційних розрахунків підтвердили, що між вмістом хлорофілу в листках деревних видів рослин та екологічними характеристиками дегазованих земель Петровського залізничного відвалу існує статистично достовірний зв'язок. Водночас тривалість формування рослинного покриву найбільш істотно впливає на кількість хлорофілу в листках деревних видів рослин. Види дерев за кількісними показниками зменшення сили кореляційного зв'язку можуть бути упорядковані в такий спосіб: Робінія звичайна > Береза повисла > Клен ясенелистий.

Отримані результати можуть бути використані для обґрунтування заходів озеленення та фітооптимізації дегазованих земель Криворіжжя та інших промислових регіонів України. У подальших дослідженнях доцільно продовжити комплексні еколого-ботанічні спостереження за формуванням спонтанних деревно-чагарникових на дегазованих землях.

References

1. Abakumov, A.I., Pak, S.Ya. (2018). Model study of photoadaptation and photoinhibition processes in photosynthesis. *Informatika i sistemi upravleniya*, 1 (55), 29-41. DOI:

- 10.22250/isu.2018.55.28-41. (in Russian).
- 2.Balandaykin, M.E. (2014). Dynamics and distinctions in concentration of the basic photosynthetic pigments of leaves of the birch growing in impure conditions. *Chemistry of plant raw material*, 1 (1), 159-164. DOI: 10.14258/jcprm.1401159. (in Russian).
- 3.Balandaykin, M.E. (2014). Dynamics and distinctions in concentration of the basic photosynthetic pigments of leaves of the birch growing in impure conditions. *Chemistry of plant raw material*, 1 (1), 159-164. DOI 10.14258/jcprm.1401159. (in Russian).
- 4.Bessonova, V.P. (2006). Workshop on plant physiology. Dnipropetrovsk, Dnipro State Agrarian and Economic University. (in Ukrainian).
- 5.Bessonova, V.P., Chongova, A.S., Sklyarenko, A.V. (2020). Influence of multicomponent contamination on the content of photosynthetic pigments in the leaves of woody plants commonly planted for greening of cities. *Biosystems Diversity*, 28 (2), 203-208. DOI: 10.15421/012026.
- 6.Bhatla, S.C., Lal, M.A. (2018). *Plant physiology, development and metabolism*. Singapore, Springer. DOI: 10.1007/978-981-13-2023-1.
- 7.Bielyk, Yu.V., Savosko, V.M., Lykholat, Y.V. (2019). Taxonomic composition and synanthropic characteristic of woody plant community on Petrovsky waste rock dumps (Kryvorizhzhya). *Ecological Bulletin of Kryvyi Rih District*, 4, 104-113. DOI: doi.org/10.31812/eco-bulletin-krd.v4i0.2565. (in Ukraine)
- 8.Bielyk, Y., Savosko, V., Lykholat, Y., Heilmeier, H., Grygoryuk, I. (2020). Macronutrients and heavy metals contents in the leaves of trees from the devastated lands at Kryvyi Rih District (Central Ukraine). *E3S Web of Conferences*, 166, 01011. DOI:doi.org/10.1051/e3sconf/202016601011.
- 9.Bukhanov, E.R., Korshunov, M.A., Shabanov, A.V. (2018). Optical processes in photosynthesis. *Siberian Journal of Forest Science*, 5, 19-32. DOI: 10.15372/SJFS20180502. (in Russian)
- 10.Bussotti, F., Pollastrini, M. (2017). Traditional and novel indicators of climate change impacts on European forest trees. *Forests*, 8, 137. DOI: 10.3390/f8040137.
- 11.Chypylyak, T.F. (2017). Content of pigments in leaves of species of the genus *Hemerocallis* L. for introduction in the steppe zone of Ukraine. *Plant Physiology and Genetics*, 49 (2), 142-151. DOI: https://doi.org/10.15407/frg2017.02.142. (in Ukraine)
- 12.Clemens, S. (ed.). (2019). *Plant physiology and function*. New York, Springer. DOI: doi.org/10.1007/978-1-4614-7611-5.
- 13.Croft, H., Chen, J.M., Wang, R., Mo, G., Luo, S., Luo, X., He, L., Gonsamo, A., Arabian, J., Zhang, Y., Simic-Milas, A., Noland, T.L., He, Y., Homolová, L., Malenovský, Z., Yi, Q., Beringer, J., Amiri, R., Hutley, L., Arellano, P. (2020). The global distribution of leaf chlorophyll content. *Remote Sensing of Environment*, 236, 111479. DOI: doi.org/10.1016/j.rse.2019.111479.
- 14.Dogutan, D.K., Nocera, D.G. (2019). Artificial photosynthesis at efficiencies greatly exceeding that of natural photosynthesis. *Accounts of Chemical Research*, 52, 11, 3143-3148. DOI: doi.org/10.1021/acs.accounts.9b00380.
- 15.Dwivedi, P.R., Singh, A.O., Singh, V.C. (2020). Effects of air pollution on chlorophyll content and

ascorbic acid concentration and defence mechanism of different plant samples. *Chemical science review and letters*, 9 (34), 403-409. DOI:10.37273/chesci.CS205101124.

16.Ivanishchev, V.V. (2018). Problematic questions in biochemistry of photosynthesis. *The Bulletin of Kharkiv national agrarian university. Series Biology*, 1 (43), 76-92. DOI: doi.org/10.35550/vbio2018.01.076. (in Russian)

17.Ivanishchev, V.V. (2021). Problematic questions in biochemistry of photosynthesis. *The Bulletin of Kharkiv national agrarian university. Series Biology*, (43), 76-92. DOI: doi.org/10.35550/vbio2018.01.076. (in Ukraine).

18.Kalacheva, N.V., Kashulin, P.A., Zhurina, E.I. (2018). Photosynthetic synchronicity and resistance of the boreal plants. *Herald of the Kola Science Centre of the RAS*, 1 (10), 107-117. DOI: 10.25702/KSC.2307-5228-2018-10-1-107-117. (in Russian).

19.Ke, J. (2021). Artificial photosynthesis and solar fuels. *Solar-to-Chemical Conversion*, 7-39. DOI: doi.org/10.1002/9783527825073.ch 2.

20.Korshykov, I. (2019). Viability of common yew (*Taxus baccata* L.) plants in conditions of Kryvyi Rih. *Plant Introduction*, 81, 58-67. DOI: doi.org/10.5281/zenodo.2650461. (in Ukraine).

21.Korshykov, I., Sushynska, N. (2019). Seasonal dynamics of content of photosynthetic pigments in variegated-leaf forms of *Berberis thunberg* DC. *Scientific Issue Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series Biology*, 3 (77), 59-64. DOI: 10.25128/2078-2357.19.3.8. (in Ukraine).

22.Kudela, A.D. (1984). Complex

use of mineral resources of iron-ore mining combines of the USSR. Kyiv, Naukova Dumka. (in Russian).

23.Likhachev, S.V., Pimenova, E.V., Zhakova, S.N. (2019). Fluoride contamination indication in environmental monitoring of the territory of Perm City using *Acer negundo* L. *University proceedings. Volga region. Natural sciences*, 3 (27), 110-118. DOI: 10.21685/2307-9150-2019-3-11. (in Russian).

24.Luo, X., Croft, H., Chen, J.M., He, L., Keenan, T.F. (2019). Improved estimates of global terrestrial photosynthesis using information on leaf chlorophyll content. *Global change biology*, 25 (7), 2499-2514. DOI: doi.org/10.1111/gcb.14624.

25.McDonald, J.H. (2014). *Handbook of biological statistics, 3rd ed.* Baltimore, Sparky house publishing.

26.Masikevich, A.Yu. (2019). Photosynthetic indicators of the atmospheric air pollution status of the Pokutsko-Bukovinian Carpathians. *Scientific Bulletin of UNFU*, 29 (9), 87-91. DOI: doi.org/10.36930/40290915. (in Ukraine).

27.Mazura, M.Yu. (2020). Content of chlorophylls in the leaves of plants of the genus of *Canna* in conditions of Kryvyi Rih. *Biological systems: theory and innovation*, 11 (3), 34-42. DOI: doi.org/10.31548/biologiya2020.03.004. (in Ukraine).

28.Pessarakli, M. (Ed.). (2016). *Handbook of photosynthesis* (3rd ed.). Boca Raton, CRC Press. DOI: doi.org/10.1201/9781315372136.

29.Prysedsky, Yu. (Ed.). (2016). *Photosynthesis. Methodical manual for laboratory execution work and independent work*. Vinnytsia, Donetsk National University. (in Ukraine).

30.Savosko, V.M., Alekseeva, K.M. (2007). The systematical analyses of the natural dendroflora in

Govtneviy region at Kryvyi Rih. *Problems of Bioindication and Ecology*, 12 (2), 16-23. (in Russian).

31.Savosko, V.M., Lykholat, Y.V., Bielyk, Yu.V., Lykholat, T.Y. (2019). Ecological and geological determination of the initial pedogenesis on devastated lands in the Kryvyi Rih Iron Mining & Metallurgical District (Ukraine). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 28 (4), 738-746. DOI: doi.org/10.15421/111969.

32.Savosko, V.M., Lykholat, Y.V., Bielyk, Yu.V., Grygoryuk, I.P. (2019). Apophyte and adventives woody species in granite quarry devastated land at Kryvyi Rih District. *Biological Resources and Nature Management*, 11 (1-2), 14-25. DOI: doi.org/10.31548/bio2019.01.002. (in Ukrainian).

33.Savosko, V.M., Lykholat Y.V., Bielyk Y.V. (2021). Foresting of technogenic devastated lands as an effective factor for environmental safety at he mining & metallurgical district. In *Effects of pollution and climate change on the ecosystem components* (Ed. Y.V. Lykholat, pp. 6-39). Praha, Oktan Print. DOI: 10.46489/EOPACC-1204211.

34.Savosko, V.M., Bielyk, Y.V., Lykholat, Y.V., Heilmeier, H., Grygoryuk, I.P., Khromykh, N.O., Lykholat, T.Yu. (2021). The total content of macronutrients and heavy metals in the soil on devastated lands at Kryvyi Rih Iron Mining & Metallurgical District (Ukraine). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 3 (31), 153-164. DOI: doi.org/10.15421/112114.

35.Sepúlveda, P., Johnstone, D.M. (2019). A novel way of assessing plant vitality in urban trees. *Forests*, 10 (2). DOI: 10.3390/f10010002.

36.Shupranova, L.V., Lykholat, Y.V., Khromikh, N.O., Grytzaj, Z.V.,

Alexeyeva, A.A., Bilchuk, V.S. (2017). Reaction of photosynthetic apparatus of a representative of extrazonal steppe plants *Quercus robur* to air pollution by motor vehicle emissions. *Biosystems Diversity*, 25 (4), 268-273. DOI: 10.15421/011741.

37.Sokolova, G.G. (2020). Impact of technogenic pollution on the pigment composition of birch leaves (*Betula pendula* Roth.) in the urban conditions of Barnaul. *Problems of botany of Sout Siberia and Mongolia*, 19 (1), 223-228. DOI: 10.14258/pbssm.2020044. (in Russian).

38.Sokolova, G.G. (2020). The dynamics of pigments content in the leaves of *Acer negundo* L. in urban conditions of Barnaul. *Problems of botany of Sout Siberia and Mongolia*, 19 (1), 229-235. DOI: 10.14258/pbssm.2020045. (in Russian).

39.Stasik, O.O., Kiriziy, D.A., Priadkina, G.O. (2021). Photosynthesis and productivity: main scientific achievements and innovative developments. *Plant physiology and genetics*, 53 (2), 160-184. DOI: doi.org/10.15407/frg2021.02.160. (in Ukraine).

40.Sushznaska, N.I., Korshzkov, I.I. (2019). The content of photosynthetic pigments in leaves of *Berberis thunbergii* forms in the Kherson region. *Chornomorski botanical journal*, 5 (4), 362-370. DOI: 10.32999/ksu1990-553X/2019-15-4-5. (in Ukraine).

41.Tulkova, E.G. (2019). Volatile organic compounds inhibiting effect on the photosynthetic pigments content in woody plants seedlings leaves. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*, 4, 36-44. DOI: doi.org/10.29235/1029-8940-2020-65-3-342-351 (in Russian).

42. Willey, N. (2016). *Environmental plant physiology*. New York, Garland Science. DOI: doi.org/10.1201/9781317206231.

43. Yashin, D.F., Zaitsev, G.A. (2015). The maintenance of photosynthesis pigments in leaves of european white birch (*Betula pendula* Roth.) and english oak (*Quercus robur* L.) in the conditional of Ufa industrial center. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy*

of Sciences, 17 (6), 274-277. (in Russian).

44. Zhuravleva, V.V., Kazazayev, V.V. (2017). On the modeling of plant photosynthesis in the context of global climate Change. *Izvestiya of Altai State University*, 4 (96), 104-106. DOI: [https://doi.org/10.14258/lizvasu\(2017\)4-18](https://doi.org/10.14258/lizvasu(2017)4-18). (in Russian)

Yu.V. Bielyk, V.M. Savosko, Yu.V. Lykholat, H. Heilmeier, I.P. Grygoryuk (2021) ECOLOGICAL DETERMINATION OF CHLOROPHYLL CONTENT IN THE LEAVES OF TREES NATURALLY GROWING ON DEVASTATED LANDS AT IRON ORE WASTE ROCK DUMPS. BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 12(4):5-18.
<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/editor/submission/15988>.
<https://doi.org/10.31548/biologiya2021.04.001>

Abstract. The content of chlorophyll in leaves of tree species naturally growing on devastated lands was studied- Ash-leaved maple (*Acer negundo* L.), Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) and Silver Birch (*Betula pendula* Roth.) were investigated. The analysis of the obtained results showed that in trees naturally growing on devastated lands at Petrovsky iron ore waste rock dumps the content of chlorophyll in leaves was less than in the control plot: by 35-65% in Ash-leaved maple, by 25-52% in Black locust- This results indicates difficult ecological conditions of these devastated lands. The content of chlorophyll in the leaves of Silver Birch, only on the plot V is statistically significantly lower than the control values. It is shown that concentration of chlorophyll decreases non-linearly with the increase in the level of pollution in comparison with control values. The results obtained can be used in future to develop a method for reclamation and restoration of devastated lands, using the example of Petrovsky waste rock dump.

Key words: chlorophyll, devastated lands, Ash-leaved maple, Silver Birch, Black locust, Kryvyi Rih District, waste rock dump.

СТЕРИЛЬНА КУЛЬТУРА РИЖІЮ СІЙНОГО (CAMELINA SATIVA (L.) CRANTZ) СОРТУ «КЛОНДАЙК»: ОСОБЛИВОСТІ ОТРИМАННЯ ТА МУЛЬТИПЛІКАЦІЇ IN VITRO

¹Іванніков Р., д.б.н., провідний науковий співробітник,

ORCID [0000-0001-5917-2980](https://orcid.org/0000-0001-5917-2980),

E-mail: namor.iv22@gmail.com

²Аніщенко В., к.х.н., науковий співробітник,

ORCID [0000-0001-5076-3549](https://orcid.org/0000-0001-5076-3549)

²Лагута І., к.х.н., завідувач лабораторії,

ORCID [0000-0001-5654-7185](https://orcid.org/0000-0001-5654-7185)

E-mail: icvmtt34@gmail.com

³Кузема П., к.х.н., ст. н. співробітник,

ORCID [0000-0003-4028-4784](https://orcid.org/0000-0003-4028-4784),

E-mail: coralchance@gmail.com

³Смирнова Н., к.х.н., завідувач лабораторії,

ORCID [0000-0002-6782-7761](https://orcid.org/0000-0002-6782-7761),

E-mail: smirnatali@gmail.com

³Ставинская О., к.х.н., ст. н. співробітник,

ORCID [0000-0001-9715-5292](https://orcid.org/0000-0001-9715-5292),

E-mail: okstavinskaya@yahoo.com

³Ліннік О., д.х.н., ст. н. співробітник,

ORCID [0000-0003-0499-8157](https://orcid.org/0000-0003-0499-8157),

E-mail: oksana.linnik@isc.gov.ua

⁴Крамар А., магістр I р. н., хімічного факультету,

ORCID [0000-0001-5076-3549](https://orcid.org/0000-0001-5076-3549),

E-mail: nkramar45@gmail.com

¹Національний ботанічний сад ім. М.М. Гришка НАН України

²Інститут фізико-органічної хімії та вуглехімії ім. Л.М.

Литвиненка НАН України

³Інститут хімії поверхні ім. О.О. Чуйка НАН України

⁴Київський національний університет ім. Т. Шевченка

Анотація. Переважна частина енергетичних потреб людства задовольняється викопним паливом. У найближчій перспективі, використання невідновлюваних видів ресурсів не зможе сприяти стійкому розвитку світової економіки через виснаження їхніх запасів, зростанню цін на нафту та значну шкоду довкіллю. Зазначені екологічні та економічні ризики є підґрунтям для розвитку відновлюваної біоенергетики. Олійні

культури розглядають як перспективне джерело для виробництва біопалива. Одним із напрямків робіт у колі окресленої проблематики є відбір, селекція та розробка біотехнологій перспективних олійних культур, зокрема, і рижію сійного *Camelina sativa* (L.) Crantz.

У тексті статті висвітлено методичні питання щодо отримання стерильної культури сорту рижію сійного української селекції «Клондайк» та розробці процедур її подальшої мультиплікації *in vitro*. При опрацюванні завдань дослідження використовували класичні морфологічні та біотехнологічні методи отримання та ведення стерильних рослинних культур.

Асептичну культуру рижію отримано із зиготичних зародків насіння. Ми оптимізували процедуру стерилізації рослинного матеріалу та вперше показали позитивний вплив на хід знезараження стериліантів типу Thimerosal (0,01 %, Merck, експозиція 15-20 хв) та біглюконат хлоргексидину (0,05 %, експозиція 30-35 хв).

Встановлено, що для дослідного сорту рижію на початкових етапах введення та надалі у разі клонального мікророзмноження, оптимальним прописом базового середовища є Мурасіге-Скуга (МС). Найкращі показники приросту біомаси нами були зафіксовані на середовищі МС із вмістом цукрози в межах 20 г/л.

Отже, нами була опрацьована процедура знезараження та отримана стерильна культура рижію, підібрані середовища для введення та подальшої мультиплікації для нарощування рослинної біомаси *in vitro*.

Результати отримані в ході робіт є складовою комплексного дослідження й будуть використані при розробці еколого-інноваційних підходів ефективного використання відновлюваних рослинних ресурсів шляхом фотокаталітичної конверсії біомаси.

Ключові слова: рижій сійний, *Camelina sativa* (L.) Crantz, *in vitro*

Вступ. Одним із перспективних напрямків досліджень у межах нової ініціативи Європейського Союзу «Європейський зелений курс», що сприяють збереженню стану довкілля та підвищенню біобезпеки людини, є пошук відновлюваної рослинної сировини, яку можна використовувати для одержання біоактивних речовин і для виробництва біологічного пального, зокрема, біодизелю. Особливу цінність мають рослини та біовідходи (біомаса), які містять поліфенольні сполуки, що володіють антиоксидантними відновлювальними властивостями, і можуть застосовуватися, наприклад, в енергетиці (як стабілізатори біодизелю для запо-

бігання його деградації за зберігання), у медицині (як фармакологічні агенти з антиоксидантними та антимікробними властивостями), у «зеленому» синтезі наночастинок металів (як відновники), у харчовій промисловості (як добавки до полімерів для одержання активних полімерних пакувальних плівок). Біологічно активні речовини можуть бути вилучені внаслідок екстракції, піролізу, а також за допомогою фотокаталітичних процесів. Фотокаталітична конверсія біомаси є перспективним напрямом «зелених технологій», одним з інноваційних методів переробки відходів завдяки перебігу каталітичних перетворень за нормального

тиску й температури із застосуванням УФ та / або видимого світла, джерелом якого є сонячне випромінювання (Granone et al., 2018; [Xiaoqing](#) et al., 2019). У результаті фотокаталітичної конверсії речовин можуть бути отримані біометанол, біоводень, антиоксиданти й цінні хімічні сполуки. Титанати заліза, які є складовими природних мінералів і не загрожують довкіллю, видаються найбільш придатними каталізаторами для фотокаталітичної конверсії біомаси та її похідних. Плівкова форма таких каталізаторів зумовить їхнє багаторазове використання та легке вилучення з рідкої фази.

Стабільність біодизелю до окиснення – важливе технологічне питання. Підвищити стійкість біодизелю до окислювальної деградації можна через додавання антиоксидантів ([Varatharajan](#) et al., 2018). У виробництві біодизелю не існує єдиного інгібітора, який підходить для всіх видів біопалива, тому розширення асортименту антиоксидантів та пошук ефективних природних відновників є одним з основних сучасних напрямів досліджень. Джерелом природних антиоксидантів можуть бути рослини, багаті на антиоксиданти, рослинні відходи виробництва біодизелю, продукти фотокаталітичної конверсії біомаси, а також стерильні рослинні культури. Метод асептичної культури клітин і тканин рослин дає можливість діставати високоякісну стандартизовану сировину в необхідній кількості, що є також актуальним у зв'язку з глобальними змінами клімату та їхнім впливом на сталість рослинної сировини під час її виробництві *in situ*.

Рижій сійний (*Camelina sativa* (L.) Crantz) – рослина класу Dicotyledoneae, родини

Brassicaceae – давня сільськогосподарська культура, яка традиційно використовувалась у різних сільськогосподарських районах землеробства. Завдяки біологічній пластичності, унікальному біохімічному складу рослинної сировини й низки корисних властивостей, рижій привертає до себе увагу селекціонерів. Рижій розглядають як потенційну альтернативу деяким олійним культурам (Мельничук, 2012). Вміст олії в його насінні становить приблизно 38-43 %, а переважна частина жирних кислот (> 90 %) представлена ненасиченими кислотами, включаючи значну кількість С 20:0 ейкозадієнової кислоти, яка відносно не часто міститься в рослинних оліях, а також ліноленову (36,2-39,4 %), олеїнову (12,8-14,7 %), лінолеву (16,3-17,2 %) й ейкозенову (14-15,5 %) кислоти (Gugel et al., 2006). Між тим, чим північніше посіви рижію, тим більшим ступенем ненасиченості характеризуються кислоти, що входять до складу олії (Шевченко та ін., 2017). У зв'язку з цим, рижій є дуже перспективною культурою для отримання біодизелю (Pilgeram et al., 2007; Мельничук, 2012).

Сьогодні з цією культурою активно ведуться селекційні дослідження та створюються нові сорти. Центрами селекційної роботи з рижієм в Україні є Національний ботанічний сад імені М. М. Гришка НАН України та Інститут олійних культур НААН України. Активні розробки щодо всебічного вивчення корисного потенціалу рижію посівного ведуться в Інституті харчової біотехнології і геноміки НАН України (Yemets et al., 2013; Бойчук, 2019). Ведуться роботи з одержання міжродових гібридів за участі *C. sativa* внаслідок злиття протопластів (Narasimhulu et al., 1994),

розробляються процедури та вдосконалюються протоколи ведення асептичної культури різних сортів ріжю (Tattersall, 1998; Zandacka-Dziubak, 2000; Бойчук та ін., 2011, 2012, 2013), вивчається можливість використання різних продуктів переробки рослинної сировини ріжю у фармації, косметології, харчовій промисловості (Gugel et al., 2006; Pilgeram et al., 2007; Kumar et al., 2017; Karamač et al., 2020; Pathak et al., 2020).

C. sativa – рослина, цінність якої полягає не тільки в олійних властивостях її насіння та високому потенціалі для одержання біопалива. Окрім цього, для представників цього виду є характерний широкий пул вторинних метаболітів, які потенційно можуть бути використані як біоактивні речовини для зменшення темпів природного окислення біопалива.

Відповідно до цього, стратегічною метою наших досліджень було одержання стерильної культури *C. sativa* для подальшого вивчення антиоксидантного пулу вторинних метаболітів за умов стерильної культури.

Згідно з зазначеним перед нами стояли такі завдання:

- визначитися з типом первинного експланту та найбільш сприятливими термінами для введення в стерильну культуру *C. sativa*;
- відпрацювати процедуру стерилізації інтактного матеріалу – підібрати перелік стериліантів, їхню експозицію та умови знезараження;
- підібрати живильні середовища для початкових і подальших етапів культивування стерильного рослинного матеріалу *C. sativa* та нарощування біомаси.

- в стерильній культурі виділити окремі генотипи, наростити їхню біомасу для подальшого порівняльного їхнього скринінгу на предмет якісного / кількісного вмісту БАС з антиоксидантними / відновлювальними властивостями.

Матеріали та методи дослідження.

Як джерело рослинного матеріалу було обрано ярий сорт ріжю сійного (*Camelina sativa* (L.) Crantz) «Клондайк» селекції Інституту олійних культур НААН України. Висота рослин цього генотипу – 56-58 см. Стебло округле, завтовшки 2-3 мм із 4-5 гілками першого порядку. Суцвіття – завдовжки 6-10 см. Плід – грушоподібний стручок, у якому розміщується 8-10 насінин світло-жовтого кольору. Маса 1000 насінин – 2-3 г. Сорт відзначається стійкістю до вилягання, розтріскування стручків і осипання насіння. Врожайність – 25,0 ц/га, вміст олії в насінні – 39,4 %. У роботі були використані класичні біотехнологічні та морфологічні методи.

Стерильну культуру *Camelina sativa* культивували в конічних колбах Ерленмеєра (250 мл) та циліндричних скляних ємностях (200 мл). Культуральні ємності з рослинами розміщували у світловій кімнаті на скляних стелажах за штучного освітлення (інтенсивність 2000 лк, фотоперіод 16 год), температура 22-26 °С, вологість 70 %. Штучне досвічування проводили люмінесцентними лампами (ЛБ 40 та ЛД 40). Рослини культивували на агаризованих живильних середовищах, основу яких складали прописи середовищ Мураші-Скуга (МС) (Murashige & Skoog, 1962), Кнудсона (К) (Knudson, 1922) та Кнопа (Кн) (Knop, 1865).

Складання живильних середовищ щоразу проводили індивідуально, наважки всіх компонентів проводили за допомогою терез (Kern & Sohn GmbH ABJ 320-4 electronic balance). Процедуру стерилізації середовищ проводили через автоклавування (автоклав ГК-100-3), тиск 1-1,2 атм., температура 100°-110°C, експозиція 20-22 хв. Допоміжні матеріали: серветки з фільтрувального паперу, вату, шовкові контейнери для стерилізації рослинного матеріалу, конверти зі щільного пакувального паперу типу «Крафт», металевий інструмент, стакани, чашки Петрі, колби з водою, інструментарій для маніпуляцій – стерилізували в автоклаві впродовж 1 год під тиском 2 атм. Для приготування живильних середовищ та розчинів стериліантів використовували стерильний дистилат.

Перелік речовин обраних для стерилізації та їхню експозицію komponували відповідно до попередньо отриманих результатів та даних літератури (Бычкова, 2004; Емец, 2013; Бойчук, 2019). Серед стериліантів, які було використано в роботі для звільнення від грибною та бактеріальною інфекції зазначимо наступні: 70% етиловий спирт (Медасепт, Україна), 0,01 % розчин Thimerosal (Merck, Німеччина), препарат Domestos (Unilever Magyarország Kft., Угорщина), хлорексидину біглюконат (0,05%) (ТОВ «Ключ здоров'я», Україна), Фундазол (АГРО-КЕМІ КФТ, Угорщина); 10% розчин H₂O₂ (Медасепт, Україна).

Процедуру стерилізації інтактного рослинного матеріалу проводили в ламінарному боксі в спеціальних шовкових контейнерах, які занурювали в стакани зі стерилізаторами. Після кожного типу стерилізатора рослинний матеріал ретельно, 3-4 рази, відмивали в ємностях зі стерильною дистильованою водою. По завершенні процедури контейнери просушували між листками стерильного фільтрувального паперу.

Процес перенесення діаспор *Camelina sativa* в стерильну культуру проводили згідно з протоколом DSC (dry seed culture) за класичною методикою (Knudson, 1922). Умови стерилізації рослинного матеріалу підбирали індивідуально. Перелік речовин, обраних для стерилізації, та їх експозицію komponували відповідно до зазначених у літературі даних та власного досвіду.

Спостереження за ходом морфогенезу представників досліджуваних видів проводили за допомогою мікроскопів МБС-9, Carl Zeiss Jena NU. Документальне фіксування етапів росту й розвитку проводили завдяки фотографуванню (фотоапаратами Canon Power Shot G5, Nikon D 90). Під час спостережень за розвитком стерильної культури, визначенні типів морфологічних структур та етапів морфогенезу керувалися методиками Ф. М. Куперман (Куперман, 1977). Об'єкти препарували під бінокулярною лупою та світловим мікроскопом МБІ-15 за допомогою окуляр-мікрометра (x 16; x 18).

Результати дослідження та їх обговорення.

Результати дослідження та їх обговорення.

На першому етапі роботи було необхідно отримати життєздатні проростки рижію вільні від епіфітних грибів та бактерій. Аналіз літератури виявив, що як первинні експланти для отримання стерильної культури цього виду дослідники ви-

користовують різні частини рослини, переважно ті, яким притаманна меристематична активність. Найчастіше джерелом стерильного рослинного матеріалу обирають різні частини проростків *C. sativa*. Це найбільш технологічно зручний та відносно менш травматичний спосіб отримання стерильного рослинного матеріалу. Крім того, обираючи як джерело первинних експлантів зиготичні зародки, ми порівняно вільні в термінах отримання культури, оскільки, у цьому випадку, не є залежними від її онтогенетичних циклів.

Спроби отримання стерильної культури реалізовувались у вересні-жовтні. Ніяких додаткових процедур щодо стимуляції проростання не застосовували. Контрольні пророщування насіння в септичних умовах показали, що в цей період його здатність до проростання коливалася в межах 95-98 %.

Загальна схема реалізованих нами на цьому етапі робіт представлена на рисунку 1. Роботи було

розпочато з оптимізації власне процедури стерилізації інтактного матеріалу. З огляду на наявний досвід, ми розробили та опрацювали низку нових варіантів стерилізації, у яких було використано нові типи стериліантів та змінено їхні експозиції (Табл. 1).

Проблема, з якою ми зіткнулися під час отримання стерильної культури рижію цього сорту полягала в тому, що контамінація з'являлася не тільки одразу після процедури стерилізації, а й через тривалий час (50 - 90 діб) культивування. За таких умов можна припускати дві можливі причини прояву таких наслідків: не оптимізована процедура стерилізації або прояв (у конкретних умовах субкультивування) ендодфітних мікроорганізмів. Власне проблема процедури стерилізації могла полягати в тому, що до складу спермодерми насінини рижію входять специфічні групи сполук (можливо з групи складних вуглеводнів) які відповідають за швидке ослизнення поверхні (Емец и др., 2013).

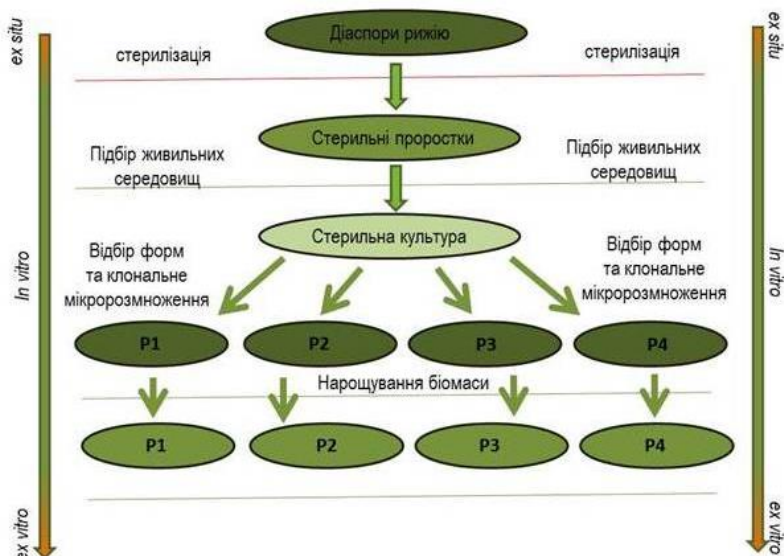


Рис. 1. Схема отримання стерильної культури та подальшого клонального мікророзмноження *C. sativa* сорту «Клондайк»

Для дрібного насіння рижю, з біологічної точки зору, це дуже зручне та корисне пристосування – слиз утримує депонент вологи навколо насінини, що сприяє його

проростанню, механічному зчепленню із субстратом, може стати в нагоді у разі зоохорії.

1. Варіанти та схеми застосованих в експерименті процедур стерилізації інтактного матеріалу рижю посівного сорту «Клондайк»

№	Назва стерилізації	Варіант стерилізації / тривалість експозиції, хв									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Мильний розчин*	---	---	---	---	---	---	---	50	55	60
2	H ₂ O (проточна)	---	---	---	---	---	---	---	30	30	30
3	Хлоргексидину біглюконат (0,05%) (ТОВ «Ключ здоров'я», Україна)	---	---	---	10	15	20	25	25	30	35
4	70% Етиловий спирт (Медасепт, Україна)	3	2	1	---	---	---	---	---	---	---
5	Дистилат стерильний	5	5	5	10	10	10	10	10	10	10
6	Дистилат стерильний	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
7	Фундазол 2 гр / л (АГРО-КЕМІ КФТ, Угорщина)	---	---	---	15	20	25	25	25	---	---
8	0,01% розчин Thi-merosal (Merck, Німеччина)	20	15	10	---	---	---	---	---	15	20
9	Дистилат стерильний	10	10	10	---	---	---	---	---	---	---
10	Дистилат стерильний	10	10	10	---	---	---	---	---	---	---
11	10% розчин H ₂ O ₂ (Медасепт, Україна)	15	10	5	---	---	---	---	---	---	---
12	Дистилат стерильний	10	10	10	---	---	---	---	---	---	---
13	препарат Domes-tos (Unilever Magyarország Kft., Угорщина)	15	10	5	---	---	---	---	---	---	---
14	Дистилат стерильний	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
15	Дистилат стерильний	10	10	10	10	10	10	10	10	---	10
16	Дистилат стерильний	10	10	10	10	10	10	10	10	---	10

* - Мило господарське (72%) – 1г/100 мл води;

Однак, швидке формування шару слизу на поверхні насінини у вологому середовищі значно ускладнює та знижує ефективність самої процедури стерилізації – слиз сприяє склеюванню деяких насінин у конгломерати, запобігає рівномірному доступу стериліантів до зовнішнього шару спермодерми насінини, потенційно може створювати «кармани» в яких переживають процедуру стерилізації окремі

спори грибів та бактерій. Саме для максимального видалення слизу нами була застосована тривала, попередня промивка в проточній воді. Крім того, були використані нові типи стериліантів антимікробної (хлоргексидину біглюконат (0,05 %)) та фунгіцидної (фундазол) дії. Результати отримані під час експерименту продемонстровані на рисунку 2.

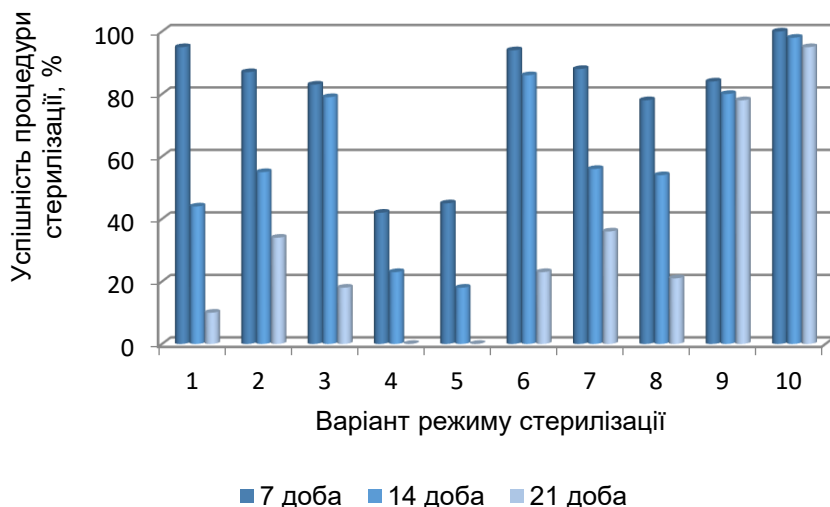


Рис. 2. Успішність застосування різних процедур стерилізації інтактного матеріалу рижію посівного сорту «Клондайк»

Аналізуючи отримані результати можна констатувати факт ефективного пригнічення мікотичних інфекцій на початкових етапах культивування практично для всіх варіантів стерилізації. Це демонструє нам перша контрольна точка зняття результатів (7 діб). Виключенням стали тільки 4 та 5 варіанти, які, за підсумками експерименту, виявилися неефективними. У разі потрапляння в умови асептичної культури мікроскопічні гриби демонструють значно швидші темпи розвитку ніж бактерії, тому в разі прогалин у процедурі стерилізації

формування їхніх колоній можна спостерігати вже на 3-7 добу.

Бактеріальна контамінація, зазвичай, проявляється пізніше (починаючи від 5-7 доби) та колонії бактерій розвиваються значно повільніше. Отже, з рис. 2 можемо бачити, що на момент першого контролю більшість процедур демонструє гарні результати ефективності знезараження (в межах 75 % і вище). Картина змінюється на момент повторного контролю (14 діб), а третя контрольна точка (21 доба) демонструє нам остаточні результати

тати. У підсумку, на 21 добу можемо констатувати різке зниження показників ефективності стерилізації для варіантів 1,2,7,8. У решти також цей показник зменшується, але не так істотно. За своєю природою це в основному була бактеріальна контамінація, хоча ми зазначили деякі випадки формування

колоній грибних мікроорганізмів (рис. 3).

Через 21 добу найкращі результати ми зазначили для 9 та 10 варіантів стерилізації. Решта варіантів і далі демонстрували тенденцію до зменшення кількості стерильних зразків.

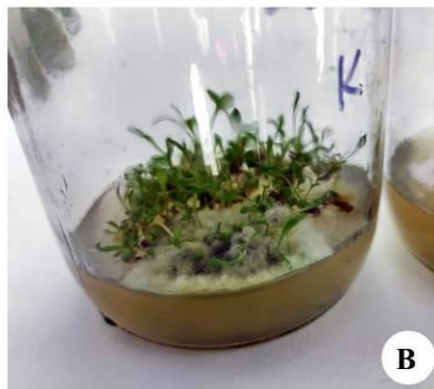
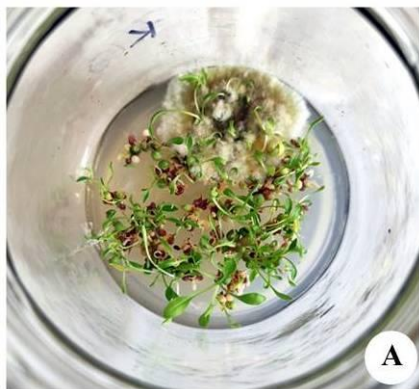


Рис. 3 Контамінація грибною мікрофлорою проростків ріжю сійного сорту «Клондайк» (А, В); 25 доба, середовище Кнопа

Отримані результати демонструють вірність нашого припущення щодо негативного впливу слизу поверхні спермодерми діаспор ріжю на процедуру стерилізації. Заміна в переліку стериліантів препарату Thimerosal (0,01 %) на фундазол, навіть на фоні тривалої промивки проточною водою, призвела до значного погіршення результатів (варіанти 8/9). Натомість його застосування після замочування у водному розчині господарського мила та подальшої тривалої промивки дало найкращі результати.

Отже, у підсумку остання в ряду процедура стерилізації (мильний розчин – 60 хв; проточна вода – 30 хв; хлоргексидину біглюконат (0,05 %) – 35 хв; стерильний дистилат 2 × 10 хв; Thimerosal (0,01 %) – 20 хв;

стерильний дистилат 3 × 10 хв) інтактного матеріалу ріжю посівного сорту «Клондайк» виявилася найефективнішою (рис. 4).



Рис. 4. Стерильні проростки *C. sativa* сорту «Клондайк»

На наступному етапі нашої роботи було необхідно визначитися з базовим прописом живильного середовища для культивування та нарощування біомаси. У літературі є різні дані щодо цього питання (Park et al., 2012; Yemets et al., 2013; Бойчук, 2019; Sitther et al., 2019), тому ми вирішили від початку протестувати три різні базові прописи та визначитися з оптимальним. У роботі за основу були використані прописи середовищ Мурасіге-Скуга, Кнудсона та Кнопа.

Для характеристики особливостей репродукційної біології рижію в асептичних умовах, використовували такий показник як ростовий індекс (PI), який вираховували за формулою:

$$PI = (W1 - W0) / W0$$

де, $W0$ – початкова маса зразка, $W1$ – маса зразка в кінці циклу культивування (Бычкова, 2004).

Аналізуючи отримані результати, зазначимо, що цим експериментом ми остаточно підтвердили отримані на попередньому етапі роботи дані про те, що рослини культивовані на середовищі за прописом МС демонструють найкращі параметри PI. Ювенільні особини рижію, які культивували на живильних середовищах за цим прописом за показником приросту біомаси демонстрували випереджаючу динаміку на всіх етапах контролю експерименту (рис. 5, 6). Надалі, як базове нами використовувалося саме це середовище.

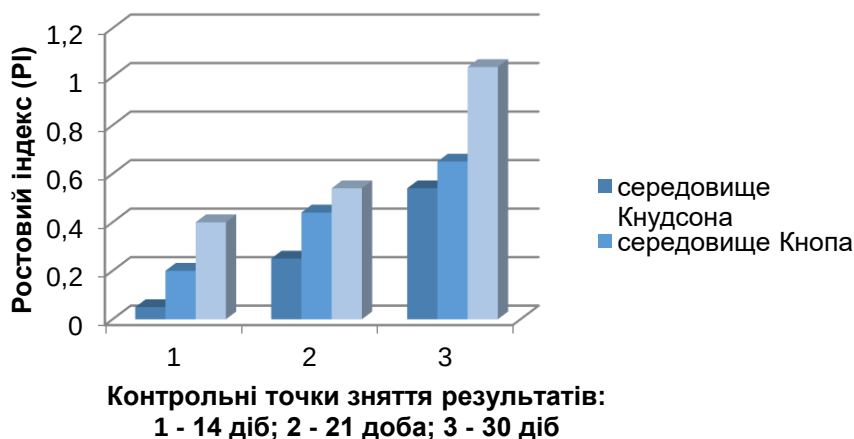


Рис. 5 Залежність показників ростового індексу культури рижію сорту «Клондайк» від типу живильного середовища

Метаболізм вуглеводів займає провідне місце в основному обміні покритонасінних. У рослинах синтезуються, містяться й засвоюються в основному D-форми вуглеводів, тоді як L-форми трапляються вкрай рідко. Легкість взаємоперетворень глюкози, фруктози та

сахарози забезпечує включення кожної з цих сполук в основні шляхи деградації – гліколітичний та пентозофосфатний (Медведев, 2004; Мусієнко, 2008). Низка форм вуглеводів може проявляти навіть гормоноподібну активність (Коваленко, 1993).

Культури рослинних тканин, у теперішньому їй вигляді, без включення до складу живильних середовищ різних форм вуглеводів, неможлива. До того ж, сам процес нагромадження біомаси, тісно пов'язаний із наявністю й та кількісним умістом вуглеводів у живильному середовищі. Традиційно, до живильних середовищ, які використовують під час отримання стерильних рослинних культур покритонасінних та на подальших етапах їхнього субкультивування, додають цукрозу (Червченко Т. М. и др., 2008).



Рис. 6. Стерильна культура рижію, середовище МС.

Однак, природа вуглеводу, який вводять до складу середовища залежить, зазвичай, від таксономічної приналежності рослини. Представники деяких видів здатні асимілювати різні типи цукрів, інші, більш вибагливі, що може говорити про пластичність самого процесу гетеротрофного живлення автотрофних організмів.

Однак, зв'язок процесу росту культури з вуглеводним метаболізмом значно глибше і складніше. Найбільш ефективним джерелом вуглецю для культур клітин і тканин найчастіше є цукроза. Легкість

взаємоперетворень глюкози, фруктози й цукрози забезпечує залучення кожного із цих головних компонентів для росту ізолюваних культур і включення в основні шляхи деградації – гліколітичний та пентозофосфатний. Загалом використання вуглеводів через гліколіз більше відповідає високим енергетичним витратам, а пентозофосфатний шунт краще відповідає синтетичним запитам.

Остаточного визначившись із типом живильного середовища подальшим етапом роботи ми опрацювали оптимальну концентрацію цукрози для найбільш інтенсивного приросту біомаси рижію. У роботі, для порівняння використовували повний та половинний пропис компонентів за МС. Розкладку по цукрозі зробили в межах від 10 до 24 г/л із кроком 3 г/л. Контроль проводили за показником ростового індексу (PI), експозиція 30 діб (рис. 7).

Коментуючи дані представлені на рис. 7 відмітимо, що загалом, половинна концентрація пропису МС негативно впливала на приріст культури рижію. Причому, це не мало прямої залежності із концентрацією цукрози в середовищі. Ймовірно, для такої швидкоростучої культури як рижій, за названих умов та термінів культивування для приросту біомаси визначальними є концентрації базових компонентів середовища, на фоні яких збалансований уміст вуглеводів може призводити до істотного збільшення показника PI. Отримані результати свідчать, що оптимальна концентрація цукрози для нарощування біомаси донного сорту лежить у межах 19-21 г/л.

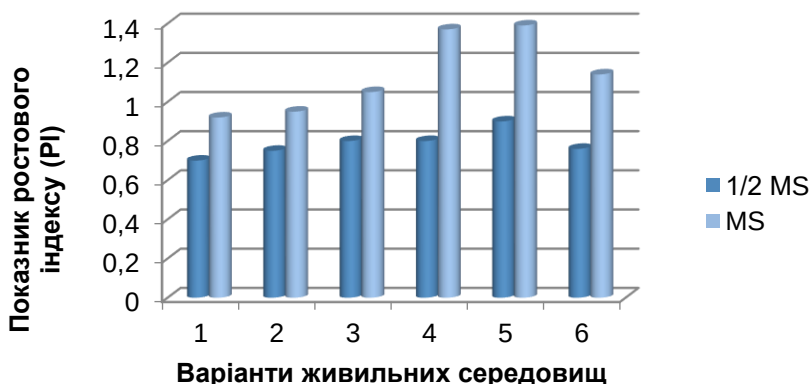


Рис. 7. Залежність показників ростового індексу культури ріжю сорту «Клондайк» від умісту макро- та мікросолей по MS та концентрації цукрози в середовищі. Варіанти середовищ за вмістом цукрози: 1 – 10 г/л; 2 – 13 г/л; 3 – 16 г/л; 4 – 19 г/л; 5 – 21 г/л; 6 – 24 г/л

Надалі на середовищі MS із концентрацією цукрози в межах 20 г/л нами проводилися субкультивування ювенільних рослин ріжю та подальше їхнє клональне мікророзмноження. Емпіричним шляхом було відібрано ряд особин, які розмножували мікроклонально, а нарощену біомасу було передано на предмет скринінгу якісного вмісту біологічно активних сполук антиоксидантної / відновлювальної дії.

Висновки.

Підсумовуючі дані отримані на даному етапі роботи зі стерильною культурою ярого сорту ріжю посівного (*Camelina sativa* (L.) Crantz) «Клондайк» зазначимо що:

- нами було оптимізовано процедуру стерилізації інтактного рослинного матеріалу ріжю послідовність стерилізації (мильний розчин – 60 хв; проточна вода – 30 хв; хлоргексидину біглюконат (0,05%) – 35 хв; стерильний дистиллят 2 x 10 хв; Thimerosal (0,01%) – 20 хв; стерильний дистиллят 3 x

10 хв) інтактного матеріалу ріжю посівного сорту «Клондайк» виявилася найефективнішою;

- було встановлено, що на початкових етапах введення та в подальшому, при клональному мікророзмноженні, оптимальним прописом базового середовища є середовище Мурасіге-Скуга;

- найкращі показники приросту біомаси *Camelina sativa* (L.) Crantz «Клондайк» нами були зафіксовані на середовищі Мурасіге-Скуга з вмістом цукрози в межах 19-21 г/л.

Роботу виконано за фінансової підтримки Національного фонду досліджень України (проект № 2020.01/0136 «Ефективне використання відновлюваних рослинних ресурсів та фотокаталітична конверсія біомаси як еколого-інноваційні підходи для збереження довкілля та біобезпеки людини»).

References

- Granone, L.I. (2018). Photocatalytic conversion of biomass into valuable products: a meaningful approach? *Green Chem.*, 20, 1169–1192. <https://doi.org/10.1039/C7GC03522E>
- Xiaoqing, L. (2019). Photocatalytic conversion of lignocellulosic biomass to valuable products. *Green Chem.*, 21, 4266–4289. <https://doi.org/10.1039/C9GC01728C>
- Varatharajan, K. (2018). Screening of antioxidant additives for biodiesel fuels. *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 82, 2028. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.07.020>
- Мельничук, М.Д. (2012). Рижий посівний як альтернатива ріпаку ярого для виробництва біодизеля. *Наук. доп. Нац. Ун-ту біоресурсів і природокористування України*, 31 (2), 1–9. http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2012_2/12dgi.pdf
- Gugel, R.K. (2006). Agronomic and seed quality evaluation of *Camelina sativa* in western Canada. *Can. J. Plant Sci.*, 86, 1047–1058. <https://doi.org/10.4141/P04-081>
- Шевченко, І.А., Поляков, О.І., Ведмедєва, К.В., Комарова, І.Б. (2017). Рижий, сафлор, кунжут. Стратегія виробництва олійної сировини в Україні (малопоширені культури). Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України. — Запоріжжя : СТАТУС, 2017. — 40 с
- Pilgeram, A.L., Sands, D.C., Boss D. (2007). *Camelina sativa*, a montana omega-3 and fuel crop. In J. Janick & A. Whipkey (Eds.), *Issue in new crops and new uses* (pp. 129–131). Alexandria, ASHS Press.
- Yemets, A.I., Boychuk, Yu.N., Shysha E.N. (2013). Establishment of in vitro culture, plant regeneration, and genetic transformation of *Camelina sativa*. *Cytology and Genetics*, 47(3), 138–144. <https://doi.org/10.3103/S0095452713030031>
- Бойчук, Ю.М. (2019). Відбір та введення в культуру високопродуктивних генотипів ярого рижю *Camelina sativa* L. з їх подальшою генетичною трансформацією. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук. Київ. 2019. 25 с.
- Narasimulu, S.B., Kirti, P.B., Bhatt, S.R. (1994). Intergeneric protoplast fusion between *Brassica carinata* and *Camelina sativa*. *Plant Cell Reports*, 13, 657–660. <https://doi.org/10.1007/BF00232940>
- Tattersall, A., Millam, S. (1998). Establishment and in vitro regeneration studies of the potential oil crop species *Camelina sativa*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 55, 147–150. <https://doi.org/10.1023/A:1006132407886>
- Zandacka-Dziubak, J., Luczkiewicz, T. (2000). Efektywnosc embriogenezy somatycznej w kulturze in vitro lnianki siewnej (*Camelina sativa* L.). *Rośliny Oleiste-Oilseed, Crops*. 21(2), 615–629.
- Бойчук, Ю.Н., Шиша, Е.Н., Емец, А.И., Исаенков, С.В., Блюм, Я.Б. (2011, 5-7 октября). Введение в культуру in vitro и разработка метода генетической трансформации Рыжика посевного (*Camelina sativa*). Мат. первой конференции молодых ученых (с международным участием) «Биология растений и биотехнология», Белая Церковь, Украина. 2011 г., изд-во Института пищевой биотехнологии и геномики, с. 107
- Бойчук, Ю.М., Шиша, О.М., Емец, А.І. (2012, 15-16 листопада). Регенерація рослин рижю посівного (*Camelina sativa*) культури in vitro. Мат. XII конференції молодих вчених «Наукові, прикладні та

освітні аспекти фізіології, генетики, біотехнології рослин і мікроорганізмів», Київ, Україна, 2012 р., вид-во Інститут фізіології рослин і генетики НАН України, 24 с.

15. Бойчук, Ю.М., Шиша, О.М., Ємець, А.І. (2013, 23-24 грудня). Генетична трансформація рижію посівного (*Camelina sativa*). Міжнародна конференція «Геноміка рослин та біотехнологія» та друга конференція молодих учених «Біологія рослин та біотехнологія», Київ, Україна, 2013 р., вид-во Інститут фізіології рослин і генетики НАН України, 38 с.

16. Kumar, K., Gupta, S.M., Arya, M.C. (2017). In vitro Antimicrobial and Antioxidant Activity of *Camelina* Seed Extracts as Potential Source of Bioactive Compounds. Proc. Natl. Acad. Sci., India, 87, 521–526. <https://doi.org/10.1007/s40011-015-0631-9>

17. Karamać, M., Gai, F., Giorgio, P. (2020). Peiretti Effect of the Growth Stage of False Flax (*Camelina sativa* L.) on the Phenolic Compound Content and Antioxidant Potential of the Aerial Part of the Plant. Pol. J. Food Nutr. Sci., 70(2), 189–198. <https://doi.org/10.31883/pjfn/119719>

18. Pathak, R., Kumari, A., Mohsin, M., Bisht, G., Bala, M. (2020). Phytochemical Assessment and In vitro Antioxidant potential of *Camelina sativa* L. seed cake. Asian J. Research Chem., 13(1), 38–43. <https://doi.org/10.5958/0974-4150.2020.00009.7>

19. Murrashige, T. A., Skoog, F. (1962). Revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture. Physiol. Plant, 15, 473–497.

20. Knudson, L. (1922). Nonsymbiotic germination of orchid seeds. Bot. Gaz., 73(1), 1–25.

21. Knop W. (1865). Quantitative untersuchungenüber den ernährungsprozess der pflanze. Landw. Versuchssat., Vol. - 7, P. 93.

22. Куперман, Ф.М. (1977). Морфофизиология растений. М.: Высшая школа.

23. Бычкова, Е.Ю. (2004). Рост, развитие и биосететические способности культур каллусных тканей нерпухи венценосной, серпухи чертополоховой и родиолы розовой, Астана, 2004 р., 24 с.

24. Емец, А.И., Бойчук, Ю.Н., Никишина, Е.Н., Рахметов, Д.Б., Блюм, Я.Б. (2013). Введение в культуру in vitro, регенерация и генетическая трансформация рыжика посевного (*Camelina sativa* (L.) Crantz). Цитология и генетика, 47 (3), 14–20. <https://doi.org/10.3103/S0095452713030031>

25. Бойчук, Ю.М. (2019). Відбір та введення в культуру високопродуктивних генотипів ярого рижію *Camelina sativa* L. з їх подальшою генетичною трансформацією, Київ, вид-во ДУ «Інститут харчової біотехнології та геноміки НАН України», 2019 р., 25 с.

26. Park, J.-I., Ahmed, N.U., Kim, H.-R., Nou, I.-S. (2012). Advances in in vitro culture of the Brassicaceae crop plants. Journal of Plant Biotechnology, 39(1), 13–22. <https://doi.org/10.5010/jpb.2012.39.1.013>

27. Sitther, V., Tabatabai, B., Enitan, O., Fathabad, S., Dhekney, S. (2019). Production of Transgenic *Camelina sativa* Plants via Agrobacterium-Mediated Transformation of Shoot Apical Meristems. American Journal of Plant Sciences, 10, 1–11. <https://doi.org/10.4236/ajps.2019.101001>

28. Медведев, С.С. (2004). Физиология растений. Санкт-Петербург., [Издательство Санкт-Петербургского университета](#), 336 с.
29. Мусієнко, М.М. (2005). Фізіологія рослин. Київ. Вид-во Либідь, 808 с.
30. Коваленко, О.В. (1993). Генетические аспекты морфогенеза растений. Успехи соврем. Биологии, 113 (3), 269–285.
31. Черевченко, Т.М., Лаврентьева, А.Н., Иванников, Р.В. (2008). Биотехнология тропических и субтропических растений in vitro. Киев, вид-во науков думка, 633 с.
-

R. Ivannikov, V. Anishchenko, I. Laguta, P. Kuzema, N. Smirnova, O. Stavinskaya, O. Linnik, A. Kramar (2021). STERILE CULTURE OF CAMELINA SATIVA (L.) CRANTZ VAR. "KLONDIKE": FEATURES OF OBTAINING AND multiplication IN VITRO.

BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 12(4): 19-33.

<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/editor/submission/15989>

<https://doi.org/10.31548/biologiya2021.04.002>

Abstract. The vast majority of human energy needs are met by fossil fuels. In the short term, the use of non-renewable resources will not be able to contribute to the sustainable development of the world economy due to depletion of their reserves, rising oil prices and significant damage to the environment. These environmental and economic risks are the basis for the development of renewable bioenergy. Oilseeds are considered as a promising source for biofuel production. One of the areas of work in the range of outlined issues is the selection, selection and development of biotechnology of promising oilseeds, including red seed *Camelina sativa* (L.) Crantz.

The text of the article highlights the methodological issues of obtaining a sterile culture of ryegrass varieties of Ukrainian selection "Klondike" and the development of procedures for its further multiplication in vitro. Classical morphological and biotechnological methods of obtaining and maintaining sterile crops were used in the study tasks.

Aseptic culture of ryegrass was obtained from zygotic seed germs. We optimized the sterilization procedure of plant material and for the first time showed a positive effect on the disinfection of sterile-type sterilants (0.01%, Merck, exposure 15-20 min) and chlorhexidine bigluconate (0.05%, exposure 30-35 min).

It was established that Murashige-Skug (MS) is the optimal formulation of the basic medium for the experimental variety of red rice at the initial stages of introduction, and later, during clonal micropropagation. The best biomass growth rates were recorded on MS with sucrose content in the range of 20 g/l.

Thus, we developed a decontamination procedure and obtained a sterile culture of red rice, selected media for introduction and subsequent multiplication in order to increase plant biomass in vitro.

The results obtained during the work are part of a comprehensive study and will be used in the development of eco-innovative approaches to the efficient use of renewable plant resources through photocatalytic conversion of biomass.

Keywords: camelina, *Camelina sativa* (L.) Crantz, in vitro.

ОТРИМАННЯ ГАПЛОЇДІВ ТА ДИГАПЛОЇДІВ РІПАКА (BRASSICA NAPUS L.) IN VITRO

О. Л. КЛЯЧЕНКО, професор, доктор сільськогосподарських наук
Національний університет біоресурсів і природокористування
України

ORCID 0000-0002-4087-4082,

E-mail: Klyachenko@ukr.net

Анотація. У селекційно-генетичних дослідженнях сільськогосподарських культур застосування методів експериментальної гаплоїдії пов'язано з можливістю отримання гомозиготного константного матеріалу за одну генерацію, тоді як у традиційній селекції необхідно проводити декілька поколінь інбридингу впродовж 6-8 років. Підібрано та застосовано ступінчасту передобробку ізольованих бутонів зниженими (+4 °C упродовж 36 год) і підвищеними температурами (+22 °C упродовж 21 доби та +30 °C – 10, 14, 21 діб), що уможливило завершення процесу диференціації. Показано, що для індукції ембріогенного розвитку незалежно від генотипу оптимальною виявилася температура +30 °C за тривалості культивування впродовж 21 доби. Водночас регенераційна здатність отриманих ембріоїдів зумовлювалась вихідним генотипом. Одержані укорінені гаплоїдні рослини-регенеранти з нормальною гео- і фототропічною реакцією переводили на диплоїдний рівень ($2n = 38$) за допомогою дії водного розчину 0,1 % колхіцину на кореневу систему за експозиції 4 год. На основі одержаних методом культури пилку *in vitro* дигаплоїдів нами в співавторстві були вперше в Україні створені ранньостиглий сорт ріпака озимого Антарія та середньостиглий сорт ріпака ярого Аіра.

Ключові слова: ріпак озимий та ярий, гаплоїди, калюс, рослина-регенерант

Вступ. Створення нових сортів і гібридів ріпака озимого та ярого залежить від генетичної різноманітності вихідного матеріалу, який можна створювати за допомогою методів біотехнології. Одним із них є метод гаплоїдії *in vitro* з послідовним подвоєнням числа хромосом через колхіцинування (Бочкарева и др., 2019). Пріоритетним напрямом у сучасній інноваційній біотехнології рослин є метод андроклинної гаплоїдії, який полягає в реалізації тотипотентності клітин до регенерації рослин із мікроспор і пилових зерен через утворення різних типів структур: глобул, ембріоїдів, поліембріоїдів, морфогенних і неморфогенних калюсів (Жамбакин и др., 2012; Сорока, 2015). За-

мом у сучасній інноваційній біотехнології рослин є метод андроклинної гаплоїдії, який полягає в реалізації тотипотентності клітин до регенерації рослин із мікроспор і пилових зерен через утворення різних типів структур: глобул, ембріоїдів, поліембріоїдів, морфогенних і неморфогенних калюсів (Жамбакин и др., 2012; Сорока, 2015). За-

стосування одержаних клонів полегшує відбір фенотипів за якісними та кількісними ознаками, дає можливість діставати гомозиготні константні гаплоїдні сорти й гібриди, які зберігають у генотипі господарсько-цінні ознаки вихідних форм та прискорювати оцінку їхньої перспективності (Белинская, 2007; Сатарова та ін., 2013; Seguí-Simarro, Nuez, 2007). Метод експериментальної гаплоїдії дає можливість пришвидшити створення гомозиготних ліній порівняно з традиційною селекцією в 5-6 разів (Rahman, Michalak de Jiménez, 2016; Shamekova et al., 2015). Одержання гаплоїдних рослин, ініційоване через культуру пиляків, описано для більш ніж 240 видів 85 родів і 38 родин однодольних і дводольних (Бутенко, 1999; Белинская, 2007; Mandal, 2008; Gu et al., 2014; Kiszczak et al., 2017; Ілюшко и др., 2018; Зонтиков и др., 2020). У ріпака й різних видах капусти цей метод широко застосовують під час селекції на стійкість до хвороб та в гетерозисній селекції (Карпачев, Пастухов, 2017).

Унікальність ріпака полягає в його здатності до прямого пилкового ембріодогенезу в культурі пиляків *in vitro* і вторинного ембріодогенезу, високій регенераційній здатності, відсутності альбінізму в гаплоїдів. Це зумовлено перманентною гетерозиготністю цієї культури, як природного амфідиплоїда, і пов'язаного з нею міжгеномного гетерозису, що призводить до підвищеної життєздатності ембріодів і збільшення виходу гаплоїдів (Грищенко, 2001; Mandal, 2008).

Технологія отримання подвоєних гаплоїдів (DH (double haploid)-технології) застосовуючи культуру пиляків або мікроспор *in vitro* – один зі шляхів генетичного покра-

щення сільськогосподарських рослин (Шмыкова и др., 2015). Гомозиготні подвоєні гаплоїди використовують для отримання гібридів ріпака, стабілізації вже існуючих та створення нових сортів, а також виявлення унікальних генотипів, які виникають у результаті рекомбінації генів батьківських форм (Asif, 2013). Підвищення частоти регенерації і вищий вихід подвоєних гаплоїдів спостерігаються за обробки мікроспор коліцином іще на стадії культивування *in vitro*. Такий захід призводить до підвищення частоти ембріодогенезу і подвоєння хромосом у 84-88 % регеноерованих рослин ріпака озимого (Zhou, 2002; Zhou, 2002).

Мета роботи – отримання гаплоїдів та дигаплоїдів ріпака озимого та ярого *in vitro* і застосування в селекційній практиці.

Матеріали і методи досліджень.

Матеріалом для індукції гаплоїдів слугували сорти озимого (Каріна, Тисменецький) та ярого (Форте, Марія, Квантум). Рослини-донори пиляків вирощували в польових умовах. Використовували бутони з головного та бычних пагонів. Стерилізували бутони за методикою Бутенко (Бутенко, 1999). Пиляки відділяли від квітколоже під біокулярною лупою та переносили на живильне середовище по 40 шт на одну чашку Петрі. Для культивування пиляків та пилку використовували модифіковане середовище Мурасіре-Скуга (МС) (Murashige, Skoog, 1962) з різним умістом ауксинів та цитокінінів, які детально описані нами в попередніх роботах (Klyachenko, 2002). Контролем слугувало безгормональне живильне середовище МС. Спостереження за ембріогенною

здатністю експлантатів проводили через кожні 7 діб. Диплоїдизацію отриманих гаплоїдних рослин-регенерантів здійснювали за допомогою 0,1 % водного розчину колхіцину. Рівень плідності визначали на цитофлуоресційному фотометрі Partec (Німеччина). Статистичну обробку одержаних експериментальних даних здійснювали з використанням пакету програм «Аналіз електронних таблиць Microsoft Excel», Statistica 6,0.

Результати та обговорення.

Для спрямованої зміни гаметофітного способу розвитку пилкових зерен на ембріогенний використовують різні види фізичного та хімічного впливу, зокрема такі, як передобробка рослин холодом, тепловий вплив на культуру (Круглова, 2009). Згідно з літературними даними найбільший вихід зародків із мікроспор у культурі пиляків *Brassica napus* L. одержують за

використання ізольованих бутонів IV фази розвитку квітки рослин і вирощування рослин-донорів за температури +15 °C (Dunwell, 2010).

У наших експериментах для забезпечення ембріогенезу із мікроспор, ізольованих із суцвіть різних генотипів ріпака ярого та озимого, розроблено схему комплексної передобробки ізольованих бутонів зниженими (+4 °C упродовж 36 год) і підвищеними (+22 °C строком 21 добу та +30 °C тривалістю 10, 14, 21 діб) температурами. Обробка ізольованих бутонів низькими позитивними температурами й культивування пиляків за підвищених температур завершувала процес диференціації ембріодних мікроспор. Встановлено, що для індукції ембріогенного розвитку незалежно від генотипу оптимальною була температура +30 °C за тривалості культивування впродовж 21 доби (табл. 1).

1. Вплив температури на частоту виходу ембріодів різних генотипів ріпака ярого та озимого

Сорт	Температура культивування, °C	Тривалість обробки, діб	Кількість висаджених пиляків, шт.	Кількість ембріодів, шт.	Частота ембріогенезу пиляків, %
Форте Марія Квантум Карина Тисменецький	22	21	1100	0	0,00
			1920	1	0,05
			1450	0	0,00
			1300	4	0,20
			1500	6	0,60
Форте Марія Квантум Карина Тисменецький	30	10	1610	2	0,12
			950	1	0,10
			1200	1	0,08
			1300	10	1,20
			1500	15	1,80
	30	14	1513	30	2,00
Форте Марія			1085	33	3,00

Квантум			1110	17	1,50
Карина			1300	150	13,00
Тисменецький			1500	165	14,20
Форте			1300	35	2,70
Марія			740	27	3,60
Квантум		21	990	21	2,10
Карина			1300	185	14,00
Тисменецький			1500	160	12,70
НІР ₀₅				2,16	0,18

Під час вивчення ембріогенної здатності мікроспор встановлено генотипну специфічність ріпака ярого й озимого до проявлення цієї ознаки, яка ґрунтується на значній її варіабельності. Отримані нами дані засвідчують, що порівняно із сортами ріпака ярого (Форте, Марія, Квантум) у ріпака озимого (сорт Каріна, Тисменецький) спостерігалось підвищення морфогенетичної активності ізольованих мікроспор. Це пов'язано, ймовірно, з формуванням озимих форм ріпака в більш стресових умовах дозвілля, що сприяє підвищенню рівня переключення розвитку мікроспор із гаметофітного на спорофітний шлях. Різниця виявлялася також і в межах вибірки досліджених сортів, що характерно як для ярого, так і ріпака озимого. Так, з поміж ярих форм ріпака найбільша кількість ембріодів утворювалась у сорту Марія, а в ріпака озимого – у сорту Тисменецький.

У численних дослідженнях виявлено низку чинників, від яких залежить процес андрогенезу ріпака в культурі *in vitro* і збільшення частки морфогенних мікроспор. У системі індукції гаплоїдів *in vitro* суттєва роль належить компонентам культурального середовища, а саме макро- і мікроелементам, вітамінам, компонентам вуглеводного й азотного живлення (Don Palmer, 2005; Olmedilla et al., 2010), регуляторам росту, агару

(Charne et al., 1988; Na et al., 2011; Жамбакин, 2012; Takahashi et al., 2012;). Загальними, найбільш важливими чинниками, які впливають на процес регенерації є генотип рослин, стадія розвитку експлантів, умови їхньої попередньої обробки перед культивуванням, склад живильного середовища, параметри подвоєння хромосом та умови акліматизації під час переведення рослин-регенерантів із пробірок у відкритий ґрунт (Жамбакин, 2004; Kiszczak et al., 2017).

Для одержання рослин-регенерантів сформовані ембріоди ми відділяли від первинного експлантата й переносили на агаризовані середовища, які містили мінеральні солі за прописом МС і були доповнені вітамінами та регулятори росту.

Основним компонентом ініціального середовища, який впливає на індукцію ембріодів у культурі пиляків є регулятор росту 2,4Д у концентрації 0,1–2,5 мг/л (Жамбакин, 2004). У серії проведених нами експериментів максимальна індукція ембріодів спостерігалася за додаванням до всіх досліджених середовищ 2 мг/л 2,4-Д. Однак ембріоди тим часом мали пухку, глобулярну структуру і в разі перенесення на регенераційне середовище відбувалась їхня загибель. Культивування мікроспор за зниженої концентрації до 0,2 мг/л 2,4-

Д призводило до утворення серце-подібних і торпедоподібних ембріогенних структур. Водночас вихід ембріодів знижувався, хоча підвищувалась їхня регенераційна здатність, що уможливлювало отримання більшої кількості рослин-регенерантів.

Оскільки відомо, що в стадії торпедо ембріод містить апекси коренів і пагонів, а в низці випадків – тільки коренів або тільки пагонів (Жамбакин, 2004), у наших дослідженнях для одержання гаплоїдів

із пилкових ембріодів різних генотипів ріпака ярого й озимого, було використано оптимальне з протестованих, модифіковане живильне середовище МС, доповнене 1,25 мг/л БАП і 0,04 мг/л НОК. Одночасно відбувалось утворення пагонів зі стеблового та кореня – із кореневих апексів ембріодів. З даних, наведених у таблиці 2 можна бачити, що регенераційна здатність отриманих ембріодів значною мірою зумовлювалася генотипом.

2. Регенерація рослин із пилкових ембріодів ріпака ярого і озимого

Сорт, гібрид	Висаджено ембріодів, що регенерують, шт	Частота коренеутворення, шт.	Частота морфогенетичних реакцій, %
Форте	415	211	50,8
Квантум	460	186	40,4
Марія	510	307	60,2
Тисменецький	180	150	83,3
Карина	190	135	71,1
НІР ₀₅		11	3,06

Найвищі частота коренеутворення й морфогенетичних реакцій, що призводили до утворення пагонів, спостерігалися в сортів ріпака ярого Марія та озимого Тисменецький. Поступове збільшення довжини пагона та кореня призводило до розвитку рослин-регенерантів, які у фазі 3–4 листків мали добре сформовану кореневу систему завдовжки 4–8 см і були придатними для висадження в ґрунтосуміші (рис. 1).



Рис. 1. Укорінені гаплоїдні рослини-регенеранти ріпака ярого сорту Марія

Відомо, що тривале культивування укоріненних регенерантів у стерильній культурі негативно впливає на їхню приживлюваність і подальший ріст (Бутенко, 1999).

Використання закритих посудин для культивування для запобігання мікробній контамінації знижує газообмін, що і собі призводить до обмеження надходження CO_2 і видалення газоватих продуктів обміну рослин. Водночас значно знижується водний потенціал середовища внаслідок збагачення його сахарозою, яка є основним джерелом живлення та енергії. За таких умов культивування змінюються морфологічна й анатомічна структура та деякі фізіологічні процеси мікропагонів (Nazarika, 2006).

У разі перенесення в субстрат рослина потрапляє в нові умови культивування, а саме зниження вологості повітря, вплив мікроорганізмів, перехід до автотрофного живлення, що вимагає підбору відповідного субстрату та умов культивування. У наших дослідженнях як субстрат використовували суміш торф : дерновий ґрунт : перліт у співвідношенні 1 : 1 : 1 і вирощували за умов 100 % вологості повітря. Укорінені та адаптовані до зовнішніх умов рослини-регенеранти висаджували у відкритий ґрунт (табл. 3).

3. Приживаність гаплоїдних рослин-регенерантів ріпака озимого і ярого в ґрунті

Генотип	Висаджено рослин в ґрунт, шт.	Рослин, що прижилися	
		шт.	%
Марія	46	37	80 ± 8,0
Квантум	47	33	68,8 ± 11,6
Форте	48	35	72,2 ± 10,6
Тисменецький	47	28	57,1 ± 18,7
Карина	51	32	62,7 ± 3,1

Найвищий відсоток приживаності рослин спостерігався у ріпака ярого сорту Марія і становив 80 %, а найнижчий - у ріпака озимого сорту Тисменецький – 57, 1% відповідно.

Одержані укорінені гаплоїдні рослини-регенеранти з нормальною гео- і фототропічною реакцією переводили на диплоїдний рівень ($2n=38$) за допомогою дії водного розчину 0,1% колхіцину на кореневу систему при експозиції протягом 4 год. Дія поліплоїдизуючого агента строго специфічна і полягає в пригніченні веретена поділу в метафазі клітини, в результаті чого подвоєні хромосоми не розходяться по полюсах (Zhou et al., 2002).

Одержані рослини висаджували у відкритий ґрунт, а перед цвітінням поміщали під ізолятори. В 50% випадків у ди гаплоїдних рослин утворювались фертильні квітки з подальшим дозріванням насіння. При посіві насіння в ґрунт отримували ди гаплоїдні рослини, що супроводжувалось цитологічним контролем. У варіанті без обробки колхіцином рослини виявились стерильними, внаслідок чого насіння не утворювалось.

Висновки.

Розроблено схему комплексної передобробки ізолюваних бутонів зниженими (+4°C протягом 36 год) і підвищеними (+22°C строком 21

добу та +30°C тривалістю 10, 14, 21 діб) температурами для забезпечення ембріогенезу із мікроспор, ізольованих із суцвіть різних генотипів ріпака ярого та озимого. Обробка ізольованих бутонів низькими позитивними температурами і культивування пиляків при підвищених температурах завершувала процес диференціації ембріодних мікроспор. Встановлено, що для індукції ембріогенного розвитку незалежно від генотипу оптимальною була температура +30°C за тривалості культивування упродовж 21 доби. Приживлюваність гаплоїдних рослин становила 57-82%. На основі одержаних методом культури пилку *in vitro* дигаплоїдів, нами в співавторстві були вперше в Україні створені ранньостиглий сорт ріпака озимого Антарія, який характеризується однорідністю досягання насіння і слабо ушкоджується квіткоїдом та середньостиглий сорт ріпака ярого Аїра, стійкий до обсипання і посухи, з підвищеним вмістом білка в насінні.

Referens

1. Бочкарева Э.Б., Горлова Л.А., Сердюк В.В., Стрельников Е.А. (2019). Селекционная ценность дигаплоидных линий рапса ярового (*Brassica napus* L.). *Масличные культуры*. 4 (180). 18–22 <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2019-4-180-18-22>
2. Жамбакин К.Ж., Шамекова. Д.В. Волков, А.К. и др. (2012). Получение удвоенных гаплоидов рапса. *KazNU Bulletin. Biology series*, 3(55). 47-57.
3. Сорока А.И. Разработка биотехнологических основ создания селекционно-ценного материала масличных культур: Автореф. дисс. на соиск. учен. степени док. с. - х. наук. - К. - 2015. - 42 с.
4. Белинская Е.В. (2007). Создание признаковой коллекции ячменя по способности к андрогенезу *in vitro* и ее использование в генетических и биотехнологических исследованиях. *Вісн. Укр. тов-ва генетиків і селекціонерів*. 5(1-2). 11-20.
5. Сатарова Т.Н., В.Ю. Черчель, А.В. Черенков. Кукуруза: биотехнологические и селекционные аспекты. Днепропетровск: Новая идеология. 2013. 552 с.
6. Segui-Simarro J.M., F. Nuez. (2007) Embryogenesis induction, callusogenesis and plant regeneration by *in vitro* culture of tomato isolated microspores and whole anthers. *J. Exp. Bot.* 58(5).1119-1132. <https://doi.org/10.1093/jxb/eri271>
7. Rahman M., Michalak de Jiménez M. (2016). Behind the scenes of microspore-based double haploid development in *Brassica napus*: A review // *J. Plant Sci. Mol. Breed.* 5. P. 1–9. <http://dx.doi.org/10.7243/2050-2389-5-1>.
8. Shamekova M.H., Volkov D.V., Zatybekov A.K., Zhambakin K.Zh. (2015). Double haploid production of spring rapeseed with the value traits. *NEWS of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Biological and Medical*. 3(309). 5– 11.
9. Бутенко Р. Г. Биология клеток высших растений *in vitro* и биотехнологии на их основе. – М.: ФБК-ПРЕСС, 1999. – 160 с.
10. Mandal A. (2008). Induction of androgenetic haploids in the breeding materials of winter rape (*Brassica napus*). *Hereditas*. 106(2). 189-193. <https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.1987.tb00252.x>

11. Gu H., Zhao Z., Sheng X., Yu H., Wang J. (2014) Efficient doubled haploid production in microspore culture of loose-curd cauliflower (*Brassica oleracea* var. botrytis). *Euphytica*, 195(3): 467-475. <https://doi.org/10.1007/s10681-013-1008-x>
12. Kiszczak W., Kowalska U., Karpińska A., Burian M., Górecka K. (2017) Comparison of methods for obtaining doubled haploids of carrot. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 86(2): 3547. <https://doi.org/10.5586/asbp.3547>
13. Илюшко М.В., Скапцов М.В., Ромашова М.В. (2018) Содержание ядерной ДНК у регенерантов 135 риса (*Oryza sativa* L.), полученных в культуре пыльников *in vitro*. *Сельскохозяйственная биотехнология*. 53(3). 531-538. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.3.531rus>
14. Зонтиков Д.Н., Зонтикова С.А., Малахова К.В., Марамохин Э.В., Поляков А.В., Сергеев Р.В. (2020). Получение гаплоидных растений *Rubus arcticus* L. методом культуры микроспор *in vitro*. *Сельскохозяйственная биология*, 55(1). 128-136. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.1.128rus>
15. Карпачев В.В., Пастухов И.О. (2017). Оценка комбинационной способности андроклиных линий ярового рапса в диаллельных скрещиваниях. *Масличные культуры. Науч.-тех. бюл. ВНИИМК*. 1(169). 40-42. <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2020-4-184-18-23>
16. Грищенко Е.В. (2001). Эмбриогенная детерминация развития *in vitro* пыльцы *Brassica napus* (Brassicaceae). *Ботанический журнал*. 11. 1 – 9.
17. Шмыкова Н.А., Шумилина Д.В., Супрунова Т.П. (2015). Получение удвоенных гаплоидов у видов рода *Brassica* L. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 19 (1). 111-118. <https://doi.org/10.18699/VJ15.014>
18. Asif M. Progress and Opportunities of Doubled Haploid Production. Springer International Published. 2013. 75 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-00732-8>
19. Zhou W.J., Tang G.X., Harberg P. (2002). Efficient production of doubled haploid plants by immediate colchicine treatment of isolated microspores in winter *Brassica napus* L. *Plant Growth Regulation*. 37(2). 185-192. <https://doi.org/10.1023/A:1020561201125>
20. Zhou W.J., Tang G.X., Harberg P. (2002). Increasing embryogenesis and doubling efficiency by immediate colchicine treatment of isolated microspores in spring *Brassica napus* L. *Euphytica*. 128(1). 27-34. <https://doi.org/10.1023/A:1020687517888>
21. Murashige T., Skoog F. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture. *Physiol. Plant*. 15. 473 – 497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
22. Klyachenko O.L. (2002). Obtaining haploid plants of *Brassica napus* L. under *in vitro* conditions. *Bulletin of the State Nikitsky Botanical Gardens*. 86. 34- 35.
23. Круглова Н.Н. (2009). Унификация терминологии при разработке инновационной биотехнологии андроклиной гаплоидии *in vitro*: постановка проблемы. *Физиология и биохимия культурных растений*. 41(6). 476-486.

24. Dunwell J.M. (2010). Haploids in flowering plants: origins and exploitation. *Plant Biotechnology. J.* 8:377-424. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7652.2009.00498.x>
25. Don Palmer C., Keller W.A., Kasha K.J (eds.). (2005). Overview of haploidy. In: Haploids in crop improvement II. Biotechnology in agriculture and forestry, (56). Springer, Berlin, Heidelberg. 3-9. https://doi.org/10.1007/3-540-26889-8_1
26. Olmedilla A., Pua E., Davey M. (eds.) (2010). Microspore embryogenesis. In: Plant developmental biology-biotechnological perspectives. Springer, Berlin, Heidelberg. 27-44 https://doi.org/10.1007/978-3-642-04670-4_2
27. Charne D.G., W.D. Beversdorf (1988). Improving microspore culture as a rapeseed breeding tool the use of auxins and cytokinins in an induction medium. *Can. J. Bot.* 66 (8). 1671-1675. <https://doi.org/10.1139/b88-228>
28. Na H., Kwak J.H., Chun C. (2011). The effect of plant growth regulators, activated charcoal, and AgNO₃ on microspore derived embryo formation in broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*). *Hortic. Environ. Biotechnol.* 52(5). 524-529 <https://doi.org/10.1007/s13580-011-0034-7>
29. Takahashi Y., Yokoi S., Takahata Y. (2012). Improvement of microspore culture method for multiple samples in Brassica. *Breeding Science.* 61: 96-98 <https://doi.org/10.1270/jsbbs.61.96>
30. Жамбакин К.Ж. Гаплоидная биотехнология растений. Алматы, 2004. 186 с.
31. Hazarika B.N. (2006). Morpho-physiological disorders in vitro culture of plants. *Sci. Hort.* 108. (2). 105-120. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.01.038>

Klyachenko O.L. (2021). OBTAINING HAPLOIDS AND DIHAPLOIDS OF RAPESEE (BRASSICA NAPUS L.) IN VITRO.

BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 12(4): 34-42.
<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/editor/submission/15990>
<https://doi.org/10.31548/biologiya2021.04.003>

Abstract. In selective breeding-genetic research of crops, the use of experimental haploidy methods is associated with the possibility of obtaining homozygous constant material in one generation, while in traditional breeding it is necessary to conduct several generations of inbreeding for 6-8 years. Step-wise processing of isolated buds with reduced (+4 ° C for 36 h) and elevated temperatures (+22 ° C for 21 days and +30 ° C for 10, 14, 21 days) was selected and applied, which allows to complete the differentiation process. It was shown that for the induction of embryogenic development, regardless of genotype, the optimal temperature was +30 ° C for the duration of cultivation for 21 days. The regenerative capacity of the obtained embryos was determined by the original genotype. Obtained rooted haploid plants-regenerants with normal geo- and phototropic reaction were transferred to the diploid level (2n = 38) using an aqueous solution of 0.1% colchicine on the root system at 4 hours of exposure. On the basis of in vitro pollen dihaploids obtained by us, we co-authored for the first time in Ukraine an early-ripening variety of winter rapeseed *Antaria* and a medium-ripening variety of spring rapeseed *Aira*.

Keywords: winter and spring rapeseed, haploids, callus, plant-regenerant.

НАКОПИЧЕННЯ ЗАЛИШКОВИХ КІЛЬКОСТЕЙ ПЕСТИЦИДІВ У ГРУНТАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ

¹**САЛЬНИКОВА А. В.**, кандидат сільськогосподарських наук, старший викладач кафедри загальної екології, радіобіології та безпеки життєдіяльності,

[ORCID 0000-0001-6706-2140](https://orcid.org/0000-0001-6706-2140)

²**САЛЬНИКОВ С. М.**, кандидат сільськогосподарських наук, науковий співробітник,

[ORCID 0000-0002-6704-2729](https://orcid.org/0000-0002-6704-2729)

¹**Національний університет біоресурсів і природокористування України**

²**Інститут здоров'я рослин**

Анотація. Внесення пестицидів в Україні широко застосовується під час вирощування сільськогосподарських культур, проте є небезпека накопичення в ґрунтах їхніх залишків. Особливо в разі використання діючих речовин, які заборонені до використання у Європейському союзі, але дозволені до використання в Україні підвищується ризик накопичення цих речовин та їхніх метаболітів у ґрунтах сільськогосподарських земель. Перед визначенням небезпеки накопичення залишків пестицидів було аналізовано перелік препаратів, які вносилися на сільськогосподарських землях дослідного господарства. Для оцінювання можливості накопичення в ґрунті залишків пестицидів було проведено у 2021 році визначення їхнього вмісту в ґрунтах на полях виробничої сівозміни Відокремленого підрозділу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Агрономічна дослідна станція» (Васильківський район Київської області) на різних сільськогосподарських культурах (пшениця озима, кукурудза та соняшник). Аналіз накопичення залишків пестицидів показав, що вже на початку вегетаційного періоду було знайдено залишки флутріафолу без перевищення нормативів, а метолахлору – на межі дозволеного рівня. Вкінці вегетаційного періоду на кукурудзі та соняшнику знайдено перевищення максимально-допустимих рівнів метолахлору, ципроконазолу та ципродінілу. Після збору урожаю пшениці озимої зафіксовано перевищення метолахлору та ципроконазолу. Для оцінювання впливу залишків пестицидів на токсичність ґрунту було здійснено фітотест на визначення схожості насіння редису з червоним кінчиком. Результати досліджень показали, що най-

більшою фітотоксичністю володіє ґрунт поля 4, де було внесено най-більшу кількість препаратів II класу небезпечності. Було встановлено, що ризик накопичення залишків пестицидів збільшується за збільшення кількості препаратів I – II класу небезпечності, що вносяться в ґрунти.

Ключові слова. Пестициди, залишки пестицидів, клас небезпечно-сті речовин, сільськогосподарське підприємство, фітотоксичність.

Вступ. За даними Євростату використання пестицидів у Європейському союзі (ЄС) у 2019 році становило 333 418 тонн. Понад дві третини загального обсягу продажів пестицидів ЄС у 2011 – 2019 рр. зосереджені в таких країнах-членах, як Німеччина, Іспанія, Франція та Італія (Eurostat, 2021).

Наразі в Європейському союзі створюються Національні плани дій, спрямовані на розробку та впровадження цілей, завдань, заходів, що спрямовані на зменшення обсягів використання та ризиків негативного впливу залишків пестицидів на здоров'я людини та довкілля (Directive 2009/128/EC, 2009). Також зв'язку із впровадженням Програми Green Deal у галузі сільського господарства в Європі скорочуються обсяги застосування пестицидів, і далі забороняють різні діючі речовини, які використовуються для захисту сільськогосподарських культур (European Green Deal, 2019).

Таку необхідність підтверджують проведені наукові дослідження, що свідчать про наявність у ґрунтах 11 країн Європи високих концентрацій залишків пестицидів, зокрема, гербіцидів – гліфосату, амінометилфосфонові кислоти (АМРА), ДДТ та його метаболітів, а також фунгіцидів широкого спектру дії – боскаліду, епоксиконазолу та тебуконазолу (Silva V., 2019).

У Європейському Союзі є велика база даних щодо дозволених до використання діючих речовин, що дозволені до використання у

сільському господарстві, із зазначенням допустимих рівнів вмісту цих речовин у ґрунтах, сільськогосподарських рослинах, організмі тварин, риб тощо (EU Pesticides Database, 2021).

За офіційною статистикою у 2020 році в Україні було використано 40,8 тис. тонн різних пестицидів на площі 48,96 млн га, зокрема, біологічних препаратів на площі 1713 тис га, а хімічних пестицидів – на 46 242 тис га. Динаміка застосування пестицидів із 2018 до 2020 рр. свідчить про поступове зменшення обсягів їхнього внесення, що пов'язано зі збільшенням концентрації діючої речовини в препаратах (Держспоживслужба України, 2020).

Україна у 2014 році підписала угоду про Асоціацію з Європейським союзом, що зумовило необхідність імплементації нормативно-правової бази у галузі нормування вмісту залишків пестицидів к ґрунтах. Аналіз нормативних документів Європейською союзу показав значне скорочення кількості дозволених діючих речовин (наразі заборонено 120 речовин). Серед них гербіциди (атразин, гліфосат, ацетохлор), інсектициди (імідаклоприд, хлорпірифос та хлорпірифос-метил).

Проте в Україні заборонених до застосування діючих речовин лише 80, тому і далі використовують цілу низку діючих речовин, які можуть чинити негативний вплив на навколишнє природне середо-

вище та живі організми. Для експорту сільськогосподарської продукції з України до Європи необхідно слідкувати за світовим тенденціями із заборони пестицидів, реалізовувати досвід ЄС в Україні та контролювати залишки пестицидів у ґрунтах сільськогосподарських земель та вирощеній на ній продукції.

Особливу увагу потрібно приділяти аналізу залишків пестицидів у спеціальних сировинних зонах та органічному виробництві сільськогосподарської продукції (у разі надання статусу оператора органічного виробництва), оскільки під час ведення такого сільськогосподарського виробництва можна використовувати лише дозволені речовини для захисту сільськогосподарських рослин (Макаренко, 2014).

Матеріали та методи дослідження.

Дослідження проводились у на базі Відокремленого підрозділу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Агрономічна дослідна станція» (ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція»). Визначення вмісту залишків пестицидів проводилося на 5 полях польової сівоzmіни (рис. 1.)

Зразки ґрунту відбирали на початку вегетаційного періоду (квітень 2021) та після збору урожаю озимої пшениці (вересень 2021) на полі № 1, 2, 4 (частина 1). Також відбирали зразки ґрунту перед сівбою (квітень 2021 р.) та 30 днів після внесення усіх пестицидів (вересень 2021 р.) на полях кукурудзи № 3, 4 (частина 2) та соняшнику – № 5.

Переважаючий тип ґрунту на полях господарства – чорнозем ти-

повий середньосуглинковий. Фізико-хімічні показники чорнозему типового середньосуглинкового: рН сольової витяжки 7,2 – 7,7, вміст гумусу – 3,6 – 5,8, вміст азоту – 108 – 150 мг/кг, вміст фосфору – 98,01 – 142,0 мг/кг, вміст калію – 58,38 – 141,0 мг/кг.

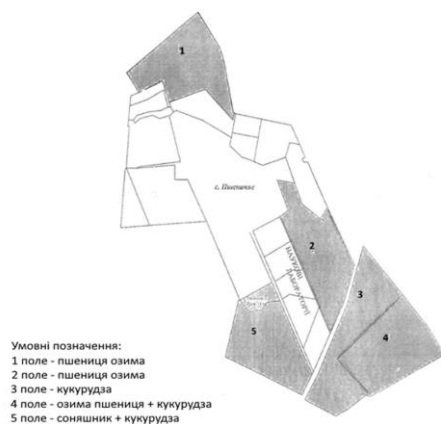


Рис. 1 Структура посівних площ ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція» у 2021 році

Відбір зразків для визначення вмісту залишків пестицидів здійснювався за ДСТУ ISO 10381-1:2004 «Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 1. Настанови щодо складання програми відбирання проб (ISO 10381-1:2002, IDT)», ДСТУ ISO 10381-2:2004 «Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 2. Настанови з методів відбирання проб (ISO 10381-2:2002, IDT)». Були відібрані середньозважені проби ґрунту із шару 0-20 см ручним пробовідбирником.

Дослідження вмісту залишків пестицидів у ґрунтах ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція» проводили методом хроматомас спектрометрії, зокрема, рідинним хроматографом Agilent 1260 з одноквадропульним детектором

Agilent 6125, рідинним хроматографом Agilent 1290 з трьохквадрупольним детектором Agilent 6460, газовим хроматографом Agilent 7890В з одноквадрупольним детектором Agilent 5977 та трьохквадрупольним детектором Agilent 7000.

Вплив залишків пестицидів на токсичність ґрунту оцінювали за допомогою біотесту за використанням ДСТУ ISO 17126:200 «Якість ґрунту. Визначення впливу забрудників на флору ґрунту. Спостережний дослід на проростання насіння салату (*Lactuca sativa* L.)» на культурі редис із червоним кінчиком.

Результати дослідження та їх обговорення.

Для дослідження можливості накопичення залишків пестицидів у ґрунтах було обрано підприємство з інтенсивною системою захисту сільськогосподарських культур. Аналіз препаратів, які вносилися на полях господарства у 2021 році на кожному із 5 полів польової сівозміни показав, що більшість препаратів відносяться до II та III класу небезпечності (табл.1).

1. Перелік препаратів, які вносилися на полях ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція» у 2021 році

№ з/п	Номер поля господарства	Назва препарату	Тип препарату	Назва діючої речовини, г/л	Клас небезпечності препарату
1	2	3	4	5	6
1	1	Примекстра Голд	гербіцид	S-метолахлору, 400 атразин, 320	III
2		Карбемизим	фунгіцид	карбендазим, 500	II
3		Канонір Дуо	інсектицид	імідаклоприд, 300 лямбда-цигалотрин, 100	II
4	2	Пріма Форте	гербіцид	флорасулам, 5, аміно- піралід, 10, 2,4-Д (2- етилгексилловий ефір), 180	III
5		Флутривіт	фунгіцид	флутріафол, 250	III
6		Болівар форте	фунгіцид	тубеконазол, 240	II
7		Канонір Дуо	інсектицид	імідаклоприд, 300 лямбда-цигалотрин, 100	II
8		Пріма Форте	гербіцид	флорасулам, 5, аміно- піралід, 10, 2,4-Д (2- етилгексилловий ефір), 180	III
9		Гезагард	гербіцид	прометрин, 500	III
10	3 (частина 1)	Примекстра Голд	гербіцид	s-метолахлору, 400 атразин, 320	III
11		Форнет	гербіцид	нікосульфурон, 40	III
1	2	3	4	5	6

12	3 (частина 2)	Пріма Форте	гербіцид	флорасулам, 5, аміно- піралід, 10, 2,4-Д (2- етилгексилловий ефір), 180	III
13		Гезагард	гербіцид	прометрин, 500	III
14	4 (частина 1)	Тілт Турбо	фунгіцид	фенпропідин, 450 пропіконазол, 125	II
15		Енжіо	інсектицид	тіаметоксам, 141 лямбда-цигалотрин, 106	II
16		Дербі	гербіцид	флуметсулам 100 флорасулам 75	III
17	4 (частина 2)	Примекстра Голд	гербіцид	s-метолахлору, 400 атразин, 320	III
18		Енжіо	інсектицид	тіаметоксам, 141 лямбда-цигалотрин, 106	II
19		Амістар Ек- стра	фунгіцид	азоксистробін, 200, ци- проконазол 80	II
20		Канонір Дуо	інсектицид	імідаклоприд, 300 лямбда-цигалотрин, 100	II
21		Флутривіт	фунгіцид	флутріафол, 250	III
22		Гезагард	гербіцид	прометрин, 500	III
23	5	Форнет	гербіцид	нікосульфурон, 40	III
24		Харнес	гербіцид	фцетохлор, 900	II
25		Гезагард	гербіцид	прометрин, 500	III
26		Хорус	фунгіцид	ципродиніл, 750	III

Уже на початку вегетаційного періоду (озима пшениця) та перед посівом сільськогосподарських культур (кукурудза, соняшник) виявлено залишки пестицидів у ґрунтах усіх полів ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція», крім

поля 3 (частина 1) (табл. 2). Залишки флутріафолу знайдено на полях 1, 2, 4 та 5, проте його вміст не перевищував максимально-допустимих рівнів. Знайдено також залишки метолахлору на полях 2, 3 (частина 2), який знаходився на межі дозволеного рівня.

2. Уміст залишків пестицидів у ґрунтах ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція» (квітень 2021 р.)

Назва діючої речовини	Вміст у ґрунті, мг/кг	Відхилення, мг/кг	Максимально-допустимі рівні, мг/кг
1	2	3	4
Поле 1			
флутріафол	0,033	±0,017	0,1
імідаклоприд	не знайдено	-	0,08
лямбда-цигалотрин	не знайдено	-	0,003
флуметсулам	не знайдено	-	0,05
1	2	3	4
флорасулам	не знайдено	-	не встановлено
Поле 2			
флутріафол	0,015	±0,008	0,1
метолахлор	0,019	±0,010	0,02

флуметсулам	не знайдено	-	0,05
флорасулам	не знайдено	-	не встановлено
імідаклоприд	не знайдено	-	0,08
лямбда-цигалотрин	не знайдено	-	0,003
тербутилазин	не знайдено	-	0,003
Поле 3 (частина 1)			
нікосульфурон	не знайдено	-	2,0
імідаклоприд	не знайдено	-	0,08
лямбда-цигалотрин	не знайдено	-	0,003
Поле 3 (частина 2)			
метолахлор	0,019	±0,010	0,02
тербутилазин	не знайдено	-	0,003
імідаклоприд	не знайдено	-	0,08
лямбда-цигалотрин	не знайдено	-	0,003
Поле 4 (частина 1)			
флутріафол	0,019	±0,010	0,1
флуметсулам	не знайдено	-	0,05
флорасулам	не знайдено	-	не встановлено
карбендазим	не знайдено	-	0,01
Поле 4 (частина 2)			
флутріафол	0,045	±0,023	0,1
флуметсулам	не знайдено	-	0,05
флорасулам	не знайдено	-	не встановлено
імідаклоприд	не знайдено	-	0,08
лямбда-цигалотрин	не знайдено	-	0,003
Поле 5			
флутріафол, мг/кг	0,028	±0,014	0,1
фенпропідин	не знайдено	-	0,005
пропіконазол	не знайдено	-	0,04
тіаметоксам	не знайдено	-	0,02
лямбда-цигалотрин	не знайдено	-	0,003

Токсичність пестицидів залежить від низки показників, одним яких є час піврозпаду, а він так само залежить від типу ґрунту, режиму його вологості та фізико-хімічних властивостей найдієвішої речовини. Дані про час піврозпаду метолахлору різняться у науковій літературі, в середньому 39 – 63 діб (Westra, 2014), а флутріафолу 400 – 1500 діб (EFSA, 2010) (European Food Safety Authority, 2010; Anastassiadou, 2020). Виявлення залишків цих речовин майже через рік після їхнього внесення свідчить про надмірне його внесення, а також процеси в ґрунті, які запобігають процесам розкладу цих речовини в ґрунті.

Наприкінці вегетаційного періоду (30 днів після внесення препаратів) на полях кукурудзі – № 3, 4 (частина 1) та соняшнику – № 5 знайдено залишки великої кількості діючих речовин. Перевищення максимально-допустимих рівнів встановлено для метолахлору (поля 3 частина 1 та 4 частина 2), ципроконазолу (поле 4) та ципродінілу (поле 5). Після збору урожаю пшениці озимої визначено вміст залишків пестицидів на полях 1, 2, 4 (частина 2) показав, що перевищення максимально-допустимих рівнів метолахлору (поля 1 та 4 частина 2), прометрину (поле 2) та ципроконазолу (поле 4 частина 2) (табл. 3).

Було з'ясовано, що високі концентрації залишків пестицидів зафіксовано за внесення на полях препаратів II класу небезпечності,

що свідчить про додатковий негативний вплив на агроєкосистеми цього чинника.

3. Уміст залишків пестицидів у ґрунтах ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція» (вересень 2021 р.)

Назва діючої речовини	Вміст у ґрунті, мг/кг	Відхилення, мг/кг	Максимально-допустимі рівні, мг/кг
1	2	3	4
Поле 1			
метолахлор	0,062	±0,031	0,02
імідаклоприд	0,038	±0,019	0,04
p,p'-ДДЕ	0,054	±0,027	0,1
p,p'-ДДТ	0,012	±0,006	0,1
інші пестициди	<0,01	-	-
Поле 2			
флутріафол	0,029	±0,015	0,1
імідаклоприд	0,146	±0,073	0,04
прометрин	0,045	±0,023	0,5
p,p'-ДДЕ	0,032	±0,016	0,1
p,p'-ДДТ	0,017	±0,009	0,1
інші пестициди	<0,01	-	-
Поле 3 (частина 1)			
метолахлор	0,315	±0,158	0,02
прометрин	0,028	±0,014	0,5
інші пестициди	<0,01	-	-
Поле 3 (частина 2)			
імідаклоприд	0,013	±0,007	0,04
пропіконазол	0,011	±0,006	0,2
прометрин	0,266	±0,133	0,5
ципродиніл	0,024	±0,012	0,2
інші пестициди	<0,01	-	-
1	2	3	4
Поле 4 (частина 1)			
флутріафол	0,031	±0,016	0,1
ципроконазол	0,012	±0,006	0,01
імідаклоприд	0,030	±0,015	0,04
пропіконазол	0,020	±0,010	0,2
прометрин	0,255	±0,128	0,5
ципродиніл	0,022	±0,011	0,2
інші пестициди	<0,01	-	-
Поле 4 (частина 2)			
метолахлор	0,198	±0,099	0,02
азоксистробін	0,101	±0,051	0,3
ципроконазол	0,107	±0,054	0,01
флутріафол	0,033	±0,017	0,1
імідаклоприд	0,031	±0,016	0,04
тіаметоксам	0,035	±0,018	0,1

прометрин	0,028	±0,014	0,5
хлорпіріфос	0,033	±0,017	0,2
інші пестициди	<0,01	-	-
Поле 5			
нікосульфурон	0,082	±0,041	0,2
ацетохлор	0,024	±0,012	0,5
прометрин	0,204	±0,102	0,5
ципродиніл	0,018	±0,009	0,2
інші пестициди	<0,01	-	-

Найшвидше розкладаються імідаклоприд – час його піврозпаду 2 – 12,2 діб (Phong, 2009), прометрин – 40-60 діб, ципродініл – 11-98 доби, пропіконазол – 15-96 діб, нікосульфурон – 20 – 150 діб (Pesticide Properties DataBase, 2021), тіаметоксам – 46 – 89 діб (Rosa, 2015). Більше часу необхідно для розпаду ципроконазолу – 60-500 діб, хлорпіріфосу 12 – 200 днів, азоксистробіну – 120-260 діб, (Pesticide Properties DataBase, 2021). Знайдені залишки ДДТ та ДДЕ є метаболітами розкладу 2,4-Д (2-етилгексилового ефіру), час піврозпаду якого становить 26-99 діб (Muszyński, 2020).

Для встановлення токсичності ґрунту було поведено фітотестування із редисом сорту з червоним

кінчиком. Результати показали, що в разі збільшення кількості внесення в ґрунт препаратів II класу небезпечності прослідковується пригнічення проростання насіння редису (рис. 2). Поле 4 характеризується великою кількістю залишків пестицидів, перевищенням максимально-допустимих рівні вмісту залишків метолахлору та ципроконазолу, що вплинуло на схожість редису, зокрема, 81 % у порівнянні із 93 % на контролі. Це свідчить про негативний вплив залишків пестицидів у ґрунтах сільськогосподарських земель на процеси росту і розвитку рослин.

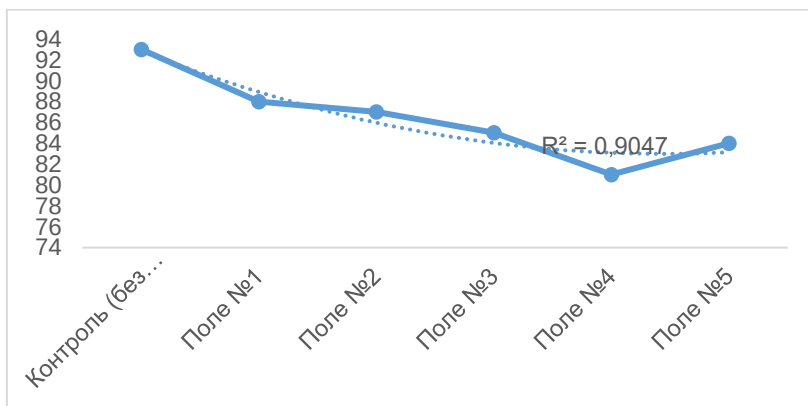


Рис. 2. Визначення фітотоксичності ґрунту (чорнозему типового середньосуглинкового) за пророщенням насіння редису сорту з червоним кінчиком

Висновки і перспективи.

У сучасних умовах сільськогосподарського виробництва постає проблема накопичення залишків пестицидів у ґрунтах сільськогосподарських земель. Аналіз препаратів, які вносилися на полях ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція» у 2021 році на кожному із 5 полів польової сівозміни показав, що більшість препаратів належать до II та III класу небезпечності.

На початку вегетаційного періоду (озима пшениця) та перед посівом сільськогосподарських культур (кукурудза, соняшник) виявлено перевищення метолахлору на полях 2, 3 (частина 2). Залишки флутріафолу знайдено на полях 1, 2, 4 та 5, але без перевищення максимально-допустимих рівнів. Так само наприкінці вегетаційного періоду (30 днів після внесення препаратів) знайдено перевищення максимально-допустимих рівнів метолахлору (поля 3 частина 1 та 4 частина 2), ципроконазолу (поле 4) та ципродінілу (поле 5). Після збору урожаю пшениці озимої визначено перевищення максимально-допустимих рівнів метолахлору (поля 1 та 4 частина 2), прометрину (поле 2) та ципроконазолу (поле 4 частина 2). Результати досліджень свідчать, що небезпека накопичення в ґрунтах залишків пестицидів зростає у разі збільшення внесення препаратів II класу небезпечності.

Проведено визначення фітотоксичності ґрунту із залишками пестицидів (ґрунт відібрано у вересні 2021 року) за пророщенням редису сорту з червоним кінчиком, показав, що в разі збільшення залишків пестицидів зменшується схожість насіння. Саме ґрунт поля 4 харак-

теризується перевищенням максимально-допустимих рівнів вмісту залишків метолахлору та ципроконазолу, а також найменшим рівнем схожості насіння редису.

У результаті дослідження було з'ясовано, що збільшення кількості та концентрації залишків пестицидів залежить від класу небезпечності препаратів, які вносилися на полях господарства. Використання в Україні діючих речовин, які заборонені у Європейському союзі та низці країн світу може підвищувати ризики накопичення залишків пестицидів у ґрунтах сільськогосподарських земель. Так само накопичення залишків пестицидів у ґрунтах може негативно впливати на ріст і розвиток сільськогосподарських культур та живі організми ґрунту.

References

1. Agri-environmental indicator - consumption of pesticides. Available at: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agri-environmental_indicator_-_consumption_of_pesticides
2. Directive 2009/128/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 establishing a framework for Community action to achieve the sustainable use of pesticides. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2009/128/oj>
3. European Green Deal. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52019DC0640&qid=1637194176298>
4. Silva V., Mol H.G.J., Zomer P., Tienstra M., Ritsema C.J., V. Geissen (2019) Pesticide residues in European agricultural soils – A hidden reality unfolded. Science of The Total Environment, Vol.

653, 532-1545 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.441>

5. EU Pesticides Database (2021) Active substances, safeners and synergists (1465 matching records). Available at: <https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/active-substances/?event=search.as>

6. Zabezpechenist` sil` gospidpry` yemstv zasobamy` zaxy`stu rosly`n u 2020 roci Derzhavna sluzhba Ukrayiny` z py`tan` bezpechnosti xarchovy`x produktiv ta zaxy`stu spozhy`vachiv. Available at: <https://dpss.gov.ua/fitosanitariya-kontrol-u-sferi-nasinnictva-ta-rozsadnictva/fitosanitarnij-kontrol/fitosanitarnij-monitoring/zahis-t-roslyn> [in Ukrainian]

7. Makarenko N.A., Salnikova A.V., Bondar V.I. (2014) Prydatnist pestytsydiv dlia zakhystu silskohospodarskykh roslyyn v orhanichnomu vyrobnytstvi. Zakhyst i karantyn roslyn, №12. SS. 3 – 4 [in Ukrainian]

8. Westra E.P., Shaner D.L., Westra P.H., Chapman P. L. (2014) Dissipation and Leaching of Pyroxasulfone and S-Metolachlor. Weed Technology, Volume 28, Issue 1, March 2014, pp. 72 – 81. DOI: <https://doi.org/10.1614/WT-D-13-00047.1>

9. EFSA (European Food Safety Authority), 2010. Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance flutriafol. EFSA Journal 2010;8(10):1868, 50 pp.

10. M. Anastassiadou, G. Bernasconi, A. Brancato, L. Carrasco Cabrera, L. Ferreira, L. Greco, S. Jarrah, A. Kazocina, R. Leuschner, J. O. Magrans, I. Miron, S. Nave, R.

Pedersen, H. Reich, A. Rojas, A. Sacchi, M.I Santos, A. Pia Scarlato, A. Theobald, B. Vagenende, and A. Verani (2020) Evaluation of confirmatory data following the Article 12 MRL review and setting of an import tolerance for flutriafol in cucurbits (inedible peel) EFSA J. 2020 Dec; 18(12): e06315. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6315>

11. Thai Khanh Phong, Dang Thi Tuyet Nhung, Takashi Motobayashi, Dang Quoc Thuyet & Hirozumi Watanabe (2009) Fate and Transport of Nursery-Box-Applied Tricyclazole and Imidacloprid in Paddy Fields. Water, Air, and Soil Pollution. volume 202, pages 3–12. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11270-008-9953-z>

12. PPDB: Pesticide Properties DataBase. Available at: <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/465.htm#3>

13. Rosa I. I., Rômulo P., Scorza P., Júlio J., Saltonleda de Carvalho C., Fábio M., Mercante M. (2015) Persistence of insecticides and microbiological attributes in a soil under different management systems Cienc. Rural, 45 (01) <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20131328>

14. Muszyński, Brodowska M.S., Paszko T. (2020) Occurrence and transformation of phenoxy acids in aquatic environment and photochemical methods of their removal: a review. Environmental Science and Pollution Research volume 27, 1276–1293

A. V. SALNIKOVA, S. M. SALNIKOV (2021). ACCUMULATION OF PESTICIDE RESIDUAL AMOUNTS IN AGRICULTURAL SOILS.

BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 12(4): 43-53.

<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/editor/submission/15991>

<https://doi.org/10.31548/biologiya2021.04.004>

Abstract. The application of pesticides in Ukraine is widely used in the cultivation of crops, but there is a danger of accumulation of their residues in the soil. Especially when using plant protection products with active substances that are highly toxic to the environment and living organisms. Before determining the risk of accumulation of pesticide residues, it is necessary to analyze the list of drugs that were applied to agricultural land. The assess the possibility of accumulation of pesticide residues in the soil, their content in the soils of the agricultural enterprise was determined. The research was conducted in 2021 on the fields of industrial crop rotation of the Separate Division of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine "Agronomic Research Station" (Vasylkiv district of Kyiv region) on various crops (winter wheat, corn, and sunflower). Analysis of the accumulation of pesticide residues showed that at the beginning of the growing season residues of flutriafol were found without exceeding the standards, and metolachlor - at the permissible level. At the end of the growing season, the maximum permissible levels of metolachlor, cyproconazole and cyprodinil were found to be exceeded in maize and sunflower. After harvesting winter wheat, an excess of metolachlor and cyproconazole was recorded. It was found that high concentrations of pesticide residues were recorded when applying hazard class II drugs in the fields. To assess the effect of pesticide residues on soil toxicity, a phytotest was performed to determine the germination of radish seeds with a red tip. The results confirm the previous studies on the increased risk of accumulation of pesticide residues when applied to soils of hazard class II drugs, as the greatest phytotoxicity was recorded in the soil of the field where most of these drugs were applied.

Keywords. Pesticides, pesticide residues, evaluation, agricultural enterprise, phytotoxicity.

ПРОСТОРОВО-ЧАСОВА ДИНАМІКА ФОРМУВАННЯ ГІДРОМОРФНИХ ЛАНДШАФТІВ У КАНІВСЬКОМУ ВОДОСХОВИЩІ

¹СТАРОДУБЦЕВ В. М., доктор біологічних наук, професор, кафедра екології агросфери та екологічного контролю,
ORCID [0000-0002-7053-2032](https://orcid.org/0000-0002-7053-2032),

E-mail: vmstarodubtsev3@gmail.com

¹ЛАДИКА М. М., кандидат сільськогосподарських наук, доцент, кафедра екології агросфери та екологічного контролю,

ORCID [0000-0002-5164-7117](https://orcid.org/0000-0002-5164-7117),

E-mail: mm.ladyka@gmail.com

¹БОГДАНЕЦЬ В. А., кандидат сільськогосподарських наук, доцент, кафедра геодезії та картографії,

ORCID [0000-0003-0051-1778](https://orcid.org/0000-0003-0051-1778),

E-mail: v_bogdanets@nubip.edu.ua

¹НАУМОВСЬКА О. І., кандидат сільськогосподарських наук, доцент, кафедра екології агросфери та екологічного контролю,

ORCID [0000-0002-5938-8471](https://orcid.org/0000-0002-5938-8471),

E-mail: el.naumovskaya@gmail.com

¹Національний університет біоресурсів і природокористування
України

Анотація. Вплив водосховищ на довкілля й на умови життя населення в басейнах річок із зарегульованим стоком привертає все більшу гостру увагу в усьому світі. Адже, з одного боку, – це економічний розвиток територій, де вони розташовані (виробництво електроенергії, зрошення земель, промислове й комунальне водопостачання та ін.), а з іншого – суттєвий вплив на природу, підтоплюючи прилеглі землі, руйнуючи береги, погіршуючи якість води тощо.

Предметом дослідження є динаміка формування гідроморфних ландшафтів у Канівському водосховищі в часі і просторі за період його функціонування в 1976 – 2020 рр. Методи дослідження включали науковий аналіз результатів попередніх досліджень, польові маршрути (водні й наземні) в акваторії водойми й на островах і узбережжі з геопросторовим визначенням пунктів спостережень GPS-приймачем, описи профілю ґрунтів на островах (в тому числі новостворюваних) за стандартними методиками, картографування поширення прибережно-водної і водної рослинності з використанням матеріалів дистанційного зондування Землі (космічних знімків супутників Ландсат-2, 4-5, 8, а в останні роки – і Сентинел-2а і 2б).

Встановлено, що приріст площ гідроморфних ландшафтів у Канівському водосховищі за 1981 – 2000 рр. становив у середньому 49 га/рік, за 2001 – 2018 рр. – 86 га/рік, а середній приріст за увесь період становив 70,5 га/рік. Загальна площа приросту цих ландшафтів склала

2680 га, причому найбільший приріст припадає на верхню й середню частини водойми.

У складі різноманітної і вже добре вивченої рослинності водосховища доцільно підкреслити поширення (експансію) водяного горіху плаваючого (*Trapa natans* L.) та глечиків жовтих (*Nuphar lutea*), занесених до Зеленої книги України (2009), у верхній частині водойми в умовах мілководь, надходження органічних речовин зі стічними водами і високих літніх температур.

Інтенсивне збільшення площі гідроморфних ландшафтів спостерігається і прогнозується в тилувій (щодо течії) частині великих островів у верхній (річковій) ділянці водойми, уздовж лівобережної дамби до с. Кийлів, у районі водно-болотних угідь між с. Кийлів та Ржищівським полігоном. Активне заростання водною рослинністю (з плаваючим листям) продовжується в літній період на всій території між м. Українка та с. Кийлів. Фрагментарне утворення гідроморфних ландшафтів продовжується уздовж високих берегів (мергельних кліфів) правобережжя на обвальо-осипних відкладах.

Ключові слова: Канівське водосховище, ландшафти, динаміка, космічні знімки.

Вступ. Вплив водосховищ на довкілля й на умови життя населення в басейнах річок із зарегульованим стоком привертає все більш гостру увагу в усьому світі. Йде відчайдушна боротьба прихильників економічного розвитку завдяки створенню великих (і навіть гігантських) водосховищ для виробництва електричної енергії, зрошення земель, промислового й комунального водопостачання та інших цілей, з одного боку, й прихильників охорони природи, збереження річок у близькому до первозданного стані, обмеження водокористування, з іншого. Потреба перших цілком зрозуміла, адже нації й держави, які на певному історичному відрізку відстали в соціально-економічному розвитку, намагаються рішуче долати це відставання саме завдяки гідроенергетиці насамперед. Так, наприклад, діють Ефіопія й Судан, споруджуючи в останні роки величезні водосховища на річці Блакитний Ніл. Не менш зрозуміла й позиція екологів, оскільки водосховища та їхні кас-

кади чинять суттєвий вплив на природу, підтоплюючи прилеглі землі, руйнуючи береги, погіршуючи якість води тощо.

Але найбільш грізним наслідком створення каскадів водосховищ і інтенсифікації використання річкової води стає перерозподіл водних ресурсів у басейнах так званих трансграничних річок від їхнього витоку до нижньої течії. Якщо держави у верхній течії річок використовують воду з допомогою водосховищ і каналів практично без обмежень, то в нижній течії стає все менше води, а її якість – усе гірше. Напружена ситуація складається в багатьох басейнах великих річок світу, а в деяких вона вже катастрофічна. Так, надмірне використання річкової води у верхній і середній частинах басейнів річок Сирдар'я та Амудар'я призвело до опустелення й засолення мільйонів гектарів ґрунтів у їхніх дельтах й до висихання Аральського моря. Жорстка (поки - мирна) боротьба за воду річки Колорадо продовжується між США та Мексикою, за

воду річки Євфрат – між Туреччиною та Сирією й Іраком, річки Йордан – між державами Близького Сходу. Напружені міждержавні перемовини щодо раціонального поділу водних ресурсів річок йдуть у південно-східній Азії, у Південній Америці, тобто практично – глобально.

Необхідно звертати увагу й на такі наслідки створення великих водосховищ, як затоплення великих площ земель у долинах річок, переселення людей із затоплених поселень, а також втрата історико-культурної та духовної спадщини народів, які проживали на тій місцевості не тільки безпосередньо перед створенням штучних водойм, а й тих народів, які проживали там в історичному минулому. Не рідко затоплюються архітектурні й духовні пам'ятки, якими дорожать народи, що покинули ці землі внаслідок воєн чи інших історичних процесів. Такі факти часто просто замовчуються під час розробки проєктів водосховищ, а іноді (на жаль) такі дії реалізуються зумисно для «стирання» реальної історичної пам'яті.

Усе це різноманіття проблем, зумовлених створенням великих водосховищ, заслуговує суттєвої уваги наших науковців, для чого планується створити (спочатку на громадських засадах) науково-популярний центр «Водосховища і Довкілля» (“Dams and Environment”), зробивши об'єктом уваги вчених-екологів штучні водойми як України, так і інших регіонів світу. А в цій роботі розглядається проблема просторово-часової динаміки формування гідроморфних ландшафтів у Канівському водосховищі – другому у Дніпровському

каскаді (рис. 1). Адже вплив водосховищ на ландшафти прилеглих до них територій достатньо висвітлений на прикладі водойм різних природних зон, у тому числі й у наших публікаціях [7, 12, 13]. Певна увага приділена дослідженню змін ландшафтів на літоралі Канівського водосховища й на його островах, у тому числі й тих, що саме створюються у водоймі [8, 9, 14, 15]. Важливо зазначити, що певні зміни, зокрема заростання рослинністю водойми після її створення, прогнозувалися відомими українськими науковцями, у тому числі в публікаціях [4, 6]. І ставиться завдання дослідити реальну динаміку новостворюваних ландшафтів у цій водоймі за часи її функціонування.

Предмет і методи дослідження.

Предметом дослідження є динаміка формування гідроморфних ландшафтів у Канівському водосховищі в часі і просторі за період його функціонування в 1976-2020 рр. Методи дослідження включали науковий аналіз результатів попередніх досліджень, польові маршрути (водні й наземні) в акваторії водойми й на островах і узбережжі з геопросторовим визначенням пунктів спостережень GPS-приймачем, описи профілю ґрунтів на островах (в тому числі новостворюваних) за стандартними методиками, картографування поширення прибережно-водної і водної рослинності з використанням матеріалів дистанційного зондування Землі (космічних знімків супутників Ландсат-2, 4-5, 8, а в останні роки – і Сентинел-2а й 2б).

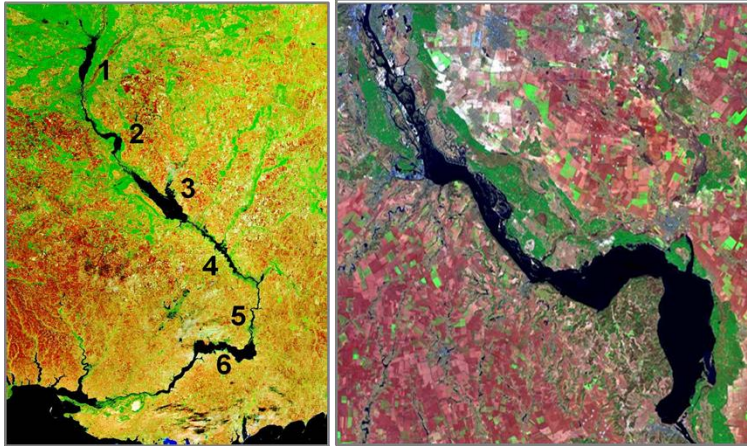


Рис. 1. Дніпровський каскад водосховищ (1 – Київське, 2 – Канівське, 3 – Кременчуцьке, 4 – Кам'янське, 5 – Дніпровське, 6 – Каховське) і космічний знімок Канівського водосховища (Ландсат-8)

Результати й обговорення.

Канівське водосховище наповнене в 1976 р., його проектний об'єм за нормального підпірного рівня (НПР) 91,5 м становить 2,50 км³, за рівня мертвого об'єму (РМО) – 2,20 км³, об'єм між НПР і РМО – 0,30 км³. Довжина водосховища – 123 км, максимальна ширина – 8,0 км, середня ширина – 5,5 км, середня глибина – 3,9 м, а найбільша – 21 м. Водосховище

виконує функції добового й недільного регулювання стоку Дніпра для вироблення електроенергії переважно в «пікові» періоди. Отже, його рівні коливаються у невеликому інтервалі всього 20-30 см (рис. 2). Лише у 2010 р. у зв'язку із загрозою потужної повені [9] й можливого затоплення котеджної забудови в Конча-Заспі його рівень був знижений майже на 1 м.

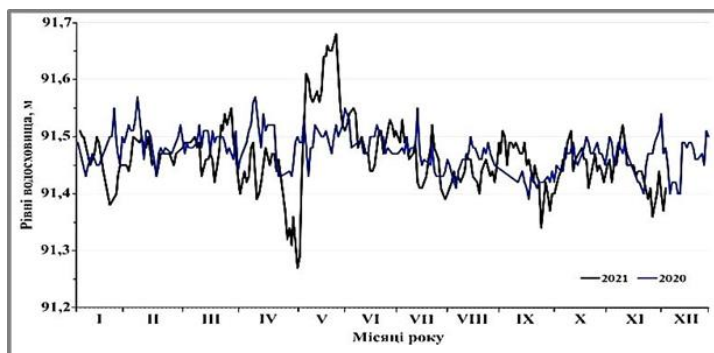


Рис. 2. Коливання рівнів водосховища у 2020 і 2021 рр.

Гідролого-морфологічні характеристики об'єкту помітно зміню-

ються за час його експлуатації. Зокрема, площа акваторії [1] та регу-

люючи ємність водосховища зменшується внаслідок накопичення мулу на дні, яке дослідники оцінюють товщею до 1 м, хоча основне русло періодично промивається, мілководдя заростають макрофітами, площа островів збільшується. Важливу роль відіграє й гідронамив нових земель під дачну й котеджну забудову уздовж лівобережних та правобережної дамб у верхній частині водойми, площу яких ми оцінили в понад 1100 га. На формування гідроморфних ландшафтів у водосховищі суттєво впливають геоморфологічні особливості території, оскільки обидва береги верхньої (річкової) частини водойми низовинні, а в середній та

нижній (озерній) частинах правий берег високий і крутий (рис. 3).

Термін «гідроморфні ландшафти» ми використовуємо як робочу назву сукупності ландшафтів, що формуються у водосховищах на гідроморфних ґрунтах і донних відкладах мілководдя під впливом гідролого-морфологічних, біотичних та абіотичних процесів. Й хоч цей термін розглядається як дискусійний [3], такий підхід дає нам можливість розглядати різноманіття процесів утворення нових ландшафтів чи зміни вже існуючих під впливом поверхневих і ґрунтових вод водосховища у великих групах.

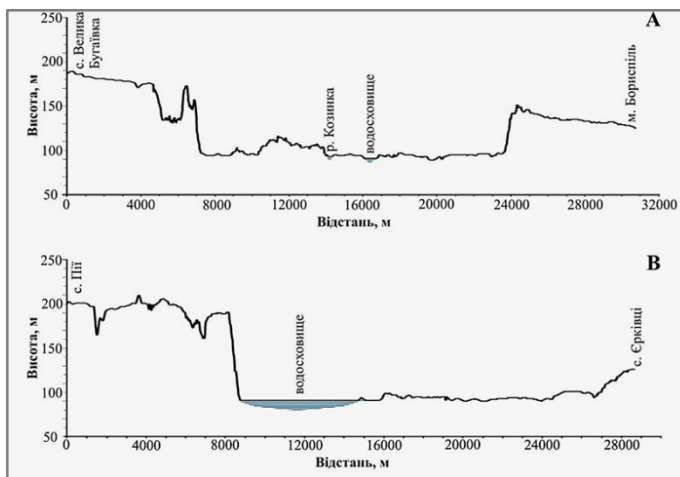


Рис. 3. Поперечний профіль у верхній (А) та середній (В) частинах водосховища

У цій публікації ми підкреслюємо насамперед результати дистанційного зондування регіону Канівського водосховища, роблячи акцент на зміні площ водної поверхні та відповідно, площ гідроморфних ландшафтів в результаті їхнього розвитку чи руйнування, а також у результаті взаємодії водних мас водойми з узбережжям («переробки» берегів). Якщо на першому

етапі досліджень (на межі минулого століття) переважно виконувалися польові маршрути на узбережжі та взимку на островах, то з 2010 року вже активно використовувалися для оцінки змін ландшафтів у часі і в просторі космічні знімки НАСА – ММС, Ландсат 2, 4-5, 7 та 8, а польові водні маршрути здійснювалися за підтримки Дніпровського басейнового управління

водних ресурсів, якому й передавалися результати досліджень для впровадження.

На першому етапі більше уваги приділялося дослідженню гідроморфних ґрунтів, що формуються в умовах підтоплення або періодичного затоплення на існуючих та новостворюваних островах переважно верхньої частини водосховища (рис. 4). Серед них переважали дернові ґрунти різного ступеня оглеєння, а також лучні, лучно-болотні й болотні ґрунти. Важливо зазначити, що формування ґрунтів, як біотопічної основи гідроморфних ландшафтів, відбувається по-різному на «фронтальній» (переважно північній) частині островів та на тильній (здебільшого південній) їхній частині відповідно до гідроморфологічних особливостей

і закономірностей літо-морфогенезу. У першому випадку течіями відкладається піщано-супіщаний шаруватий алювій, який поступово освоюється лучною, а згодом – і чагарниковою й деревною рослинністю. Тут утворюються переважно дернові й дерново-глеєві малогумусні ґрунти зі слабо диференційованим профілем. У тильній частині островів, де течія менша, на мілководді активно розвивається прибережно-водна й водна рослинність. Відмерла органічна маса, часто з прошарками мулу, поступово накопичується на дні мілководь і профіль ґрунтів формується знизу вверху. Утворюються болотні, лучно-болотні ґрунти з мало розкладеною органічною масою у верхньому горизонті.



Рис. 4. Профілі ґрунтів на островах водосховища: дернові (зліва), дерново-глеєві (в центрі) та лучно-болотні ґрунти (справа)

Навколо островів і на мілководді вивчалася прибережно-водна і водна рослинність, її поширення й сукцесії, більш ґрунтовно описані в численних роботах ботаніків, зокрема в публікаціях [5, 11]. У складі дуже різноманітної і вже добре вивченої рослинності водосховища зверталась увага на активне поширення (експансію) у його

верхній частині на мілководдях водного горіху плаваючого (*Trapa natans* L.) та глечиків жовтих (*Nuphar lutea*), занесених до Зеленої книги України (2009). Стрімко заростають мілководдя й прибережно-водною та чагарниково-деревною рослинністю (рис. 5 і 6).



Рис. 5. Водна рослинність на мілководдях водосховища



Рис. 6. Заростання мілководь і островів Канівського водосховища прибережно-водною та наземною рослинністю

У середній частині водосховища формування гідроморфних ландшафтів притаманне мілководдям із численними островами, поширеним уздовж узбережжя в районі Ржищівського полігону, де було затоплене село Гусинці та його сільськогосподарські угіддя (рис. 7). А уздовж високого правого берега в середній і нижній (озерній)

частинах водойми фрагменти гідроморфних ландшафтів, які ми досліджували з використанням квадрокоптера [10], утворюються переважно в місцях зсувів, осипів із високих кліфів та виходів ярів у водойму (рис. 8).

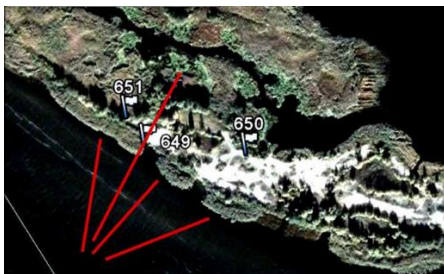


Рис. 7. Фрагменти прибережно-водної рослинності, прилеглі до островів у районі Ржищівського полігону

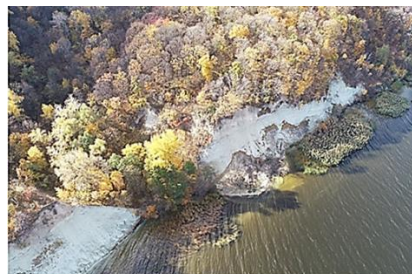


Рис. 8. Фрагменти гідроморфних ландшафтів уздовж високого правобережжя на обсипних та обвальних породах у підніжжі мергельних кліфів

Загалом процеси заростання мілководь і формування нових гідроморфних ландшафтів у Канівському водосховищі проходять під впливом насамперед надходження великої кількості біогенних елементів із водою Дніпра і Прип'яті, яка акумулюється в Київському водосховищі, та води Десни, яка збагачується розчиненою органічною речовиною в болотах їхніх басейнів. Суттєву роль у притоку біогенних речовин відіграють і скидні води Бортницької системи, у якій очищаються води мегаполіса Києва. Варто враховувати й роль гідрона-

миву земель вздовж правобережжя з утворенням непроточних «Венеційських» каналів до елітних котеджів, добре видимих із космосу, у яких дніпровська вода застоюється, забруднюється і «цвіте» (рис. 9 і 10). Уповільнюють рух дніпровської води у водоймі й інфраструктурні об'єкти лівого бережних дачних масивів. Гідронамив нових земель разом з інтенсивною забудовою прилеглих до верхньої частини Канівського водосховища територій суттєво загрожує й можливість пропуску екстремальних повеней по Дніпру та підтопленню південної частини Києва [2, 9, 10].



Рис. 9. Непроточні канали до елітної забудови (зліва) та приватні острови на намитих землях (справа)

Після перших спроб відображати просторово-часову динаміку ландшафтів на топографічних картах за змістом космічних знімків MMS та Landsat-2, які стали доступними нам із архівів НАСА [8, 9, 14], ми почали систематично використовувати візуалізацію знімків Landsat-2, 4-5, 7, 8 у комп'ютерній програмі (алгоритм Isodata). На серії знімків (рис. 11) верхньої частини водосховища (між захисними дамбами) відображена територія перед наповненням водойми (1975 р.), а далі часовий ряд до 2018 року і приклад класифікації знімків із виділенням 6 класів поверхні (вода

глибока, мілководдя, водна рослинність, прибережно-водна й лучна, чагарниково-лісова рослинність, суходоли).



Рис. 10. «Цвітіння» води в середній частині водосховища (Ландсат-8, 2021-08-15)

Для порівняння площ використувалися знімки кінця літа, коли рослинність була максимально розвинена [15]. Крім того, визначалась і сезонна динаміка площ гідроморфних ландшафтів від періоду повені до стадії максимального розвитку водної і прибережно-водної рослинності, а також далі до зими її поступове відмирання (за наявності, звичайно, якісних без-

хмарних знімків). Вражаюче великий приріст площ таких ландшафтів за один сезон був у спекотному 2010 році. Розвитку рослинності у Канівському водосховищі сприяє також багаторічне підвищення температури води за вегетаційний період приблизно 0,65 °С за десятиліття [1]. В останні роки для дослідження просторово-часової динаміки використовуються і знімки Сентинел-2а й 2б.

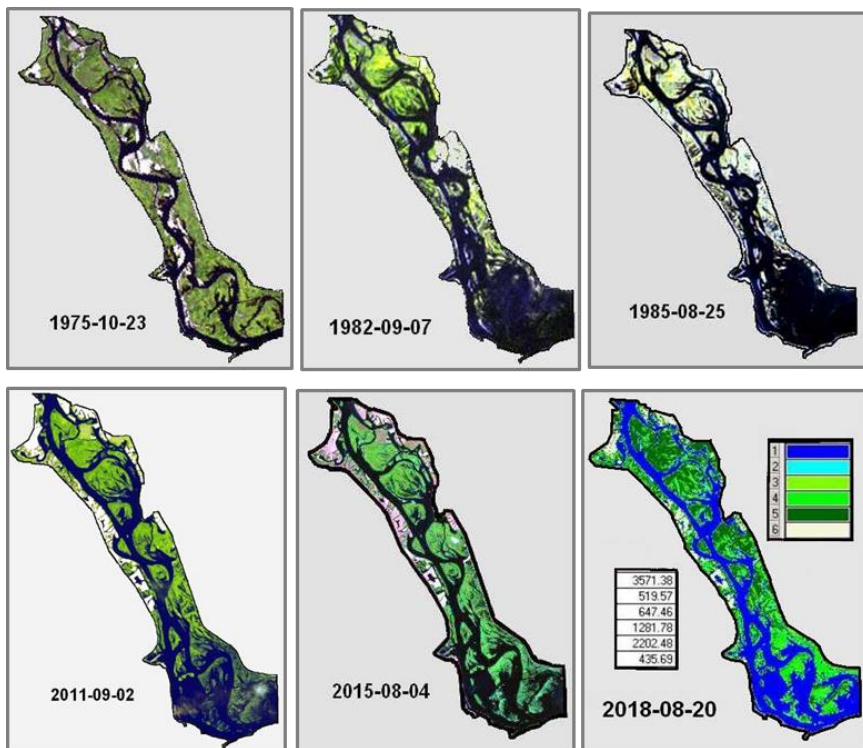


Рис. 11. Просторово-часова динаміка ландшафтів у верхній частині водосховища за даними супутників Ландсат-2, 4-5, 8 і приклад класифікації космічного знімка. У 1975 році територія ще не затоплена

Кількісна оцінка змін ландшафтів здійснюється порівнянням (накладанням) класифікованих зображень (операція «визначення змін», або «change detection») за період

спостережень. Приклад такої оцінки для верхньої частини Канівського водосховища за період з 1981 до 2018 року, здійсненої в програмі QGIS-3.2.0, наведений на рисунку 12.

Висновки.

Встановлено, що приріст площ гідроморфних ландшафтів у Канівському водосховищі за 1981 – 2000 рр. становив в середньому 49 га/рік, за 2001 – 2018 рр.

– 86 га/рік, а середній приріст за весь період становив 70,5 га/рік. Загальна площа приросту цих ландшафтів склала 2680 га, причому найбільший приріст припадає на верхню й середню частини водойми.

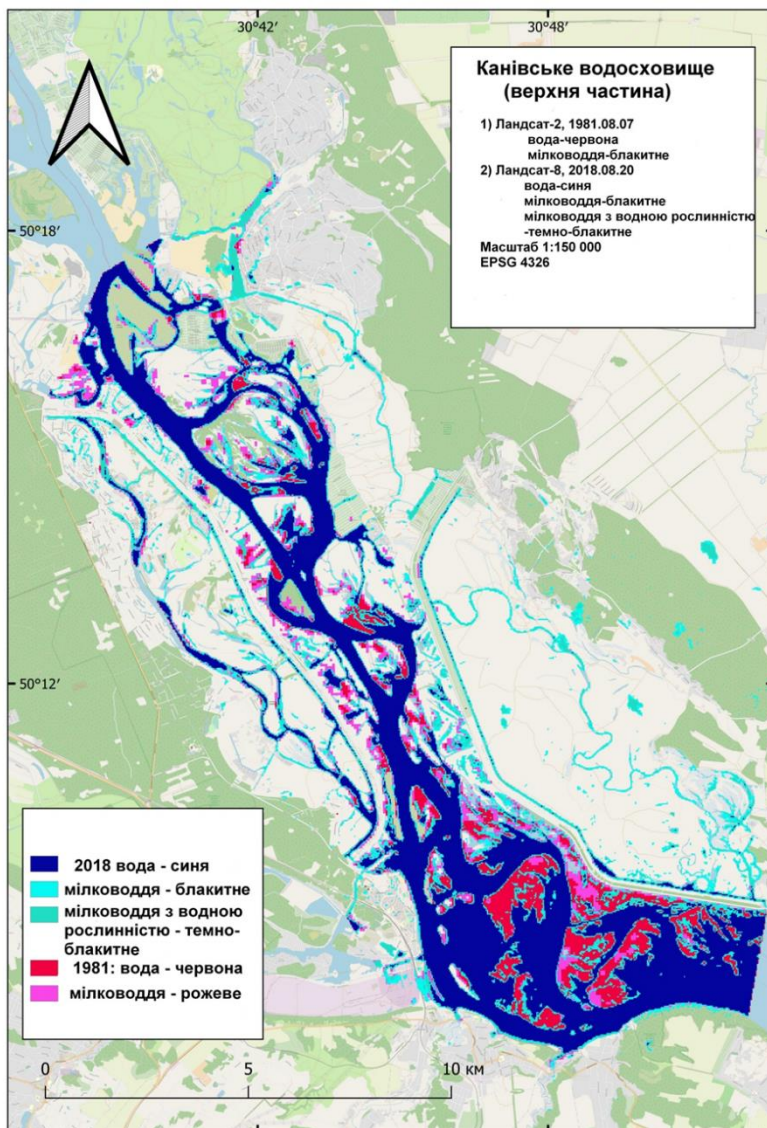


Рис. 12. Оцінка змін ландшафтів у верхній частині водосховища за період 1981 – 2018 рр.

У складі різноманітної і вже добре вивченої рослинності водосховища доцільно підкреслити поширення (експансію) водяного горіху плаваючого (*Trapa natans* L.) та глечиків жовтих (*Nuphar lutea*), занесених до Зеленої книги України (2009), у верхній частині водойми в умовах мілководь, надходження органічних речовин зі стічними водами і високих літніх температур.

Ґрунтовий покрив островів формується відповідно літо-морфогенезу їхніх різних частин. На передніх (щодо течії) частинах островів відкладаються мулувато-піщані й супіщані шаруваті наноси, на яких поселяється лучна й чагарниково-деревна рослинність і формуються дернові ґрунти різного ступеня гідроморфності (й навіть опідзоленості), легкого гранулометричного складу, малогумусні, зі слабо диференційованим профілем. У тиловій мілководній частині островів переважає рогозово-очеретяна рослинність, профіль ґрунтів формується знизу догори внаслідок накопичення органічної маси відмерлих рослин із прошарками алювію. Тут переважають болотні й лучно-болотні сильно оглеєні ґрунти із шаром слабо розкладеної (або слабо оторфованої) органічної маси на поверхні. 4. Інтенсивне збільшення площі гідроморфних ландшафтів спостерігається і прогнозується в тиловій (щодо течії) частині великих островів у верхній (річкової) ділянці водойми, уздовж ліво-бережної дамби до с. Кийлів, у районі водно-болотних угідь між с. Кийлів та Ржищівським полігоном. Активне заростання водною рослинністю (з плаваючим листям) продовжується в літній період на всій території між м. Українка та с. Кийлів. Фрагментарне утворення

гідроморфних ландшафтів продовжується вздовж високих берегів (мергельних кліфів) правобережжя на обвалью-осипних відкладах.

Виявлена роль непроточних каналів до індивідуальної та дачної забудови на намитих землях у посиленні «цвітіння» води внаслідок зменшення швидкості течії та побутового забруднення.

У методичному плані під час аналізу гідроморфних ландшафтів за космічними знімками доцільно уточнювати: а) діагностику територій із поширенням зануреної водної рослинності; б) коректність використання запропонованої класифікації видів земної поверхні в доповнення до стандартної; в) раціональність аналізу ландшафтів водосховища без буферної зони; г) надійність методики оцінки можливого затоплення територій у разі екстремальних повеней внаслідок інтенсифікації в останні роки забудови території й заростання деревною рослинністю.

Першочерговими для подальшого дослідження гідроморфних ландшафтів Канівського водосховища вважаємо проблеми оцінки їхньої рекреаційної придатності і природоохоронної цінності, перспектив рибогосподарського використання, радіоактивного забруднення, а також втрат історико-культурної й духовної спадщини внаслідок спорудження водойми.

Referens

1. Вишневецький В. І., Шевчук С. А. (2018). Використання даних дистанційного зондування Землі у дослідженнях водних об'єктів України. К.: Інтерпрес ЛТД, 116. URL: <https://cutt.ly/oUabxv>

- 2.Дубняк С. С. (2004). Оцінка водного режиму і пропускної здатності верхньої ділянки Канівського водосховища в умовах інтенсивної урбанізації. Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія. № 6. 145-158.
- 3.Дубняк С. С. (2013). Эколого-гидроморфологический анализ биотопической структуры крупных равнинных водохранилищ. Географический вестник. № 3(26). 107-120. URL: <http://umhs.org.ua/?p=865>
- 4.Зимбалева Л. Н., Плигин Ю. В., Хороших Л. А. и др. (1987). Структура и сукцессии литоральных биоценозов Днепровских водохранилищ. К.: Наукова думка, 204.
- 5.Панасюк І. В., Томільцева А. І., Зуб Л. М. та ін. (2012). Ефективність та екологічна роль берегоукріплювальних споруд на Дніпровських водосховищах. К.: Кафедра, 120.
- 6.Сиренко Л.А., Корелякова И.Л., Михайленко Л.Е. и др. (1989). Растительность и бактериальное население Днепра и его водохранилищ. К.: Наук. думка, 232.
- 7.Стародубцев В.М. (1986). Влияние водохранилищ на почвы. Алма-Ата: Наука, 296.
- 8.Стародубцев В.М., Богданец В.А. (2012). Динамика формирования гидроморфных ландшафтов в верховье Днепровских водохранилищ. Журнал «Водные ресурсы». № 2. 180-183. URL: <https://cutt.ly/bUbpYTY>
- 9.Стародубцев В.М. (2012). КАНІВСЬКЕ ВОДОСХОВИЩЕ – «Українська Венеція» чи екологічна загроза ? (науково-публіцистичний нарис). Київ: ТОВ «Аграр Медіа Груп», 34.
- 10.Стародубцев В.М., Ладика М.М., Дячук П.П., Наумовська О.І. (2021). Основні особливості переформування берегів Канівського водосховища. Наукові доповіді НУБіП України. № 6(94). URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovid/article/view/15712>
- 11.Цапліна К.М., Лінчук М.І. (2003). Розподіл рослинних угруповань у Канівському водосховищі залежно від факторів середовища. Наукові праці УкрНДГМІ. Вип. 251. 184-189. URL: https://uhmi.org.ua/pub/np/251/23_Zaplina_Lin.pdf
- 12.Starodubtsev V.M., Kolodyazhnyy O.A., Petrenko L.R., Titenko M.M., Yezlovetska I.S. (2000). Soil cover and land use in Ukraine. Kyiv: Nora-Print, 98.
- 13.Starodubtsev V.M., Fedorenko O.L., Petrenko L.R. (2004). Dams and environment: effects on soils. Kyiv: Nora-Print, 84.
- 14.Starodubtsev V.M., Bogdanets V.A. (2012). Dynamics of hydromorphic landscapes formation in upper part of Dnieper river reservoirs. Water Resources. v. 39. # 2. 165-168. URL: <https://pubag.nal.usda.gov/catalog/370560>
- 15.Starodubtsev V.M. (2017). New deltaic landscapes formation in large water reservoirs: global aspect. Наукові доповіді НУБіП України. № 1(65). 17. URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovid/article/view/8107>

Starodubtsev V., Ladyka M., Bogdanets V., Naumovska O. (2021). SPATIO-TEMPORAL DYNAMICS OF HYDROMORPHIC LANDSCAPES FORMATION IN KANIV RESERVOIR.

BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 12(4): 54-66.

<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/editor/submission/15992>

<https://doi.org/10.31548/biologiya2021.04.005>

Abstract. *The impact of reservoirs on the environment and on living conditions of the population in river basins with regulated runoff attracts more and more attention all over the world. After all, on the one hand, it is the economic development of the territories where they are located (electricity generation, land irrigation, industrial and municipal water supply, etc.), and on the other – a significant impact on the nature, nearby lands flooding, shores destroying, water quality deteriorating, etc.*

The subject of this research is the dynamics of hydromorphic landscapes formation in the Kaniv Reservoir in time and in space during the period of its operation in 1976-2020. Research methods included scientific analysis of previous research results, field water and land routes in the water area and on islands and coasts with geospatial determination of observation points by GPS receiver, descriptions of soil profile on islands (including newly created ones) by standard methods, mapping of coastal-aquatic and aquatic vegetation distribution using materials of the Earth remote sensing (space images of the satellites Landsat-2, 4-5, 8, and in recent years - Sentinel-2a and 2b).

It is established that the increase in the area of hydromorphic landscapes in the Kaniv Reservoir in 1981-2000 averaged 49 ha / year, in 2001-2018 - 86 ha / year, and the average increase for the whole period was 70.5 ha / year. The total area of these landscapes growth was 2680 hectares, with the largest increase in the upper and middle part of the reservoir.

*As part of the diverse and well-studied vegetation of the reservoir, it is advisable to emphasize the distribution (expansion) of “floating water nut” (*Trapa natans* L.) and “yellow jugs” (*Nuphar lutea*), listed in the Green Book of Ukraine (2009), in the upper part of the reservoir in conditions of shallow water, organic matter inflow with wastewater and high summer temperatures.*

The area of hydromorphic landscapes intensive increase is observed and forecasted in the rear (relative to the current) part of the large islands in the upper part of the reservoir, along the left bank of the dam to the Kyiliv village, in the area of wetlands between the Kyiliv village and the Rzhyschiv military training ground. Active overgrowing with aquatic vegetation (with floating leaves) continues in the summer throughout the territory between the Ukrainka town and the Kyiliv village. Fragmentary formation of hydromorphic landscapes continues along the high banks (marl cliffs) of the right bank on landslide deposits.

Keywords: *Kaniv Reservoir, landscapes, dynamics, space images.*

**ЗОНАЛЬНА ПОШИРЕНІСТЬ І ТАКСОНОМІЧНА СТРУКТУРА
ЦИСТОУТВОРЮЮЧИХ НЕМАТОД КУЛЬТУРНИХ ТА ПРИРОДНИХ
ФІТОЦЕНОЗІВ**

¹**БАБИЧ А. Г.**, доктор біологічних наук

E-mail: nubipbabich@gmail.com

¹**БАБИЧ О. А.**, кандидат біологічних наук

ORCID 0000-0003-4988-5009

E-mail: nubipbabich@gmail.com

¹**ВЕРБОВСЬКИЙ С. В.**, аспірант

¹**ПРИХОДЬКО І. В.**, аспірант

**¹Національний університет біоресурсів і природокористування
України**

Анотація: За період проведення наукових досліджень виявлено 12 видів гетеродерід, переважна більшість яких належить до роду *Netoderes*. Поширення патогенних видів у регіонах традиційного вирощування основних сільськогосподарських культур свідчить про високу ступінь їхньої трофічної спеціалізації. Дієвим профілактичним заходом контролю чисельності цистоутворюючих нематод упродовж тривалого часу були багатопільні протинематодні сівозміни. Зокрема, для запобігання масового накопичення цистоутворюючих нематод максимальна насиченість сівозмін рослинами-живителями не повинна перевищувати: зернові колосові – 40 %, буряки, ріпак та інші олійні капустяні – 20 %, картопля – 20 % (10 % сприйнятливі + 10 % глободерозостійкі), багаторічні бобові трави – 30 % (посіви під покривом зернових колосових + багаторічні бобові – одно-дворічного використання). Проте перехід у нинішніх умовах від багатопільних до сівозмін із короткою ротацією призвів до звуження видового різноманіття культурних рослин, а відповідно до масового розмноження шкідливих організмів та їхньої високої шкідливості. Інтенсивне застосування хімічних засобів захисту рослин не забезпечує розв'язання цих проблем, оскільки призводить із часом до формування резистентних популяцій шкідливих організмів, а також забрудненню довкілля. Тому, навіть часткова заміна в сучасних системах інтегрованого захисту рослин пестицидів хімічного походження на екологічно безпечні препарати комплексної пролонгованої дії нового покоління, які поєднують властивості біоіндукторів,

біостимуляторів, біофунгіцидів, нематодцидів, інсектицидів, антистресантів та адаптогенів, буде сприяти екологізації сільськогосподарського виробництва та отриманню безпечної рослинницької продукції. Серед різних способів використання засобів захисту рослин, передпосівна обробка посівного чи садивного матеріалу є одним із раціональних, зважаючи на мінімальні витрати діючих речовин та низьку собівартість захисних заходів.

Ключові слова: цистоутворюючі нематоди, домінуючі шкідливі види, джерела розселення, гетеродерози рослин, протинематодні заходи захисту.

Вступ. Цистоутворюючі нематоди (родина Heteroderidae) є одними із найбільш небезпечних сепідтарних паразитів кореневої системи рослин (Shesteporov A. A., Lukyanova E. A., 2018). Вони відомі ще з другої половини XIX століття як одна з причин «грунтовоми» і високої шкідливості. Зниження урожайності основних культур від гетеродерозів становить від 10 до 20 %, проте в осередках високої чисельності може досягати 70-90 %. Однак, попри такі втрати врожаю, фітосанітарний контроль гетеродерід, як і раніше, є складною проблемою. Це зумовлено особливостями їхньої біології, зокрема наявністю в циклі розвитку захищених цистою яєць, які є стійкими до змін навколишнього середовища й можуть зберігатися в ґрунті впродовж багатьох років (Sigareva D.D., Pilipenko L.A., Borzih O.I., Kovtun A.M., 2017).

В Україні дослідження гетеродерід розпочалося ще з 30-х років минулого століття. Водночас основна увага приділялася розробці та удосконаленню захисних заходів переважно від бурякової нематоди та золотистої картопляної нематоди. Лише декілька наукових робіт виконано з хмельової, вівсяної, блідої картопляної та нематод декоративних рослин захищеного

ґрунту (Sukhomlin K. B., Koshirets V. M., Zinchenko M. O., Biletskiy Y. V., & Zinchenko, O. P., 2019; 5. EPPO. (2013); Kalatur EA, Polovinchuk A.Yu., 2013; Sigareva D.D., Kalatur K.A., 2014; Pilipenko L.A., Karelav AV, Kozub N.O., Sozinov I.O., Vavrukh O.R., Zelya G.V., Zelya AG., 2015; Galagan T.O., 2012; Shesteporov A.A., Lychagina S.V., Fedorova O.A., 2016).

Протинематодні сівозміни впродовж тривалого часу були основним чинником запобігання масовому накопиченню бурякової та низки інших видів цистоутворюючих нематод (Babych, A., Babych, A., Suhareva, R., Statkevich, A., 2014). Проте радикальні зміни останніх десятиліть у рослинницькій галузі зумовили перехід від багатопільних до сівозмін із короткою ротацією. За порушення гармонійного чергування культур і недотримання рекомендованих термінів повернення їх на попереднє місце, нині в агроценозах відбувається масове накопичення цистоутворюючих нематод та інших спеціалізованих фітофагів (Babych A. G., Babych A. A., 2019).

Для забезпечення ефективного захисту рослин у сучасних умовах необхідне розумне поєднання різних методів, прийомів, заходів на основі прогнозу появи й розвитку

шкідливих організмів, постійного моніторингу й оцінки фітосанітарного стану агроценозів та з використанням новітніх біологічних препаратів (Strategy and tactics of plant protection. v.2 Tactics, 2015; Tsygankova, V. A., Stefanovska, T. R., Galkin, A. P., Ponomarenko, S. P., & Blume, Y. B., 2012; Blyuss K.B., Fatehi F., Tsygankova V.A., Biliavska L.O., Iutynska G.O., Yemets A.I., Blume Y.B., 2019).

Метою дослідження було уточнити вплив сучасної структури посівних площ основних сільськогосподарських культур на зміну щільності домінуючих видів гетеродерід та їхнє зональне поширення.

Матеріали та методи дослідження.

Обстеження полів, присадибних ділянок, відбір зразків ґрунту та їхній аналіз, визначення видів нематод проводили за загальноприйнятими методиками (Shesteporov A. A., Lukyanova E. A., Bondarev A. A., 2019; Subbotin S.A., Vera I.C.D., Mundo-Ocampo M., Baldwin J.G., 2011).

Вихідну (допосадкову) та післязбиральну щільність популяцій цистоутворюючих нематод встановлювали за кількістю личинок та яєць у цистах, виділених флотаційно-лійковим методом зі 100 см³ ґрунту. Життєздатність личинок та яєць у цистах визначали за допомогою їхнього забарвлення 0,05 % розчином малахітової зелені та візуально під мікроскопом за формою тіла і станом внутрішніх органів личинок.

Анально-вульварні пластинки цист виготовляли за загальноприйнятою методикою. Дослідження структури анально-вульварної області самиць проводили за великого збільшення під мікроскопом, а

також із використанням імерсійної системи. Здатних до міграції личинокві стадії гетеродерід виділяли модифікованим методом Бермана.

Морфологічні та морфометричні показники личинок II віку, самиць вивчали на тимчасових водногліцеринових препаратах із використанням мікроскопів МБІ-3, МБІ-15. Фіксування нематод здійснювали ТАФом.

Результати дослідження та їх обговорення.

За період проведення наукових досліджень в зоні Лісостепу й Полісся України ми виявили 12 видів гетеродерід. Найбільше видів – 10, належить до роду *Heterodera*: *Heterodera schachtii* Schmidt, 1871 – бурякова; *Heterodera medicaginis* Kirjanova, 1971 – люцернова; *Heterodera trifolii* Goffart 1932 – конюшинна; *Heterodera avenae* (Wollenweber, 1924) Krall et Krall, 1978 – вівсяна; *Heterodera filipjevi* (Madzhidov, 1981), Stelter, 1984 – пшенична; *Heterodera hordecalis*, Anderson, 1974 – ячмінна; *Heterodera humuli* Filipjev, 1934 – хмелюва; *Heterodera cruciferae* Francin, 1945 – капустиана; *Heterodera ripae* Subbotin, Sturhan, Waeyenberge, Moens, 1997 – струмкова; *Heterodera galeopsidis* Goffart, 1936 – жабрієва цистоутворююча нематода.

Роди *Globodera* і *Punctodera* включають по 1 виду: *Globodera rostochiensis* (Wollenweber, 1923), Behrens, 1975 – золотиста картопляна і *Punctodera punctata* (Thorne, 1928) Mulvey, Stone, 1976 – злакова цистоутворююча нематода (табл. 1). Отже, переважна кількість видів цистоутворюючих нематод (88 %) належить до роду *Heterodera* (рис. 1), що ускладнює їхнє систематичне визначення.

Осередки бурякової нематоди ми виявили у Вінницькій, Житомирській, Київській, Полтавській, Рівненській, Сумській, Тернопільській, Хмельницькій, Черкаській і Чернігівській областях; вівсяної нематоди в Волинській, Житомирській, Київській, Полтавській, Сумській, Черкаській і Чернігівській областях; золотистої картопляної нематоди у Волинській, Житомирській, Київській, Львівській, Сумській, Черкаській і Чернігівській областях; конюшинної цистоутворюючої нематоди в Волинській, Житомирській, Київській, Сумській, Хмельницькій і Чернігівській областях; люцернової цистоутворюючої нематоди у Вінницькій, Полтавській, Сумській і Черкаській областях; хмельової цистоутворюючої нематоди в Житомирській області; капустаної цистоутворюючої нематоди в Житомирській, Сумській, Черкаській і Чернівецькій областях; пшеничної цистоутворюючої в Київській і Чернігівській областях; струмкової цистоутворюючої нематоди у

Волинській, Житомирській і Сумській областях; ячмінної й жабрієвої в Київській і Чернігівській областях; злакової нематоди в Чернігівській області.

Оцінка впливу сучасної структури посівних площ господарств різних форм власності дає змогу зробити наступні висновки: заселеність ґрунту буряковою нематодою була вищою за сумісного розміщення в сівозмінах буряків цукрових і ріпаку олійного на насіння з дво-трирічними перервами повернення рослин-живителів на попереднє місце; вівсяної нематоди в господарствах, особливо фермерських, з часткою насичення зерновими понад 50 % або в разі частих повторних посівів колосових культур; конюшинної й люцернової цистоутворюючих нематод у колективних господарствах, які спеціалізуються на тваринництві, фермерських господарствах – здебільшого виробництва молока з тривалим понад трирічним використанням посівів багаторічних бобових трав.

Таблиця 1. Систематичне положення цистоутворюючих нематод, поширених у Лісостепу й Поліссі України

Таксономічна структура	Назва	
	Латинська	Українська
Клас	Nematoda (Rudolphi, 1808) Skrjabin et Schuls, 1931	Нематоди
Підклас	Secernentea (Von Linstow, 1905) Dougherty, 1958	Сецернента (фазмідієві)
Ряд	Tylenchida (Filipjev, 1934) Thorne, 1949	Тіленхіда
Підряд	Hoplolaimina Chizhov et Berezina, 1988	–
Надродина	Hoplolaimoidea (Filipjev, 1934) Paramonov, 1967	–
Родина	Heteroderidae Scarbilovich, 1947	Гетеродерід
Підродина	Heteroderinae Filipjev et Schuurmans, Stekhoven, 1941	
Рід	<i>Heterodera</i> Schmidt, 1871	Гетеродера

Вид	<i>Heterodera schachtii</i> Schmidt, 1871	Бурякова
	<i>Heterodera avenae</i> (Wollenweber, 1924) Krall et Krall, 1978	Вівсяна
	<i>Heterodera medicaginis</i> Kirjanova, 1971	Люцернова
	<i>Heterodera trifolii</i> Goffart, 1932	Конюшинна
	<i>Heterodera humuli</i> Filipjev, 1934	Хмельова
	<i>Heterodera cruciferae</i> Francin, 1945	Капустяна
	<i>Heterodera hordecalis</i> Andersson, 1974	Ячмінна
	<i>Heterodera filipjevi</i> (Madzhidov, 1981) Stelter, 1984	Пшенична
	<i>Heterodera galeopsidis</i> Goffart, 1936	Жабрієва
	<i>Heterodera ripae</i> Subbotin, Sturhan, Waeyenberge, Moens, 1997	Струмкова
Рід	<i>Punctodera</i> Mulvey et Stone, 1976	Пунктодера
Вид	<i>Punctodera punctata</i> (Thorne, 1928) Mulvey, Stone, 1976	Злакова нематода
Рід	<i>Globodera</i> (Scarbilovich, 1959) Behrens, 1975	Глободера
Вид	<i>Globodera rostochiensis</i> (Wollenweber, 1923) Behrens, 1975	Золотиста картопляна

Відбувається також накопичення на присадибних ділянках, часто з 4-5-річними термінами вегетації багаторічних бобових, які

заорюють лише за значної зрідженості посівів та недоцільності подальшого господарського використання.

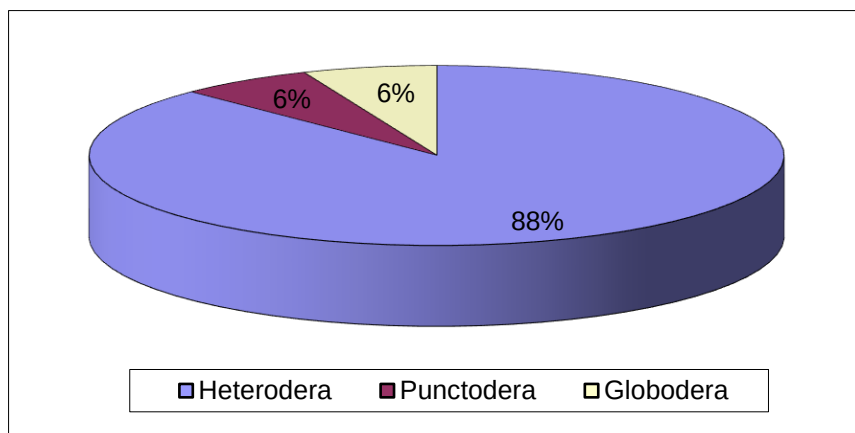


Рис. 1. Таксономічна структура родів родини Heteroderidae

Господарське значення для багаторічних бобових мають: конюшина й люцернова цистоутворюючі нематоди. Потенційно небезпечною для конюшини є також жабрієва нематода; зернових колосових – пшенична і ячмінна цистоутворюючі нематоди; капусти – капустана цистоутворююча нематода. Інші види гетеродерід: злакова і струмкова – поширені переважно в біоценозах, проте трапляються також і в агроценозах.

Основними джерелами пасивного розселення цистоутворюючих нематод в агроценозах є вітрова ерозія, садивний матеріал, засоби механічного обробітку ґрунту. До того ж у районах, схильних до вітрової ерозії, розселення цист відбувалося не лише в теплу пору року, але й у зимовий період, за відсутності постійного снігового покриву. Рознесення цист водною ерозією ґрунту здебільшого відмічалося після випадіння рясних опадів у вигляді дощу, рідше – танення снігу. Проведення обробітків ґрунту в процесі вирощування буряків цукрових та кормових зумовлює розширення площі наявних осередків у межах від 90 до 170 см, картоплі – 75–125 см, кукурудзи – 30–85 см, гороху – 18–55 см, ячменю з підсівом конюшини – 12–40 см, озимих колосових культур – від 16 до 50 см. Унаслідок цього з часом, навіть за значної початкової строкатості заселення угідь, відбувається поступове сполучення осередків цистоутворюючих нематод.

Основним обмежувальним чинником масового накопичення бурякової та ряду інших видів цистоутворюючих нематод, упродовж тривалого часу, були науково обґрунтовані протинематодні сівозміни. Проте радикальні зміни

останніх десятиліть у структурі сівних площ зумовили перехід від багатопільних до сівозмін із короткою ротацією. За порушення гармонійного чергування культур і недотримання рекомендованих термінів повернення їх на попереднє місце відбувається масове розмноження спеціалізованих фітофагів. Тому, для зниження рівня інвазованості сходів личинками гетеродерід доцільно застосовувати передпосівну обробку насіння зернових культур, буряку, ріпаку, багаторічних бобових трав поліфункціональними біопрепаратами (фітозахисної, стимулюючої ріст, адаптогенної дії). Згідно з нашими дослідженнями, вищої технічної ефективності досягали після застосування метаболічних препаратів Аверстіму (1,0 л/т) та Аверкому^Н (0,04 л/т), які містять макролідні антибіотики – авермектини.

Перспективним для захисту рослин від фітонематод і ентомопатогенних організмів є також використання біологічно активних речовин: *Streptomyces avermitilis*, *Streptomyces violaceus*, *Pseudomonas aureofaciens* та їхніх композицій з *Bacillus thuringiensis*, *Bacillus subtilis* з біозахисними й імунопротекторними властивостями.

Використання в сучасних інтегрованих системах біопрепаратів із поліфункціональними властивостями – інсекто-нематодцидними, фітостимулюючими, імуномодулюючими, антистресовими сприятиме зменшенню пестицидного навантаження на довкілля.

Висновки та перспективи

За період проведення наукових досліджень у зоні Лісостепу й По-

лісся України було виявлено 12 видів гетеродерід, переважна більшість яких (88 %) належить до роду *Heterodera*.

Найбільш економічно значущими нині видами є бурякова, вівсяна, золотиста картопляна і хмелева нематоди. Їхнє поширення в основному збігається з районами традиційного вирощування буряків цукрових, зернових колосових, картоплі і хмелю, що свідчить про високу ступінь їхньої трофічної спеціалізації, набуту впродовж тривалої сумісної еволюції.

Встановлено, що просапні культури сприяють накопиченню більшої щільності популяцій нематод у рядках порівняно з міжряддями. Проте дана тенденція розподілу цистоутворюючих нематод спостерігається лише за умови відбору нематологічних зразків безпосередньо перед збиранням урожаю до проведення технологічних операцій із механічного обробітку ґрунту.

Проблема ефективного контролю гетеродерозу буряків та багаторічних бобових трав на присадібних ділянках ускладнена невеликою площею земельних наділів (0,2-0,5 га) і здебільшого вирішувалася недоцільністю посівів таких культур за низької їхньої продуктивності.

Передпосівна обробка насіння зернових культур, буряка, ріпака, багаторічних бобових трав поліфункціональними біопрепаратами (фітозахисної, стимулюючої ріст, адаптогенної дії) знижувала рівень інвазованості початкових фаз росту та розвитку рослин личинками гетеродерід, що забезпечувало формування оптимальної густоти сходів.

References

1. Shesteporov A. A., Lukyanova E. A. (2018). Foundations and methods of modeling of projected growth potato globoderosis on agrometeorological conditions. *Rosiyskiy parazitologicheskii zhurnal*, 12(2), 95–103. <https://doi.org/10.31016/1998-8435-2018-12-2-95-103>
2. Sigareva D.D., Pilipenko L.A., Borzih O.I., Kovtun A.M. (2017). *Agricultural nematology*. Agricultural science. 340 p.
3. Sukhomlin, K. B., Koshirets, V. M., Zinchenko, M. O., Biletskiy, Y. V., & Zinchenko, O. P. (2019). The current state of the population of the golden potato cyst nematode *Globodera rostochiensis* (Nematoda, Heteroderidae) in the northwest of Ukraine. *Biosystems Diversity*, 27(1), 33–38. <https://doi.org/10.15421/011905>
4. EPPO. (2013). *Globodera rostochiensis* and *Globodera pallida*. PM 7/40 (3). OEPP/EPPO Bull., 43, 119-138. <https://doi.org/10.1111/epp.12025>
5. Kalatur EA, Polovinchuk A.Yu. (2013). Beet cyst nematode. Plant protection and quarantine. № 10. pp. 14-15.
6. Strategy and tactics of plant protection. v.2 Tactics (2015). Alpha-stevia. 792 p.
7. Sigareva, DD, Kalatur, KA (2014). Species composition and harmfulness of parasitic nematodes in sugar beet agrocenoses. *Plant Protection and Quarantine*, T 60, 303-317.
8. Pilipenko, L. A., Karelov, A. V., Kozub, N. O., Sozinov, I. O., Vavrukh, O. R., Zelya, G. V., & Zelya, A. G. (2015). Molecular genetic diagnosis of potato cyst nematodes common in Polissya, Forest-Steppe and in the Ukrainian Carpathians. *Bulletin of Agrarian Science*, (10), 36-

39.
<https://doi.org/10.31073/agrovisnyk2.01510-08>
9. Galagan T. O. (2012). The most dangerous nematodes for crop production in Ukraine. Quarantine and plant protection, (1), 11-14.
10. Babych, A. G., Babych, A. A., Suhareva, R. D., & Statkevich, A. A. (2014). Effect of crop rotation on the abundance of golden potato nematode. Plant protection and quarantine, 1, 42-45.
11. Babych A. G., Babych A. A. (2019). Ways of dispersal of nematodes of Heteroderidae family. Russian Journal of Parasitology.; 13(1): 85–89.
<https://doi.org/10.31016/1998-8435-2019-13-1-85-89>
12. Shesteporov A. A., Lychagina S. V., Fedorova O. A. (2016). Concept of the agrophytocenotic method of phytohelminths control. Plant protection and quarantine, 4, 38-43.
13. Tsygankova, V. A., Stefanovska, T. R., Galkin, A. P., Ponomarenko, S. P., & Blume, Y. B. (2012). Inducing Effect of PGRs on Small Regulatory si/miRNA in Resistance to Sugar Beet Cyst Nematode. Communications in agricultural and applied biological sciences, 77(4), 779-787.
14. Blyuss K. B., Fatehi F., Tsygankova V. A., Biliavska L. O., Iutynska G. O., Yemets A. I. and Blume Y.B. (2019). RNAi-Based Biocontrol of Wheat Nematodes Using Natural Poly-Component Biostimulants. Front. Plant Sci., 10: 483.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00483>
15. Shesteporov A. A., Lukyanova E. A., Bondarev A. A. (2019). Application the Hassell model for prediction the population density of golden nematode of potato after growing Globodera resistant variety of potato. Russian Journal of Parasitology, 13(1), 90-96.
<https://doi.org/10.31016/1998-8435-2019-13-1-90-96>
16. Subbotin S. A., Vera I. C. D., Mundo-Ocampo M., Baldwin J. G. (2011). Identification, phylogeny and phylogeography of circumfenestrata cyst nematodes (Nematoda: Heteroderidae) as inferred from analysis of ITS-rDNA. Nematology, 13, 805-824.
<https://doi.org/10.1163/138855410X552661>
-

A.G. Babich, O.A. Babich, S.V. Verbovskiy, I.V. Prichodko (2021). ZONAL DISTRIBUTION AND TAXONOMIC STRUCTURE OF CYSTOFORMING NEMATODES OF CULTURAL AND NATURAL PHYTOCENOSES

BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 12(4): 67-75.

<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/editor/submission/15993>

<https://doi.org/10.31548/biologiya2021.04.006>

Abstract: During the period of scientific research, 12 species of cyst-forming nematodes were identified, the vast majority of which belong to the genus *Heterodera*. The spread of pathogenic species in the regions of traditional cultivation of major crops indicates a high degree of their trophic specialization. Multi-field anti-nematode crop rotations have been an effective preventive measure to control the number of cyst-forming nematodes for a long time. In particular, to prevent mass accumulation of cyst-forming

nematodes, the maximum saturation of crop rotations with host plants should not exceed: cereals - 40%, beets, canola and other oil cabbage - 20%, potatoes - 20% (10% susceptible + 10% resistant to nematodes) , perennial legumes - 30% (crops under the cover of cereals + perennial legumes - one or two years of use). However, the current transition from multi-field to short-rotation crop rotations has led to a narrowing of the species diversity of cultivated plants, and in accordance with the mass reproduction of pests and their high harmfulness. Intensive use of chemical plant protection products does not provide a solution to these problems, as it eventually leads to the formation of resistant populations of pests, as well as environmental pollution. Therefore, even partial replacement in modern systems of integrated plant protection of pesticides of chemical origin with environmentally friendly drugs of complex prolonged action of new generation, which combine the properties of bio-inducers, bio-stimulants, bio-fungicides, nematicides, insecticides, antistressants and adaptogens, will promote ecological production. obtaining safe plant products. Among the various ways of using plant protection products, pre-sowing treatment of seed or planting material is one of the most rational, given the minimal cost of active substances and low cost of protective measures.

Keywords: cyst-forming nematodes, dominant harmful species, ways and sources of settlement, plant heterodosis, anti-nematode measures.