

АГРОКЛІМАТИЧНІ ФАКТОРИ ТА ПРОДУКТИВНІСТЬ РІЗНИХ ЗА СКОРОСТИГЛІСТЮ СОРТІВ СОЇ ЗА ЕНДОФІТНО-РИЗОБІАЛЬНОЇ ІНОКУЛЯЦІЇ В УМОВАХ НЕПОЛИВНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА ПІВДЕННОГО СТЕПУ УКРАЇНИ

С.П. ГОЛОБОРОДЬКО¹,

доктор сільськогосподарських наук, професор,

<https://orcid.org/0000-0002-6968-985X>,

e-mail: goloborodko1939@gmail.com

Г.О. ІУТИНСЬКА²,

доктор біологічних наук, професор, член-кореспондент НАНУ,

<https://orcid.org/0000-0001-6692-2946>,

e-mail: galyna.iutynska@gmail.com

Л.В. ТИТОВА²,

кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник,

<https://orcid.org/0000-0003-3131-4355>,

e-mail: ltytova.07@gmail.com,

О.Д. ДУБИНСЬКА¹,

доктор філософії,

<https://orcid.org/0000-0002-5572-0094>,

e-mail: klenova-dubinskaelena76@ukr.net

Н.В. ШЕВЧУК²,

аспірант, <https://orcid.org/0000-0001-5574-4961>,

e-mail: nadia.shevchuk.48@ukr.net

¹Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН,
вул. Омеляновича-Павленка Михайла, 9, 01010, Київ, Україна

²Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К.Заболотного НАН України,
вул. Академіка Заболотного, 154, 03143, Київ, Україна

Анотація. У статті наведено результати досліджень погодно-кліматичних умов при проходженні продукційних процесів у період формування урожаю різних за скоростиглістю сортів сої за передпосівної ендofітно-ризобіальної інокуляції, а також функціональної активності ризосферної мікробіоти і продуктив-

ності рослин в умовах неполивного землеробства Півдня України. Визначено за міжфазними періодами середню температуру, відносну вологість повітря й кількість атмосферних опадів – основні показники, які впливають на величину випаровуваності, дефіциту вологозабезпечення та коефіцієнту зволоження. Експерименти проведено на дослідному полі Одеської державної сільськогосподарської дослідної станції, розташованій в зоні Південного Степу України. Ґрунт дослідного поля відноситься до важкосуглинкового чорнозему південного. Показники вологозабезпечення свідчать, що південна частина зони Степу Одеської області протягом вегетаційного періоду сільськогосподарських культур (квітень-вересень) 2023 р. відносилася до напівсухої зони, а в липні й вересні – до пустелі. Випаровуваність і дефіцит вологозабезпечення протягом вегетаційного періоду рослин обох сортів сої (ультраскоростиглого Діона та середньостиглого Святогор) суттєво змінювалися й залежали від середньомісячної температури, відносної вологості повітря та кількості атмосферних опадів. Випаровуваність досягала 1045,1-1244,0 мм, внаслідок чого дефіцит вологозабезпечення зростав до 913,3-1100,4 мм. Через недостатню кількість атмосферних опадів у червні, липні й серпні на більшості посівів сільськогосподарських рослин спостерігалось зростання дефіциту вологозабезпечення. Застосування комплексних термотолерантних і посухостійких мікробних інокулянтів зі стрессопротекторними функціями зменшувало негативний вплив агрокліматичних факторів на рослини сої і на ризосферну мікробіоту, що надзвичайно актуально в умовах негативних глобальних змін клімату. Основними напрямками наукової й господарської діяльності для отримання в південній частині зони Степу України стабільно високих урожаїв сільськогосподарських культур є структуризація посівних площ з оптимальною часткою у них зрошуваних земель та застосування інноваційних біопрепаратів.

Ключові слова: соя, ендofітно-ризобіальна інокуляція, неполивне землеробство, дефіцит вологозабезпеченості, ризосферна мікробіота, продуктивність.

Вступ.

Соя є надзвичайно важливою цінною харчовою, технічною і кормовою культурою, а також з агротехнологічної точки зору – гарний попередник для зернових, овочевих і кормових культур. Завдяки поєднанню двох найважливіших фізіологічних процесів – фотосинтезу й симбіотичної фіксації азоту вона значною мірою забезпечує свою потребу в азоті, що сприяє отриманню якісної продукції, покращенню стану ґрунту й поліпшенню екологічного стану агроценозів. Тому вирощування сої в усіх при-

родно-кліматичних зонах України відіграє важливу роль у підвищенні культури землеробства в цілому.

Соя чутлива до високих температур, що може спричинити зміни в метаболізмі і синтезі антиоксидантів в рослині. Тепловий стрес негативно впливає на ріст сої, фотосинтез і продуктивність. Підвищення середньої температури вегетаційного періоду на 1% призводить до зниження врожайності сої на 3,1% (Zhao, 2017). В умовах негативних глобальних змін клімату, підвищення температур у вегетаційний період, зменшення кількості опадів пошук способів

підвищення термотолерантності сої є надзвичайно актуальним. Для отримання стабільно високих урожаїв сої при вирощуванні культури в енергоощадних технологіях поряд з використанням біологічного потенціалу різних за скоростиглістю сортів застосовують такий важливий технологічний прийом, як інокуляція насіння штамами бульбочкових бактерій.

Достатньо розповсюдженими компонентами симбіотичних систем зернобобових культур, крім бульбочкових бактерій, є неризобіальні ендоефітні бактерії, які відіграють важливу роль в імунитеті і стресостійкості рослин і допомагають їм виживати в навколишньому середовищі.

Останніми роками зростає науковий інтерес до біорізноманіття та функцій ендоефітних бактерій, а також перспектив їх практичного використання (Gopal, 2016, Santoyo, 2016). Встановлено, що ендоефітні бактерії синтезують біологічно активні метаболіти, що характеризуються антимікробною дією на фітопатогени, або є індукторами системної стійкості рослин, попереджаючи цим розвиток у них хвороб (Singh, 2017). При цьому деякі ендоефіти здатні фіксувати молекулярний азот атмосфери, що покращує азотне живлення рослин зернобобових культур (Mahmud, 2020). Більшість ендоефітних бактерій сприяє активному росту й розвитку рослин, а також підвищенню їх стійкості до впливу несприятливих факторів навколишнього середовища, у тому числі, до посухи (Ludwig-Müller, 2015, Dombrowski, 2017, Dubey, 2021).

Показано, що інокуляція насіння сої різних груп стиглості ризобіально-ендоефітними композиціями в умовах зрошення Південного Степу України позитивно впливала на по-

льову схожість, стимулювала ріст і підвищувала продуктивність цієї культури (Iutynska, 2022).

Ендоефітні бактерії мають стійкі мутуалістичні взаємовідносини з рослинами, проте ефективність сумісного використання бульбочкових й ендоефітних бактерій як компонентів комплексних біологічних препаратів при вирощуванні сої на землях Південного Степу України у даний час залишається ще недостатньо вивченою. Надзвичайно актуальним для сталого розвитку агрофітоценозів є створення новітніх біопрепаратів на основі ендоефітних бактерій з розширеним спектром стресопротекторних властивостей і екологічною пластичністю.

Мета досліджень. Наукове обґрунтування заходів підвищення ефективності бобово-ризобіального симбіозу у різних за скоростиглістю сортів сої шляхом проведення комплексної інокуляції насіння бульбочковими й ендоефітними бактеріями на неполивних важкосуглинкових чорноземах південних.

Матеріали та методи дослідження.

У процесі виконання досліджень використані наступні загальноприйняті методи: польовий – для визначення формування урожаю різних за скоростиглістю сортів сої за комплексної інокуляції насіння бульбочковими й ендоефітними бактеріями, встановлення впливу гідротермічних умов та технологічних прийомів на рослини сої; лабораторний – для визначення чисельності мікроорганізмів основних функціональних груп у ризосфері рослин, статистичний – для встановлення достовірності

різниці кількості мікроорганізмів ризосфери та урожайних даних по варіантах досліду.

Погодно-кліматичні фактори при проходженні продукційних процесів у період формування урожаю різних за скоростиглістю сортів сої встановлювали шляхом визначення показників середньої температури, відносної вологості повітря і кількості атмосферних опадів за міжфазними періодами, тобто основних показників, які істотно впливають на величину випаровуваності, дефіцит вологозабезпечення та коефіцієнт зволоження (Romanenko, 1961). Вказані показники з урахуванням погодних умов у південній частині Одеської області визначали за загально прийнятими методами (Ushkarenko, 2014).

Загальна характеристика основних елементів погоди, що складалася за міжфазними періодами обох сортів сої, проведена з використанням спостережень метеорологічної станції селища Хлібодарське Одеської державної сільськогосподарської станції ІКОСГ НААН України. Ґрунт дослідного поля відноситься до чорнозему південного важкосуглинистого. У 0-25 см шарі ґрунту міститься гумусу (за Тюриним) – 2,95%; рухомого фосфору (за Чириковим) – 114,0-131,0 мг/кг ґрунту; обмінного калію (за Чириковим) – 161,0-184,0 мг/кг і лужногідролізованого азоту – 113,0-138,0 мг/кг ґрунту; рН водної витяжки – 7,8 (Kryvenko, 2019, Dymov, 2022).

Дослід проводили з вирощуванням ультраскоростиглого сорту сої Діона та середньостиглого сорту Святогор. Для комплексної ендofітно-ризобіальної інокуляції насіння різних за скоростиглістю сортів сої використано штами мікроорганізмів

із колекції культур відділу загальної та ґрунтової мікробіології Інституту мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України згідно схеми: 1 – Контроль (обробка насіння водою); 2 – Ризобін^К (асоціація 3-х штамів бульбочкових бактерій *Bradyrhizobium japonicum* УКМ В-6018, УКМ В-6023 й УКМ В-6035); 3 – Ризобін^К + *Bacillus* sp.4; 4 – Ризобін^К + *Brevibacillus* sp.5; 5 – Ризобін^К + *Pseudomonas* sp. 6. Інокуляцію насіння проводили згідно описаним методам (Iutynska, 2018). Чисельність мікроорганізмів основних еколого-трофічних груп у ризосферному ґрунті визначали методом посіву ґрунтової суспензії на відповідні агаризовані поживні середовища (Hudz, 2014) і виражали кількістю колонієутворюючих одиниць (КУО) у 1 г абсолютно сухого ґрунту (АСГ).

Площа посівної ділянки – 60,0 м², облікової – 17 м², повторність досліду чотириразова. Посів сортів сої проведено в третій декаді квітня сівалкою «Клен -1,5» шириною міжрядь 45 см на глибину 3-4 см.

Результати та їх обговорення

Згідно результатів наукових досліджень, проведених у різних природно-кліматичних зонах України, інокуляція насіння сої бульбочковими бактеріями істотно підвищує симбіотичну фіксацію молекулярного азоту атмосфери, а, отже, й урожай культури (Tanchuk, 2021). Поряд з цим, залучення азоту з повітря в кругообіг поживних речовин зернобобовими культурами забезпечує покращення екологічного стану навколишнього середовища.

1. Агрокліматичні умови вегетаційного періоду середньосухого (75%) за забезпеченістю опадами 2023 р. у селищі Хлібодарське Одеської області та середні багаторічні показники південної частини Степу

Місяць	Агрокліматичні показники					
	середня температура повітря, °С	відносна вологість повітря, %	сума опадів, мм	випаровуваність, мм	дефіцит волого забезпечення, мм	коефіцієнт зволоження
Середньосухий (75%) за забезпеченістю опадами 2023 рік (сел. Хлібодарське)						
Квітень	10,2	79	100,0	46,8	+53,2	2,14
Травень	17,9	68	34,0	106,1	72,1	0,32
Червень	21,7	52	50,4	188,4	138,0	0,27
Липень	29,3	65	47,8	185,7	137,9	0,26
Серпень	24,5	50	38,0	220,5	182,5	0,17
Вересень	18,1	56	66,5	147,1	80,6	0,45
За IV-IX	20,3	61	336,7	894,7	558,0	0,38
Середні багаторічні показники за 1945-2010 рр. підзони Південного Степу (м. Херсон)						
Квітень	9,6	71	24,6	62,5	37,9	0,39
Травень	15,8	67	26,8	98,9	72,1	0,27
Червень	20,3	64	38,3	133,0	94,7	0,29
Липень	23,0	59	49,7	170,0	120,3	0,29
Серпень	22,2	59	44,3	164,4	120,1	0,27
Вересень	16,5	66	32,0	105,4	73,4	0,30
За IV-IX	17,9	64	215,7	734,2	518,5	0,29

Рослинний мікробіом відіграє життєво важливу роль у рості і розвитку фітопартнера в умовах абіотичного та біотичного стресів. На живлення та формування рослин негативно впливають різні фактори, такі як нестача води, висока температура, забруднення, патогени тощо. Використання потенціалу мікробіому для стимулювання росту рослин і захисту від шкідливого впливу стресових факторів сприяє підвищенню продуктивності і якості урожаю. Відомо, що застосування біопрепаратів на основі термотолерантних бактерій сприяє послабленню впливу тепло-

вого стресу на рослини сої (Maitra, 2021, Kamran, 2022).

Агрокліматичні умови південної частини зони Степу Одеської області, у якій проводилися дослідження, характеризуються помірно жарким та дуже посушливим кліматом. Розраховані показники вологозабезпечення свідчать, що південна частина зони Степу Одеської області протягом вегетаційного періоду сільськогосподарських культур (квітень-вересень) 2023 р. відносилася до напівсухої зони, а в липні й вересні – до пустелі. Випаровуваність і дефіцит вологозабезпечення протягом вегетаційного

періоду суттєво змінювались і залежали від середньодобової температури, відносної вологості повітря та кількості атмосферних опадів.

Усього протягом вегетаційного періоду 2023 р. (квітень-вересень) випало 336,7 мм атмосферних опадів, що було більше багаторічних показників у середньому за 65 років (1945-2010 рр.) на 121,0 мм, або 56,1%. У квітні випало 100,0, травні – 34,0, червні – 50,4, липні – 47,8, серпні – 38,0 і вересні – 66,5 мм. В цілому у середньосухому (75%) за забезпеченістю опадами 2023 р. протягом вегетаційного періоду сільськогосподарських культур потенційні витрати вологи (випаровуваність) досягали 894,7 мм (табл.1).

Порівняно з середніми значеннями за 65 років (1945-2010 рр.) спостережень, вказані показники підзони Південного Степу були більшими на 160,5 мм, або на 17,9%. У квітні випаровуваність була незначною і не перевищувала 46,8 мм, у травні зростала до 106,1, у червні – до 188,4, у липні – до 185,7, у серпні – до 220,5 і у вересні – до 147,1 мм.

Через недостатню кількість атмосферних опадів у червні, липні та серпні на рослинах обох сортів сої різної групи стиглості, спостерігалось суттєве зростання дефіциту вологозабезпечення, яке досягало 137,9-182,5 мм. Дефіцит вологозабезпечення протягом вегетаційного періоду різних за скоростиглістю сортів сої істотно залежав від агрокліматичних умов і досягав за вегетаційний період 558,0 мм. Порівняно з середніми багаторічними показниками за 65 років спостережень дефіцит вологозабезпечення був більшим на 39,5 мм, або на 7,1%. При цьому у травні він складав лише 72,1 мм, у червні –

138,0; липні – 137,9; серпні – 182,5 і вересні – 80,6 мм.

Ступінь забезпеченості вологою різних за скоростиглістю сортів сої встановлювали також і за коефіцієнтом зволоження (Кз). В середньому за вегетаційний період (квітень-вересень) коефіцієнт зволоження складав 0,38, що свідчить про те, що південна частина зони Степу Одеської області відносилася до дуже посушливої зони.

Протягом кожного місяця вегетаційного періоду коефіцієнт зволоження був різний і суттєво відрізнявся від середнього показника за вегетаційний період сільськогосподарських культур. У квітні коефіцієнт зволоження складав 2,14, у травні – 0,32; червні – 0,27; липні – 0,26; серпні – 0,17 і вересні – 0,45. Наведені показники коефіцієнта зволоження свідчать про те, що у квітні південна частина зони Степу відносилася до високозволоженої зони, протягом травня, червня і липня – до напівсухої зони, протягом серпня – до напівпустелі й протягом вересня – до посушливої зони.

Для природно-кліматичних зон України при Кз = 1,00-1,33 і більше зону відносять до високозволоженої; при Кз = 1,00-0,77 – до напіввологої; при Кз = 0,77-0,55 – до напівпосушливої; при Кз = 0,55-0,44 – до посушливої; при Кз = 0,44-0,33 – до дуже посушливої; при Кз = 0,33-0,22 – до напівсухої зони; при Кз = 0,22-0,12 – до напівпустелі; при Кз = 0,12 і менше – до пустелі. У зв'язку з недостатньою кількістю опадів у серпні та вересні спостерігалось суттєве зростання дефіциту вологозабезпечення.

Загальна тривалість міжфазного періоду «сходи-початок гілкуван-

2. Агрокліматичні умови вегетаційного періоду різних за скоростиглістю сортів сої у середньосухому (75%) за забезпеченістю опадами 2023 р. (сел. Хлібодарське)

Календарні дати	Середня температура повітря °С	Кількість опадів, мм	Відносна вологість повітря, %	Випаровувальність, мм	Дефіцит вологозабезпечення, мм	Коефіцієнт зволоження (КЗ)
Сорт Діона						
сходи-початок гілкування (14 діб)						
19.V-01.VI	20,0	31,2	59,0	152,7	121,5	0,20
початок гілкування-початок цвітіння (17 діб)						
02.VI-18.VI	20,5	18,9	52,0	153,1	134,2	0,12
початок цвітіння-початок формування бобів (12 діб)						
19.VI-30.VI	23,4	10,4	53,0	128,7	118,3	0,08
початок формування бобів-початок наливу насіння (20 діб)						
01.VII-20.VII	25,7	12,8	49,0	188,9	176,1	0,07
початок наливу насіння -початок дозрівання насіння (13 діб)						
21.VII-02.VIII	26,7	35,0	54,0	207,8	172,8	0,17
початок дозрівання насіння-повне дозрівання насіння (14 діб)						
03.VIII-16.VIII	24,5	23,5	48,0	213,9	190,4	0,11
Середнє						
90 діб	23,5	131,8	52,5	1045,1	913,3	0,13
Сорт Святогор						
сходи-початок гілкування (16 діб)						
25.V-09.VI	20,0	22,6	54,0	167,7	145,1	0,13
початок гілкування-початок цвітіння (17 діб)						
10.VI-26.VI	22,6	22,2	55,0	183,5	161,3	0,12
початок цвітіння-початок формування бобів (17 діб)						
27.VI-18.VII	24,8	17,3	50,0	223,2	205,9	0,08
початок формування бобів-початок наливу насіння (25 діб)						
19.VII-08.VIII	25,2	60,5	55,0	204,1	143,6	0,30
початок наливу насіння-початок дозрівання насіння (30 діб)						
09.VIII -03.IX	26,1	20,0	44,0	263,2	243,2	0,08
початок дозрівання насіння-повне дозрівання насіння (16 діб)						
04.IX-19.IX	20,2	1,0	45,0	202,3	201,3	0,01
Середнє						
118 діб	23,1	143,6	50,5	1244,0	1100,4	0,12

ня» при вирощуванні скоростиглого сорту Діона не перевищувала 14 діб, протягом якого випало 31,2 мм атмосферних опадів або 23,7% до загальної їх кількості в цілому за вегетаційний період культури (табл. 2).

Коефіцієнт зволоження у вказаному міжфазному періоді загальною тривалістю 14 діб не перевищував 0,20, який свідчить про те, що територія південної частини зони Степу Одеської області, у тому числі й дослідного поля, протягом міжфазного періоду «сходи-початок гілкування» обох сортів сої відносилася до напівпустелі.

Тривалість міжфазного періоду «початок гілкування-початок цвітіння» сортів сої не перевищувала 17 діб, протягом якого випало лише 18,9-22,2 мм атмосферних опадів або 14,3-15,5% до загальної їх кількості у періодах. За середньодобової температури 20,5-22,6°C й відносної вологості повітря 52,0-55,0% випаровуваність при вирощуванні сорту Діона досягала 153,1 мм і сорту Святогор – 183,5 мм, дефіцит вологозабезпечення складав 134,2 та 161,3 мм відповідно.

Протягом міжфазного періоду «початок цвітіння-початок формування бобів» загальна тривалість якого для сорту Діона складала 12 діб, за середньої температури 23,4°C й відносної вологості повітря 53,0% випаровуваність зростала до 128,7 мм, а дефіцит вологозабезпечення досягав 118,3 мм. Кількість опадів при вирощуванні сорту Діона у вказаному міжфазному періоді складала лише 10,4 мм або 7,9% до загальної кількості опадів протягом вегетаційного періоду культури. За вказаних погодних умов коефіцієнт зволоження для обох сортів сої Діона й Святогор не

перевищував 0,08, що характерно для пустелі.

У міжфазному періоді «початок формування бобів-початок наливу насіння» кількість атмосферних опадів при вирощуванні сорту Діона складала 12,8 мм, або 9,7 % до загальної кількості опадів за вегетаційний період сорту. За середньої температури 25,7°C й відносної вологості повітря 49,0% випаровуваність у вказаному міжфазному періоді при вирощуванні сорту Діона зростала до 188,9 мм, а дефіцит вологозабезпечення досягав 176,1 мм.

При вирощуванні середньостиглого сорту Святогор у міжфазному періоді «початок формування бобів-початок наливу насіння», загальна тривалість якого зростала до 25 діб, також спостерігали негативний вплив погодних умов на формування урожаю культури. За середньодобової температури 25,2°C і відносної вологості повітря 55,0% випаровуваність складала 204,1 мм, а дефіцит вологозабезпечення досягав 143,6 мм. Коефіцієнт зволоження за вказаних погодних умов не перевищував 0,30, що характерно для напівсухої зони.

У міжфазному періоді «початок наливу насіння-початок дозрівання насіння» коефіцієнт зволоження при вирощуванні сорту Діона протягом 13 діб не перевищував 0,17, що характерно для напівпустелі. При вирощуванні сорту Святогор цей показник становив 0,08. Згідно вказаного показника коефіцієнта зволоження, протягом 30 діб територія Південного Степу відносилася до пустелі.

У міжфазному періоді «початок дозрівання насіння-повне дозрівання насіння», загальна тривалість якого при вирощуванні сорту Діона складала 14 діб, а сорту Святогор – 16 діб,

3. Вплив ендofітно-ризобіальної інокуляції на чисельність мікроорганізмів основних еколого-трофічних груп у ризосфері сої сортів Діона і Святогор за неполивного землеробства Південного Степу України (фаза цвітіння-початку плодоутворення, млн. КУО/г АСГ)

Варіант досліджу	Со́я сорту Діона			Со́я сорту Святогор		
	Азотфіксу-вальні	Фосфат-мобілізу-вальні	Педотроф-ні	Азотфіксу-вальні	Фосфат-мобілізу-вальні	Педотроф-ні
К	34,8±4,3	54,4±5,04	78,03±6,4	8,9±0,7	10,1±1,8	76,4±3,07
R ^K	35,08±5,0	71,8±2,1	76,2±3,5	6,6±0,7	10,8±1,2	75,2±3,8
R ^K +4	63,8±3,6	70,6±3,6	103,9±4,3	12,3±1,5	21,6±4,5	87,05±0,7
R ^K +5	86,8±8,8	205,7±23,4	313,7±6,6	7,9±1,9	7,9±1,9	71,1±3,1
R ^K +6	69,4±1,4	167,4±17,9	244,1±12,9	5,5±0,7	14,1±0,7	74,8±6,3

Примітка: К – контроль з обробкою насіння водою; R^K–Ризобін^K; RK+4 – Ризобін^K + *Bacillus* sp.4; R^K+5 – Ризобін^K + *Brevibacillus* sp.5; R^K+6 – Ризобін^K + *Pseudomonas* sp. 6.

коефіцієнт зволоження при вирощуванні сорту Діона складав 0,11 (пустеля), а сорту Святогор – 0,01 (пустеля).

Результати дослідження мікробіоти ризосферної зони рослин сої показали, що у цих екстремальних погодно-кліматичних умовах застосування новітніх біопрепаратів на основі комплексу бульбочкових і ендofітних бактерій чинило стресопротекторний вплив на мікробіоценоз, формування, розвиток і продуктивність соєво-ризобіальних систем обох досліджених сортів.

При вивченні впливу інокуляції насіння бульбочковими й ендofітними бактеріями на розвиток агрономічно корисних еколого-трофічних груп ризосферного мікробіоценозу сої в умовах неполивного землеробства Південного Степу України встановлено суттєвий стимулювальний вплив комплексної інокуляції на чисельність мікроорганізмів, які беруть участь у трансформації азоту, фосфору та гумусових сполук.

У ризосфері ультраскоростиглого сорту Діона у фазі цвітіння-початку плодоутворення кількість азотфік-

сувальних бактерій, які покращують азотний баланс ґрунту за рахунок біологічного азоту, при коінокуляції Ризобіном^K з ендofітними штамами була вищою порівняно з контролем, де насіння було оброблене водою, у 1,8 – 2,5 рази (Табл.3).

Важливе значення у фосфорному живленні рослин відіграють фосфатмобілізувальні бактерії, які трансформують недоступні для рослин сполуки фосфору у розчинні форми, що засвоюються рослинами. Чисельність фосфатмобілізувальних бактерій за використання комплексної інокуляції була вищою порівняно з контролем у всіх дослідних варіантах у 1,3-3,7 рази у ризосфері сорту Діона та в 1,4-2,1 рази у ризосфері сорту Святогор.

Кількість педотрофних бактерій, які беруть участь у трансформації водорозчинних гумусових сполук, за коінокуляції Ризобіном^K з ендofітними бактеріями була вищою порівняно з контрольним варіантом у ризосфері сорту Діона у 1,3-4,0 рази, сорту Святогор – на 13%.

Отже, ризосферний ґрунт сої обох досліджених сортів у варіантах з

комплексною ендofітно-ризобіальною інокуляцією відрізнявся підвищеною біологічною активністю, про що свідчать високі показники чисельності мікроорганізмів основних еколого-трофічних груп. Це сприяло зростанню стійкості рослин до посушливих погодно-кліматичних умов і підвищенню урожайності.

Завдяки комплексній інокуляції, в посушливих умовах неполивного землеробства Південного Степу України отримано статистично достовірне підвищення урожаю сої, причому найбільший приріст урожаю у сорту Діона отримано за коінокуляції Ризобіном^К + *Pseudomonas* sp. 6, а у сорту Святогор – за комплексної інокуляції Ризобіном^К + *Brevibacillus* sp.5 (на 0,36 та 0,28 т/га відповідно порівняно з контрольним варіантом).

Висновки і перспективи.

Таким чином, встановлено позитивний вплив ендofітно-ризобіальної інокуляції на стійкість сої до несприятливих посушливих умов вирощування за неполивного землеробства Південного Степу України та її продуктивність. Отримані дані є підставою для подальшої розробки заходів підвищення ефективності бобово-ризобіального симбіозу у різних за скоростиглістю сортів сої із застосуванням комплексної інокуляції насіння симбіотичними бульбочковими й неризобіальними ендofітними бактеріями на неполивних землях півдня України. Основними напрямками наукової й господарської діяльності для отримання в південній частині зони Степу стабільно високих урожаїв сільськогосподарських культур є структуризація посівних площ з оптимальною часткою у них зрошуваних

земель та застосування біоінокулянтів зі стресопротекторними та фітостимулювальними функціями.

References

1. Zhao, C., Liu, B., Piao, S., Wang, X., Lobell, D. B., Huang, Y., Huang, M., Yao, Y., Bassu, S., Ciais, P., Durand, J.-L., Elliott, J., Ewert, F., Janssens, I.A., Li, T., Lin, E., Liu, Q., Martre, P., Müller, C., ... Asseng, S. (2017). Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *Proc Natl Acad Sci.*, 114(35), 9326-9331. DOI: 10.1073/pnas.1701762114.
2. Gopal, M., Gupta, A. (2016). Microbiome Selection Could Spur Next-Generation Plant Breeding Strategies. *Frontiers in Microbiology*, 7. DOI:10.3389/fmicb.2016.01971.
3. Santoyo, G., Moreno-Hagelsieb, G., del Carmen Orozco-Mosqueda, M., Glick, B.R. (2016). Plant growth-promoting bacterial endophytes. *Microbiological Research*, 183, 92–99. DOI:10.1016/j.micres.2015.11.008.
4. Singh, V.K., Singh, A.K., Kumar, A. (2017). Disease management of tomato through PGPB: current trends and future perspective. *3 Biotech*, 7(4). DOI:10.1007/s13205-017-0896-1.
5. Mahmud, K., Makaju, S., Ibrahim, R., Missaoui, A. (2020). Current Progress in Nitrogen Fixing Plants and Microbiome Research. *Plants* 9(1), 97. DOI:10.3390/plants9010097
6. Ludwig-Müller, J. (2015). Plants and endophytes: equal partners in secondary metabolite production? *Biotechnology Letters*, 37(7), 1325–1334. DOI:10.1007/s10529-015-1814-4.
7. Dombrowski, J.E., Hollenbeck, V.G., Martin, R.C. (2017). Isolation and Identification of Bacterial Endophytes from Grasses along the Oregon Coast. *American Journal of Plant Sciences*, 8(3), 574-601. DOI:10.4236/ajps.2017.83040.

8. Dubey, A., Saiyam, D., Kumar, A., Hashem, A., Abd_Allah, E. F., & Khan, M. L. (2021). Bacterial Root Endophytes: Characterization of Their Competence and Plant Growth Promotion in Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) under Drought Stress. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 931. DOI:10.3390/ijerph18030931.
9. Iutynska, G.O., Goloborodko, S.P., Tytova, L.V., Dubynska, O.D. (2022) Effectiveness of endophytic-rhizobial seed inoculation of *Glycine max* (L.) Merr. cultivated in irrigated soil. *Journal of Central European Agriculture*. 23(1), 40-53. DOI:10.5513/jcea01/23.1.3397
10. Romanenko, V.A. (1961) Calculation of autumn soil moisture from a universal ratio for a large area. Proceedings of the Ukrainian Research Hydrometeorological Institute. Kyiv. T. 34. Issue 1. P. 35-68.
11. Ushkarenko, V.O., Vozhegova, R.A., Holoborodko, S.P., Kokovikhin, S.V. (2014). Methodology of field experiment (Irrigated agriculture): training. manual. Kherson: Gryn D. S. 448 p.
12. Kryvenko, A. I. (2019). Scientific substantiation of biological technologies for growing winter grain crops in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine: author's abstract. thesis ... dr. Agricultural Sciences: 06.01.09. Kherson, 2019.40 p. http://www.ksau.kherson.ua/files/avtoreferaty_dysertaciyi.
13. Dymov, O.M., Holoborodko, S.P. (2022). Water supply of the steppe zone of Ukraine and rational use of irrigated lands in the steppe zone of Ukraine. *Irrigated agriculture*. Kherson, No. 77. P. 27-31. DOI: 10.32848/0135-2369.2022.77.6.
14. Iutynska, G.O., Bilyavska, L.O., Tytova, L.V. et al. (2018). Application of the latest biological preparations in crop production. Guidelines. Kyiv, Institute of Microbiology and Virology named after D.K. Zabolotny National Academy of Sciences, Kyiv, 104p.
15. Gudzy, S.P., Hnatysh, S.O., Yavorska, G.V., Bilinska, I.S., Borsukevich, B.M. (2014). Workshop on microbiology: textbook. Lviv, LNU named after Ivan Franko, 436 p.
16. Tanchyk, S., Litvinov, D., Butenko, A., Litvinova, O., Pavlov, O., Babenko, A., Shpyrka N., Onychko, V., Masyk, I., Onychko, T. (2021). Fixed nitrogen in agriculture and its role in agrocenoses. *Agronomy Research*, 19(2), 601–611. DOI:10.15159/AR.21.086.
17. Maitra, S., Pramanick, B., Dey, P., Bhadra, P., Shankar, T., Anand, K. (2021). Thermotolerant Soil Microbes and Their Role in Mitigation of Heat Stress in Plants. *Soil Microbiomes for Sustainable Agriculture*, 27, 203–242. DOI:10.1007/978-3-030-73507-4.
18. Kamran, M., Imran, Q. M., Ahmed, M. B., Falak, N., Khatoon, A., & Yun, B.-W. (2022). Endophyte-Mediated Stress Tolerance in Plants: A Sustainable Strategy to Enhance Resilience and Assist Crop Improvement. *Cells*, 11(20), 3292. DOI:10.3390/cells11203292.

Goloborodko S., Iutynska H., Tytova L., Dubynska O., Shevchuk N. (2024) AGROCLIMATIC FACTORS AND PRODUCTIVITY OF DIFFERENT MATURITY GROUPS SOYBEAN CULTIVARS UNDER ENDOPHYTIC-RHIZOBIAL INOCULATION IN CONDITIONS OF NON-IRRIGATED AGRICULTURE OF THE SOUTHERN STEPPE OF UKRAINE.

BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 15(1): 5-16.

<https://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/49020>

[http://dx.doi.org/10.31548/biologiya15\(1\).2024.001](http://dx.doi.org/10.31548/biologiya15(1).2024.001)

Abstract. *The article presents the results of studies of weather and climatic conditions during the production processes in the period of formation of the yield of soybean varieties of different maturity under pre-sowing endophytic-rhizobial inoculation of seeds, as well as the functional activity of the rhizosphere microbiota and plant productivity in conditions of non-irrigated agriculture. The average temperature, relative humidity, and rainfall were determined for the interphase periods, which are the main indicators that affect the evapotranspiration, moisture deficit, and moisture coefficient. The experiments were conducted at the experimental field of the Odesa State Agricultural Research Station, located in the southern steppe zone of Ukraine. The soil of the experimental field is a heavy loamy southern chernozem. The moisture availability indicators show that the southern part of the Steppe zone of Odesa region during the growing season of crops (April-September) in 2023 belonged to the semi-arid zone, and in July and September - to the desert. Evapotranspiration and moisture deficit during the growing season of plants of both soybean varieties (ultra-early maturing Diona and mid-season Sviatohor) varied significantly and depended on the average monthly temperature, relative humidity and rainfall. Evapotranspiration reached 1045.1-1244.0 mm, resulting in a moisture deficit of 913.3-1100.4 mm. Due to insufficient rainfall in June, July and August, most crops experienced an increase in moisture deficit. The use of complex thermotolerant and drought-resistant microbial inoculants with stress-protective functions reduced the negative impact of agroclimatic factors on soybean plants and rhizosphere microbiota. The main directions of scientific and economic activity for obtaining consistently high crop yields in the southern part of the Steppe zone are the structuring of sown areas with an optimal share of irrigated land and the use of innovative biological preparations.*

Keywords: *soybean, endophytic-rhizobial inoculation, non-irrigated agriculture, deficit of moisture supply, rhizosphere microbiota, productivity.*

IN VITRO PRODUCTION OF VIRUS-FREE CARNATION (*DIANTHUS CARIOPHYLLUS* L.) PLANTING MATERIAL

O. KLIACHENKO¹,

doctor, Professor of the Department of Ecobiotechnology and Biodiversity,

<https://orcid.org/0000-0002-4087-4082>,

Klyachenko@ukr.net

K. KUSHCHENKO¹,

master's degree Faculty of Plant Protection, Biotechnology and Ecology,

<https://orcid.org/0009-0007-1134-6479>

I. SHIAKHTUN¹,

graduate student of the Department of Ecobiotechnology and Biodiversity,

<https://orcid.org/0000-0003-4338-8474>

I. BEZPROZVANA²,

Researcher of the Laboratory of Quality Indicators of Plant Varieties,

<https://orcid.org/0000-0002-4240-7605>

¹ *National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyev, Ukraine*

² *Ukrainian Institute of Expertize of Plant Varieties, Kyev, Ukraine*

Abstract. *The methods of culture of apical meristems and direct and indirect morphogenesis in vitro were used for production of virus-free planting material of carnation. A scheme for obtaining aseptic material has been developed, which consists of stepwise treatment of explants: Thimerosal - 2 min, 70% ethyl alcohol - 0.5 min and 0.08% AgNO₃ - 1 min, which reduces the level of contamination by fungal infection. Expounded the results of studies of callusogenesis and direct and indirect morphogenesis in the culture of in vitro explants of Dutch carnation, their dependence on the content of growth regulators in the nutrient medium. It was established that there were almost no significant differences in the course of callusogenesis processes within carnation varieties. At the same time, the frequency of callusogenesis was 100%. Under the conditions of indirect morphogenesis realization, it is necessary to take into account the age of callus tissues. The growth and intensive shoot formation of carnations was noted on the Murashige-Skoog nutrient medium supplemented with BAP at a concentration of 0.5 mg/l. The best medium for rooting was the MS medium with half the concentration of macro- and microsalts with the addition of 0.5 mg/l of NAA, which is recommended by us for rooting regenerating carnation plants of various varieties. Peat: perlite in a 1:1 ratio was used as a substrate for the adaptation of regenerating plants. Survival of carnation plants to conditions in vivo for the variety "Raffino Linde" was 90%, while for the variety "Tiya" - 83%, respectively.*

Key words: *carnation, callusogenesis, morphogenesis, shoot formation rhizogenesis.*

Introduction.

Carnation is a perennial plant, cultivated in almost all regions of Europe and is used in landscaping as an ornamental plant for planting in flower beds and alpine slides. In floriculture, carnations are used for cutting and sale. In greenhouses, remontant carnation, which is often called Dutch carnation, is grown for cutting. The main method of propagating Dutch carnation is meristem tissue culture, which makes it possible to obtain virus-free planting material in a timely manner (Pralhad, 2009; Khatun et al., 2018; Sreelekshmi and Syril, 2021).

In recent years, two trends can be clearly observed in research on the culture of tissues and cells of higher plants. The first is related to an in-depth study of the biology of cultured cells, examining features of their growth and differentiation (Gao et. al, 2017; Isah, 2019; Zhang et al., 2022). The second is more applied, which aims at a wider application of techniques and methods of tissue culture to solve important practical problems that arise in floriculture. One of such effective and cost-effective methods is the culture of apical meristems and microclonal propagation and improvement of plant material in *in vitro* culture (Klyachenko et. al., 2003; Kushnir and Sarnatska, 2005; Muszyńska and Hanus-Fajerska, 2017). This method makes it possible to obtain a large amount of plant material in a short period of time. In addition, during the propagation of plants in tissue culture, they are freed from pathogenic microorganisms and, in many cases, from viruses. In the process of micropropagation, there is no risk of re-infection of plants. The improvement of planting material improves the quality of products (Kol-

dar, 2010; Sreelekshmi and Syril, 2021).

Despite the large number of experimental works devoted to morphogenesis and reproduction *in vitro*, the technology of microclonal reproduction has not been developed for many species of ornamental plants and in floriculture. The reason for this is, first of all, the lack of clear methods, their complexity, secondly, the use of scarce and expensive components of the nutrient medium and insufficient knowledge of the morphogenetic potential of plants and ways of managing them in tissue culture. Today, the issue of virus-free carnation planting material production, its reproduction and adaptation to conditions *in vivo* is still relevant. To satisfy the growing demand for carnations, the use of traditional approaches in the reproduction and selection of these plants is not enough.

The purpose of the work is to study the features of production of virus-free material of different varieties of Dutch carnation and its clone micropropagation in the conditions of *in vitro*.

Research materials and methods.

As explants, shoots with axillary and apical buds of two varieties of carnations, Dutch "Tiya" and "Raffino Linde" were used for introduction into the *in vitro* culture. The research methods generally accepted in biotechnology were used in the work (Melnichyk and Klyachenko, 2015). We conducted research in several directions: studying the ability of carnations to form callus, the intensity of shoot formation in conditions of *in vitro*, rooting of regenerating plants and their adaptation to conditions *in vivo*.

Callus tissue was obtained by cultivating stem explants. Apical meristems

1. Sterilant solutions, their concentration and treatment exposure

Sterilizing substances	Concentration, %	Exposure, min	
		1 option	2 option
Thimerosal	1	2	2
C ₂ H ₅ OH	70	1	0.5
AgNO ₃	0.08	0.5	1

with leaf primordia 0.3-0.5 mm long were used to grow mother plants. When studying shoot formation, apical meristems and intermediate microstalks of carnations, 1-2 cm long with one pair of leaves, which contain axillary meristematic tissues, were used, as explants. With donor plants carnations were cut off the upper part of the stem, 1.5-2.0 cm long, thoroughly washed in a soapy solution, then washed with running water and rinsed twice with sterile distilled water.

For optimization of sterilization of plant material, sterilant solutions and step sterilization with different exposures were used. Thimerosal, 70% ethanol and 0.08% AgNO₃ were used as sterilants. Sterilization was carried out sequentially (table 1).

Explants were transferred to test tubes on a hormone-free Murashige-Skoog (MS1) nutritious medium (Murashige, Skoog, 1962) for adaptation. Tubes with explants were cultivated in a thermostat without lighting at a regulated temperature of 25±1°C. After a week, they were tested for microorganisms caused infection.

Sterilization efficiency (Es), in percentage, was calculated according to the formula:

$$Ec = \frac{Ke - Kvr.e.}{Ke} \times 100\%, \text{ where}$$

Ke - is the total number of explants.

Kvr.e - is the number of affected explants (Melnichuk and Klyachenko, 2015).

Carnation callus tissue was obtained from sterile leaf plates and fragments of microshoots (0.5-0.8 cm), by making additional incisions. Shoots were cut into segments of 2-4 mm carnation explants were cultured on a modified Murashige-Skoog medium (variant MSC1 with the addition of 0.2 mg/l BAP, 2 mg/l NAA, variant MSC2 with the addition of 0.5 mg/l BAP, 2 mg/l NAA and MSC3, supplemented with 1.0 mg/l BAP, 2 mg/l NAA).

For subcultivation, the mass of raw callus substance was 2.0±0.10 g, the duration of the passage was 28-30 days. The plant material was cultivated in penicillin vials in a TS-80 thermostat without lighting at a temperature of 25 ± 1 0C and humidity of 70–75%. The frequency of callus formation was determined as the percentage of explants that formed a callus from the total number of explants. The average monthly increase in raw callus mass was determined as the difference between the final and initial mass (Melnichuk and Klyachenko, 2015).

To induce indirect morphogenesis, callus tissues weighing 2.0±0.10 g were planted on MC medium with the addition of 0.1-3.0 mg/l BAP, 0.5-2.0 mg/l kinetin and 0.1- 1.0 mg/l 2,4-D. The plant material was cultivated at a temperature of 25±1 0C, illuminance of 2.0-3.0 klx, a 16-hour photoperiod, and humidity of 70-75%.

Direct morphogenesis was achieved by cultivating apical meristems on

modified MSA nutrient medium supplemented with White's vitamins, BAP at a concentration of 0.5 mg/l. For the rooting of microshoots obtained in the culture of isolated apical meristems, they were transferred to the nutrient medium MCP with a half set of macro- and microsalts with the addition of 0.5-2.0 mg/l NAA.

Rooted carnation plants with well-developed leaf blades and petioles of dark green color were taken out of test tubes for adaptation. The plants were transferred to a substrate composed of perlite: peat (1:1), which was previously autoclaved at 2 atm according to Kushnir et al. (Kushnir and Sarnatska, 2005). After planting the regenerating plants in the substrate, they were covered with glass cylinders to prevent the plants from drying out, and after 7 days, the plants were fertilized with a solution of macro- and microsalts according to MS. After 2 weeks of cultivation, the glass cylinders were removed, the plants were kept for 7 days and transplanted into open ground conditions. Survival of plants in conditions of *in vivo* was recorded.

The experimental material obtained as a result of research was statistically processed using the MS Excel analysis package. The repeatability of experiments is 3-15 times, the number of samples used in the experiment is 10-30 pieces. Arithmetic mean values and

their standard errors are given in the tables.

Results and discussion.

In the course of research, we conducted a number of experiments on obtaining an aseptic carnation culture. The carnations were stored in water, brought to the laboratory and thoroughly washed under running water to remove dirt from the stem surface. Difficulties associated with sterilization of explants have been noted in the literature (Radojevic et al., 2010; Qadri et al., 2018; Ram et al., 2019; Polivanova and Bedarev, 2022). We used gradual sterilization with several solutions of sterilants with different processing exposure. The first option – gradual treatment with Thimerosal - 2 min, 70% ethanol - 1 min and 0.08% AgNO₃ - 0.5 min. The second option - gradual treatment with Thimerosal - 2 min, 70% ethanol - 0.5 min and 0.08% AgNO₃ - 1 min followed by washing three times with sterile distilled water. The shoot tips and nodal segments were cut into small parts (1.0-1.5 cm) for explantation on a hormone-free MC medium. The results of the research showed that the effectiveness of sterilization depended on the option of exposure to treatment with sterilizing substances. The second option of sterilization turned out to be more effective, which made it possible to free the plant material from

2. Efficiency of sterilization of carnation explants under different schemes of aseptic processing

Variety	Number of explants	Number of infected explants on day 7, %		The number of infected explants on day 10, %	
		Version			
		1	2	1	2
"Tiya"	100	4	1	2	-
"Raffino Linde"	100	2	-	-	-
NIR ₀₅		0.15	0.05	0.20	

exogenous and endogenous infection. Explants were screened for the presence or absence of infection on the third and seventh days of cultivation. The results are presented in table 2.

From the presented data, it can be seen that the second sterilization option was more effective, in which the sterilization efficiency was 99% for the "Tiya" variety on the 7th day, and 100% for the "Raffino Linde" variety, respectively.

After successful sterilization and production of aseptic carnation seedlings on the 10th day of cultivation, the explants were placed in biological test tubes on nutrient media supplemented with growth regulators to obtain callus and regenerating plants. On the first or second day of cultivation of sterile carnation explants, you can observe their increase in size.

Thus, after analyzing the results obtained by us, we can conclude that aseptic processing of explants is used the scheme of Thimerosal - 2 min, 70% ethanol - 0.5 min and 0.08% AgNO₃ - 1 min is the most effective. In addition, the use of 0.08% AgNO₃ reduces the level of fungal infection if the exposure time is lengthened.

According to research by domestic and foreign scientists, the intensity and efficiency of callusogenesis in plants cultivated in vitro depends on external factors, namely cultivation conditions, and above all, the presence of growth regulators in the nutrient medium (Gang et al., 2003; Khatun et al., 2018; Qadri, 2018). Growth regulators cause numerous changes in plant tissues and are the basis of structural transformation of cells during callusogenesis. The presence of growth regulators in the nutrient medium causes the formation of a callus mass with a high degree of

proliferation, which makes it possible to obtain a large number of regenerating plants. It is known that the classic ratio of auxins to cytokinins (10:1) in the nutrient medium induces callusogenesis. In addition, a certain genotype has its own peculiarities and difficulties in the process of obtaining and cultivating callus tissues.

Callus tissue was obtained by culturing stem explants on a modified MC nutrient medium with the addition of growth regulators NAA and BAP in different concentrations and ratios. For callusogenesis, we used the following series of nutrient media presented in the table. 3.

3. Content of growth regulators in callusogenic media

Version	Growth regulators
1	0.2 mg/l BAP + 2 mg/l BAP
2	0.5 mg/l BAP + 2 mg/l BAP
3	1 mg/l BAP + 2 mg/l BAP

Penicillin vials with planted explants were placed in the dark in a thermostat with regulated temperature and humidity of 70% and cultivated for 12 days. Later, the explants were exposed to light at a temperature of $+23 \pm 1$ °C and a 16-hour light period. On the 24th day, the formation of callus tissues was recorded, the results of which are presented in the table. 4.

From the presented data, it can be seen that the minimum mass of calli was formed on average on the nutrient medium of variant 1. In addition to the growth characteristics, we described the morphological characteristics of callus tissues, namely compactness and color, the results of which are presented in the table. 5.

Therefore, within carnation varieties, there were almost no significant dif-

4. Dependence of callusogenesis of carnation variety "Tiya" on the content of growth regulators in the nutrient medium

Variant	Composition of the nutrient medium	Number of explants	The number of callus-forming explants	
			%	mass of callus, mg
1	MS + 0.2 mg/l BAP + 2 mg/l BAP	40	100	350 ±17.5
2	MS + 0.5 mg/l BAP + 2 mg/l BAP	40	100	820 ±41.1
3	MS +1 mg/l BAP + 2 mg/l BAP	40	100	610 ±30.5

5. Qualitative characteristics of carnation callus tissues depending on the composition of the nutrient medium

Variant	Composition of the nutrient medium	Characteristics of carnation callus tissues	
		variety	
		"Tiya"	"Raffino Linde"
1	MS + 0.2 mg/l BAP + 2 mg/l BAP	light yellow, not dense	light yellow, not dense
2	MS + 0.5 mg/l BAP + 2 mg/l BAP	dense with green cells	dense with green cells
3	MS +1 mg/l BAP + 2 mg/l BAP	dense with green cells	dense with green cells

ferences in the course of callusogenesis processes, and its frequency was 100%.

One of the least studied aspects of differentiation is morphogenesis. At the same time, the complexity of researching the physiological, biochemical and molecular processes underlying morphogenesis lies in the fact that the differentiation of cells into organs occurs asynchronously. However, differentiating cells and differentiation centers are spatially separated. In the process of differentiation, morphological structures are formed in cultivated unorganized callus tissues, which lead to the formation of buds, roots, stems, flowers, whole plants in them (Murashige, 1990; Jorapur et al., 2018). Indirect morphogenesis takes place in two stages, namely: the first stage is the process of formation of callus tissues

on the explant; the second stage is the formation of morphological structures in callus tissues. At the same time, the formation of morphological structures is determined by a certain ratio of cytokines and auxins, which is considered classic 10:1. In the culture of callus tissues, somatic embryogenesis and organogenesis (stem, root, floral, leaf) can be distinguished (Zhu et al., 2018; Nikam et al., 2019; Zhang et al., 2022).

Research on the induction of organogenesis is caused primarily by the requests of breeders and geneticists who are interested in using tissue culture methods and genetic engineering to obtain new forms of the most interesting ornamental plants and flowers. The capacity for organogenesis decreases in tissues isolated by direction from apex to base stems. The tendency to organ-

6. Ability to organogenesis *in vitro* in carnation varieties

No	Variety	Intensity of organogenesis		
		Frequency of organogenesis, %	Number of shoots	Height of shoots, cm
1	"Tiya"	68.22	3.2 ± 0.36	6.15 ± 0.062
2	"Raffino Linde"	95.75	3.8 ± 0.13	8.28 ± 0.091

ogenesis also decreases with multiple transplants of callus tissues, and the ability to root is preserved for a longer time.

To induce indirect morphogenesis, callus tissues weighing 2.0 ± 0.10 g were planted on MC medium with the addition of 0.1-3.0 mg/l BAP, 0.5-2.0 mg/l kinetin and 0.1- 1.0 mg/l 2,4-D. The plant material was cultivated at a temperature of $25 \pm 10^\circ\text{C}$, illuminance of 2.0-3.0 klx, a 16-hour photoperiod, and air humidity of 70-75%. In our studies, intensive organogenesis was observed for both varieties of carnations (table 6).

Thus, when obtaining indirect morphogenesis, it is necessary to take into account the fact that the regeneration ability of callus tissues of different carnation genotypes depends not only on the genotype of the plants, but also on the age category. With age, especially after the ninth passage, a decrease in regenerative capacity is observed. Perhaps the reason for this may be somaclonal variability, which occurs as a result of long-term cultivation of callus tissues.

It is generally known that one of the main conditions for the regeneration of plants with a meristem is the presence and optimal ratio of a growth regulator in the nutrient medium. Examples of organ formation in tissue and cell culture are extremely diverse in relation to certain types and concentrations of phytohormones (Muszyńska and Hanus-Fajerska, 2017; Jorapur et al., 2018;

Khatun, 2018; Qadri, 2018). However, there is no general formula regarding the concentrations of phytohormones, as well as other physiologically active substances, which could be applied in all cases. An important role belongs to cytokinins, namely 6-BAP, kinetin and auxins, such as IAA, NAA, IBA. The types and level of exogenous phytohormones in the nutrient medium are currently one of the main factors that make it possible to direct the regulation of growth, development and morphogenesis processes in tissue culture (Koldar, 2010; Zhu et al., 2018).

Taking into account that the apical meristem contains endogenous auxins, primarily IAA, we have developed a nutrient medium for shoot formation from the apical meristems of carnations, which contains a substance from the group of cytokinins - 6-BAP. Cytokinins induce the development of axillary buds in apical culture, stimulate the growth of dormant organs, and also regulate the growth of somatic embryos and plant formation. as an explant, 0.3-0.5 mm long apical meristems of carnations of the "Tiya" and "Raffino Linde" varieties were used. The results of shoot formation are presented in the table. 7.

Carnation plants poduced from apical meristems are presented in fig. 1.

Thus, the addition of cytokines to the MC nutrient medium, and 6-BAP directly, enables the development of apical meristems and intensive carnation shoot formation.

7. Shoot formation from the apical meristems of carnations on the 7th week of cultivation

Variety	Number of explants	Number of shoots			The length of the shoots, cm
		Number of shoots, 1 shoots	The number of shoots is, 2 shoots	The number of shoots, 3 or more shoots	
"Tiya"	20	10	5	5	2.1 ± 0.09
"Raffino Linde"	20	3	5	12	2.8 ± 0.14



Fig. 1. Regenerative plants obtained from apical meristems of carnations of the "Tiya" variety

Study of the process of experimental morphogenesis *in vitro* at all levels of organization - from a single cell to the top of a shoot - led to the creation of microclonal reproduction of plants, which is put on a commercial basis in most countries. Clonal micropropagation is the use of the technique *in vitro* for quick asexual production of plants that are identical to the original. During the regeneration of microshoots, meristematic tissues that perform certain functions in the plant organism are re-organized, and at the same time their primary functions are restored.

One of the important problems with clonal micropropagation is a matter of

concentration of growth regulators that add to the nutrient medium. Recently, there has been evidence that high concentrations of growth regulators negatively affect the morphogenetic features of the obtained plants, as well as the possibility of long-term micropropagation in culture *in vitro* (Nikam et al., 2019; Isah, 2019; Polivanova and Bedarev, 2022).

It is possible that in the process of cultivation of shoots, the gradual accumulation of growth regulators in the cultivated tissues exceeds the necessary physiological level and at the same time they become toxic. This leads to changes in the morphology of plants, suppression of the proliferation of axillary meristems, and a decrease in the ability to root. The use of media with a minimum concentration of cytokinins, which ensure a high rate of micropropagation, reduces their negative effect. Alternating cultivation cycles on media with low and high levels of growth regulators also prevents the negative effects of cytokinins (Das et al., 2012; Arif et al., 2014; Sreelekshmi and Syril, 2021).

Plants grown from the apical meristems of carnations, 5-6 weeks after the establishment of the experiment, were grafted and micro-cuttings 1-2 cm long with one internode were used. They were transplanted in such a way that the internode was on the surface of

8. Shoot formation of carnation variety from micro cuttings

Accounting time	Shoots 1-2.9 cm long	Shoots 3-4.9 cm long	Shoots 5 cm long or more	Total shoots
Variety "Tiya "				
The number of shoots after 4 weeks of cultivation	26 ± 1.31	10 ± 0.54	2 ± 0.12	38 ± 1.93
The number of shoots after 6 weeks of cultivation	51 ± 2.52	16 ± 0.81	4 ± 0.22	71 ± 3.55
Variety "Raffino Linde"				
The number of shoots after 4 weeks of cultivation	28 ± 1.40	18 ± 0.90	6 ± 0.30	52 ± 2.60
The number of shoots after 6 weeks of cultivation	64 ± 3.20	24 ± 1.20	8 ± 0.40	96 ± 4.80

the nutrient medium. Explants were cultivated at a temperature of +24-25 °C, a 16-hour photoperiod, and humidity of 70-80%. Samples were examined twice a week. Thirty explants were planted in total. On the 4th and 6th week of cultivation, shoot formation was recorded, the results of which are presented in the table. 8.

From the presented data, it can be seen that after 4 weeks of cultivation, the variety "Tiya" formed an average of 38 developed shoots, while the variety "Raffino Linde" - 71 shoots. After 6 weeks of cultivation, the "Tiya" variety produced an average of 52, while the "Raffino Linde" variety - 96 shoots, respectively.

Thus, our research clearly illustrates the advantages of microclonal propagation compared to conventional vegetative propagation, since an unlimited amount of planting material can be obtained from existing shoots by dividing newly formed shoots and transplanting them to a fresh nutrient medium.

Rooting of regenerative plants is the final and one of the most difficult stages in microclonal reproduction. Some authors (Ali et al., 2008; Melnychuk and, Klyachenko, 2015) recommend to use mineral medium diluted twice

without growth regulators for rooting, others (Muszyńska and Hanus-Fajerska, 2017) to add auxins. We studied the effect of NAA auxin at a concentration of 0.5 mg/l to 2 mg/l in an MS medium, which contained half the concentration of mineral salts, on the process of root formation in the researched carnation varieties and rooting on a hormone-free nutrient medium.

Murashige-Skoog nutrient medium of various variants: MSR1 - half concentration of mineral salts without adding growth regulators; MCP2 - half concentration of mineral salts with the addition of 0.5 mg/l NAA; MCP3 - half the concentration of mineral salts with the addition of 2 mg/l NAA. It should be noted that root formation takes place at the base of the shoots. Analyzing the results of research on the rooting of regenerating plants, carnations are shown in the table. 9, it can be seen that MCP2 supplemented with 0.5 mg/l NAA is optimally effective for both the "Tiya" and "Raffino Linde" varieties. On this medium, 90% rooting was observed, while medium variants 1 and 3 gave, respectively, 20% and 50% rooting of shoots for the variety "Tiya". Regarding the variety "Raffino Linde" 95% rooting was observed on medium MCP1, while

9. The influence of the composition of the nutrient medium on the rooting of carnation shoots

Version	The composition of the environment	Number of shoots	Number of rooted shoots	
			units	%
Variety "Raffino Linde"				
1	½ MS	40	8	20
2	½ MC + 0.5 mg/l NAA	40	36	90
3	½ MS + 2.0 mg/l NAA	40	20	50
NIR ₀₅		0.02	10.80	
Variety "Tiya"				
1	½ MS	40	10	25
2	½ MC + 0.5 mg/l NAA	40	38	95
3	½ MS + 2.0 mg/l NAA	40	18	45
NIR ₀₅		1.10	2.75	

medium variants 1 and 3 gave 25% and 45% rooting of shoots, respectively.

Thus, it can be concluded that, according to the conducted research, the best for rooting was the MS medium with half the concentration of macro- and micro-salts and supplemented with 0.5 mg/l NAA, which can be recommended for rooting regenerating carnation plants of various varieties.

The final and one of the problematic stages of plant reproduction by the method of cultivation of isolated tissues is adaptation, which in plants obtained in vitro, quite complicated compared to plants in vivo. Plants obtained in conditions in vitro differ in anatomical features, namely, a thin cuticle, which contains little wax and wax-like substances; a small amount of mechanical tissues; leading bundles are weakly developed; organs that are necessary for photosynthesis (stoma) function in a limited way. Transplantation of intact plants in vitro in terms of in vivo leads to stress, because their organs, formed under high air humidity and low light intensity, cannot function adequately in new

conditions. During the gradual decrease in air humidity, cuticles are formed in regenerating plants due to adaptation (Melnychuk et al., 2012).

We carried out the following manipulations during the adaptation of carnation regenerating plants. Test tubes with rooted plants were opened, plants with a well-developed root system were removed, washed from the remains of the nutrient medium, placed for 20 minutes in a 1% solution of potassium permanganate, and then planted in a substrate: perlite: peat (1:1). Vessels with planted plants were placed in conditions of high humidity for better rooting. After 10-12 days, as the plants adapted, they took root and began to grow. The results of survival of regenerating carnation plants are presented in table. 10.

On the 30th day of cultivation, the seedlings had a height of 8-10 cm and 6-10 real leaves and were suitable for planting in open ground in a greenhouse. Thus, as a result of research conducted on the adaptation of regenerating carnation plants, we established that the survival of plants of the "Raffino Linde"

10. Rooting of regenerative plants of different carnation varieties

Variety	Plants planted in the substrate	Plants that have taken root	
		units	%
"Raffino Linde"	30	27	90 ± 3.56
"Tiya"	30	25	83 ± 3.96

variety was 90%, while under the same conditions, the variety "Tiya" - 83%, respectively.

Conclusions.

It was established that when introduced into the *in vitro* culture aseptic processing of explants using the Thimerosal scheme - 2 min, 70% ethyl alcohol - 0.5 min and 0.08% AgNO₃ - 1 min is the most effective. In addition, the use of 0.08% AgNO₃ reduces the level of fungal infection contamination under the conditions of lengthening the exposure time. Within carnation varieties, there were almost no significant differences in the course of callusogenesis processes, and its frequency was 100%. It should be taken into account that the regenerative capacity of callus tissues of different carnation genotypes depends not only on the genotype of the plants, but also on the age category for obtaining indirect morphogenesis. With age, especially after the ninth passage, a decrease in regenerative capacity is observed. Addition of cytokinins to the MC nutrient medium, and 6-BAP directly, enables the development of apical meristems and intensive carnation shoot formation. According to the conducted research, the best for rooting was the MS medium with half the concentration of macro- and microsalts and supplemented with 0.5 mg/l of NAA, which we recommend for rooting regenerating carnation plants of various varieties. It was established that the sur-

vival of plants of the variety "Raffino Linde" was 90%, while under the same conditions, the variety "Tiya" - 83%, respectively.

References

1. Pralhad G. (2009) Evaluation of carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) varieties under greenhouse condition. M.Sc. Thesis, Dept. Horti., Univ. Agri. SCI., Dharwad. DOI: 10.5897/AJAR2013.7073
2. Khatun M., Roy P.K, Razzak M.A (2018). Additive effect of coconut water with various hormones in vitro regeneration of carnation (*Dianthus caryophyllus* L.). *J. Anim. Plant Sci.* 28(2): 2018-2030
3. Sreelekshmi, R., Syril E.A. (2021). Effective reversal of hyperhydricity leading that efficient micropropagation of *Dianthus chinensis* L. *3 Biotech.* 11-95. doi: 10.1007/s13205-021-02645-7
4. Gao H., Xia X., An L., Xin X., Liang Y. (2017). Reversion of hyperhydricity in pink (*Dianthus chinensis* L.) plantlets by AgNO₃ and its associated mechanism during in vitro culture. *Plant Sci.* 254:1-11. DOI: 10.1016/j.plantsci.2016.10.008
5. Isah T. (2019) Changes in the biochemical parameters of albino, hyperhydric and normal green leaves of *Caladium bicolor* cv. "Bleeding hearts" in vitro long-term cultures. *J. Photochem. Photobiol. B. Biology.* 191:88-98. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2018.12.017>
6. Zhang, H., Shi M., Su S., Zheng S., Wang M., Lv, J., Wang, X., Gao H. (2022). Whole-genome methylation analysis reveals epigenetic differences in the occurrence and

- recovery of hyperhydricity in *Dendrobium officinale* plantlets. In *Vitro Cell. Dev. Biol. – Plant.* 58: 290–301. DOI:10.3390/plants11233313
7. Klyachenko O.L., Zheltonozhskaya L.V., Kushnir N.A. Microclonal Reproduction of cloves (2003). *Sodininkyste ir darzininkyste. Mokslo darbai.* 20(4) – 2: 89-95.
8. Kushnir T.P., Sarnatska V.V. Microclonal propagation of plants. Theory and practice. K.: Nauk. opinion. 2005. 355 p.
9. Muszyńska E., Hanus Fajerska E. (2017). In vitro multiplication of *Dianthus carthusianorum* calamine ecotype with the aim to revegetate and stabilize polluted wastes. *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 128: 631–640. DOI:10.1007/s11240-016-1140-0
10. Koldar L.A. (2010) Morphogenesis of *DIANTHUS* explants *RATIANOPOLITANUS VILL.* in culture in vitro. Autochthonous and introduced plants. 6: 68-72.
11. Melnychuk M.D., Klyachenko O.L. Biotechnology in agriculture. Tutorial. Vinnitsa. "Nilan -LTD" LLC. 2015. 286 p.
12. Murashige T., Skoog F. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant.* 15: 473-97.
13. Radojevic L., Calic-Dragosavac D., Spiric J., Stevanovic B., Stevanovic V. (2010) In vitro propagation of *Dianthus ciliatus* ssp. *dalmaticus* and *D. giganteus* ssp. *croaticus* (Caryophyllaceae) from stem segment cultures. *Bot. Serb.* 34(2): 153-161.
14. Qadri Z.A., Neelofar N.H., Masoodi Nazir, Ambreena Din, Muneeb Ahmad Wani (2018). In vitro Callussing of Carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) cv. Scania and Indians. *Current Journal of Applied Science and Technology* 27(1): 1-10. DOI: 10.9734/CJAST/2018/39618
15. Ram Lakhan Maurya, Manoj K. Sharma, MK Yadav, Gaurav Kumar and Mukesh Kumar. (2019). In vitro high-frequency callus introduction in carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) cultivar "IRENE". *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology* 20 (23&24): 1363–1368.
16. Polivanova O. and Bedarev V. (2022). Hyperhydricity in Plant Tissue Culture. *Plants.* 11: 3313-3326. <https://doi.org/10.3390/plants11233313>
17. Gang Y.Y., Du G.S., Shi D.J., Wang M. Z., Li X.D., Hua Z.L. (2003) Establishment of in vitro regeneration system of the *Atrichum* mosses. *Acta Bot. Sin.* 45: 1475-1480.
18. Murashige T. (1990) Plant propagation through tissue culture. Practice with unrealized potential. In: *Handbook of Plant Cell Culture, Ornamental Species* (Eds. PV Ammirato, DA Evans, WR Sharp and YPS Bajaj). McGraw Hill Publishing Company, New York. 5: 3-9.
19. Jorapur S, Jogdande N, Dhumale D. (2018) Petal callus mediated de novo regeneration of shoots in carnation (*Dianthus caryophyllus* L.). *The Pharma Innov. J.* 7(1): 218-222.
20. Zhu X., Li X., Ding W., Jin S., Wang Y. (2018) Callus induction and plant regeneration from peony leaves. *Hortic. Environ. Biotech.* 59 (4): 575-582. DOI: 10.1007/s13580-018-0065-4
21. Nikam T.D, Mulye K.V., Chambhare M.R., Nikule H.A., Ahire M.L. (2019) Reduction in hyperhydricity and improvement in in vitro propagation of commercial hard fibre and medicinal glycoside yielding *Agave sisalana* Perr. ex Engelm by NaCl and polyethylene glycol. *Plant Cell Tissue Organ Cult.*, 138. 67–78.
22. Das J., Mao A.A., Handique P.J. (2012). Callus-mediated organogenesis and effect of growth regulators on production of different valepotriates in Indian valerian (*Valeriana jatamansi* Jones). *Acta Physiol. Plant.* 35: 55-63. DOI: 10.1007/s11738-012-1047-2
23. Arif M., Rauf S., Din A.U., Rauf M., Afrasiab H. (2014) High frequency plant regeneration from leaf derived callus of *Dianthus caryophyllus* L. *Am. J. Plant Sci.* 5: 2454-2463. DOI: 10.4236/ajps.2014.515260.
24. Ali A., Afrasia H., Naz S., Rauf M., Iqbal J.

(2008) An efficient protocol for in vitro propagation of carnation (*Dianthus caryophyllus* L.). Pak. J. Bot. 40:111-121. DOI: 10.9734/ujec/2021/v11i1130538.

25. Melnychuk M.D., Klyuvadenko A.A., Overchenko O.V., Chornobrov O.Yu., Likhonov A.F. Microclonal reproduction of ornamental and fruit-berry plant species. K. 2012. 64 p.

Кляченко О.Л., Кущенко К.С., Шляхтун І.С., Безпрозвана І.В. (2024).

ОТРИМАННЯ БЕЗВІРУСНОГО ПОСАДКОВОГО МАТЕРІАЛУ ГВОЗДИКИ (*DIANTHUS CARIOPHYLLUS* L.) IN VITRO

БІОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ: ТЕОРІЯ ТА ІННОВАЦІЇ, 15(1): 17-29.

<https://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/48294>

[http://dx.doi.org/10.31548/biologiya15\(1\).2024.002](http://dx.doi.org/10.31548/biologiya15(1).2024.002)

Анотація. Для отримання безвірусного посадкового матеріалу гвоздики використано метод культури апікальних меристем та прямий і непрямий морфогенез *in vitro*. Розроблена схема отримання асептичного матеріалу, яка полягає в поетапній обробці експлантів: Thimerosal – 2 хв, 70% етиловий спирт – 0,5 хв і 0,08% AgNO₃ - 1 хв, що знижує рівень контамінації грибної інфекції. Наведено результати досліджень калюсогенезу та прямого і непрямого морфогенезу в культурі *in vitro* експлантів гвоздики голандської, їх залежність від вмісту регуляторів росту в живильному середовищі. Встановлено, що межах сортів гвоздики майже не спостерігалися значні відмінності у протіканні процесів калюсогенезу. При цьому частота калюсогенезу становила 100%. За умов отримання непрямого морфогенезу необхідно враховувати вік калюсних тканин. Ріст та інтенсивне пагоноутворення гвоздики відмічали на живильному середовищі Мурасіге-Скуга, доповненому БАП у концентрації 0,5 мг/л. Найкращим для укорінення виявилось середовище МС з половинною концентрацією макро- і мікросолей з додаванням 0, 5 мг/л НОК, яке рекомендоване нами для укорінення рослин-регенерантів гвоздики різних сортів. Як субстрат для адаптації рослин-регенерантів використовували торф : перліт у співвідношенні 1:1. Приживаність рослин гвоздики до умов *in vivo* для сорту «Raffino Linde» становила 90%, тоді як для сорту «Тіуа» - 83% відповідно.

Ключові слова: гвоздика, калюсогенез, морфогенез, пагоноутворення, різогенез.

ОСОБЛИВОСТІ КУЛЬТИВУВАННЯ *IN VITRO* РОСЛИН АСТРАГАЛУ ШЕРСТИСТОКВІТКОВОГО (*ASTRAGALUS DASYANTHUS* PALL)

О.Ю. КВАСКО,

кандидат біологічних наук, завідувач кафедри екобіотехнології та біорізноманіття,

<https://orcid.org/0000-0002-2878-8683>,

E-mail: kvasko_o@nubip.edu.ua

О.А. МАНЖУРА,

аспірант кафедри екобіотехнології та біорізноманіття,

<https://orcid.org/0009-0005-0156-2093>

Національний університет біоресурсів і природокористування України,
Київ, Україна

Анотація. Дослідження присвячено вивченню особливостей культивування *in vitro* лікарської рослини *Astragalus dasyanthus* Pall, занесеної до Червоної книги України та має статус виду, що зникає. Вирощування астрагалу шерстистоквіткового на території України на сьогоднішній день ускладнено через недоступність сировинної бази на тимчасово окупованій південній частині України, а також через низьку насіннєву продуктивність культури. Перспективним є застосування методів культивування рослинних тканин *in vitro* для відновлення природних угруповань *A. dasyanthus* та розширення можливих джерел сировини для синтезу лікарських речовин. В даній роботі було досліджено умови отримання асептичних рослин астрагалу шерстистоквіткового з насіння та оцінено вплив попередньої механічної скарифікації на енергію його проростання з урахуванням відсотка отриманих стерильних проростків. Крім того, було визначено ефективність мікроклонального розмноження *A. dasyanthus* залежно від складу живильного середовища, зокрема концентрації макроелементів та наявності і концентрації регуляторів росту. Показано, що асептичні рослини астрагалу шерстистоквіткового можна отримати шляхом поверхневої стерилізації насіння, яке було попередньо піддано механічній скарифікації, або за умов його пророщування на живильному середовищі Мурасиге та Скуга із додаванням 0,1 мг/л бензиламінопурина. Визначено, що тип та концентрація цитокініну впливає на ефективність мікроклонального розмноження рослин *A. dasyanthus*, тоді як зменшення вдвічі вмісту макроелементів в живильному середовищі суттєво не впливає на даний показник. В роботі зазначено, що додавання в живильне середовище бензиламінопурина стимулює утворення більшої кількості додаткових пагонів астрагалу шерстистоквіткового в культурі *in vitro* у порівнянні з живильним

середовищем, яке містило кінетин. Отже, оптимальним для культивування *in vitro* рослин астрагалу шерстистоквіткового є живильне середовище Мурасиге та Скуга з додаванням 0,5мг/л бензиламінопурина.

Ключові слова: Астрагал шерстистоквітковий, мікроклональне розмноження, регулятори росту рослин.

Вступ.

На сучасному етапі розвитку фармацевтичної галузі лікарські засоби рослинного походження охоплюють значну частину як національного ринку, так і ринків провідних країн світу. За оцінками експертів, близько 25 % лікарських засобів, що застосовують у медичній практиці в усьому світі, отримують безпосередньо з лікарської рослинної сировини (Mirzoieva T.V., 2018).

Astragalus dasyanthus - трав'янистий багаторічник, що належить до родини Fabaceae (бобових), лікарська рослина, що занесена до Червоної книги України та має статус виду, що зникає (Kirian V.M. et al., 2018). Фармакологічні препарати, розроблені на основі Астрагалу шерстистоквіткового, виявляють седативну, гіпотензивну, імуностимулюючу та гепатопротекторну активності (Ionkova et al., 1995). *A. dasyanthus* синтезує тритерпенові глікозиди (дазіантозиди), флавоноїди (кемпферол, кверцетин, ізорамнетин та астрагалозід), дубильні речовини, кумарини та оксикумарини, амінокислоти, вітаміни, зокрема, токоферол (Ionkova et al., 1995; Jaradat et al., 2017; Krasteva et al., 2016, Linnek et al., 2011). Крім того, рослини астрагалу шерстистоквітковий здатні до накопичення макро- та мікроелементів, зокрема, селену, кальцію, кремнію, алюмінію, заліза, магнію, цинку, мангану, молібдену тощо (Zudova, Khvorost, 2021).

Вирощування рослин *A. dasyanthus* на території України на сьогоднішній день має певні складнощі. Перш за все, значні площі для вирощування даного виду рослин знаходились на території окупованого Кримського півострова, отже, ця сировинна база наразі є недоступною. Крім того, вирощування астрагалу шерстистоквіткового традиційними способам з насіння має низьку ефективність, оскільки даний вид рослин відрізняється низькою насінневою продуктивністю (El-Sahhar et al., 2013).

Останнім часом особливої актуальності набуває використання методів культури тканин рослин *in vitro* для запобігання зниження чисельності видів, зокрема тих, які занесені до Червоної книги України, та забезпечує збереження генетичних ресурсів. Також перспективним є створення лікарської сировини на основі культури рослинних тканин *in vitro* з метою її використання для синтезу біологічно активних речовин. Для більшості видів роду *Astragalus* кількість розроблених ефективних протоколів культивування *in vitro* є недостатньою. Підбір та оптимізація методів введення в асептичну культуру з подальшим мікроклональним розмноженням та адаптацією рослин *A. dasyanthus* є актуальним завданням, направленим на збереження біорізноманіття цих рослин, а також отримання перспективної сировини для отримання лікарських речовин.

Отже, **метою роботи** було оптимізувати склад живильного середовища для мікроклонального розмноження рослин *Astragalus dasyanthus* Pall.

Матеріали і методи дослідження.

Вихідним матеріалом для отримання асептичних рослин слугувало насіння *A. dasyanthus*. Враховуючи низьку схожість насіння астрагалу шерстистоквіткового, а також можливість підвищення даного показника через попередню механічну скарифікацію, для отримання асептичних рослин було застосовано 2 варіанти підготовки насіння до стерилізації: без попередньої механічної скарифікації та з попередньою скарифікацією насіння. Асептичні рослини астрагалу шерстистоквіткового отримували шляхом поверхневої стерилізації на-

сіння. Для цього насіння послідовно витримували у 70% етанолі (30 сек), 25%-му розчині гіпохлориту натрію (комерційний препарат «Білізна») та промивали стерильною дистильованою водою (тричі по 10 хв). Насіння пророщували на живильному середовищі Мурасиге та Скуга (МС) (Murashige, Skoog, 1963) без додавання регуляторів росту та на живильному середовищі МС, доповненому 1,0 мг/л бензиламінопурина (БАП). Після того визначали життєздатність та енергію проростання насіння з урахування стерильності отриманих проростків. Отриманні асептичні пагони культивували на живильних середовищах МС з різним вмістом макроелементів та регуляторів росту. Так, для мікроклонального розмноження використовували середовища МС з повним вмістом макроелементів та ½ МС зі зменшеним вдвічі їх вмістом. До кожного з цих додавали

1. Склад живильних середовищ для мікроклонального розмноження рослин *A. dasyanthus*

Варіант середовища, №з/п	Вміст макроелементів (МС або 1/2МС)	Цитокінін, мг/л	Ауксин, мг/л
1.	½ МС	—	—
2.	½ МС	БАП, 0,5	ІМК, 0,05
3.	½ МС	БАП, 0,25	ІМК, 0,025
4.	½ МС	БАП, 0,1	ІМК, 0,01
5.	½ МС	Кінетин, 0,5	ІМК, 0,05
6.	½ МС	Кінетин, 0,25	ІМК, 0,25
7.	½ МС	Кінетин, 0,1	ІМК, 0,1
8.	МС	—	—
9.	МС	БАП, 0,5	ІМК, 0,05
10.	МС	БАП, 0,25	ІМК, 0,025
11.	МС	БАП, 0,1	ІМК, 0,01
12.	МС	Кінетин 0,5	ІМК, 0,05
13.	МС	Кінетин, 0,25	ІМК, 0,25
14.	МС	Кінетин, 0,1	ІМК, 0,1

регулятори росту бензиламінопурин (БАП) та кінетин у концентраціях 0,1; 0,25; 0,5 мг/л, а також індолілмасляну кислоту (ІМК) у концентраціях 0,01; 0,025; 0,05; 0,1 мг/л (табл.1).

Результати дослідження та їх обговорення.

Результати досліджень показали, що механічна скарифікація суттєво підвищує енергію проростання насіння рослин астрагалу шерстистоквіткового. Так, за умов попередньої механічної скарифікації насіння відсоток життєздатних стерильних насінин складав $83,00 \pm 1,02$ %, тоді як без попередньої механічної скарифікації – $3,00 \pm 0,06$ %. Варто зазначити, що при пророщуванні насіння без попередньої скарифікації на середовищі МС, доповненому 1,0 мг/л БАП, відсоток життєздатних стерильних насінин складав $70,00 \pm 1,18$ %, що є достатньо високим показником для досліджуваного виду рослин і несуттєво (в 1,18 рази) нижчим за відсоток життєздатних стерильних насінин, яке було скарифіковано перед стерилізацією. Отже, для введення в культуру *in vitro* рослин *A. dasyanthus* доцільно використовувати насіння, яке було попередньо піддано механічній скарифікації, або пророщувати його на середовищі МС із додаванням 0,1 мг/л БАП (рис.1).

Дослідження впливу компонентів живильного середовища на ефективність мікроклонального розмноження рослин *A. dasyanthus* показало, що концентрація макроелементів суттєво не впливає на кількість утворених пагонів на одну вихідну рослину. Так, при культивуванні на середовищі $\frac{1}{2}$ МС даний показник складав $8,83 \pm 0,28$ пагонів на одну вихідну рослину, тоді



Рис. 1. Асептичні проростки *A. dasyanthus*, отримані шляхом поверхневої стерилізації насіння

як за умов культивуванні на середовищі МС – $8,50 \pm 0,25$ пагонів на одну вихідну рослину (рис. 2.).

Додавання в живильне середовище регуляторів росту, зокрема БАП та кінетину значно впливає на кількість утворених пагонів на одну вихідну рослину. Так, на живильному середовищі МС з додаванням БАП у концентрації 0,5 мг/л було отримано $20,0 \pm 1,0$ пагонів на рослину (рис. 3, А), тоді як на живильному середовищі МС з додаванням кінетину у концентрації 0,5 мг/л отримано $14,50 \pm 0,30$ пагонів на рослину (рис. 3, Б). Отже, додавання БАП є більш ефективним для мікроклонального розмноження в порівнянні з кінетином (рис. 2, 3).

На ефективність мікроклонального розмноження впливає не тільки тип цитокініну, що додається до живильного середовища, а й його концентрація. Так, зниження концентрації як БАП, так і кінетину з 0,5 мг/л до 0,25 та 0,1 мг/л в живильному середовищі МС та $\frac{1}{2}$ МС призводило до зниження кількості новоутворених пагонів в 1,78-1,91 рази.

Варто зазначити, що на усіх досліджуваних живильних середовищах, до яких було додано ауксин індоліл-

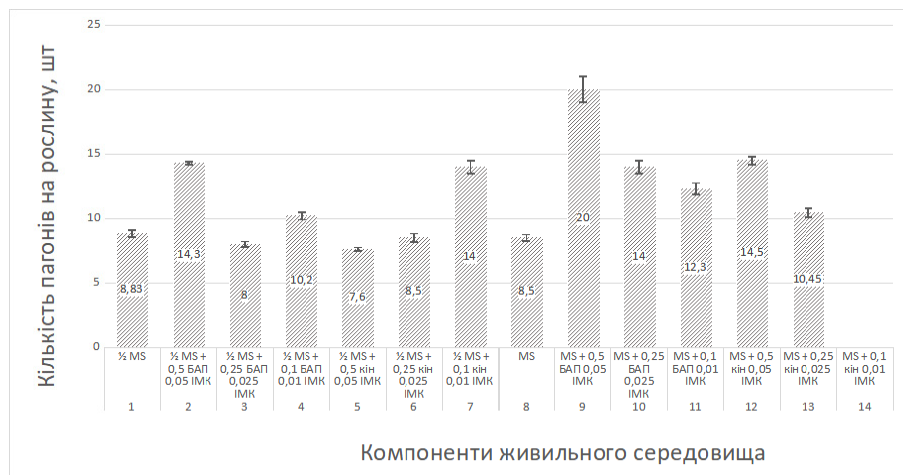


Рис. 2. Вплив складу живильного середовища на ефективність мікроклонального розмноження рослин *Astragalus dasyanthus*

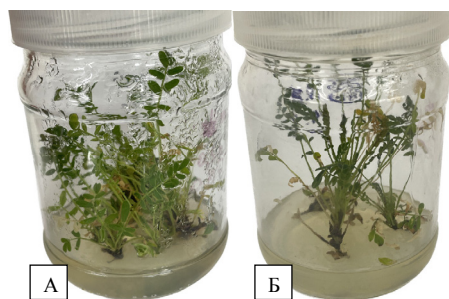


Рис. 3. Рослини астрагалу шерстистоквіткового за умов культивування на середовищах різного складу: А — *A. dasyanthus* на живильному середовищі МС 0,5 мг/л БАП 0,05 мг/л ІМК; Б — *A. dasyanthus* на живильному середовищі МС 0,5 мг/л кінетину 0,05 мг/л ІМК.

масляна кислота (ІМК) для укорінення утворених пагонів, не спостерігали формування кореневої системи (рис. 2). Таким чином, ІМК у досліджуваних концентраціях не призводить до ініціювання коренеутворення у рослин *A. dasyanthus in vitro*.

Висновки.

Асептичні рослини *A. dasyanthus* можна отримати шляхом поверхневої стерилізації насіння, яке було попередньо піддано механічній скарифікації, або за умов його пророщування на живильному середовищі МС із додаванням 0,1 мг/л БАП. Оптимальним середовищем для мікроклонального розмноження є живильне середовище Мурасиге та Скуга з додаванням 0,5 мг/л БАП.

References

1. Mirzoieva, T.V. (2018). Analiz suchasnoho stanu vyrobnytstva likarskykh roslin v Ukraini. *Pryazovskyi ekonomichnyi visnyk*, 6(11), 62-67. [in Ukrainian].
2. Kirian, V. M., Hlushchenko, L. A., Bohuslavskyi R. L. (2018). Henofond roslin liso-stepu Ukrainy. *Henetychni resursy roslin*, 23, 11-31. doi: 10.36814/pgr.2018.23.01 [in Ukrainian].
3. Khvorost, O. et al. (2023). Analysis of carboxylic acids of *Astragalus dasyanthus*

- Pall. herb. Pharmacia, 70(4), 1231–1238. <https://doi.org/10.3897/pharmacia.70.e111279> [in English].
4. Shkondrov, A. et al. (2019) Production of saponins from in vitro cultures of Astragalus glycyphyllos and their antineoplastic activity. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 33:1, 1413–1418. doi: 10.1080/13102818.2019.1671222 [in English].
5. Jaradat, N. A. et al. (2017). Phytochemical and biological properties of four Astragalus species commonly used in traditional Palestinian medicine. *European Journal of Integrative Medicine*, 9, 1–8. doi.org/10.1016/j.eujim.2017.01.008 [in English].
6. Krasteva, I. et al. (2016). Advances in phytochemistry, pharmacology and biotechnology of Bulgarian Astragalus species. *Phytochem Rev.*, 15, 567–590. <https://doi.org/10.1007/s11101-016-9462-4> [in English].
7. Linnek, J. et al. (2011). Cycloartane glycosides from three species of Astragalus (Fabaceae). *Helv Chim Acta*. 94(2). 230–237. doi:10.1002/hlca.201000157 [in English].
8. Zudova Ye. Yu., Khvorost O. P. (2021). The study of the elemental composition of common domestic types of the medicinal plant raw material. *News of pharmacy*, 2(102), 14–19. <https://doi.org/10.24959/nphj.21.68> [in English].
9. El-Sahhar K. F., Emara Kh. S., Ali W.A. (2013). Comparative Systematic Studies of Astragalus L. In Flora of Arab Republic of Egypt and Syrian Arab Republic: Seed Features and Germination. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 9(2). 79–88 [in English].
10. Kulak, V. et al (2022). In Vitro Technology in Plant Conservation: Relevance to Biocultural Diversity. *Plants (Basel)*, 11(4), 503. doi: 10.3390/plants11040503 [in English].
11. Murashige T., Skoog F. A. (1962). Revised Medium for Rapid Growth and Bio Assays with Tobacco Tissue Cultures. *Plant Physiology*, 15, 473–497 [in English].

Kvasko O., Manzhura O. (2024).

FEATURES OF IN VITRO CULTIVATION OF ASTRAGALUS DASYANTHUS PALL PLANTS

BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 15(1): 30–36.

<https://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/48473>

[http://dx.doi.org/10.31548/biologiya15\(1\).2024.003](http://dx.doi.org/10.31548/biologiya15(1).2024.003)

Abstract. The research is devoted to the study of the peculiarities of in vitro cultivation of the medicinal plant *Astragalus dasyanthus* Pall, which is listed in the Red Book of Ukraine and has the status of an endangered species. The cultivation of woolly-flowered astragalus in Ukraine is currently difficult due to the inaccessibility of the raw material base in the temporarily occupied southern part of Ukraine, as well as due to the low seed productivity of the crop. The use of in vitro plant tissue cultivation methods to restore natural communities of *A. dasyanthus* and expand possible sources of raw materials for the synthesis of medicinal substances is promising. In this work, we investigated the conditions for obtaining aseptic *Astragalus dasyanthus* plants from seeds and evaluated the effect of preliminary mechanical scarification on its germination energy, taking into account the percentage of sterile seedlings obtained. In addition, the efficiency of microclonal propagation of *A. dasyanthus* was determined depending on the composition of the culture medium, in particular the concentration of macronutrients and the presence and concentration of growth regulators. It has been shown that aseptic plants of *Astragalus*

dasyanthus can be obtained by surface sterilization of seeds that have been previously subjected to mechanical scarification or by germination on Murashige and Skoog nutrient medium with the addition of 0.1 mg/l benzylaminopurine. It was determined that the type and concentration of cytokinin affects the efficiency of microclonal propagation of *A. dasyanthus* plants, while halving the content of macronutrients in the nutrient medium does not significantly affect this item. It was found that the addition of benzylaminopurine to the culture medium stimulates the formation of more additional shoots of *A. dasyanthus* in vitro compared to the culture medium containing kinetin. Thus, Murashige and Skoog medium with the addition of 0.5 mg/l of benzylaminopurine is optimal for in vitro cultivation of woolly-flowered *Astragalus* plants.

Key words: *Astragalus dasyanthus* plants, micropropagation, plant growth regulators.

NATURAL RESOURCES OF UKRAINE: CONSEQUENCES AND RISKS OF RUSSIAN AGGRESSION

V. STROKAL*,

*Associate Professor of the Department of Agrosphere Ecology
and Environmental Control,
<https://orcid.org/0000-0001-6876-1111>,
vita.strokal@gmail.com*

Y. BEREZHNIAK,

*Associate Professor of the Department of Agrosphere Ecology
and Environmental Control,
<https://orcid.org/0000-0001-5945-1285>,
genybereg1980@gmail.com*

O. NAUMOVSKA,

*Associate Professor of the Department of Agrosphere Ecology
and Environmental Control,
<https://orcid.org/0000-0002-5938-8471>,
el.naumovskaya@gmail.com*

L. VAHALIUK,

*Associate Professor of the Department of Agrosphere Ecology
and Environmental Control,
<https://orcid.org/0000-0001-5023-3919>,
lvagaluk@gmail.com*

M. LADYKA,

*Associate Professor of the Department
of Agrosphere Ecology and Environmental Control,
<https://orcid.org/0000-0002-5164-7117>,
mm.ladyka@gmail.com*

S. PAVLIUK,

*Associate Professor of the Department of Agrosphere Ecology
and Environmental Control,
<https://orcid.org/0000-0003-0025-3975>,
pavlyuksd@ukr.net*

*Correspondent author

S. PALAMARCHUK,

Associate Professor of the Department of Agrosphere Ecology
and Environmental Control,
<https://orcid.org/0000-0002-9083-6850>,
svitpalamar@gmail.com

H. SERBENIUK,

Senior Teacher of the Department of Agrosphere Ecology
and Environmental Control,
<https://orcid.org/0000-0001-9187-0623>,
bojruw@ukr.net

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Abstract. The natural resources of Ukraine are suffering from Russian forces. Ukraine is known as one of Europe's largest grain producers. Ukraine is a major exporter of wheat (accounts for 10% of world exports), corn (15%), barley (15%), and sunflower (especially oil – 50%). The ongoing Russian-Ukrainian war strengthens the unstable economic system in the country. Military actions influence the environment of Ukraine in terms of climate change, soil and impact on agriculture, water security and supply. According to this, grain production in Ukraine decreased by 40%, and structure of crop losses due to war: wheat – 39%, sunflowers – 17%, corn – 12%, barley – 8%, fruits and berries – 3%, other crops – 21%. In addition, the Russian-Ukrainian war has impacted water availability and quality (risk for water resources), soil quality and degradation (risk for soil resources), forest health and productivity and habitat of species (risk for biological resources). For instance, the description of sewage treatment plants (the sewage treatment facilities were shelled in the city of Mykolaiv city, the sewage treatment facilities in the village of Novotroitske, Volnovsky district, Donetsk oblast were damaged etc.), disruption of water supply to the crop production (damaged irrigation systems in Ukraine: 94% in the Kherson region, 74% in the Zaporizhzhia region, 30% in the Dnipropetrovsk region), pollution of the surface and underground waters (massive flooding of military equipment and ammunition in reservoirs, leaks of oil products and other chemical compounds).

In this article, we analyzed of the environmental situation under the impact of Russian aggression on the state of natural resources of the country and justification of the consequences of this impact; identified the determination of the main risks for providing the country with food and the branches of the national economy with water supply, as well as the preservation of environmental components; proposed the development of proposals for the assessment of environmental damage to the environment as a result of the military aggression of the Russian Federation against Ukraine. We have identified the main risk: for food safety (the impact of military actions on soil resources – a risk of reduced food provision potential due to the loss of land productivity, since up to 30% of agricultural land is mined and according to the results of 2022, the crop yield losses has reached 17%); for environmental safety (the impact on military actions on water resources – damaged the dams and drainage systems, destruction of sewage treatment plants, seizure of hydroelectric power plants, and mining of coastline caused bacterial (oil products, lubricants) and organic (biogenic substances) pollution of water

bodies and water shortages for the population (complete absence of water supply in temporarily occupied territories) and agriculture (irrigation networks were affected)); for protection of ecosystems (up to 20% of the reserve fund has already been affected, 600 species of fauna and 750 species of flora, including those listed in the Red Data Book, are threatened with extinction).

Keywords: biological resources, water resources, soil resources, the impact of Russian-Ukrainian war, risks, implications.

Introduction.

The beginning of the Russian-Ukrainian war, which is ongoing today, should be considered from 2014, namely since the capture Autonomous Republic of Crimea. Scientists note that after the Russian Federation's full-scale military invasion of Ukraine (from February 24, 2022), the war became the most prominent conflict in Europe since the Second World War (Rawtani et al., 2022; Kireitseva et al., 2023) and caused negative environmental consequences in the form of "ecocide" (Averin et al., 2022; Hrytsku & Derii, 2022; Ladyka & Starodubtsev, 2022; Makarenko et al., 2022; Pereira et al., 2022; Stokal & Kovpak, 2022; Kireitseva et al., 2023). For more than a year, the confrontation has been going on, in which the Russian Federation is unsuccessfully trying to seize new territories of the country, using for this purpose various military activities that cause a negative environmental impact. For example, the use of explosive weapons has damaged civilian and industrial infrastructure and led to air, soil, and water pollution (CEOBS & Zoi Environment Network, 2022a; Cottrell, Darbyshire, & Holme Obrestad, 2022; Stokal & Kovpak, 2022; Weir & Darbyshire, 2022; Shor, 2023).

According to the data of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine, for the period

from February 24, 2022 to March 30, 2023, environmental damages caused by the Russian aggression were estimated at UAH 1.9 trillion (EcoZagroza, 2023b; Shor, 2023). Among them, the damages to the air (burning of petroleum products, wildfires, ignition of other objects) were estimated at UAH 988,951 billion, the soil (pollution) – UAH 12 billion, waste generation (soil contamination by waste) – UAH 855 billion, water resources (spill of oil products and toxic substances) – UAH 19 million, biological resources in the nature reserves (fires, destruction of objects in the nature reserve fund, deforestation) – UAH 223 million (EcoZagroza, 2023b).

As of March 22, 2023, according to the International Coordination Center for Humanitarian Demining at the State Emergency Service of Ukraine, 30% of the country's total area belongs to potentially dangerous territories that require the disposal of explosive objects (EcoZagroza, 2023a). As a result, agricultural crops grown on soils with military-induced technogenic pollution can cause the appearance of malignant tumors in the population or disrupt the human nervous system activity (Broomandi et al., 2020; EcoZagroza, 2023a; Holubtsov et al., 2023). It should be noted that the long-term consequences of war-induced environmental damage can vary from persistent pollution (Averin et al., 2022; Rawtani et al., 2022), loss of

ecosystems and chernozems (Dmytruk et al., 2022; Makarenko et al., 2022; Holubtsov et al., 2023), and water quality degradation (Ladyka & Starodubtsev, 2022; Strokal & Kovpak, 2022; Shumilova et al., 2023) to large-scale and regional consequences of industrial disasters (Kireitseva et al., 2023). For this reason, the impact of military aggression on the state of the environment has negative consequences both on ecosystems and the country's natural resources (Makarenko et al., 2022; Strokal & Kovpak, 2022), and human health (UNEP, 2022).

The assessment of the consequences of russian aggression for natural resources is a complex and underestimated issue, since military activities continue and cause irreparable damage to the environment and threaten the country's environmental security. The cause-and-effect relationship of this impact of military activities on natural resources in Ukraine is the emergence of risks that, first of all, threaten to ensure the implementation of the global Sustainable Development Goals (SDGs) and can cause poverty in the country and the world (SDG 1), hunger (SDG 2), deterioration of the quality of water resources and the threat of the epidemic situation (SDG 6), causing the death of the aquatic biota of the seas (SDG 14), the destruction of biological resources of ecosystems (15 SDG), and in general – creating a threat to peace and justice on the entire planet (SDG 16).

Material and methods.

The purpose of this paper is to determine the main cause-and-effect relationships of the consequences and risks for natural resources as a result of the impact of military activities on them, as well as

to substantiate the legal and methodological aspects of the assessment of natural resources in conditions of war. The research methodology included analysis and synthesis of scientific, research, and journalistic literature on this issue. Based on the analysis of literary data, we developed a concept of scientific research that took into account the cause-and-effect relationships of the impact of military aggression on natural resources and provided for three stages of research, which included relevant tasks: Stage 1 – analysis of the environmental situation under the impact of russian aggression on the state of natural resources of the country and justification of the consequences of this impact; the Stage 2 – the determination of the main risks for providing the country with food and the branches of the national economy with water supply, as well as the preservation of environmental components; the Stage 3 – the development of proposals for the assessment of environmental damage to the environment as a result of the military aggression of the russian federation against Ukraine. An important aspect of the principle of scientific research is a comprehensive approach to the assessment of natural resources affected by the Russian-Ukrainian war.

Results.

As a result of the russian military aggression, natural resources underwent significant changes, in particular water, land, forest, and objects of the nature reserve fund (Averin et al., 2022; Ladyka & Starodubtsev, 2022; Makarenko et al., 2022; Strokal & Kovpak, 2022; Weir & Darbyshire, 2022). Over 2,300 crimes against the environment were documented (EcoZagroza, 2023b; Shor, 2023). According to the concept of our

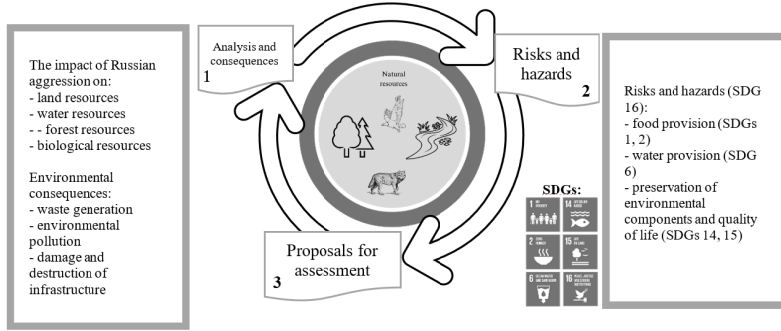


Figure 1. Concept of scientific research (SDGs – global Sustainable Development Goals)

scientific research, the Stage 1 involved the analysis of the impact of military activities on the state of natural resources (land, water, forest, and biological) and the determination of their environmental consequences (Fig. 1).

Analysis of the impact of military activities on the state of natural resources (Stage 1: support information in Table 1). Land resources. At the European level, Ukraine is considered the “breadbasket of Europe”, as it is among the five largest grain exporters in the world due to its fertile soils – chernozems, which are ideal for growing grain crops (Ben Hassen & El Bilali, 2022; FAO, 2022; Knox, 2022; Pereira et al., 2022). As a result of the damage caused by military activities to agricultural landscapes, the crop yield losses for 2022 were up to 17% (Deininger et al., 2023). The impact of military activities inflicts irreparable damage on land resources, causing mechanical, physical, and chemical soil contamination (Pereira et al., 2020; Cottrell, Darbyshire, & Holme Obrestad, 2022; Dmytruk et al., 2022).

Military and technogenic contaminants (radioactive elements, heavy metals, pesticide-derived dioxides, nitrate and organophosphorus compounds, polycyclic hydrocarbons) enter the soil

in the form of residues or particles due to various types of military activities, which during the Russian-Ukrainian war led to significant negative consequences (Broomandi et al., 2020; Pereira et al., 2020). We note: a) the movement of military equipment: caused a decrease in soil water permeability and disruption of soil biochemical and microbial processes in the areas of active military activities, in particular, Donetsk, Luhansk, Kherson, Mykolaiv, and Sumy Oblasts (Omelchuk & Sadohurska, 2022); b) explosions (missiles, different types of artillery shells, high-explosive aerial bombs, drones, different types of MLRS rockets, vacuum bombs, etc.): provoked the destruction of a sequence of soil horizons; 16 million hectares of country’s land are contaminated with ammunition, which poses a threat to food security and water quality, and the fields in the combat zones are solid bursts from shells, scorched earth (Pereira et al., 2020; Cottrell, Darbyshire, & Holme Obrestad, 2022; Kireitseva et al., 2023); c) mining of fields: led to the destruction of the humus horizon of the soil and the formation of craters and pits in demining areas; as of February 2023, 30% of the territory is mined (Shypulia, 2022) and only up to 20% of

the territory was demined (EcoZagroza, 2023a); d) destruction of infrastructure facilities and structures: fires and explosions of different objects occurred as a result of russian airstrikes (fertilizer (ammonium nitrate) explosions in the agricultural warehouse of the farm, village of Dovhenke, Kharkiv oblast, May 2022; fuel burning at the Aistra petroleum storage and reserve, Chernihiv Oblast, March 2022; destruction of the waste management facility, Liubotyn, Kharkiv Oblast, March 2022 (Cottrell, Darbyshire, & Holme Obrestad, 2022)), which caused persistent soil pollution with combustion products, agrochemicals, and fuel (Makarenko et al., 2022; Holubtsov et al., 2023); e) the construction of fortified buildings (blindage, trenches, tunnels, fuel and lubricant storage facilities, and ammunition storage facilities): caused a violation of the soil water balance, which led the degradation of vegetation and increased wind and water erosion, especially in the areas of active military activities (Makarenko et al., 2022; Omelchuk & Sadohurska, 2022; Pereira et al., 2022; Holubtsov et al., 2023). The largest military and technogenic burden on landscapes is typical for the Luhansk (Northern Luhansk), Severodonetsk-Lysychansk, and Toretsk-Horlivka-Yenakiieve industrial agglomerations, where the areas are characterized by a significant increase in the level of mercury, arsenic, and cadmium in the soil, which exceeded the maximum permissible concentrations and background values (Holubtsov et al., 2023). Most of the Kherson Oblast (up to 70%) and a third of the territories of the Mykolaiv Oblast (up to 30%) have disturbed agricultural lands due to the constant movement of heavy russian military equipment (Hurricanes, Urals, Kamaz, etc.), which caused the emer-

gence of the so-called “soil trampling” effect, already massive. Land resources have become almost unusable (EcoZagroza, 2023b; Shypulia, 2023). After the russian airstrike by cruise missiles on March 25, 2022, 10 tanks with oil products and most of the pipelines were destroyed in the village of Kriachky, Fastiv district, Kyiv Oblast. As a result of pipeline damage, the total area of contaminated land amounted to almost 9,000 sq. m and soil contamination with oil products exceeded the maximum permissible concentration by 17 times. The amount of the damage to the land amounted to UAH 41,981 million (Makarenko et al., 2022; Maps of Greenpeace and CEE, 2023).

Water resources. Water is an indispensable life resource and plays an important role in the Sustainable Development Goals, providing equilibrium between the natural resource use and balanced development of the country (Shumilova et al., 2023). A significant factor for Ukraine’s balanced development is water quality, which depends on human activity and point and diffuse sources of pollution (Strokal, M., Strokal, V. & Kroeze, 2022). However, besides these factors, military activities are necessarily involved in the conditions of war in the country. This creates risks that can cause the deterioration of water quality, the emergence of dangerous epidemic situations, and the death of the aquatic biota (Makarenko et al., 2022). Ever since Russia’s annexation of Crimea (2014) and the occupation of a large area of the Donetsk and Luhansk Oblasts, military activities had a significant impact on water supply of the population and sectors of the national economy, in particular by destroying water treatment facilities in the occupied territories (the pumping station in

the village of Yasynuvate in Donetsk Oblast; treatment plants in the cities of Bakhmut and Shchastia), damaging or using water supply systems for their purposes (the Siverskyi Donets-Donbas canal shutdown; arbitrary withdrawal of the Dnipro River water from the North Crimean Canal) (Khilchevskiy, 2022; Strokal & Kovpak, 2022; Water Conflict Chronology, 2022). The aggression of the Russian Federation continues to cause damages to the country's water resources by destroying reservoirs and dams (Ladyka & Starodubtsev, 2022), undermining bridges (Khilchevskiy, 2022; Shumilova et al., 2023), and destroying sewage treatment systems and irrigation systems for watering plants (CEOBS & Zoï Environment Network, 2022b). It should be noted that military activities cause irreparable damage to water resources. Only in May 2022, the following were recorded on the territory of the country: 8 cases of termination of water supply; 6 cases of surface water pollution (4 cases – due to the flooding of military equipment; 2 cases – due to the release of chemical substances as a result of shelling); 5 cases of dam damage (4 cases – at reservoirs; 1 case – along the North Crimean Canal); 6 cases of mine flooding; 1 case of bacterial contamination due to mass death of poultry; 1 case of disruption of the hydroelectric power station working (Kakhovka Hydroelectric Power Plant) (CEOBS & Zoï Environment Network, 2022b; Shumilova et al., 2023). During the year of the Russian Federation's full-scale military invasion of Ukraine, the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine recorded spills of more than 11,000 tons of oil products into the water, resulting in damage to the state in the amount of UAH 106,347 million (EcoZagroza, 2023b).

It is worth highlighting the main types of military activities that significantly affect the state of water resources (Table 1): a) seizure of water infrastructure (canals, hydroelectric power plants, and reservoirs): taking the North Crimean Canal and the Siverskyi Donets-Donbas Canal under the control of the Russian Federation led to water shortages in their regions and caused mass diseases of the population; the occupation by Russian troops of the Kakhovka Hydroelectric Power Plant and its reservoir caused huge problems for the agriculture of the Kherson and Zaporizhzhia Oblasts, since the main pumping station of the Kakhovka canal, which supplies water for irrigation, is now located in uncontrolled territory (Shumilova et al., 2023; Strokal & Kovpak, 2022); b) destruction of water infrastructure (reservoirs, dams, canals, and water treatment facilities/stations): caused inflow of return waters into rivers without any treatment (Strokal & Kovpak, 2022), in particular, an 8-fold increase in mercury concentration and up to 3-fold increase in ammonium nitrogen and nitrite concentrations was recorded in the mouth of the Sukhyi Torets River (in the area of the Siverskyi Donets River) due to the destruction of water treatment facilities and pumping stations in eastern Ukraine (Shumilova et al., 2023); the explosion of the sluice of the pumping station at the Kozarovychi Dam (Irpin River, Kyiv Oblast) led to the flooding of about 2.5 thousand hectares of land on the Irpin River floodplain and adjacent territories – the villages of Kozarovychi and Demydiv, Kyiv Oblast (Ladyka & Starodubtsev, 2022), in winter, the territory of these villages turned into an “ice village”, creating real threats to the local population and arable land (Smyk & Tymchenko, 2023); c) mining

and explosions of coastlines and water bodies (water area of seas and rivers): led to the threat of contamination of water bodies with oil products and dangerous substances, usually it is observed in those water bodies near which active military activities took place; d) the presence of military equipment in water bodies: caused chemical pollution of water bodies, oil stains appeared in the place of flooding, in particular, two rotorcraft, 11 enemy combat vehicles, and 21 anti-tank mines were pulled from the Dnipro River and Irpin River in Kyiv Oblast and two russian tanks were pulled from the Desna River in Chernihiv Oblast (CEOBS & Zoï Environment Network, 2022b; Matiash, 2022).

The consequences of these military activities are long-lasting and are a manifestation of water-related terrorism. In the occupied territories, the local population still remains without proper access to water and is deprived of basic sanitary conditions. It should be noted that the quality of water and land resources was affected by factors such as the de-energization of territories, including those used by agricultural holdings. For example, the occupation of the Kherson Oblast led to the de-energization of many settlements, including local farms. In particular, 4.4 million chickens died at a poultry factory in Chornobaivka, and the mass death of birds caused bacterial soil contamination, creating an environmental disaster for natural resources (Belousova, 2022). The discharge of untreated wastewater due to the destruction of drainage systems leads to organic pollution of water bodies since untreated wastewater con-

tains a large number of organic compounds, helminth eggs, pathogenic bacteria, sulfates, and chlorides. This type of pollution can lead to large-scale water blooms, such as in the Dnipro River and the Black Sea (Strokal, M., Strokal, V., & Kroeze, 2022). Examples of the negative impact of military activities on the state of land and water resources are given in Table 1.

Forest and biological resources. The natural forest resources of the country, which are the “lungs” of our daily life, the Emerald Network sites such as Kinburnska Kosa, Oleshkivski Pisky, Kakhovske Reservoir, Lower Dnipro, and Dniprovsko Buzkyi Lyman, and Ramsar Wetlands such as Dnipro River Delta and Yagorlytska Bay suffer from mining, constant shelling, and bombings (Sadogurskaya, 2022; Virlych, 2022); the construction of fortified buildings goes through the valuable territories of the Black Sea Biosphere Reserve, Oleshkivski Pisky and Lower Dnipro National Parks, Saga Landscape Reserve, Berezovi Kolky Forest Reserve, Korsunskyi General Zoological Reserve, Shaba Botanical Reserve, and Khrestova Saga Botanical Reserve and others (UNCG, 2022; Virlych, 2022). These military activities are the causes of fires and the destruction of the country’s biological resources (Makarenko et al., 2022). Since the russian federation’s full-scale military invasion of the country (February 24, 2022), 20% of the nature reserves and 3 million hectares of forests in Ukraine were affected by the war as of December 2022 (UNCG, 2022). During the year of the full-scale war, 2 biosphere reserves (the Black Sea Biosphere Reserve and the Askania Nova Biosphere Reserve named after Friedrich Falz-Fein), 10 national nature parks, and 8 nature reserves

(Velikiy Lug (Zaporizhzhia Oblast), Pryazovskiy (Zaporizhzhia Oblast), Charivna Gavan (Crimea), Meotyda (Donetsk Oblast), Biloberezhzhia Svyatoslava (Mykolaiv Oblast), Dzharlygatskiy (Kherson Oblast), Lower Dnipro (Kherson Oblast), Oleshkivski Pisky (Kherson Oblast), Kremin Forests (Luhansk Oblast), Azov-Syvash (Kherson Oblast)), as well as about 600 species of fauna and 750 species of flora were under threat of extinction, including Red Data Book species (Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine, 2023).

It should be noted that as of February 2023, deforestation and forest toppling were recorded on the area of 281,223 hectares, which, according to expert assessments, caused environmental damages in the amount of UAH 6,521 million; wildfires were identified on the area of 60,269 hectares and environmental damages due to this type of violation was estimated at UAH 166,870 million; violations of the objects of the nature reserve fund were recorded on the area of 1,240,113 hectares, which was estimated at UAH 102,309 million in environmental damage (EcoZagroza, 2023b). According to preliminary calculations of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine, as of March 1, 2022, Russia has already conducted military operations on the territory of 900 objects of the nature reserve fund with an area of 12,406.6 sq. km, which is about a third of the area of the reserve fund of Ukraine. It should be noted that about 200 territories (2.9 million hectares) of the Emerald network are under threat (Omelchuk & Sadohurska, 2022). The first cases of wildfires were recorded as early as March 12–14, 2022, when Russians deliberately set fire to

forests in the Exclusion Zone of the Chernobyl Nuclear Power Plant. The fire, which destroyed 15,000 hectares of forests (including those contaminated by radiation) in the area from Irpin to Chernobyl, caused air quality deterioration and animal migration (UNCG, 2022). In the Drevlyanskyi Nature Reserve (Zhytomyr Oblast), 22 fires were recorded, where forests and peatlands were burning with a total area of about 2,120 hectares, which caused the migration of animals to the Republic of Belarus and the destruction of rare species of flora (EcoZagroza, 2023b). As a result of the sinking of watercraft (private and utility boats, cutter) in the occupied territory of the Kherson Oblast, more than 10 tons of fuel and lubricants leaked into the Dnipro River, which caused oil pollution and the death of river flora and fauna (Virlych, 2022). Also, the occupation of the Zaporizhzhia NPP is a war crime against nature, which has caused great environmental damage to biological resources. Besides the threat to the radiation safety of Ukraine and other countries of the world, at least 30 detonations of dogs, foxes, and wild boars on mines were recorded during the autumn months of last year due to the mining of the perimeter around the Zaporizhzhia NPP by Russian occupiers (Ecobusiness group, 2022).

The military activities in Ukraine threatened three migratory wildlife corridors of international importance, causing a loss of biodiversity and a threat to the existence of the Red Data Book species: a) the southern wildlife corridor (the Sea of Azov–Black Sea latitudinal route): the largest in terms of concentration of migratory birds in Ukraine; it is a kaleidoscope of unique coastal and marine habitats, primarily estuaries, islands, salt flats, lakes, and

flatlands, which are home to hundreds of rare bird species (Omelchuk & Sadohurska, 2022); plays a significant role in the conservation of populations of many migratory bird species (Makarenko et al., 2022); the Black Sea Biosphere Reserve (wildfires, which were recorded due to persecution of the reserve's workers, affected the nesting of birds) and the Askania Nova Biosphere Reserve named after Friedrich Falz-Fein (the territory is completely under temporary occupation, constant flights of aviation equipment have created a stress factor for animals, the collection of valuable animals such as Kaffir buffalo, Przewalski's horses, and others, remains under threat of extinction), the Azov-Syvash National Nature Park, the Dzharylgatskyi National Nature Park, the Meotyda National Nature Park (in the parks, the occupiers created conditions for the provision of fishing services, clay and salt mining, construction, transportation of passengers by water transport, excursion services, and restaurant business services), and the Oleshkivski Pisky National Nature Park (some part of the park occupiers turned into a military training area) (Sadogurskaya, 2022; UNCG, 2022; Virlych, 2022); the extermination of dolphins occurs due to explosions in the sea and mining of the marine environment, which causes disorientation of cetaceans, the formation of wounds and large burns in their bodies, as a result of which they die (for example, dead dolphins were found on the coast of the Tuzlivski Lymany National Nature Park in April 2022 (Sadogurskaya, 2022)); b) the northern wildlife corridor (Polyskyi latitudinal): located along the forest belt of Polissia and in the north of the Forest Steppe; during the occupation of the Chernobyl Radiation and

Ecological Biosphere Reserve (February–March 2022), animals were forced to migrate to the Republic of Belarus due to fires and constant shelling, in particular, Przewalski's horses, lynxes, and birds were under threat (Makarenko et al., 2022; Sadogurskaya, 2022; UNCG, 2022); c) the wildlife corridor of the Dnipro meridian migration route: used by waterfowl and coastal birds (geese, ducks, loons, waders, martins, terns, and others), the territory of this route, which runs along the Dnipro River and its tributary the Desna River, constantly suffers from bombings, shelling, and fires in the nature reserve fund (Makarenko et al., 2022).

It should be noted that all international wildlife corridors have transboundary significance and are important for the conservation of the Earth's biodiversity (Makarenko et al., 2022). Currently, most of the migratory wildlife corridors pass over the war zone, which is the reason for the anxiety in birds, their exhaustion due to changing flight routes, lack of opportunity to rest, and coming under shelling (Omelchuk & Sadohurska, 2022). Also, some areas of wetlands of international importance, which are protected in accordance with the requirements of the Ramsar Convention, are in the zone of negative impact (Virlych, 2022). Military aggression creates risks for bird migration, the functioning of landscapes of migratory wildlife corridors, and contributes to the destruction of rare and endemic species' ranges and natural habitats.

Besides the mentioned factors of the impact of military aggression on natural resources (land, water, forest, and biological), hazardous waste (generated as a result of explosions and, accordingly, fires in industrial and radiation facilities) and livestock waste (generated as

a result of the detonation of warehouses with agrochemicals and waste, as well as the destruction of livestock enterprises), the largest number of which is concentrated in the zones of active military activities (Kyiv, Chernihiv, Kharkiv, Kherson, Zaporizhzhia, Donetsk, and Sumy Oblasts), also have a significant impact. For the year of the full-scale

war in Ukraine, 3,500 sq. m of the territory is contaminated with hazardous waste and 683,382 sq. m of the territory is contaminated with other waste were recorded (EcoZagroza, 2023b).

Justification of risks and hazards (Stage 2: support information in Figure 2). Based on the analysis of the environmental state of natural resources (Stage

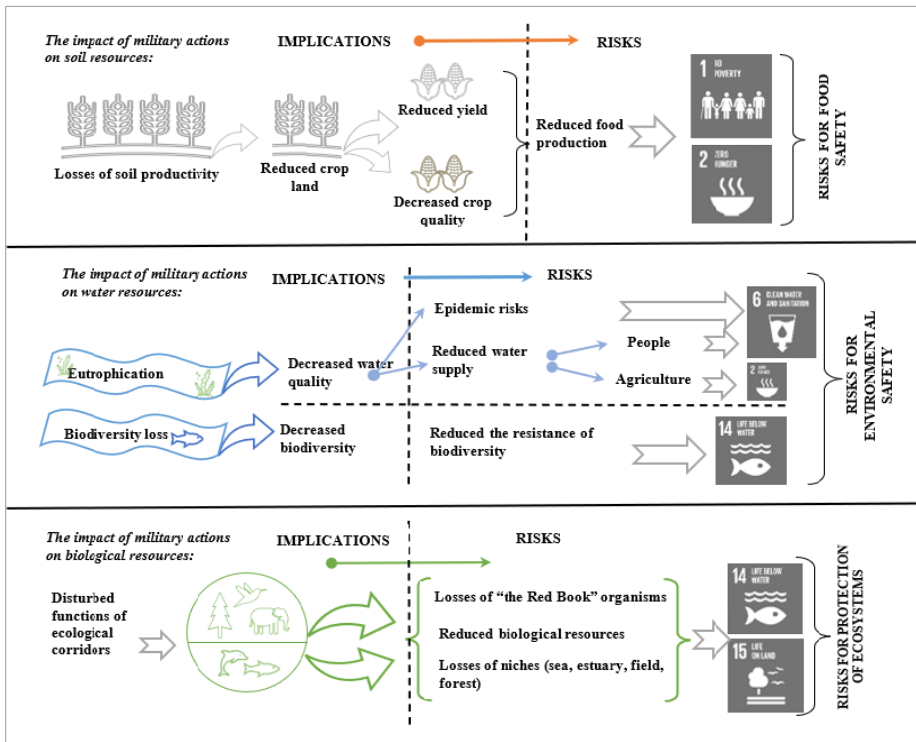


Figure 2. Cause-and-effect relationships of the impact of military aggression on natural resources, which created risks for food and environmental security of the country and the world as a whole (developed according to information and analytical materials: land resources (CEOBS & Zoï Environment Network, 2022a; Dmytruk et al., 2022; Makarenko et al., 2022; Omelchuk & Sadohurska, 2022; Shypulia, 2022; EcoZagroza, 2023b; Holubtsov et al., 2023), water resources (CEOBS & Zoï Environment Network, 2022b; Khilchevskiy, 2022; Ladyka & Starodubtsev, 2022; Stokal & Kovpak, 2022; Water Conflict Chronology, 2022; Shumilova et al., 2023), biological resources (Makarenko et al., 2022; Sadogurskaya, 2022; UNGC, 2022; EcoZagroza, 2023b; Maps of Greenpeace and CEE, 2023; Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine, 2023))

1), which developed as a result of the military aggression of the Russian Federation and the justified consequences of the impact of military activities on the natural resources of the country, we have identified the main cause-and-effect relationships of the emergence of risks that can become a threat to the deterioration of food and water provision of the population, the spread of infectious diseases, and the impoverishment of the country's biodiversity (Fig. 1). First of all, there is a risk of reduced food provision potential due to the loss of land productivity, since up to 30% of agricultural land is mined and according to the results of 2022, the crop yield losses has reached 17%. Active military activities taking place in the northwestern part of the Black Sea are blocking the seaports of Ukraine, creating a risk of hunger for the entire civilized world. This, in turn, can cause hunger and poverty in those countries to which Ukraine exports grain and oil crops, which can lead to a global food crisis.

The impact of the war on water resources and related infrastructure is quite noticeable. Damage to dams and drainage systems, destruction of sewage treatment plants, seizure of hydroelectric power plants, and mining of coastline caused bacterial (oil products, lubricants) and organic (biogenic substances) pollution of water bodies and water shortages for the population (complete absence of water supply in temporarily occupied territories) and agriculture (irrigation networks were affected). The negative consequences of these events were the reduction of water supply and the real probability of the emergence of the epidemic situation, which in general poses a threat to the environmental security of the country. The environmental sustainability of

ecosystems has also been significantly affected by military activities.

Biological resources are also strongly affected, especially by mining, constant shelling and bombing, and in general from the occupation. Up to 20% of the reserve fund has already been affected, 600 species of fauna and 750 species of flora, including those listed in the Red Data Book, are threatened with extinction. According to operational data, active military activities are taking place in the territories belonging to the nature reserve fund, which is about 900 various objects. The main risks as a result of this should include the mass destruction of valuable natural species and communities that perform important biosphere ecosystem services and the loss of habitats for transboundary bird species. Also, as a result of constant military activities, migratory wildlife corridors of international importance are being violated. Only in the southern wildlife corridor, environmental crimes were recorded at each object of the nature reserve fund (for example, 30% of the territories were burned in the Black Sea Biosphere Reserve and part of the territory in the Oleshkiivski Pisky National Nature Park was turned by the occupiers into a military training area). This situation created a threat to the conservation of biodiversity and ecosystem sustainability as a whole.

Challenges regarding the assessment of natural resources for the impact of military activities (Stage 3: support information in Table 2). Assessment of natural resources for the impact of military activities involves, first of all, the determination of environmental damage. It is important to take into consideration the systemic and integral approaches in assessing environmental damage and determining their scale.

1. Basic provisions regarding environmental damage assessment

Title of the document	Branch	Main provisions
International level		
Geneva Conventions of 12 August 1949	Refers to the protection of victims of international armed conflicts	Article 35, Paragraph 3 of the Protocol – “It is prohibited to employ methods or means of warfare which are intended, or may be expected, to cause widespread, long-term and severe damage to the natural environment...”
Convention on the Prohibition of Military or any Hostile Use of Environmental Modification Techniques	Refers to the environmental protection from the use of hostile means	Article 1, Paragraph 1 – «States party to the Convention undertake “not to engage in military or any other hostile use of environmental modification techniques ...»
United Nations General Assembly Resolution ES-11/5. Furtherance of remedy and reparation for aggression against Ukraine. Adopted by the General Assembly on November 14, 2022	Refers to the mechanism of legal protection	Paragraph 3 – General Assembly “Recognizes also the need for the establishment, in cooperation with Ukraine, of an international mechanism for reparation for damage, loss or injury, and arising from the internationally wrongful acts of the Russian Federation in or against Ukraine”
National level		
Law of Ukraine On Environmental Protection	Refers to general indemnification provisions	Section 1, Article 69 – “Damage caused as a result of violation of environmental legislation is subject to compensation in full”
Civil Code of Ukraine	Refers to damages due to the violation of civil law	Section 1 – “Person to whom losses as a result of violation of its civil law are caused has the right to their compensation”
Criminal Code of Ukraine	Refers to criminal law	According to Article 441, “Ecocide” – “Mass destruction of flora and fauna, poisoning of air or water resources, and also any other actions that may cause an environmental disaster, – shall be punishable by imprisonment for a term of eight to fifteen years”. At the same time, it should be noted that there is no similar norm on ecocide in international law

The assessment of environmental damage caused by the armed aggression of the Russian Federation against Ukraine is one of the first, mandatory, and most important stages of the entire procedure for compensation for war damage. Since Ukraine is trying to join the European Union in the near future, in this case,

the implementation and approximation of European Directives to ensure the global Sustainable Development Goals are strong arguments. Therefore, we consider it expedient to take into account the legal norms and rules at the international and national levels (Table 2). In particular, it should be noted that

the provision of the Geneva Convention stipulates that the use of methods or means of warfare that may harm the environment is prohibited. The prohibition of the use of any means of the impact on the natural environment by states participating in a military conflict is stipulated in the Convention on the Prohibition of Military or any Hostile Use of Environmental Modification Techniques. Within the framework of the national level (in the Criminal Code of Ukraine), the definition of the term “ecocide” is specified, which clarifies that the deliberate or mass destruction of natural resources, which led to an environmental disaster, is punishable by criminal law.

A comprehensive methodology for environmental assessment for the impact of military activities on natural resources has not been developed, and there are only some fragmentary approaches and methods. Thus, Hardashchuk (2022) proposes to conduct the assessment in the following directions: 1) direct destruction of landscapes, ecosystems, natural habitats, and plant and animal populations; 2) threats and risks of technogenic disasters caused by military activities (destruction of industrial facilities, infrastructure, etc.); 3) destruction and pollution of agricultural landscapes, withdrawal of agricultural land from circulation, and disruption of natural systems of life support and natural services, which directly results in risks for food security, etc.; 4) threats to human life and health arising both from the destruction of natural ecosystems and as a result of technogenic disasters, limited access to natural resources, atmospheric air and water pollution, and threats of epidemic outbreaks.

Under the auspices of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine, methods were

developed for determining the amount of environmental damage caused to natural resources as a result of emergency situations and/or armed aggression and hostilities during martial law: a) land resources – damaged land and soils (Zakon.rada.gov.ua, 04/04/2022 No. 167); the land fund of Ukraine (Zakon.rada.gov.ua, May 18, 2022, No. 295); b) water resources – as a result of water pollution and/or clogging, arbitrary use of water resources (Zakon.rada.gov.ua, July 21, 2022, No. 252); within the territorial sea, exclusive economic zone, and internal waters of Ukraine in the Sea of Azov and Black Sea (Zakon.rada.gov.ua, 19.08.2022 No. 309); c) forest resources – forest fund (Zakon.rada.gov.ua, October 5, 2022, No. 414); d) nature reserve fund – territories and objects of the nature reserve fund (Zakon.rada.gov.ua, October 13, 2022, No. 424).

All of the above methods include forecasting national and sectoral recovery costs; determine the amount of compensation to the state for environmental damages, as well as to the national property of the state, which includes territories and objects of the nature reserve fund.

Systematic research on environmental assessment should become the basis for the development of scientifically based recommendations for the restoration of natural resources, ecosystems and complexes at the local and regional levels. We suggest that when determining the consequences and risks caused by military aggression, a systematic approach and an integrated analysis of the situation assessment should be taken into account, which in combination will create a comprehensive assessment of the real situation of the impact on natural resources. As a next stage, we propose to include methodological and

legal aspects of the national level in the evaluation, as well as take into account all provisions of legal norms and rules of the international level.

Discussion.

Discussion connects with two aspects. The first aspect identifies the limitations of the study, second – is implications for the environmental management. In this article, we explored the consequences of the Russian-Ukrainian war and their impacts on the natural resources of Ukraine which related to data from 24 February 2022 – 01 May 2023. We emphasized the main implication of military action. We did not include all local threats for specific natural resources in local territories which are occupied by russian troops. This aspect requires more in-depth research experiments. However, we established the main risks for food and water supply and for protecting the environmental state. These risks depend on exploring the mined fields, burned forests, polluted water bodies, dead animals and birds, and destroying their habitats. These are all the consequences of conducting military activities on the territory of Ukraine.

According to the second aspect, we searched how the consequences of war can influence environmental systems management. In this article, we highlighted the agricultural position of Ukraine in Europe focusing on the world's largest exporter of grains. However, due to the Russian-Ukrainian war, agricultural lands are suffering from military actions (phosphorus bombs, weapons, shelling, mining) that led to soil degradation and pollution, description of the hydrological regime of the soil, etc. According to this, Ukraine has lost over 50% of suitable agricultur-

al land (Angurets O., 2023). A lack of productive soil can lead to a decreased food supply in global and regional areas (Fig. 2). We identified the cause-and-effect relationships of the impact of military aggression on natural resources, which created risks for the food and environmental security of the country and the world as a whole. During the Russian-Ukrainian war, environmental management require to involve scientists, international organizations, and economists who can promote the elimination of consequences. Also, environmental systems need to combine international and national methodologies (Table 2) to solve ecological problems of protecting natural resources in Ukraine.

Conclusion.

During the war, russia not only kills Ukrainians and destroys the country's infrastructure, but contemporarily commits environmental crimes and destroys Ukraine's environment every day. As a result of the war, the environmental situation is deteriorating catastrophically. Mined fields, burned forests, polluted water bodies, dead animals and birds, and destroyed their habitats – these are all the consequences of conducting military activities on the territory of Ukraine.

We note that although chernozems have extraordinary resilience and self-healing capacity, negative impact of military activities on land resources will have a long-term effect, which will be manifested directly in a decrease in soil water permeability, disruption of biochemical and microbial processes, deterioration of water and air conditions, nutrient cycles, and root nutrition of plants. The restoration of land resources is an integral part of the post-war recov-

Environmental impact of war	Implications	Risk
	This is because the main pumping station of the Kakhovsky Canal which supplies water for irrigation, is now located in an uncontrolled territory (Shumilova et al., 2023). The Luhansk and Donetsk Oblasts were left without water supply due to the seizure and later shutdown of the Siverskyi Donets-Donbas Canal (Shumilova et al., 2023).	
Destruction of water infrastructure	The occupation of the territories of Donetsk Oblast led to the seizure of water treatment plants, and subsequently to significant violations of their functioning (Strokal & Kovpak, 2022). As a result of the destruction of water treatment facilities and pumping stations in eastern Ukraine, an 8-fold increase in mercury concentration and a 3-fold increase in ammonium nitrogen and nitrite concentrations were recorded in the mouth of the Sukhyi Torets River (in the area of the Siverskyi Donets River) in July 2022 (Shumilova et al., 2023). The inflow of return waters into rivers without any treatment occurred due to the damage to the treatment facilities (Strokal & Kovpak, 2022). The explosion of the sluice of the pumping station at the Kozarovychi Dam (the Irpin River, Kyiv Oblast) led to the flooding of about 2.5 thousand hectares of land in the Irpin River Floodplain and adjacent territories – the villages of Kozarovychi and Demydiv, Kyiv Oblast (Ladyka & Starodubtsev, 2022). In particular, during the winter period, the territory of these settlements turned into an “ice village” since the water, although the flooding occurred in March 2022, remained at almost the same level, creating real threats for the local population and arable land (Smyk & Tymchenko, 2023). As a result of the missile strike, the dam of the Karachuniv Reservoir near the city of Kryvyi Rih was damaged, which caused the water level in the Ingulets River to rise to 2 m. This led to the flooding of a large part of the city of Kryvyi Rih and agricultural land. In this regard, the content of nitrogen-containing compounds and other chemical elements doubled in the Ingulets River (Ladyka & Starodubtsev, 2022). Damage to the dam at the Oskil Reservoir in the Kharkiv Oblast led to the flooding of the reservoir area (Strokal & Kovpak, 2022). The shelling that took place on March 14, 2022 at the water treatment facilities of the Vasylivka water supply and drainage facility (the village of Verkhnia Krynytsia, Zaporizhzhia Oblast) led to the destruction of sewage pumping station	Water pollution Flooding Threat of the epidemic situation Decrease in land productivity and crop yield

Environmental impact of war	Implications	Risk
	No. 1, which supplies wastewater from the city of Vasylivka to the treatment facilities. As a result, return water from the city now enters the Dnipro River without any treatment (CEOBS & Zoï Environment Network, 2022b; Strokal & Kovpak, 2022). Untreated wastewater contains a large number of organic compounds, helminth eggs, pathogenic bacteria, sulfates, and chlorides. Such pollution can lead to an increase in the area of water blooms in the Dnipro River and the Black Sea with the onset of warming (Strokal & Kovpak, 2022).	
Mining and explosions of coastlines and water bodies	In the summer period, demining was carried out on the area of 93.5 sq. km of the water surface of the Dnipro River, the Irpin River, as well as the Kyiv Reservoir, as they were the site of active military activities (Matiash, 2022). Mining of the coastlines of the Black Sea and the Sea of Azov caused chemical and acoustic pollution, physical damage to natural habitats of birds, and the decline of environmental protection activities (CEOBS & Zoï Environment Network, 2022b).	Loss of aquatic biota Violation in the functioning of the water ecosystem An increase in the temperature of the reservoir Pollution of the reservoir with dangerous substances (petroleum products, heavy metals)
Presence of military equipment in water bodies	In the summer period, two rotorcraft, 11 enemy combat vehicles, and 21 anti-tank mines were pulled out of the Dnipro and Irpin rivers (Kyiv Oblast), and two Russian tanks were pulled from the Desna River in Chernihiv Oblast (Matiash, 2022). The sinking of the russian warship Moskva (depth 45–50 m) by the Armed Forces of Ukraine caused chemical pollution of the water body, oil spills appeared at the site of the sinking (CEOBS & Zoï Environment Network, 2022b).	Water pollution with heavy metals, radionuclides, oil products
Other impact	The use of sonar systems by the naval forces to detect submarines may be the cause of marine animal stranding, such as porpoises and common dolphins (CEOBS & Zoï Environment Network, 2022b).# As a result of the sinking of watercraft (private and utility boats, cutter) in the occupied territory of the Kherson Oblast, according to preliminary calculations, more than 10 tons of fuel and lubricants leaked into the Dnipro River. This leads to the destruction of the river flora and fauna, poisoning the area for many years. There is a possibility that dangerous substances can reach the Black Sea (Virlych, 2022).	Physical damage to natural habitats

ery of natural resources because they are natural components of agricultural landscapes that provide food not only to Ukraine but also to many other countries of the world. The shortage of grain crops can cause hunger and poverty in some importing countries of Europe and Africa. The impact of military activities on Ukraine's land resources will lead to the irreversible degradation of chernozem soils, which will become one of the causes of the expected food security crisis. It is worth noting that causing irreparable damage to land resources, and destroying the integrity of soil profiles and landscapes – all this leads to significant fragmentation of territories, disruption of functioning and destruction of the structure of agricultural landscapes.

The main consequences of the impact of military activities on water resources include water pollution with heavy metals and nitrogen-containing compounds (mining of water bodies, explosions of oil tanks, etc.), flooding of territories and deterioration of their sanitary condition (destruction and detonation of dams), and absence of centralized water supply (destruction of pumping stations). The main risk is the shortage of safe water use for various types of consumption as a result of the seizure of water infrastructure (for example, the North Crimean Canal and the Kakhovka Hydroelectric Power Plant) and the destruction of dams and pumping stations (for example, the dams of the Oskil Reservoir in the Kharkiv Oblast, the detonation of the dam and the pumping station at the mouth of the Irpin River at the confluence with the Kyiv Reservoir in the Kyiv Oblast); as well as the strengthening of eutrophication processes in water bodies due to water pollution with various components and as a result of flooding territories.

The construction of trenches and fortified buildings destroys vegetation and increases soil erosion, and garbage and military waste pollute the soils and groundwater. Following the movement of the front line, the line of physical destruction of natural habitats also shifts, especially where they are subjected to intense shelling. An example of this is the environmentally sensitive wetlands along the Dnipro estuary in the south of the Kherson Oblast, which were used for fortification by Russia after its withdrawal from Kherson.

Regarding the legal aspects of the environmental assessment of the damage caused by military activities, Ukraine should rely on the legal force of paragraph 3 of the UN General Assembly Resolution ES-11/5, according to which an international legal protection mechanism for reparation for losses and consequences arising from the internationally wrongful acts of the Russian Federation in Ukraine was created. At the national level, in accordance with Article 441 "Ecocide" of the Criminal Code of Ukraine, the perpetrators of the aggressor country must be punished with imprisonment for a term of 8 to 15 years for the mass destruction of natural resources. Besides that, competent professionals in the field of environmental protection and economists should improve the criteria in the methods that must be taken into account for assessing the damage of various natural resources in order to fully compensate the damage caused by the Russian Federation.

References

1. Averin, D., Van der Vet, F., Nikolaieva, I., & Denisov, N. (2022). The environmental cost of the war in Ukraine. *Green European Journal*, April 6, 2022. URL: <https://>

- www.greeneuropeanjournal.eu/the-environmental-cost-of-the-war-in-ukraine/
2. Wenning, R. J., & Tomasi, T. D. (2023). Using US Natural Resource Damage Assessment to understand the environmental consequences of the war in Ukraine. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 19(2), 366-375. <https://doi.org/10.1002/ieam.4716>
3. Rawtani, D., Gupta, G., Khatari, N., Rao, P. K., & Hussain, C. M. (2022). Environmental damages due to war in Ukraine: A perspective. *Science of The Total Environment*, 850, 157932. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969722050318?via%3Dihub>
4. Pereira, P., Bašić, F., Bogunovic, I., & Barcelo, D. (2022). Russian-Ukrainian war impacts the total environment. *Science of The Total Environment*, 837, 155865. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004896972202962X?via%3Dihub>
5. Kicaj, H., Polukarov, Y., Prakhovnik, N., Polukarov, O., & Kachynska, N. (2023). How war in Ukraine is affecting the climate. *International Journal of Environmental Studies*, 1-8. URL: <https://doi.org/10.1080/00207233.2023.2174743>
6. Hrytsku, V., & Derii, Z. (2022). Ecological consequences of war in Ukraine. In *Present Environment and Sustainable Development*. pp. 56-57. URL: https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/158385
7. Makarenko, N. A., Strokal, V. P., Berezhniak, Y. M., Bondar, V. I., Pavliuk, S. D., Vagaliuk, L. V., ... & Kovpak, A. V. (2022). The war consequences on natural resources of Ukraine: analyses and methodologies. *Scientific reports of NULES of Ukraine*, 2022 (4(98)). URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovid/article/view/16137>
8. Strokal, V., & Kovpak, A. (2022). Military conflicts and water: consequences and risks. *Scientific Journal of "Ecological Sciences"*, 5(44). URL: <http://www.ecoj.dea.kiev.ua/archives/2022/5/14.pdf>
9. Strokal, M., Strokal, V., & Kroeze, C. (2022). The future of the Black Sea: More pollution in over half of the rivers. *Ambio*, 1-18. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13280-022-01780-6>
10. Ladyka, M., & Starodubtsev, V. (2022). Water reservoirs and the war in Ukraine: environmental problems. *EUREKA: Life Sciences*, (6), 36-43. URL: <http://journal.eu-jr.eu/life/article/view/2664>
11. Shumilova, O., Tockner, K., Sukhodolov, A., Khilchevskyi, V., De Meester, L., Stepanenko, S., ... & Gleick, P. (2023). Impact of the Russia-Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure. *Nature Sustainability*, 1-9. URL: <https://www.nature.com/articles/s41893-023-01068-x>
12. CEOBS, & Zoï Environment Network (2022a). Ukraine conflict environmental briefing. Industry. Report. URL: <https://ceobs.org/ukraine-conflict-environmental-briefing-industry/>. Date accessed: May 10, 2023
13. CEOBS, & Zoï Environment Network (2022b). Ukraine conflict environmental briefing. Water. Report. URL: <https://ceobs.org/ukraine-conflict-environmental-briefing-water/> Date accessed: May 10, 2023
14. Khilchevskyi, V. K. (2022). Water and armed conflicts – classification features: in the world and in Ukraine. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*, 1(63), 6-19. URL: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2022.1.1>
15. Water Conflict Chronology. (2022). Pacific Institute. Retrieved from <https://www.worldwater.org/water-conflict/> Date accessed: May 10, 2023
16. Smyk, M., & Tymchenko, N. (2023). Ice vilage: How Demydiv lives 10 months after flooding: report from 04 January 2023. URL: <https://rubryka.com/en/article/demydiv-in-winter/> Date accessed: May 10, 2023

17. Matias, T. (2022). Two Russian helicopters, more than 10 combat vehicles and 20 mines were pulled from rivers in the Kyiv region (report from 06 August 2022). URL: https://lb.ua/society/2022/08/06/525463_z_richok_kiivshchini_vityagli_dva.html
18. Dmytruk, Y., Cherlinka, V., Cherlinka, L., & Dent, D. (2022). Soils in war and peace. *International Journal of Environmental Studies*, 1-14. URL: <https://doi.org/10.1080/00207233.2022.2152254>
19. Broomandi, P., Guney, M., Kim, J. R., & Karaca, F. (2020). Soil contamination in areas impacted by military activities: A critical review. *Sustainability*, 12(21), 9002. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/21/9002>
20. Holubtsov, O., Sorokina, L., Splodytel, A., & Chumachenko, S. (2023). The impact of Russia's war against Ukraine on the state of Ukrainian soils. The results of the analysis. Kyiv: NGO Center for Environmental Initiatives Ecoaction. URL: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/zabrudnennia-zemel-vid-rosii-summary.pdf>
21. Pereira, P., Barceló, D., & Panagos, P. (2020). Soil and water threats in a changing environment. *Environmental research*, 186, 109501. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935120303947>
22. Shypulia, V. (2022). Black soil is disappearing: Russia has staged ecocide in Ukraine. *News from December 22, 2022*. URL: <https://ua.korrespondent.net/articles/4543578-znykaie-chornozem-rosiiv-lashtuvala-v-ukraini-ekotsyd>
23. Omelchuk, O., & Sadohurska, S. (2022). Nature and war: how Russian invasion destroys Ukrainian wildlife. *Ecoaction*. URL: <https://en.ecoaction.org.ua/nature-and-war.html>
24. Kireitseva, H., Demchyk, L., Paliy, O., & Kahukina, A. (2023). Toxic impacts of the war on Ukraine. *International Journal of Environmental Studies*, 1-10. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207233.2023.2170582>
25. Cottrell, L., Darbyshire, E., & Holme Obrestad, K. (2022). Explosive weapons use and the environmental consequences: mapping environmental incidents in Ukraine. *The Journal of Conventional Weapons Destruction*, 26(1), 4. Date accessed: February 12, 2023
26. Weir, D., & Darbyshire, E. (2022). Environmental trends in the Ukraine conflict, 10 days in. URL: <https://ceobs.org/environmental-trends-in-the-ukraine-conflict-10-days-in/> Date accessed: February 12, 2023
27. EcoZagroza. (2023b). Dashboard with data on environmental threats. Official data of the Armed Forces of Ukraine for the period 24.02.2022-30.03.2023. URL: <https://ecozagroza.gov.ua/en?fbclid=IwAR-3r38cnbG48KICl1P1tktgIlaKnj7UoPWkVt-7fpd3pfR8VPIGzjoieEROA>. Date accessed: May 10, 2023
28. EcoZagroza. (2023a). Briefing on the environmental damage caused by the Russia's war of aggression against Ukraine (March 16-22, 2023). Official resource of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine. *EcoZagroza*. URL: <https://ecozagroza.gov.ua/en/news/105> Date accessed: May 02, 2023
29. Shor, K. (2023). News: War and the Environment: Useful Information Resources. Information Center "Green Dossier". URL: <https://www.dossier.org.ua/news/information-about-war-impact-on-environment/> Date accessed: May 10, 2023
30. UNEP. (2022). The Environmental Impact of the Conflict in Ukraine: A Preliminary Review: report from 14 October 2022. URL: <https://www.unep.org/resources/report/environmental-impact-conflict-ukraine-preliminary-review> Date accessed: May 21, 2023
31. FAO. (2022). Ukraine: FAO scales up efforts

- to save upcoming harvest, ensure export of vital grains. URL: <https://www.fao.org/newsroom/detail/ukraine-fao-scales-up-efforts-to-save-upcoming-harvest-ensure-export-of-vital-grains/en> Date accessed: May 23, 2023
32. Ben Hassen, T., & El Bilali, H. (2022). Impacts of the Russia-Ukraine war on global food security: towards more sustainable and resilient food systems? *Foods*, 11(15), 2301. URL: <https://www.mdpi.com/2304-8158/11/15/2301> Date accessed: May 10, 2023
33. Knox, J. (2022). Why is Ukraine known as the 'breadbasket of Europe'? Here's what it produces and exports. URL: <https://www.farminglife.com/country-and-farming/why-is-ukraine-known-as-the-bread-basket-of-europe-heres-what-it-produces-and-exports-3584361> Date accessed: May 10, 2023
34. Deininger, K., Ali, D. A., Kussul, N., Shelestov, A., Lemoine, G., & Yailimova, H. (2023). Quantifying war-induced crop losses in Ukraine in near real time to strengthen local and global food security. *Food Policy*, 115, 102418. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306919223000167?via%3Dihub> Date accessed: April 18, 2023
35. Maps of Greenpeace and CEE. (2023). Environmental damage map. Greenpeace Central and Eastern Europe (CEE). URL: <https://greenpeace.at/cee-press-hub/greenpeace-and-ecoaction-launch-map-of-environmental-destruction-caused-by-russia%E2%80%99s-war-in-ukraine/> Date accessed: April 26, 2023
36. Digest of the key consequences of Russian aggression for the Ukrainian environment for February 2-8, 2023. Official resource of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine. URL: <https://mepr.gov.ua/dajdzhest-klyuchovyh-naslidkiv-rosijskoyi-agresiyi-dlya-ukrayinskogo-dovkilliya-za-2-8-lyutogo-2023-roku/> Date accessed: April 01, 2023
37. Belousova, K. (2022). A mass pestilence is being investigated at the Chernobaev poultry farm. URL: <https://ecopolitic.com.ua/en/news/na-hersonshhine-rassledujut-massovyj-mor-na-chernobaevskoj-pticefabrike-2/> Date accessed: April 13, 2023
38. Ecobusiness group. (2022). Due to the Russian occupation of the Zaporizhzhia NPP, not only the infrastructure of the station suffers, but also the environment and animals. News for November 11, 2022. URL: <https://ecolog-ua.com/news/cherez-okupaciyu-rosiyanamy-zaporizkoyi-aes-strazhdaye-ne-lyshe-infrastruktura-stanciyi-ale-y> Date accessed: February 20, 2023
39. UNCG. (2022). Russian ecocide in Ukraine is deliberate destruction of forests. Ukrainian Nature Conservation Group. News from 18 May 2022. URL: <https://uncg.org.ua/rosijskyj-ekodyd-v-ukraini-umysne-znyshchennia-lisiv/> Date accessed: April 01, 2023
40. Virlych, E. (2022). Scorched land and poisoned rivers: how the Russians are destroying ecosystems in the Kherson region. News from 22 November 2022. URL: <https://eco.rayon.in.ua/topics/552424-vipalena-zemlya-i-otrueni-riki-yak-rosiyni-znishchuyut-ekosistemi-na-khersonshchini> Date accessed: February 05, 2023
41. Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine. (2023). The year of the full-scale invasion of the Russian Federation: the Ukrainian environment was among the victims. News from 22 February 2023. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/rik-povnomashtabnoho-vtorhnennia-rf-sered-zhertv-i-ukrainske-dovkillia> Date accessed: February 26, 2023
42. Sadogurskaya, S. (2022). War and the sea:

- how hostilities threaten the ecosystems of the Black and Azov seas. Ecoaction. URL: <https://en.ecoaction.org.ua/war-and-the-sea.html> Date accessed: February 20, 2023
43. Hardashchuk, T. (2022). War and the environment. URL: <https://day.kyiv.ua/uk/article/den-ukrayiny/viyna-i-dovkilliya> Date accessed: February 18, 2023
 44. Zakon.rada.gov.ua, 04.04.2022 p. № 167. On the approval of the Methodology for determining the amount of damage caused to land and soil as a result of emergency situations and/or armed aggression and hostilities during martial law. 04.04.2022 p. № 167. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0406-22?lang=en#Text> Date accessed: April 01, 2023
 45. Zakon.rada.gov.ua, 18.05.2022 p. № 295. Methods of determining damage and losses caused to the land fund of Ukraine as a result of the armed aggression of the Russian Federation, approved by the Order of the Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine. 18.05.2022 p. № 295. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0586-22#Text> Date accessed: April 01, 2023
 46. Zakon.rada.gov.ua, 21.07.2022 p. № 252. Methods of determining damages caused as a result of water pollution and/or clogging, arbitrary use of water resources", approved by the Order of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine. 21.07.2022 p. № 252. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0900-22#Text> Date accessed: April 01, 2023
 47. Zakon.rada.gov.ua, 19.08.2022 p. № 309. Methods of determining damage caused to the surrounding natural environment within the territorial sea, exclusive maritime (economic) zone and internal sea waters of Ukraine in the Azov and Black seas. 19.08.2022 p. № 309. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1253-22#Text> Date accessed: April 01, 2023
 48. Zakon.rada.gov.ua, 05.10.2022 p. № 414. Methodology for determining damage and losses caused to the forest fund as a result of the armed aggression of the Russian Federation, approved by the Order of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine. 05.10.2022 p. № 414. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1308-22#Text> Date accessed: April 01, 2023
 49. Zakon.rada.gov.ua, 13.10.2022 p. № 424. Methodology for determining damage and losses caused to the territories and objects of the nature reserve fund as a result of the armed aggression of the Russian Federation", approved by the Order of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine. 13.10.2022 p. № 424. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1416-22#Text> Date accessed: April 01, 2023
 50. Angurets O., Khazan P., Kolesnikova K., Kushch M., Černochova M., Havránek M. (2023). Report: Ukraine, damage to the environment, environmental consequences of war. NGO "Green World – Friends of the Earth". URL: <https://cleanair.org.ua/wp-content/uploads/2023/03/cleanair.org.ua-environmental-consequences-of-russian-war-in-ukraine-war-damages-en-version.pdf> Date accessed: April 26, 2023

**Строкаль В.П., Бережнюк Є.М., Наумовська О.І., Вагалюк Л.В.,
Ладика М.М., Павлюк С.Д., Паламарчук С.П., Сербенюк Г.А (2024)
ПРИРОДНІ РЕСУРСИ УКРАЇНИ: НАСЛІДКИ ТА РИЗИКИ РОСІЙСЬКОЇ АГРЕСІЇ.
БІОЛОГІЧНІ СИСТЕМИ: ТЕОРІЯ ТА ІННОВАЦІЇ, 15(1): 37-60
<https://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/48302>
[http://dx.doi.org/10.31548/biologiya15\(1\).2024.004](http://dx.doi.org/10.31548/biologiya15(1).2024.004)**

Анотація. Від російських військ страждають природні ресурси України. Україна відома як один з найбільших виробників зерна в Європі. Україна є великим експортером пшениці (10% світового експорту), кукурудзи (15%), ячменю (15%), соняшнику (особливо олії – 50%). Російсько-українська війна, що триває, зміцнює нестабільну економічну систему в країні. Військові дії впливають на довкілля України з точки зору зміни клімату, ґрунту та впливу на сільське господарство, безпеку води та постачання. Відповідно до цього, виробництво зерна в Україні скоротилося на 40%, а структура втрат врожаю через війну: пшениця – 39%, соняшник – 17%, кукурудза – 12%, ячмінь – 8%, плоди та ягоди – 3%, ін. культур – 21%. Крім того, російсько-українська війна вплинула на наявність і якість води (ризик для водних ресурсів), якість і деградацію ґрунту (ризик для ґрунтових ресурсів), здоров'я та продуктивність лісів і середовище проживання видів (ризик для біологічних ресурсів). Наприклад, опис очисних споруд (обстріляно очисні споруди м. Миколаєва, пошкоджено очисні споруди с. Новотроїцьке Волноваського району Донецької області тощо), порушення водопостачання до с. рослинництво (пошкоджено зрошувальні системи в Україні: 94% у Херсонській області, 74% у Запорізькій області, 30% у Дніпропетровській області), забруднення поверхневих та підземних вод (масове затоплення військової техніки та боєприпасів у водоймах, витоки) нафтопродуктів та інших хімічних сполук).

У статті проаналізовано екологічну ситуацію під впливом російської агресії на стан природних ресурсів країни та обґрунтування наслідків цього впливу; визначено основні ризики для забезпечення країни продовольством та водопостачання галузей народного господарства, а також збереження компонентів довкілля; запропоновано розробку пропозицій щодо оцінки екологічної шкоди навколишньому середовищу внаслідок військової агресії Російської Федерації проти України.

Ми визначили основний ризик: для продовольчої безпеки (вплив військових дій на ґрунтові ресурси – ризик зниження потенціалу продовольчого забезпечення через втрату продуктивності землі, оскільки до 30% сільськогосподарських угідь видобувається і за результатами 2022 року втрати врожаю сягнули 17%); для екологічної безпеки (вплив військових дій на водні ресурси – пошкодження дамб і дренажних систем, руйнування очисних споруд, захоплення гідроелектростанцій, мінування берегової лінії, спричинене бактеріальним (нафтопродукти, мастила) та органічним (біогенні речовини) забруднення водойм і нестача води для населення (повна відсутність водопостачання на тимчасово окупованих територіях) та сільського господарства (постраждали зрошувальні мережі)); на охорону екосистем (уже постраждало до 20% заповідного фонду, під загрозою зникнення знаходяться 600 видів фауни та 750 видів флори, у тому числі занесених до Червоної книги).

Ключові слова: біоресурси, водні ресурси, ґрунтові ресурси, вплив російсько-української війни, ризики, наслідки.

ЕВТРОФІКАЦІЯ КИЇВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА УКРАЇНИ: ОГЛЯД ПИТАННЯ

А.В. КУРОВСЬКА,

здобувач наукового ступеня доктора філософії

зі спеціальності 101 «Екологія»,

E-mail: an.vs.kovpak@gmail.com;

<https://orcid.org/0000-0002-0588-1041>

Національний університет біоресурсів і природокористування України
Україна, м. Київ

Анотація. Актуальність роботи пов'язана із наявними процесами евтрофікації у водоймі Київського водосховища, які з кожним роком все посилюються. Дослідження проводилися на основі матеріалів лабораторних досліджень восени 2021 року (до початку повномасштабного вторгнення росії на територію України) та восени 2023 року (після повномасштабного вторгнення). Мета роботи передбачала визначити основні причинно-наслідкові зв'язки підсилення процесів евтрофікації водойми Київського водосховища, які наявні нині. Встановлено, що евтрофікація Київського водосховища відбувається у природних та антропогенних умовах. В ході аналізу було виокремлено основні причини природної (перенесення поживних речовин за рахунок повеней та паводків, посилення абразійних процесів, зміна клімату та температурного режиму) та антропогенної евтрофікації (сільськогосподарський та міський дренажі, військова діяльність). Аналізуючи причинно-наслідкові зв'язки інтенсифікації процесів евтрофікації, нами підкреслено основні наслідки від антропогенної навантаження для водойми водосховища для водної біоти (зміна трофічних зв'язків у водній екосистемі, мор риб, зменшення водного біорізноманіття), галузей народного господарства (погіршення естетичної цінності та якості води для водокористування, рекреації та сільського господарства), а також безпосередньо уточнено, що головними наслідками для водойми в цілому є токсичність води (поява ціанобактерій, що є шкідливими для біоти та людей; зниження розчиненого кисню у водоймі, що зумовлює несприятливі умови для функціонування біоти).

Ключові слова: Київське водосховище, евтрофікація, точкові джерела забруднення, дифузні джерела забруднення, зміна клімату, поживні речовини, якість води.

Вступ.

В Україні всі сфери господарської діяльності (водопостачання, зрошення, риборозведення, рекреація тощо) напряму залежать від ефективності функціонування водної політики (Strokal V.P., 2021), яка має забезпечувати якісною та безпечною водою у достатній кількості (Strokal V.P., Kovpak A.V., 2022a). Однією із причин погіршення якості води як для народного господарства, так і для водних об'єктів є посилення у водоймах процесів антропогенного евтрофування (Dmitrieva, O. et al., 2023; Mishra R.K., 2023).

Зокрема, Київське водосховище займає найвище положення у каскаді Дніпровських водосховищ та відноситься до категорії «великих» водосховищ України (Khilchevskiy V.K., Hrebin V.V., 2021). Київське водосховище – це динамічна гідросистема, яка виникла на місці затопленої заплави та берегових терас річок Дніпро та Прип'ять (Zub, L.M., Tomchenko, O.V., 2015). Інтенсифікація сільськогосподарства та зміна клімату вважаються основними чинниками, що підсилюють прояви небезпеки акумуляції біогенних речовин в результаті ґрунтово-ерозійних процесів та провокують «цвітіння» води при підвищенні температури повітря (Pichura, V.I., 2016). Проте варто зазначити, що антропогенний вплив на водойму Київського водосховища відбувається постійно, носить системний характер та проявляється через внутрішні (точкові та дифузні забруднення, сповільнення русла течії, деградація ландшафтів) та зовнішні впливи (військові дії, руйнування водної інфраструктури, нестабільна економічна ситуація, низький рівень соціальних

заходів, неспроможність забезпечення високоефективних технологій очищення стічних вод) (Strokal, V.P., Kovpak, A.V., 2022b).

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Багато вчених-науковців займаються питаннями, що стосуються екологічного стану водосховищ. У працях Дмитрієва О.О., Цапко Н.С., Мельник Л.В., Ємельянов С.П. розкриті наукові підходи та принципи дослідження процесів евтрофікації складових навколишнього середовища та обґрунтоване використання пігментів фітопланктону щодо оцінювання ступеня евтрофування водойм (Dmitrieva, O. et al., 2023). Суходольська І.І. та Ковальова І.В. досліджували вплив вмісту сполук нітрогену у водоймах та його вплив на фітопланктон у водоймах (Kovalova, I.V., & Sukhodolska, I.L., 2023). Вченими зроблений аналіз водойм з використанням методики оцінки екологічного стану водойми на основі ентропійно-зваженого індексу якості води ділянки р. Дніпро (Bezsonny, V.L., 2023). Також вченими досліджується питання розвитку процесів евтрофікації компонентів довкілля та наслідки даного процесу у вигляді «цвітіння», що може призвести до деградації природних водних біоценозів, популяцій і навіть в цілому екосистеми (Dmitrieva O.O. and others, 2023; Akinawo S.O., 2023). Екологічні, статистичні та інтегральні методи аналізу процесів евтрофікації досліджували вчені з Великої Британії та Китаю (Zhang, Y., Li, M., Dong, J. and others, 2021), Нідерландів та Австрії (Strokal M., Kahil T., Wada Y., Albiac J., Kroeze C.,

2020; Suresh K., Tang T., van Vliet M., Bierkens, M.F., 2023). Підхід моделювання та оптимізації, заснований на складному індексі евтрофікації для визначення навантаження, розподіленого кількома поживними речовинами наведено у працях зарубіжних вчених (Yang Y., Li K., Liang, & Wang X., 2024; Akinawo S.O., 2023). Вплив процесів евтрофікації на якість питної води також є актуальною темою науковців (Mishra R K., 2023), які зосереджують увагу на вагомості очищення евтрофної води для питних цілей, оскільки вважають що евтрофна вода становить серйозну загрозу для здоров'я тварин, людей.

Відповідно до сказаного, якість водойми Київського водосховища потребує більш значної уваги для дослідження, оскільки забезпечує водою 2/3 частини Київської області. Зважаючи на проблеми евтрофікації, які наявні у водоймі водосховища, дане питання потребує більш детального аналізу на виявлення основних причинно-наслідкових зв'язків підсилення процесів евтрофікації, які прогресують у даній водоймі.

Матеріали і методи дослідження.

Дослідження проводилися на основі матеріалів лабораторних досліджень восени 2021 року (до початку повномасштабного вторгнення росії на територію України) та восени 2023 року (після повномасштабного вторгнення). **Мета роботи** передбачала визначити основні причинно-наслідкові зв'язки підсилення процесів евтрофікації водойми Київського водосховища, які наявні нині. Основними завданнями роботи було виокремити причини появи процесів

природної та антропогенної евтрофікації у водоймі водосховища; зробити аналіз основних наслідків появи процесів евтрофікації водойми та відобразити їх основні проблеми для видів природокористування та водної екосистеми.

Результати дослідження та їх обговорення.

Київське водосховище має важливе значення для регулювання річкового стоку в нинішніх реаліях (Sryberko, A.V., 2022). Слід зазначити, що дане водосховище виконує ряд важливих функцій, зокрема водно-регуляторну, захисну, водогосподарську, рибогосподарську, екологічну функції (Strokal, V.P., Kovpak, A.V., 2022a). Деякі із функцій переплітаються із потребами народного господарства, зокрема водогосподарська функція відповідає за потреби як водопостачання, зрошення та риборозведення (Strokal, V.P., Kovpak, A.V., 2021a; Strokal, V.P., Kovpak, A.V., 2022a).

Зокрема вчені називають водосховища р. Дніпра «евтрофними водосховищами» (Dmitrieva O.O. and others, 2023), які є джерелами водопостачання для 2/3 частини України. Відповідно, процес евтрофування посилює у водоймі процеси евтрофікації – «цвітіння водойм» – інтенсивного розмноження фітопланктону у водоймі, який спричинює значні екологічні наслідки для всіх сфер господарської діяльності (риборозведення, водопостачання, зрошення, напування тварин тощо) (Strokal, V.P., Kovpak, A.V., 2021a; Boyd C.E., & Boyd C.E., 2020). Варто уточнити, що саме забруднювачі водойми є продуктами життєдіяльності планктону і погіршення якості води. Ці процеси

найбільше притаманні озерам та водосховищам, адже відносна нерухомість водного середовища сприяє накопиченню у водній товщі біогенних елементів (Stryberko, A.V., 2022).

Варто зазначити, що протягом останніх 50 років динаміка різноманіття фітопланктону Київського водосховища постійно зростає. За даними досліджень (Scherbak, V.I., 2015) таксономічний склад фітопланктону, який присутній у водоймі Київського водосховища складає Cyanophyta, Euglenophyta, Diphyta, Cryptophyta, Chrysophyta, Bacillariophyta, Xanthophyta, Chlorophyta. Частка синьо-зелених водоростей складає 10-14%. В ході досліджень вчених, було зазначено, що сукцесія фітопланктону Київського водосховища характеризується як зелено-діатомово-синьозелена (Scherbak, V.I., 2015).

Евтрофікація є серйозною екологічною проблемою водойми Київського водосховища, що виникає коли надлишок поживних речовин потрапляє у водойму, що відповідно призводить до надлишку простих рослин (фітопланктону). Цей процес має серйозні наслідки для якості води та водної екосистеми Київського водосховища (Strokal V.P., Kovpak A.V., 2021a; Strokal V.P., Kovpak A.V., 2022b).

З цієї метою нами було проаналізовано причинно-наслідкові зв'язки посилення процесів евтрофікації, які ми спостерігаємо протягом останніх років дослідження. Основний наголос було зроблено на аналізі вмісту поживних речовин (сполук азоту та фосфору), рівня забезпеченості водойми розчинним киснем (Strokal V.P., Kovpak A.V., 2021a; Strokal V.P., Kovpak A.V., 2022b).

Варто зазначити, що на якість водойми Київського водосховища

впливають як антропогенна евтрофікація, так і природна (табл.1, рис.1). Природна евтрофікація відбувається через природні процеси і є повільнішою, її можна прослідкувати в часі та в динаміці враховуючи статистичні дані попередніх досліджень науковців. Проте антропогенна евтрофікація характеризується прискореним процесом, який має більш виражений характер.

Слід відмітити, що основними причинами посилення процесів природної евтрофікації є зміна клімату, зокрема підвищення рівня температури повітря, що спричинило збільшення кількості нерівномірних опадів, наявність безморозного періоду (2021 рік), появу нетипової посухи у періоди весни та восени (Strokal V.P., Kovpak A.V., 2021b; Snizhko, S., 2021). Дані процеси спонукали до появи паводків та повенів, які у свою чергу спричинили посилення абразійних процесів на правому березі водосховища, зарегульованості у неглибоких місцях водойми, до зменшення глибини водойми.

Антропогенна евтрофікація водойми має чітко виражений характер. Зокрема нами було прослідковано вплив антропогенних чинників на водойму водосховища (сільськогосподарський дренах, міський дренаж, війна) у 2021 році та в 2023 році. На рисунку 1В та 1Г за 2021 рік дослідження – схематично наведені основні антропогенні чинники та фото місць дослідження. На фото можемо прослідкувати часткові процеси евтрофікації, мор риб у місцях біля с. Казоровичі, наявність поживних речовин. Слід зазначити, що вплив річок Кізка та Ірпінь має важливе значення, оскільки у їхніх водах містяться поживні речовини та інші за-

1. Евтрофікування Київського водосховища

Природна евтрофікація		Антропогенна евтрофікація	
Причина: Затоплення або перенесення поживних речовин: сезони повені та паводки, які спричинили до переміщення поживних речовин із землі до водойми, та відкладення їх на дні водосховища, утворюючи осади.		Причина: Сільськогосподарський дренаж: с.г. практика передбачає використання добрив, багатих сполуками азоту та фосфору, які під час дощу змиваються з полів до водойми водосховища	
Наявність проблеми:	Прогнозуємо що це відбувається на правій стороні водосховища, оскільки на цій території присутні обвали та осипи (від с. Сухолуччя до с. Старі Петрівці), наявні абразійно-зсувні та абразійно-обвальні процеси абразії (від меж с. Міжгір'я до с. Старі Петрівці) (Strokal, V.P., Kovpak, A.V., 2022a). Під час досліджень спостерігали абразійні процеси	Наявність проблеми:	Вздовж правого берега водосховища розміщені приватні сільські населені пункти (Нові Петрівці, Старі Петрівці, Лютіж, Демидів, Казаровичі, Димер, Глібівка), в яких ведеться локальна сільськогосподарська діяльність (Strokal, V.P., Kovpak, A.V., 2022b). Відповідно не передбачено ніяких контролюючих заходів щодо використання добрив селянами.
Наслідки:	Сповільнення русла річки (швидкості течії) Накопичення біомаси на дні річки (зменшується глибина русла)	Наслідки:	Неконтрольоване надходження поживних речовин у водойму водосховища
Причина: Зміна клімату та температури: збільшення кількості нерівномірних опадів за останні 10 років, коливання температур (від дуже високих до низьких, або наявність безморозного періоду, як це було у 2021 році)		Причина: Міський дренаж: у містах та сільських населених пунктах утворюється значна кількість стічних вод, дощових стоків і промислових відходів, які багаті поживними речовинами та забруднювачами	
Наявність проблеми:	Київське водосховище має транзитну (стокові види течій – правий берег водосховища) та нетранзитну зону течій (водні маси – лівий берег водосховища) (Strokal, V.P., Kovpak, A.V., 2022a). За даними (Strokal, V.P., Kovpak, A.V., 2021b) з 2016 р. спостерігається підвищення температури повітря в середньому на +1,7 ° С вище норми. Залежність від температури повітря прослідковується за показниками поживних речовин у воді. В період з високими температурами повітря (влітку) процеси евтрофікації посилюються. Зберігається тенденція до збільшення інтенсивності опадів (грудень 2019 р	Наявність проблеми:	Вздовж правого берега водосховища 75% присадибних приватних ділянок не мають централізованого водовідведення (Strokal, V.P., Kovpak, A.V., 2022b). Відповідно вивіз комунальних стічних вод з вигрібних ям не контролюється, наявність облаштованих вигрібних ям згідно вимог не контролюється. На правому березі знаходяться с.г. та промислові підприємства (ТОВ «Чіпси Люкс», ТОВ «Агромас»). Ліва сторона водосховища представлена зеленою лісосмугою та базами відпочинку (Strokal, V.P., Kovpak, A.V., 2022b). Нажаль протягом досліджень (2020-2023 рр.) ми не змогли отримати інформацію про

Природна евтрофікація		Антропогенна евтрофікація	
	випало півторамісячні норми опадів (Strokal, V.P., Kovpak, A.V., 2021b) та появи нетипової посухи (Snizhko, S. and others, 2021).		наявність системи очистки стічних вод на підприємствах які безпосередньо скидаються у водойму водосховища. Також вздовж лівої сторони ми постійно спостерігали не-санкціоновані сміттєзвалища, які розміщені були за 50-100 метрів від водойми.
Наслідки:	Відбулися зміни у моделях циркуляції води, що спричинили до зменшення швидкості течій, чим самим зумовивши процеси зарегульованості водосховища (Strokal, V.P., Kovpak, A.V., 2021b)	Наслідки:	В пробах води, які були відібрані біля підприємств та вздовж лівого берегу водосховища за 2021-2022 роки спостерігали значне перевищення поживних речовин та наявність сміття у водоймі (пластику) (Strokal, V.P., Kovpak, A.V., 2022b). Прогнозуємо що дана ситуація сприяла збільшенню біогенного навантаження у водоймі, оскільки в одній із точок відбору проб (с. Казаровичі, 2021 р.) було знайдено мор риб. В іншій точці (за 10 км від Київської ГЕС по дамбі) у 2021 році спостерігали наявність замулення, появи незначної кількості ціанобактерій, проте восени 2023 року – наявність водоростей збільшилася у водоймі суттєво і ми спостерігали значні посилені процеси евтрофікації.
		Причина: Військові дії: руйнування водної інфраструктури, що призводить до масових затоплень територій, виносу поживних речовин та різного роду забруднювачів до водойми, водного дефіциту для всіх видів народного господарства	
		Наявність проблеми:	Слід зазначити, що з початку повномасштабного вторгнення росії прибережні зони водосховища, дамби, гідротехнічні споруди постійно зазнають впливу. З метою захисту м. Києва, 25 лютого 2022 року була зруйнована дамба, що захищала долину р. Ірпінь від затоплення. Відповідно, після руйнування відбулося значне затоплення сіл Демидів і частково с. Козаровичі,

Природна евтрофікація		Антропогенна евтрофікація	
			в тому числі – затоплені меліоровані угіддя. Затоплена ділянка в наявності і нині, тобто ситуація з 2022 року по 2023 рік включно не змінилася. На цій ділянці можемо спостерігати як населення ловить рибу (Strokal, V.P. and others, 2023).
		Наслідки:	З полів відбувся змив великої кількості органічних, біогенних речовин, відходів різного характеру (покришки, пластикові пляшки, скло, тверді побутові відходи) (Strokal, V.P. and others, 2023). Підтвердженням цього є наявність лабораторних досліджень, в яких порівняно із 2021 роком (до руйнування дамби) вміст поживних речовин збільшився до 3 разів (Strokal, V.P., Kovpak, A.V., 2022c).
Загальні наслідки:			
Для водної біоти (екосистема):		– Зміни у видовому складі (трофічних зв'язках) водної біоти – Загибель риби внаслідок зменшення кількості розчиненого кисню у воді – Зменшення біорізноманіття за рахунок пригнічення їх росту за рахунок активного цвітіння водоростей	
Для галузей народного господарства (види водокористування)		– Погіршення естетичної цінності водойми. Зокрема надмірний ріст водоростей може призвести до помутніння та каламутності води, появи неприємного запаху і зміни кольору, що може зробити воду непридатною для рекреаційних заходів. – Погіршення якості води та її доступності. Вміст поживних речовин зумовлює біогенне забруднення водойми, що створює загрозу для використання даної води у галузях сільського господарства (рослинництво та тваринництво) та в рибній галузі.	
Для водної екосистеми та в сферах господарства		– Токсичність води - поява токсинів ціанобактерій (мікроцистини) є шкідливими для водної флори та фауни та становлять небезпеку для здоров'я людини при попаданні в середину або через прямий контакт із забрудненою водою. Також токсичність води спричинює дефіцит води у всіх галузях господарства. – Зниження розчиненого кисню, що пригнічує розвиток та розмноження водної біоти, а також впливає на рибну галузь господарства. Зокрема у міру зростання популяції водоростей товстий шар на поверхні води може блокувати сонячне світло, це заважає зануреним водним рослинам фотосинтезувати та виробляти кисень	

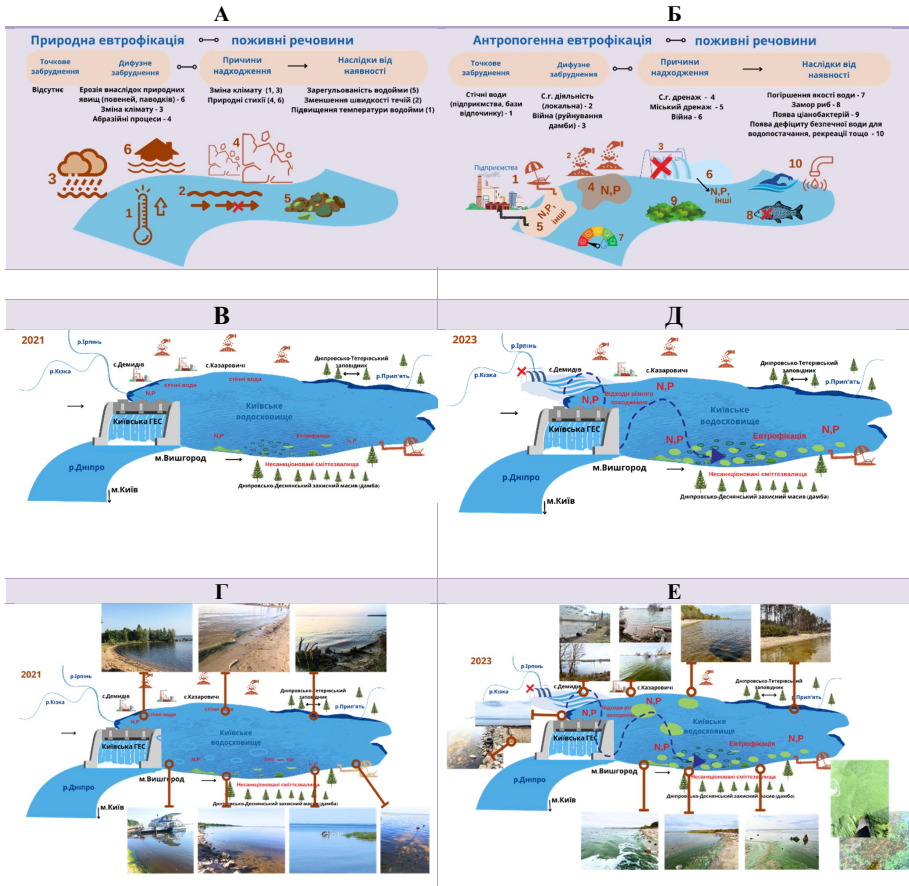


Рис.1. – Схематичне зображення причинно-наслідкових зв'язків інтенсифікації процесів евтрофікації водойми Київського водосховища (А – причини та наслідки від природної евтрофікації; Б – причини та наслідки від антропогенної евтрофікації; В, Г – вплив на водойму антропогенного навантаження відповідно до досліджень восени 2021 року (причини та наслідки наведені у табл.1); Д, Е - вплив на водойму антропогенного навантаження відповідно до досліджень восени 2023 року (причини та наслідки наведені у табл.1)).

бруднювачі, які перевищують встановлені норми (Strokal, V.P., Kovpak, A.V., 2022b). Після повномасштабного вторгнення росії на територію країни (24.02.2022 р.) естетичний вигляд та якість водойми водосховища суттєво погіршилися (див. рис. 1Д та 1Е). Як бачимо з фото, процеси антропогенної евтрофікації суттєво погірши-

лися. З схеми (рис. 1Д) ми бачимо як руйнування дамби що біля с. Казаровичі вплинула на стан водойми. Варто сказати, що дамба була зруйнована 25 лютого 2022 року, відбулося затоплення територій та відповідно виніс поживних речовин та інших відходів із приватного сектору селян до водойми водосховища, і нині ми спостерігаємо

що на місці розливу – затоплені меліоративні угіддя – так і залишилися вони затопленими (табл. 1) (Strokal, V.P. and others, 2023; Strokal, V.P., Kovpak, A.V., 2022c; Strokal V., Kurovska A., & Strokal M., 2023). Нами спрогнозовано, що за рахунок стокових течій та водних мас, поживні речовини та відходи з затопленої території потрапивши до водойми водосховища – надійшли до протилежної сторони водосховища (ліва сторона) і зумовили масове розмноження ціанобактерій уздовж прибережної лівого берега водосховища на глибині водойми до 2 метрів. Також у деяких ділянках водойми (від с. Казаровичі, в сторону до с. Демидів) зустрічаються покритишки у водоймі та відходи різного походження. В ділянці (за Казаровицькою дамбою в сторону с. Демидів, де відбулося затоплення територій) водойма мала вигляд «киплячої води» (спостереження проводили 19 жовтня 2023 р.).

Варто зазначити, що військова діяльність досить суттєво впливає на стан водойми. Науковцями кафедри екології агросфери та екологічного контролю Національного університету біоресурсів і природокористування України були зроблені ґрунтовні дослідження щодо впливу зруйнованої водної інфраструктури (дамби, греблі, комунальні станції тощо) на стан природних водних ресурсів та їхню якість. Зокрема ними обґрунтовано, що якісний стан води суттєво погіршується під час руйнування дамб та каналізаційних очисних станцій (Strokal, V.P., 2023).

Висновки.

Евтрофікація Київського водосховища відбувається у природних та антропогенних умовах. В ході аналізу

було виокремлено основні причини природної (перенесення поживних речовин за рахунок повеней та паводків, посилення абразійних процесів, зміна клімату та температурного режиму) та антропогенної евтрофікації (сільськогосподарства для водної біоти (зміна трофічних зв'язків у водній екосистемі, мор риб, зменшення водного біорізноманіття), галузей народного господарства (погіршення естетичної цінності та якості води для водокористування, рекреації та сільського господарства), а також безпосередньо уточнено, що головними наслідками для водойми в цілому є токсичність води (поява ціанобактерій, що є шкідливими для біоти та людей; зниження розчиненого кисню у водоймі, що зумовлює несприятливі умови для функціонування біоти).

Зробивши огляд проблеми евтрофікації Київського водосховища можна сказати, що евтрофікація водойми водосховища перебуває на етапі «цвітіння водоростей», якому передують етап надходження поживних речовин до водойми, та наступним є – виснаження кисню у водоймі й створення «мертвих зон». Щоб не допустити перехід процесу евтрофікації до наступних етапів необхідно проводити ряд заходів, зокрема мінімізувати забруднення з точкових джерел, таких як стічні води; зменшити надходження поживних речовин від сільської практики (сільський дренаж) та інших дифузних джерел забруднення.

У продовженні досліджень передбачено продовження ґрунтового аналітичного аналізу вмісту поживних речовин у водоймі, та на основі його – конкретизація чинників впливу на якість води для видів користування (сільське господарство, рекреація, питні цілі).

References

1. Sryberko, A.V. (2022). Kyiv Reservoir from the project to the present. Materials of the Student Scientific Conference of the Odessa State Environmental University (May 11-18, 2022, Odesa). Available at: http://eprints.library.odetu.edu.ua/id/eprint/11409/1/%D0%A1%D0%9D%D0%9A_%D0%9E%D0%B4%D0%B5%D1%81%D0%B0_%202022_205.pdf (in Ukraine)
2. Strokal V.P., Kovpak A.V. (2022a). Anthropogenic impacts on water quality of the Kyiv reservoir (part 1: hydrological, geological, and biological characteristics). *Scientific journal "Biological systems: theory and innovations"*, № 1-2(13). Available at: [http://dx.doi.org/10.31548/biologiya13\(1-2\).2022.006](http://dx.doi.org/10.31548/biologiya13(1-2).2022.006) (in Ukrainian)
3. Dmitrieva, O., Tsapko, N., Melnik, L., Emelyanov, S. (2023). Use of phytoplankton pigments to assess the degree of eutrophication of water bodies. *Scientific and practical journal "Ecological Sciences"*. № 4(49). Available at: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.8> (in Ukrainian)
4. Strokal, V. (2021). Transboundary rivers of Ukraine: perspectives for sustainable development and clean water. *Journal of Integrative Environmental Sciences*, 18(1), 67-87. Available at: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1943815X.2021.1930058> (in English)
5. Scherbak, V.I. (2015). Phytoplankton succession in the Kyiv water reservoir and assessment of its transboundary section. Scientific Issue Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series: *Biology*, Vol.64, №13-4, 2015, p. 757-760. Available at: <http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/5946/1/Scherbak.pdf> (in Ukrainian)
6. Khilchevskiy, V. K., & Hrebin, V. V. (2021). Large and small reservoirs of Ukraine: regional and basin features of distribution. *Hidrolohiia, hidrokimiia i hidroekologhiia. Bioresursy ta ekolohiia vodoim*, №2(60). 6-17. Available at: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.2.1> (in Ukrainian)
7. Strokal, V. P. and others (2023). The implications of the Russian-Ukrainian war on the state of natural resources in Ukraine: the monograph / V.P. Strokal, Ye.M. Berezhniak, O.I. Naumovska, L.V. Vagaliuk, M.M. Ladyka, G.A. Serbeniuk, S.P. Palamarchuk, S.D. Pavliuk // Under the general editorship of V. P. Strokal. Kyiv: Publishing Center of NUBiP of Ukraine, 210 p. Available at: <https://dglb.nubip.edu.ua/handle/123456789/10632> (in Ukrainian)
8. Strokal, V.P., Kovpak, A.V. (2021a). Causes of nutrient pollution in the Dnieper river basin: theoretical syntheses. *Scientific and practical journal "Ecological Sciences"*. №2 (35). pp. 37-44. Available at: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.2-35.6> (in Ukrainian)
9. Zub, L.M., Tomchenko, O.V. (2015). The formation of vegetation cover and some features of the hydrochemical regime of the Kyiv Reservoir. *Scientific and practical journal "Ecological Sciences"*. №1(8). pp. 21-31. Available at: http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2015/8/8_2015.pdf (in Ukrainian)
10. Strokal, V.P., Kovpak, A.V. (2022b). Anthropogenic impacts on water quality of Kyiv reservoir (part 2: water quality and pollution sources). *Scientific journal "Biological systems: theory and innovations"*, 13(3-4). pp.46-66. Available at: [http://dx.doi.org/10.31548/biologiya13\(3-4\).2022.073](http://dx.doi.org/10.31548/biologiya13(3-4).2022.073) (in Ukrainian)
11. Pichura, V.I. (2016). Spatio-temporal trends of changes in the trophic state of reservoirs of the Dnipro River. *Bulletin National University of Water and Environmental Engineering*, 4(76). Available at: <https://visnyk.nuwm.edu.ua/index.php/agri/article/view/188> (in Ukrainian)
12. Strokal, V.P., Kovpak, A.V. (2021b). Ecolog-

- ical assessment of water quality for different water uses: the upstream sub-basin of the Dnieper and Desna rivers *Scientific journal "Biological systems: theory and innovations"*, № 2(12). pp. 24-40. Available at: <http://dx.doi.org/10.31548/biologiya2021.02.003> (in Ukrainian)
14. Snizhko, S. (2021). Analysis of the impact of climate change on the water resources of Ukraine (full report based on project results) / Snizhko S., Shevchenko O., Didovets Yu. // Center for Environmental Initiatives "Ekodia", 68 p. Available at: <https://ecoaction.org.ua/vodnist.html> (in Ukrainian)
15. Stokhal, V.P., Kovpak, A.V. (2022c). Military conflicts and water: consequences and risks. *Scientific and practical journal "Ecological Sciences"*, 5(44). Available at: <http://www.ecoj.dea.kiev.ua/archives/2022/5/14.pdf> (in Ukrainian)
16. Stokhal, V., Kurovska, A., & Stokhal M. (2023). More river pollution from untreated urban waste due to the Russian-Ukrainian war: a perspective view. *Journal of Integrative Environmental Sciences*, 20(1), 2281920. Available at: <https://doi.org/10.1080/1943815X.2023.2281920> (in English)
17. Kovalova, I.V., & Sukhodolska, I. L. (2023). Water quality assessment of the Stubelka River based on phytoplankton indicators. *Ukrainian Journal of Natural Sciences*, (6), pp.125-135. Available at: <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.6.2023.13> (in Ukrainian)
18. Bezsonny, V.L. (2023). Methodology for assessing the ecological state of a reservoir based on the entropy-weighted water quality index. *Scientific and practical journal "Ecological Sciences"*, №2(47). pp.44–48. Available at: <http://repository.hneu.edu.ua/handle/123456789/29752> (in Ukrainian)
19. Dmitrieva, O.O., Tsapko, N. S., Koldoba, I.V., Lysov, B.V., & Teliura, N.O. (2023). Environmental monitoring of eutrophication process in water bodies across Ukraine. *Scientific and practical journal "Ecological Sciences"*, №3(48). pp.143-147. Available at: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.3-48.23> (in English)
21. Boyd, C.E., & Boyd, C.E. (2020). Eutrophication. *Water Quality: An Introduction*, 311-322. Available at: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-23335-8_15 (in English)
22. Zhang, Y., Li, M., Dong, J., Yang, H., Van Zwieten, L., Lu, H., ... & Wang, H. (2021). A critical review of methods for analyzing freshwater eutrophication. *Water*, 13(2), 225. Available at: <https://doi.org/10.3390/w13020225> (in English)
23. Stokhal, M., Kahil, T., Wada, Y., Albiac, J., Bai, Z., Ermolieva, T., ... & Kroeze, C. (2020). Cost-effective management of coastal eutrophication: A case study for the Yangtze river basin. *Resources, Conservation and Recycling*, 154, 104635. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104635> (in English)
24. Suresh, K., Tang, T., van Vliet, M., Bierkens, M. F., Stokhal, M., Sorger-Domenigg, F., & Wada, Y. (2023). Recent advancement in water quality indicators for eutrophication in global freshwater lakes. *Environmental Research Letters*. Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/acd071/meta> (in English)
25. Yang, Y., Li, K., Liang, S., Lin, G., Liu, C., Li, J., ... & Wang, X. (2024). A simulation-optimization approach based on the compound eutrophication index to identify multi-nutrient allocated load. *Science of The Total Environment*, 906, 167626. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167626> (in English)
26. Akinnawo, S.O. (2023). Eutrophication: Causes, Consequences, Physical, Chemical and Biological Techniques for Mitigation Strategies. *Environmental Challenges*, 100733. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100733> (in English)

27. Mishra, R. K. (2023). The effect of Eutrophication on Drinking Water. *British Journal of Multidisciplinary and Advanced Studies*, 4(1), 7-20. Available at: <https://doi.org/10.37745/bjmas.2022.0096> (in English)
-

Kurovska A. (2024)

EUTROPHICATION OF THE KYIV RESERVOIR OF UKRAINE: REVIEW

BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 15(1): 61-72.

<https://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/48299>

[http://dx.doi.org/10.31548/biologiya15\(1\).2024.005](http://dx.doi.org/10.31548/biologiya15(1).2024.005)

Abstract. It is known that the process of eutrophication in freshwater (especially in lakes and reservoirs) is increasing every day. That is why the relevance of this research is related to the existing processes of eutrophication in the Kyiv Reservoir of Ukraine. The research was conducted on the basis of laboratory research materials in 2021 year (before starting russian-Ukrainian war – 24.02.2022) and in 2023 year (after 600 days starting russian-Ukrainian war). The main aim of the research was to determine the main cause-and-effect relationships of strengthening eutrophication processes of the Kyiv Reservoir, which are currently available. It has been established that eutrophication of the Kyiv Reservoir occurs under natural and anthropogenic conditions. During the analysis (2021-2023 years), we identified the main causes of natural (transportation of nutrients due to floods, increased abrasion processes, climate change) and anthropogenic eutrophication (agricultural and urban activities, military activities). Analyzing the cause-and-effect relationships of the intensification of eutrophication processes, we emphasized the main consequences of the anthropogenic load on the water body of the reservoir for aquatic biota (change in trophic relationships in the aquatic ecosystem, reduction of aquatic biodiversity), for different branch of human activities (deterioration of the aesthetic value and water quality for water use, recreation and agriculture). Also, we highlighted the implications of eutrophication for the reservoir such as water toxicity that can influence the water bodies and biota (the appearance of cyanobacteria, which are harmful to biota and people).

Keywords: Kyiv Reservoir, eutrophication, point sources of pollution, diffuse sources of pollution, climate change, nutrients, water quality.

ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНЯ АКУСТИЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ЖИТТЄДІЯЛЬНІСТЬ ЛЮДИНИ

Л.Е. ПІСКУНОВА¹,

*доцент кафедри загальної екології, радіобіології та безпеки
життєдіяльності,*

<https://orcid.org/0000-0002-6351-0660>,

piskunova2712@ukr.net,

Г.А. СЕРБЕНЮК¹,

старший викладач кафедри екології агросфери та екологічного контролю,

<https://orcid.org/0000-0001-9187-0623>

bojruw@ukr.net

Н.Б. ГОЛІЧЕНКО²,

*завідувач сектору міжнародного співробітництва відділу науково-
правового забезпечення та міжнародного співробітництва*

<https://orcid.org/0000-0002-0382-318X>

¹*Національний університет біоресурсів і природокористування України
Україна, м. Київ*

²*Український інститут експертизи сортів рослин, м. Київ, Україна*

Анотація. *Результати акустичних вимірів та соціологічні дослідження свідчать, що головним джерелом акустичного забруднення в містах є автотранспорт. Приблизно кожний другий міський житель страждає від створюваного ним шуму.*

Недосконалість законодавчо- нормативної бази, відсутність економічних важелів регулювання допустимих рівнів звуку є причиною зростання акустичного забруднення міст.

Найбільш вивчений промисловий шум, а проблему міського вуличного шуму досліджено менше. Дослідити вуличний шум дуже непросто, оскільки цей вид шуму може виникати від великої кількості джерел. Метою роботи було вимірювання шумового забруднення та його режиму в межах двох міст різних країн. Розгляд процесів впливу шумового забруднення на здоров'я людини і стан навколишнього середовища, аналіз сучасного стану шумового забруднення урбанізованих територій, визначення сучасних механізмів вирішення питань щодо шумового забруднення урбанізованих територій. В Україні відсутні вимоги щодо граничних величин для індикаторів моніторингу середньорічних рівнів шумового забруднення та оцінювання їх величин. Тому, необхідно запровадити

постійний моніторинг рівнів шуму від пересувних джерел, адже зараз українським законодавством не передбачено чіткого алгоритму регламентації моніторингових досліджень шуму, що ускладнює процес обробки та аналізу інформації, необхідної для складення якісної стратегічної карти шуму для міського середовища.

Досліджена динаміка шумового забруднення на вулицях Голосіївського району м. Києва у порівнянні з вулицями м. Кельн Німеччина дає змогу зрозуміти, що суттєвий вплив на рівень шумового забруднення має тип дорожнього покриття, інтенсивність руху, організація та склад транспортного потоку. Методи розрахунку очікуваного рівня шуму автомобільного транспорту, можуть бути взяті за основу при виборі будівельно-акустичних заходів щодо захисту від транспортного шуму житлових приміщень та громадських будівель.

Ключові слова: акустичне забруднення, акустика, шум, фізичні параметри шуму, джерело шуму, ультразвук, навколишнє природне середовище.

Вступ.

Шкідливий та небезпечний вплив шуму на організм людини встановлено достеменно. Ступінь такого впливу, переважно, залежить від рівня та характеру шуму, форми та тривалості впливу, а також індивідуальних особливостей людини. Шум належить до загально фізіологічних подразників, які за певних обставин можуть впливати на більшість органів та систем організму людини.

Негативний вплив на людину від шуму мегаполісу на 36% більш значущий, ніж від паління тютюну, яке скорочує життя людини у середньому на 6-8 років. З фізіологічної точки зору шумом може бути названий будь-який небажаний звук, який заважає сприйняттю корисних звуків (людської мови, сигналів тощо), порушує тишу та здійснює шкідливий вплив на людину.

За останні 30 років спостерігається збільшення шумового навантаження на 12-15 дБА у всіх великих мегаполісах світу, суб'єктивна гучність виросла в 3-4 рази. У сучасних містах, зі значним рухом транспорту,

рівень шуму наближений до небезпечної межі 80 дБА (Zerbino, D.D., 2013).

Особливо вражає вплив шумового забруднення на жителів міст. Експерти вважають, що у великих містах шум скорочує тривалість життя людини на 8-12 років (Yaremko Z.M., 2005). Якщо на 100 тис. сільських мешканців припадає 20-30 тих, хто погано чує, то в містах ця цифра збільшується у 5 разів. Якщо рівень шуму постійно перевищує 85 дБА, то у людини знижується слух з 30 років, в той час як природнім вважають такий процес у віці після 70 років (Honcharuk, E.G. et al., 2006).

Результати акустичних вимірів та соціологічні дослідження свідчать, що головним джерелом акустичного забруднення в містах є автотранспорт. На сьогодні спостерігається тенденція до розширення площ акустичного дискомфорту на забудованих територіях. Недосконалість законодавчо- нормативної бази, відсутність економічних важелів регулювання допустимих рівнів звуку є причиною зростання акустичного забруднення міст.

Найбільш вивчений промисловий шум, а проблему міського вуличного шуму досліджено менше. Дослідити вуличний шум дуже непросто, оскільки цей вид шуму може виникати від великої кількості джерел.

Визначення наслідків впливу акустичного забруднення довкілля на людину, встановлення джерел акустичного забруднення довкілля в різних місцях міста Києва та порівняння із шумовим забрудненням вулиць європейських міст питання актуальне, насамперед, із-за можливості проаналізувати основні методи і засоби захисту від акустичного забруднення довкілля та надати рекомендації щодо зниження рівня акустичного забруднення.

Мета роботи – дослідження рівня акустичного забруднення та його режиму в межах двох міст різних країн. Розгляд процесів впливу шумового забруднення на здоров'я людини і стан навколишнього середовища, аналіз сучасного стану шумового забруднення урбанізованих територій, вивчення питань правового регулювання захисту навколишнього середовища та населення від шуму в Україні та визначення сучасних механізмів вирішення питань щодо шумового забруднення урбанізованих територій.

Особлива увага приділялась встановленню основних джерел впливу, інтенсивності шумового навантаження вздовж автомобільних шляхів та поблизу житлових будинків, які знаходяться вздовж доріг, зупинкам громадського транспорту.

Методи досліджень.

натурні вимірювання рівнів акустичного забруднення, аналіз, порів-

няння даних натурних вимірювань з нормативними, статистична обробка результатів досліджень, узагальнення. Вимірювання максимального рівня звуку проводились за допомогою multifunctionalного приладу FLUSET-965, що фіксує шумові впливи в частотному діапазоні 31.5 Гц до 8 КГц, похибка вимірювання $\pm 1,5$ дБА. Прилад містить акустичний фільтр, що дозволяє знімати з табло показники рівня звуку, чутність якого в діапазоні від 30 до 130 дБА. Вимірювання проводились за стандартною методикою, прилад використовується в наукових дослідженнях кафедрою загальної екології, радіобіології та безпеки життєдіяльності НУБіП України.

Перші наукові відомості про міський шум були отримані в 20-х роках 20 століття, коли доктором Фрі США і Р. Голтом в Англії були проведені натурні дослідження міських джерел шуму. В Україні подібні дослідження були зроблені в 30-х роках: Ржевним С.М., Нав'язьким Г.Л., Славним І.І., Олексієвим С.П., Ліфшицем С.Я. та іншими. Вже тоді дослідження показали, що міський шум складається переважно з шумів міського транспорту, промислових підприємств та побутових шумів. У цьому транспортні шуми є першому місці. Найчастіше саме шум від транспорту визначає шумовий фон міста і тому його зниження є основним завданням розробки спільної проблеми боротьби з міським шумом. Але сучасній людині вже не втекти від шуму навіть у квартирі, тому що постійно працюючі побутові прилади, телевізор і радіо перевищують допустимий рівень звуків.

За санітарними нормами, допустимим рівнем шуму, який є безпечним для слуху навіть за тривалого

впливу, прийнято вважати: 55 децибелів у денний час і 40 вночі відповідно. Такі величини вважаються нормальними для нашого вуха, але, на жаль, найчастіше і повсюдно вони порушуються, особливо у межах великих міст (Zhirkova N.Y., 1999).

Виходячи з цього, можна стверджувати, що більшість шумів, з якими ми стикаємося щодня, набагато перевищують допустимий поріг норми. І це лише частина шумів, які нас оточують. Адже є ще шум від телевізора, гучної музики, роботи будівельної техніки, яким ми самі піддаємо свій слуховий апарат. І власноручно завдаємо нашому слуху величезну шкоду (Tyasto A.A. & Kuymova M.V., 2018).

На даний момент розглядається гостра проблема шумового забруднення у Києві: значної частини київських житлових будинків рівень шуму помітно перевищує допустимі значення. Особливо перевищують нормативи шуму райони з великими магістральними автотрасами і райони інтенсивної забудови.

Згідно з експертними оцінками, близько 80% населення столиці проживає в зонах акустичного дискомфорту. Дослідниками встановлено, що спостерігається погіршення природного імунітету та підвищення загальної захворюваності людей (Pukalo M. et al., 2016).

Значний вклад у загальну звукову потужність транспортного шуму вносять саме легкові автомобілі. Вони є джерелами низькочастотного шуму, який має високу проникну здатність. Збільшення кількості вантажного та громадського транспорту на 13% у транспортних потоках посилює шум на 1дБ (Pukalo M. et al., 2016).

В даний час шуми для умов місь-

кої забудови нормують відповідно до ДБН В.1.1-31:2013 «Захист територій, будинків і споруд від шуму» (DBN V.1.1-31:2013). Санітарні норми є обов'язковими для всіх міністерств, відомств та організацій, що проектують, будують та експлуатують житло та громадські будівлі, що розробляють проекти планування та забудови міст, мікрорайонів, житлових будинків, кварталів, комунікацій, а також для організацій, що проектують, виготовляють та експлуатують транспортні засоби.

Результати дослідження та їх обговорення.

Для визначення наслідків впливу фізичного забруднення довкілля на людину було обрано вулиці в Голосіївському районі міста Києва та вулиці міста Кельн, Німеччина (Рис.1, 3, 5).

У експериментальних дослідженнях використано методику визначення шумового забруднення атмосфери в містах та коефіцієнту його соціальної небезпеки (Yaremko Z.M., 2005).

Сумарний рівень інтенсивності звуку L_c , який створюється декількома джерелами шуму з однаковим рівнем L_1 , обчислюють за формулою:

$$L_c = L_1 + 10 \ln N$$

де N – кількість джерел.

Шум транспортного потоку залежить від транспорту, інтенсивності руху, стану покриття вулиць.

Величина шуму, який створюється транспортним потоком, залежить від швидкості руху, інтенсивності руху та типу автомобілів. За рівнем шуму, який створюють автомобілі, їх поділяють на три групи:

- легкові;

- вантажні карбюраторні;
- вантажні дизельні.

Очікуваний рівень шуму визначають за формулою:

$$L1 = 44,4 + 0,268V + 10 \ln \left(\frac{N1 + 4N2 + 8N3}{V} \right) + \sum Pi,$$

де V - швидкість руху автомобілів, км/год;

$N1$ - інтенсивність руху легкових автомобілів, год⁻¹;

$N2$ - інтенсивність руху вантажних карбюраторних автомобілів, год⁻¹;

$N3$ - інтенсивність руху вантажних дизельних автомобілів, год⁻¹.

$\sum Pi$ - сума поправок, яка враховує особливості розташування територій прогнозування шуму (в першому наближенні цими поправками можна знехтувати).

За рівнем шуму знаходимо коефіцієнт соціальної небезпеки, пов'язаної із шумовим забрудненням території:

$$T1 = 0,04 (L1 - 55) N_i$$

де $L1$ - рівень шуму на території, який перевищує граничнодопустимий рівень у 55дБ;

N_i - кількість людей, які піддаються дії шуму.

Інтегральний показник соціальної небезпеки шумового забруднення визначається за формулою:

Для дослідження були вибрані три

$$T = \sum_{i=1}^m T_i$$

вулиці м. Кельн Німеччина з різним акустичним навантаженням, що наглядно можна побачити на рисунку 1:



Рис. 1. м. Кельн, а) вулиця Aachener str./Аахенер штрассе; б) вулиця Haupt str./Хаупт штрассе; в) вулиця Sürther str./ Зюртер штрассе

Вулиця Aachener str./Аахенер штрассе характеризується великим навантаженням транспортного потоку, але дана вулиця відноситься,

1. Визначення шумових параметрів вулиць м. Кельн, Німеччина (грудень-лютий, 2023 р.)

Назва вулиць	Швидкість руху автомобілів V, км/год	Інтенсивність руху N, 1/ год	Частка автомобілів			Кількість людей, що проживають у зоні дії шуму, Ні
			Легкових K1	Вантажних карбюраторних, K2	Вантажних дизельних K3	
Aachener str.	50	800	0,65	0,25	0,10	1000
Haupt str.	50	1500	0,60	0,20	0,20	800
Sürther str.	50	400	0,70	0,20	0,10	1200

як видно з Рис. 1(а), до шумозахисних. Вулиця Haupt str./Хаупт штрассе - найбільш завантажена транспортом (Рис. 1(б)). Вулиця Sürther str./ Зюртер штрассе - найменш завантажена транспортом. Місця проведення вимірів вибиралися на ділянках вулиць і доріг зі сталою швидкістю руху транспортних засобів і проводились в трьох місцях в радіусі 30 м від дороги. Перша позиція – найближче до місця проживання людей; друга, практично, біля дороги; третя – біля ділянки, де дорога має крутий вигин, який, на нашу думку, ослаблював швидкість автомобілів. Вимірювання проводились у кожній точці протягом 30 хв. Паралельно відбирались показники, щодо підрахунку кількості, виду та інтенсивності транспортного потоку.

При дослідженні шумового забруднення головне завдання було визначити інтенсивність руху авто-

мобілів на запропонованих вулицях, частку автомобілів та кількість людей, що проживає, чи працює на експериментальній території.

У дослідженні серйозною перешкодою стало виділення серед транспортного потоку карбюраторні та дизельні автомобілі, а також визначити правильно кількість людей, що піддаються шумовому забрудненню.

Другим етапом роботи було визначення шумових параметрів вулиць м. Києва, Україна. Для експерименту були вибрані дві вулиці в Голосіївському районі: Героїв Оборони (місця замірів Героїв Оборони 13-15); Проспект Голосіївський 59-Б. Схематично точки замірів представлені на рис. 2, 4.

Вулиця Героїв Оборони характеризується, в цілому, якщо не рахувати «час Пік» не значним навантаженням транспортного потоку, швидкість руху автомобілів із-за дорожніх пере-

2. Визначені шумові параметри вулиць м. Кельн (грудень- лютий, 2023 р.)

Вулиця	Очікуваний рівень шуму, L1	Коефіцієнт соціальної небезпеки, T1	Визначене шумове забруднення, dB		
			I вимір	II вимір	III вимір
Aachener str.	89,9	1392	43	40	41
Haupt str.	102,8	1912	49	50	54
Sürther str.	86,8	1272	34	37	38

3. Визначення шумових параметрів вулиць м. Київ, Україна

Назва вулиць	Швидкість руху автомобілів V, км/год	Інтенсивність руху N, 1/ год	Частка автомобілів			Кількість людей, що проживають у зоні дії шуму, Ні
			Легкових К1	Вантажних карбюраторних, К2	вантажних дизельних, К3	
Героїв Оборони 13	65	390	0,90	0,05	0,05	2000
Проспект Голосіївський 59- Б	70	1200	0,60	0,20	0,20	1500

шкод не перевищує 50 км/год (рис.3). Заміри проводились в трьох місцях в радіусі 30 м від дороги. Перша позиція – найближче до місця проживання людей (рис 3); друга, - біля дороги; третя – біля ділянки, де дорога має крутий вигин, який (корпус №1 НУ-БіП України), зменшував швидкість автомобілів. Вимірювання проводились у кожній точці протягом 30 хв.

Проспект Голосіївський 59-Б - найбільш завантажений транспортом в Голосіївському районі та й в Києві, в цілому (рис.5). Виміри проводились також в трьох місцях. Два виміри - в радіусі 30 м від дороги – на території клінічної лікарні №10. Один вимір – практично біля дороги.

В результаті проведення експериментальних досліджень на вулицях Німеччини, як показують результати, розрахований очікуваний рівень шуму кардинально відрізнявся від фізичного виміру шуму і був, приблизно, вдвічі меншим. На перший погляд, виникає пояснення – встановлені шумозахисні конструкції, але ж з трьох вулиць, тільки вулиця Aachener str. з шумозахистом.

Можна відмітити, що Німеччина, так як і Японія, Франція та багато інших країн використовують шумопоглинальне дорожнє покриття для зниження шуму шин автомобілів. Для зниження рівня звуку успішно застосовують насипи і зелені насадження

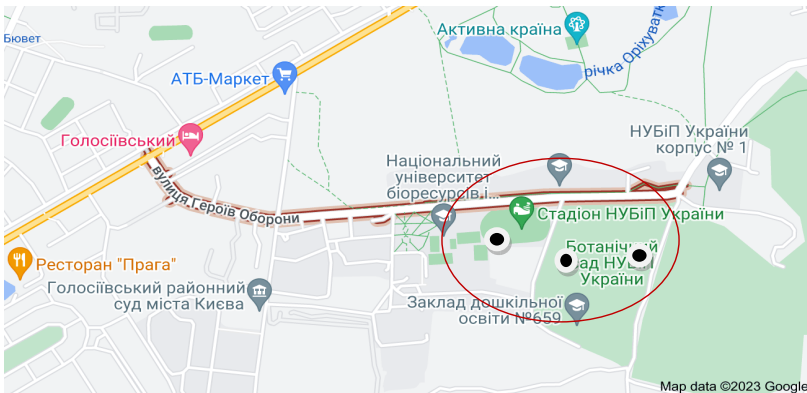


Рис. 2. Схема розташування точок замірів шумового навантаження, вулиця Героїв Оборони



Рис. 3. Завантаженість транспортним потоком вулиці Героїв Оборони

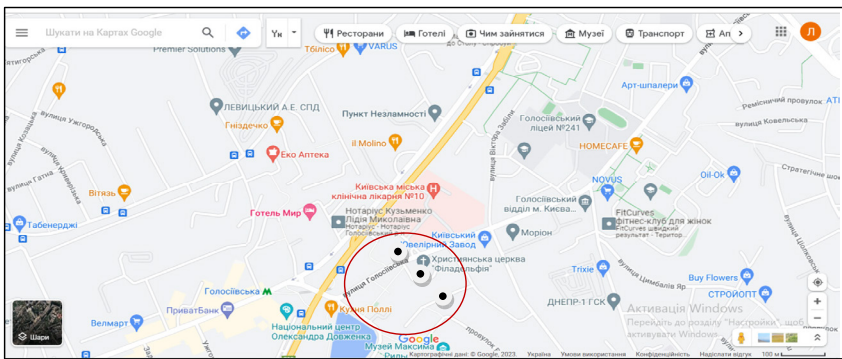


Рис. 4. Схема розташування точок замірів шумового навантаження, Проспект Голосіївський 59-Б



Рис.5. Проспект Голосіївський 59-Б, місця точок замірів

різних типів. Розроблення комплексу шумозахисту здійснюється відповідно до необхідного зниження рівня звуку, а вибір екранних споруд продиктований, насамперед міркування-

ми ефективності шумозахисних заходів і їх вартістю, а також вимогами безпеки, особливостями експлуатації та естетичним сприйняттям.

Щодо вулиць Києва, отримані

4. Визначення шумових параметрів вулиць м. Києва

Вулиця	Очікуваний рівень шуму, L1	Коефіцієнт соціальної небезпеки, T1	Визначене шумове забруднення, дБ		
			I вимір	II вимір	III вимір
Героїв Оборони	83,8	1152	56	49	58
Проспект Голосіївський 59- Б	102,1	1886	92	89	100

при дослідженнях шумового навантаження дані свідчать проте, що порушуються вимоги СНіП 30–77–84 від 03.08.1984. На територіях, що прилягають до житлових будинків, закладів охорони здоров'я та освіти, допустимий рівень шуму від 7.00 до 23.00 години відповідно до ДБН 360-92 має становити 55 дБА; біля гуртожитків - 60дБА; на площадках відпочинку–45дБА (ВНіР 12.04-2002; ДБН V.1.1-31:2013).

Таким чином, перевищення допустимого рівня шуму за даними досліджень Голосіївського проспекту складає 20-25 дБА. Шумове навантаження, що створюється транспортними потоками міста, знаходиться в межах акустичної області звукового сприйняття людини, але має суттєвий вплив на організм. Тобто можна стверджувати, що міські мешканці живуть та працюють в умовах постійного акустичного дискомфорту, який в свою чергу призводить до емоційної та фізичної напруги. На вулиці Героїв Оборони шумове забруднення від транспортного потоку не виходить за межі допустимих норм.

Також, крім очікуваного рівня шуму був визначений коефіцієнт соціальної небезпеки, що за своїм поняттям, показує можливість чи неможливість проживання населення на даній території. Якщо коефіцієнт соціальної небезпеки становить біль-

ше 1500, контроль за фактичним шумовим забрудненням на даній території є обов'язковим. На одній із вулиць Кельна (табл. 2) коефіцієнт соціальної небезпеки перевищує встановлені нормативи, але цей показник розрахований з результатів очікуваного рівня шуму, що кардинально відрізнялись від фізичних вимірів шуму. У місті Києві коефіцієнт соціальної небезпеки найвищий і перевищує допустимі межі на Проспекті Голосіївському 59-В, як зазначено вище, на території міської клінічної лікарні.

Висновки і перспективи.

При опрацюванні літератури відзначено, що в Україні відсутні вимоги щодо граничних величин для індикаторів моніторингу середньорічних рівнів шумового забруднення та оцінювання їх величин. Тому, необхідно запровадити постійний моніторинг рівнів шуму від пересувних джерел, адже зараз українським законодавством не передбачено чіткого алгоритму регламентації моніторингових досліджень шуму, що ускладнює процес обробки та аналізу інформації, необхідної для складення якісної стратегічної карти шуму для міського середовища.

Досліджена динаміка шумового забруднення на вулицях Голосіївського району у порівнянні з вули-

цями м. Кельн Німеччина дає змогу зрозуміти, що суттєвий вплив на рівень шумового забруднення має тип дорожнього покриття, інтенсивність руху, організація та склад транспортного потоку. Методи розрахунку очікуваного рівня шуму автомобільного транспорту, можуть бути застосовані при виборі будівельно-акустичних заходів щодо захисту від транспортного шуму житлових приміщень та громадських будівель.

Результати досліджень та наявність санітарних норм допустимих рівнів шуму значною мірою дають можливість розробити технічні, архітектурно-планувальні та адміністративні заходи, спрямовані на створення шумового режиму, що відповідає гігієнічним вимогам, як у міській забудові, так і в будинках різного призначення, дозволяє зберегти здоров'я та працездатність населення.

References

1. Zerbino, D.D. (2013). Ecological pathology: the problem of preventive medicine. The concept of primary prevention (noise pollution). Art of treatment. Journal of a modern doctor. Kyiv. URL: <https://www.health-medix.com/articles/mistetzto/2010-02-02/10DDZKPP.pdf>
2. Honcharuk, E.G., Bardov, V.G., Harkavy, S.I. & Yavorovskyi, O.P. (2006). Communal hygiene. Kyiv. Zdorov'ya. ISBN 5-311-01391-5
3. Tyasto A.A. & Kuymova M.V. (2015). About the impact of environmental noise pollution on human health. *Kyiv: Molodyy vchenyy*. № 10. <http://publications.ntu.edu.ua> › eut
4. Piskunova L.E., Prilypko V.A. & Zubok T.O. (2017). Life safety: a textbook. Kyiv. NULES Ukraine. ISBN 5-311-01391-5
5. Pukalo M. Nakonechnyi A. & Idrisov K. (2016). Impact of road traffic noise on the state of ecology and methods of reducing their indicators. Lviv. Knowledge. <http://ten.ztu.edu.ua> › article › view
6. Yaremko Z.M. (2005). Life safety: education. manual. Kyiv. Center of educational literature. ISBN 966-364-043-X
7. Measures to prevent and reduce atmospheric air pollution by emissions from transport and other mobile vehicles and installations URL: https://protocol.ua/ua/pro_ohoronu_atmosfernogo_povityrya_
8. Zhitkova N.Y. (1999) Industry in the urban planning environment of the city of Kyiv. Modern problems of architecture and urban planning: Scientific and technical collection №. 6. Kyiv. <https://www.research-gate.net> › publication › 347885639.
9. Reshetchenko A.I., Borsuk A.I., & Vergeles Y.I. Analysis of the existing regulations of the EU countries compared to the requirements of the Ukrainian legislation in the field of noise pollution in the urban ecosystem. Kharkiv. URL: <https://ebzr.nung.edu.ua>
10. On the assessment of the impact of noise on the environment: Directive of the European Parliament and the Council. №. 2002/49/EC of June 25, 2002. Official Journal - L. 189 – 18.07.2002. – p. 0001-0004.
11. BNiP 12.04-2002. Building standards and rules. Safety at work in construction: approved. State Building of Ukraine. Kyiv.
12. DBN V.1.1-31:2013. Protection of territories, buildings and structures from noise. 2014. Kyiv: Ministry of Regions of Ukraine.

Piskunova L., Serbeniuk H., Holichenko N. (2024).

STUDY OF THE LEVEL OF ACOUSTIC POLLUTION AND ITS IMPACT ON HUMAN LIFE

BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 15(1): 73-83.

<https://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/48292>

[https://dx.doi.org/10.31548/biologiya15\(1\).2024.006](https://dx.doi.org/10.31548/biologiya15(1).2024.006)

Abstract. *The results of acoustic measurements and sociological studies indicate that the main source of acoustic pollution in cities is motor vehicles. About one in two city residents suffers from the noise it generates.*

Imperfect legislative and regulatory framework, lack of economic instruments to regulate acceptable levels of noise is the reason for the growth of acoustic pollution in cities. The most investigated is industrial noise, while the problem of urban street noise is less studied. It is very difficult to study street noise because this type of noise can originate from a large number of sources.

The aim of the study was the measurement of noise pollution and its mode within two cities of different countries. In particular, it is the review of the processes of noise pollution impact on human health and the environment, analysis of the current state of noise pollution in urbanised territories, as well as the identification of modern mechanisms for solving noise pollution issues in urbanised territories.

The dynamics of noise pollution in the streets of Holosievsky district of Kyiv in comparison with the streets of Cologne, Germany allows us to understand that the type of road surface, traffic intensity, organisation and composition of traffic flow has a significant impact on the level of noise pollution. The methods of calculation of the expected noise level of road transport can be taken as a basis for the selection of building-acoustic measures for protection of residential premises and public buildings from transport noise.

Key words: *acoustic pollution, acoustics, noise, physical parameters of noise, noise source, ultrasound, natural environment.*

ЕТИЛЕН І ЖИРНІ КИСЛОТИ ЯК МАРКЕРИ СТРЕС-СТІЙКОСТІ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ

С.В. АНДРЕЙЧЕНКО¹,

доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри екології,

ORCID 0009-0004-8098-4237,

serhiy.andreychenko@e-u.edu.ua

Б.О. КУРЧІЙ¹,

*доктор біологічних наук, доцент кафедри екології та ландшафтного
дизайну,*

ORCID 0000-0002-1043-6014,

bogdan.kurchii@e-u.edu.ua

А.В. КЛЕПКО²,

*доктор біологічних наук, старший науковий співробітник,
завідувач кафедри загальної екології, радіобіології та безпеки*

життєдіяльності,

ORCID – 0000-0002-7061-453X,

alla.klepko@gmail.com

¹Європейський університет,

Бульвар академіка Вернадського, 16 В, 03115 Київ

*²Національний університет біоресурсів та природокористування
України, Героїв Оборони, 13, 03041, Київ*

Анотація. У аграрного сектора України існує ряд глобальних проблем, включаючи екологічні фактори, такі як зміна клімату, повені і посухи, які спричиняють пошкодження тканин рослин і значні втрати урожаю продовольчих культур. Суттєвою перешкодою розвитку аграрного господарства та продовольчої безпеки в Україні є біотичні фактори, зокрема патогенні бактерії, віруси та мікрогриби. Мікрогриби роду *Fusarium* є найбільш поширеними і агресивними збудниками фузаріозу зернових культур, особливо в пшениці. Ці перешкоди можна подолати впровадженням в агрономічну практику сортів пшениці, стійких до фузаріозу. Однак селекція пшениці на стійкість до фузаріозу шляхом традиційного багатовікового відбору є трудомісткою та дорогою. Тому пошук нових ефективних інструментів, які сприятимуть відбору рослин

із бажаними характеристиками на ранніх етапах селекційних програм, є актуальним завданням. В лабораторних дослідженнях використовували сорти пшениці різної стійкості до абіотичних і біотичних факторів в польових умовах: стійкі, середньостійкі і нестійкі. Етилен і жирні кислоти визначали газохроматографічними методами.

Виявлено закономірності синтезу етилену і жирних кислот різними за стійкістю до біотичних і абіотичних факторів сортами озимої пшениці. Стійкі сорти характеризуються суттєво більшим вмістом цих сполук в порівнянні із нестійкими. Аналогічна закономірність виявлена і по відношенню до вилягання рослин: чим більший вміст цих сполук, тим більша стійкість до вилягання. В даній статті викладено два методи оцінки стійкості озимої пшениці до абіотичних і біотичних стресів, які можуть бути імплементовані в програмах селекційного відбору.

Ключові слова: озима пшениця, фузаріоз, етилен, жирні кислоти.

Вступ.

Питання виживання людства в умовах глобальної зміни клімату – це також питання сталого розвитку, відображеного в Резолюції Генеральної Асамблеї ООН (13-та ціль) (ICCIRP, 2023). Однак, кліматичні зміни часто розглядаються як глобальні, надто абстрактні і складні для розуміння широким загалом населення країн. Тому наразі необхідні конкретні дії для вирішення даної проблеми: поширення інформації з акцентом на наукові знання та обізнаність широкого загалу населення про покрокові можливі наслідки глобальних змін для конкретних зон земної кулі. Сьогодні проблемами клімату займаються також й інші міжнародні організації, зокрема UNEP, UNESCO, WMO, IPCC, FAO. Саме для цього була створена "Міжнародна інформаційна програма щодо зміни клімату" (ICCIP) (SGBCL, 2023). Для географічного положення України актуальною є проблема заміни рослинного світу, перш за все деяких культивованих рослин, на більш стійкіші до значно підвищених тем-

ператур. Навіть забезпечення рослин водою і поживними речовинами не може гарантувати повного захисту рослинам, через це корисноцінна для споживання людиною і тваринами частина урожаю суттєво зменшується. Частково зараз це вирішується за рахунок поливу водою із свердловин підземними сольовими водами. Проте це таїть в собі негатив засолення ґрунтів в перспективі, що ще більше ускладнить аграрне виробництво.

За інформацією Global Burden of Crop Loss (GBCL) project втрати урожаю в світовому виробництві становлять до 40% (Impacts of Europe's changing climate, 2008). Втрати від коливання температур (зниження і підвищення відносно оптимальних) досягають в різних регіонах Європи до 30%, що становить десятки Євро втрат (в тому числі і на страхування), до того ж за прогнозами ще в 2008 р. ці втрати в майбутньому будуть суттєво збільшуватись (Farber C. et al., 2019).

Отже, у аграрного сектора України існує ряд глобальних проблем, включаючи екологічні фактори, такі як зміна клімату, повені, посухи, які

спричиняють пошкодження тканин в рослинах і значні втрати їх зеленої маси. Розширення придатних для обробітку земель обмежене в ряді регіонів України. Інший напрямок – інтенсифікація посівів – послаблює здатність ґрунту у відновленні своєї родючості, що може спричинити значну втрату поживних речовин ґрунтами.

Додатковою перешкодою розвитку аграрного господарства та продовольчої безпеки як в Україні, так і в усьому світі є хвороби рослин, які зумовлені як біотичними, так і абіотичними стресами. Так, патогенні бактерії, віруси та гриби, а також шкідники та бур'яни є одними з біотичних стресорів, котрі спричиняють різні форми біотичних хвороб рослин, на які припадає 20–40% втрати продуктивності аграрного виробництва (Chen Y. et al., 2019).

Мікрогриб *Fusarium graminearum* Schwabe, є найбільш поширеним і агресивним збудником фузаріозу в зернових культурах, особливо у пшениці (Ajdanian L. et al., 2023). Повної видоспецифічної стійкості до фузаріозу в українських комерційно вирощуваних сортів пшениці немає. Крім того, зміна атмосферних умов відіграє вирішальну роль у процесі зараження. Високий ризик зараження рослин грибами роду *Fusarium* у Західній та Північній Україні, коли тепла та волога погода збігається із цвітінням пшениці та раннім наливом зерна. У таких екстремальних умовах хімічні і агротехнічні заходи боротьби стають малоефективними.

Природно, що ці проблеми можна подолати впровадженням в агрономічну практику сортів пшениці, стійких до фузаріозу. Однак селекція пшениці на стійкість до фузаріозу

шляхом традиційного багатовікового відбору в польових умовах є трудомісткою та дорогою. Доступні методи, наприклад, картування локусів кількісних ознак, методи селекції *in vitro* з використанням аналізів відокремленого листа, є корисними інструментами для попереднього скринінгу стійкості рослин до ураження мікрогрибами роду *Fusarium*. Проте однією суттєвою перешкодою для стійкої пшениці до фузаріозу є те, що її можна оцінити лише на дорослих рослинах в польових умовах. Хоча аналізи, що описані вище, є корисними для вивчення багатьох аспектів, пов'язаних із стійкістю до фузаріозу, актуальним стає пошук нових більш оптимальних методів оцінки стійкості рослин до фузаріозу. Жирні кислоти відіграють важливу роль у функціонуванні мембранних структур. Також вони можуть проявляти і антиоксидантні властивості. Серед природних регуляторів росту є етилен, який також відіграє важливу роль у захисних реакціях рослин проти патогенів (Kryuchkova L.O. et al., 2006). На основі цих даних нами досліджено здатність до утворення етилену та жирнокислотний склад різних сортів рослин озимої пшениці.

Матеріали та методи досліджень

Досліди проводили з озимою пшеницею (*Triticum aestivum* L.) на сортах різної стійкості до фузаріозу (Kurchii V.M. et al., 2000): Колумбія і Смуглянка (стійкі), Київська 8 (середньо стійкий), Білоцерківська напівкарликова і Подолянка (сприйнятливі). Насіння озимої пшениці пророщували в стерильних умовах за відносної вологості повітря в серед-

ньому 60–70 % у темній камері при 23 °С. Через 4 дні вирощування рослин в темній камері, їх переносили у ростову камеру при 23 °С та світлового режиму, що складався з 14 годин світла, а 10 годин темряви. Середній потік фотонів від штучного освітлення в ростовій камері становив 140 мкмоль/м²/с (5000 люкс). Для вивчення виділення етилену використовували повністю розвинений перший листок молодих рослин озимої пшениці. Етилен визначали газовим хроматографом (Selmihrome, Україна), як описано раніше (Liljenberg C. et al., 1985). Жирнокислотний склад визначали в етіюльованих колеоптилях газовою хроматографією (Xiao R. et al., 2022), де перші листки були вищими за колеоптилі на 1–5 мм.

Результати дослідження та їх обговорення.

Різні сорти озимої пшениці мають у достатній кількості власні регулятори росту, які забезпечують їх ріст, продуктивність і стійкість до біотичних і абіотичних стресів. Проте роль природних регуляторів росту рослин

у процесах стійкості до абіотичних і біотичних факторів потребує подальших досліджень.

Встановлено, що найбільшу кількість етилену виділяли листки сортів Колумбія і Київська 8, тоді як Подолянка і Білоцерківська напівкарликова – найменшу його кількість (Табл. 1). Виявлено зв'язок між синтезом етилену і стійкістю рослин до вилягання. Так, найбільш стійкі до вилягання сорти Колумбія і Смуглянка синтезували найбільшу кількість етилену, тоді як сорт Подолянка (схильна до вилягання) – найменшу. Середньостійкий сорт Київська 8 займав проміжне місце.

Жирнокислотний склад рослин відіграє важливу роль у стійкості до абіотичних і біотичних стресів (Lim G.H. et al., 2017; Timmusk S., et al., 2020). [11-12]. Сумарна кількість жирних кислот у стійких сортів Колумбія і Смуглянка виявилась значно вищою, ніж у нестійких Подолянки і Білоцерківської напівкарликової (Табл. 2).

На сьогодні загальною визнано, що фактори зовнішнього середовища впливають як на вірулентність па-

1. Синтез етилену зеленими листками 2-тижневих рослин озимої пшениці

Назва сорту	Висота рослин, см	Етилен, нл/г СМ	Висота рослин, см	Етилен, нл/г СМ	Висота рослин, см	Етилен, нл/г СМ	Висота рослин, см	Етилен, нл/г СМ
Колумбія	13,8±0,18	152±8	12,6±0,20	219±12	13,2±0,39	181±9	14,6±0,17	131±7
Смуглянка	14,9±0,16	161±11	14,2±0,35	201±19	14,2±0,30	200±20	15,1±0,27	91±6
Київська 8	14,6±0,17	99±8	14,5±0,25	81±6	14,6±0,28	50±4	18,1±0,45	54±5
Подолянка	20,1±0,23	13±6	14,6±0,33	36±5	16,6±0,81	41±6	15,9±0,61	16±4
Білоцерківська напівкарликова	15,1±0,19	16±3	15,2±0,45	41±5	14,8±0,36	36±4	16,7±0,38	24±4

Примітка: нл – нанолітри, г – грам, СМ – суха маса

2. Вміст жирних кислот в колеоптилях озимої пшениці

Назва сорту	Висота клоп-тилю, мм	Вміст жирних кислот, мг/г сирової маси								
		C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	C20:0	C22:0	C24:0	Су-марно
Колумбія	39,9±1,3	176±8	7,4±0,25	16,3±0,8	212±11	95±5	2,4	2,9	0,6	512,9
Смуглянка	46,2±2,2	180±12	7,7±0,35	16,8±1,3	216±13	85±9	2,3	3,1	0,6	511,5
Київська 8	57,4±2,4	162±7	7,2±0,38	16,0±0,9	177±9	84±7	2,3	2,4	0,4	451,3
Подільська	57,9±2,3	141±7	6,5±0,38	12,6±0,7	177±10	73±4	0,5	0,9	0,4	411,9
Білцерківська напикарликівська	51,2±2,2	88±0,21	6,9±0,6	7,1±0,4	125±5	59±5	0,3	0,4	0,3	287,0

тогенів, так і на механізми стійкості рослин. Зміни в концентрації CO₂, температурі та доступності води можуть мати позитивний, нейтральний або негативний вплив на розповсюдження патогенів залежно від оптимального навколишнього середовища для патогенної системи. Отже, існує потреба у дослідженнях взаємодії рослин і патогенів у поточному та майбутньому екологічному контексті. Для розуміння всього комплексу таких проблем необхідні дані довгострокового моніторингу фізіологічного стану рослин та їх мікробіомного оточення.

Прогнозується, що збитки, спричинені фузаріозом у пшениці, ймовірно, зростуть із підвищенням температури та більшим вмістом вуглекислого газу в атмосфері, спричиненими зміною клімату (Miedaner T., Juroszek P., 2021; Hay W.T. et al., 2022; Wilson W. et al., 2018).

Протягом останніх десятиліть агрохімікати успішно контролювали хвороби рослин і зменшували масові втрати врожаю. Однак їх надмірне та неправильне використання призвело до появи резистентності у патогенів, забруднення навколишнього середовища та накопичення шкідливих хімікатів у нецільових організмах.

В цьому зв'язку загальновідомо, що накопичення агрохімічних речовин є потенційною загрозою для біорізноманіття та може загрожувати здоров'ю людей і тварин через харчовий ланцюг.

До того ж, використання фунгіцидів та наявних технологій, які застосовуються як традиційні засоби боротьби з фузаріозом, збільшують витрати на виробництво і не дають реального позитивного ефекту від урожаю зерна (UN's The 2030 SD). Тому найефективніші та безпечні для навколишнього середовища стратегії мають поєднувати в собі відповідні агрономічні методи з підвищеною стійкістю культивованих рослин.

Для досягнення стійкого аграрного виробництва терміново потрібні альтернативні екологічно чисті методи боротьби з хворобами рослин. У Порядку денному сталого розвитку на період до 2030 року ООН накреслила підходи для досягнення продовольчої безпеки шляхом розвитку адаптації культур до змін навколишнього середовища, оптимізації ефективності використання ресурсів за допомогою точного землеробства, зменшення розриву врожайності, спричиненого топографічними, біофізичними чи соціально-економічними обмеження-

ми, а також впровадженням ефективних методів зберігання та переробки харчових продуктів для зменшення відходів.

Висновки і перспективи.

В результаті досліджень встановлено, що найбільшу кількість етилену продукує листя найбільш стійких до вилягання сортів пшениці – Колумбії та Смуглянки. В той же час листя схильних до вилягання сортів пшениці, зокрема Подолянки, виділяло найменшу кількість етилену у виборці з 5-ти досліджених сортів.

Крім цього, показано, що жирно кислотний склад рослин у великій мірі визначає їх здатність протистояти абіотичним та біотичним стресам. Через те, сумарна кількість жирних кислот у стійких до вилягання сортів озимої пшениці Колумбія і Смуглянка була значно вище, ніж у нестійких сортів – Подолянка і Білоруська напівкарликова.

На основі отриманих даних запропоновано фізіолого-біохімічні методи дослідження, що можуть доповнити розробку ефективних стратегій, заснованих на екологічних ноу-хау, для боротьби зі збудниками фузаріозу та підтримки стійких аграрних систем, та які можуть бути імplementовані в програмах селекційного відбору.

References

1. International Climate Change Information and Research Programme (ICCRP). (<https://www.haw-hamburg.de/en/ftz-nk/programmes/iccirp>)
2. Stakeholders say Global Burden of Crop Loss would help direct future agricultural policy and practice. (<https://croploss.org/news-blogs/can-artificial-intelligence-really-help-solve-global-crop-loss/>)
3. Impacts of Europe's changing climate — 2008 indicator-based assessment // Joint EEA-JRC-WHO report. 2008. 251p. (http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2008_4)
4. Farber C., Mahnke M., Sanchez L., Kourouski D. (2019). Advanced spectroscopic techniques for plant disease diagnostics. A review. Trends Anal. Chem., 118, pp. 43-49. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.05.022>
5. Chen Y., Kistler H.C., Ma Z. (2019). Fusarium graminearum tricothecene mycotoxins: biosynthesis, regulation, and management. Annu. Rev. Phytopathol., 57, pp. 15–39). <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-082718-100318>
6. Ajdanian L., Babaei M., Arouiee H., Nematollahi H., Astatkie T., Lajayer B.A. (2023). Role of ethylene in regulating physiological and molecular aspects of plants under abiotic stress. In: A Sharma et al. (Eds) The Role of Growth Regulators and Phytohormones in Overcoming Environmental Stress (pp. 113-135). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-98332-7.00009-3>
7. Kryuchkova L.O., Makoveychuk T.I., Yavorska V.K., Kurchii B.A. (2006). Salicylic acid content in the leaves of winter wheat seedlings of different resistance to phytopathogenes. *Fiziologia i Biokhimiya Kulturnykh Rastenii*, 38(1), pp. 45-52
8. Kurchii V.M., Kurchii B.A. (2000). Decomposition of acetylcholine with ethylene formation in vitro. Possible free radical mechanism of acetylcholine action. *Ukr. Biokhim. Zhurnal*, 72, pp. 69–72.
9. Liljenberg C., Kates M. (1985). Changes in lipid composition of oat root membranes as a function of water-deficit stress. *Can. J. Biochem. Cell Biol.*, 63(2), pp. 77–84. <https://doi.org/10.1139/o85-01>
10. Xiao R., Zou Y., Guo X., Li H., Lu H. (2022). Fatty acid desaturases (FADs) modulate multiple lipid metabolism pathways to im-

- prove plant resistance. *Mol. Biol. Rep.* 49, pp. 9997–10011. <https://doi.org/10.1007/s11033-022-07568-x>
11. Lim G.H., Singhal R., Kachroo A, Kachroo P. (2017). Fatty acid- and lipid-mediated signaling in plant defense. *Annu. Rev. Phytopathol.*, 55, pp. 505–536. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080516-035406>
12. Timmusk S., Nevo E., Ayele F., Noe S., Niinemets Ü. (2020) Fighting Fusarium pathogens in the era of climate change: a conceptual approach. *Pathogens* 28(9):419. <https://doi.org/10.3390/pathogens9060419>
13. Miedaner T., Juroszek P. (2021). Climate change will influence disease resistance breeding in wheat in Northwestern Europe. *Theor. Appl. Genet.* 134(6), pp. 1771–1785. <https://doi.org/10.1007/s00122-021-03807-0>
14. Hay W.T., Anderson J.A., McCormick S.P., Hojilla-Evangelista M.P., Selling G.W., Utt K.D., Bowman M.J., Doll K.M., Ascherl K.L., Berhow M.A., Vaughan M.M. (2022). Fusarium head blight resistance exacerbates nutritional loss of wheat grain at elevated CO₂. *Sci. Rep.*, 12(1), pp. 15. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03890-9>
15. Wilson W., Dahl B., Nganje W. (2018). Economic costs of Fusarium head blight, scab and deoxynivalenol. *World Mycotoxin J.*, 11(2), pp. 291–302. <https://doi.org/10.3920/WMJ2017.2204>
16. UN's The 2030 Agenda for Sustainable Development. <https://sdgs.un.org/2030agenda>
-

Andreychenko S., Kurchii B., Klepko A. (2024).

ETHYLENE AND FATTY ACIDS AS MARKERS OF STRESS RESISTANCE IN WINTER WHEAT.

BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 15(1): 84-90.

<https://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/48305>

[http://dx.doi.org/10.31548/biologiya15\(1\).2024.007](http://dx.doi.org/10.31548/biologiya15(1).2024.007)

Abstract. There is a number of global problems in the agricultural sector of Ukraine, including environmental factors such as climate change, floods and droughts, which cause damage to plant tissues and significant losses of food crops. A significant obstacle to the development of agriculture and food security in Ukraine are biotic factors, in particular pathogenic bacteria, viruses and microfungi. Fusarium is the most widespread and aggressive pathogen to grain crops, especially to wheat. These obstacles can be overcome by introducing wheat varieties resistant to Fusarium into agronomic practice. However, selection of resistant wheat to fusariosis along the path of traditional centuries-old selection is a laborious and expensive road. Therefore, the search for new effective tools that will facilitate the selection of plants with desirable characteristics at the early stages of breeding programs is an urgent task. **Methods.** Wheat varieties of different resistance to abiotic and biotic factors in field conditions were used in laboratory studies: resistant, semi-resistant and non-resistant. Ethylene and fatty acids were determined by gas chromatographic methods. **The results.** Patterns of ethylene and fatty acid synthesis in winter wheat varieties with different resistance to biotic and abiotic factors were revealed. Resistant varieties are characterized by a significantly higher content of these compounds compared to non-resistant varieties. A similar regularity was found in relation to the lodging of plants: the higher the content of these compounds, the greater the resistance to lodging. **Conclusions and perspectives.** This article describes two methods of assessing the resistance of winter wheat to abiotic and biotic stresses, which can be implemented in breeding programs.

Key words: winter wheat, fusarium, ethylene, fatty acids.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАТОГЕННОСТІ ІЗОЛЯТІВ ГРИБА *GAEUMANNOMYCES TRITICI* – ЗБУДНИКА ОФІОБОЛЬОЗУ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ

Д.Р. ОЛИФЕР,

асистент кафедри фітопатології ім. академіка В.Ф. Пересипкіна

<https://orcid.org/0009-0000-2088-0947>, dr.olifer@nubip.edu.ua

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Анотація. Досліджено патогенні властивості ізолятів гриба *Gaeumannomyces* spp., виділених із уражених офіобольозом коренів пшениці озимої. Всі ізоляти характеризувалися вищою патогенністю на рослинах пшениці та ячменю, менше уражували овес посівний, тому були ідентифіковані нами як *G. tritici*. На пшениці озимій більшість ізолятів *G. tritici* проявили середній рівень патогенності, один ізолят характеризувався найвищою патогенністю, у двох ізоляти рівень патогенності був істотно нижчий.

Із уражених рослин пшениці озимої було виділено 30 ізолятів темно-забарвлених грибів, які за культуральними ознаками попередньо віднесено до роду *Gaeumannomyces*. Для встановлення видової належності виділених ізолятів *Gaeumannomyces* ми дослідили їх патогенність та спеціалізацію на трьох зернових культурах: пшениці, ячмені, вівсі. Всі ізоляти уражували корені всіх трьох культур, проте більш патогенними виявилися на пшениці озимій та ячмені озимому. За цією ознакою попередньо їх було віднесено до підвиду *G. graminis* var. *tritici* (тепер – вид *G. tritici*). Патогенні властивості ізолятів досліджували на сходах рослин пшениці озимої сорту Єлик. Всі проаналізовані нами ізоляти *G. tritici* проявили різний рівень патогенності. За показником «розвиток хвороби» істотно вищою патогенністю порівняно з іншими ізолятами характеризувався ізолят *G. tritici* 9/1. Більшість інших ізолятів проявили середню патогенність (3/20, 7/20, 2/16/21, 3/16/21, 16/22), і лише два ізоляти (1/20, 4/16/21) виявилися низькопатогенними.

У своїх дослідженнях крім показника «розвиток хвороби» в балах (0-4) для оцінки патогенності ізолятів ми використовували показники, які характеризують ріст і розвиток рослин, а саме «маса 1 проростка» та «маса коренів з 1 проростка». Враховуючи дані по цим показникам, істотно вищою патогенністю порівняно з іншими ізолятами характеризувався ізолят 9/22: при ураженні ним маса проростків і коренів з пшениці озимої була значно нижчою, ніж в інших варіантах. Ізоляти 3/20 і 7/20 характеризувалися середньою патогенністю, при зараженні ними відмічали істотне зниження маси коренів проростків. Ізоляти 16/22 і 3/16/21 проявили низький рівень патогенності – зниження маси коренів було неістотним.

Ключові слова: *Gaeumannomyces tritici*, офіобольоз, патогенність, пшениця озима, ізолят, штам, розвиток хвороби

Актуальність.

Популяції ґрунтових грибів складаються з різних за патогенністю штамів, що значною мірою впливає на шкідливість хвороб рослин, які вони спричиняють. Офіобольозна коренева гниль, збудником якої гриб *Gaeumannomyces tritici* (Hemandez–Restrepo et al., 2016), в багатьох країнах світу є основним фактором, який знижує урожайність зернових культур (Mauler-Machnik et al., 2002). В Україні хвороба вперше була виявлена у 70-х роках минулого століття, а вже до середини 80-х років поширилася по всій Україні, крім деяких районів Лівобережжя. Нині в Поліссі та Північному Лісостепу її поширення на монокультурі пшениці озимої досягає 76-100% (Grytsiuk N.V., 2015)..

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Незважаючи на значну увагу, яку дослідники протягом багатьох десятиліть приділяють вивченню офіобольозу, проблема захисту зернових від ураження хворобою залишається невирішеною. На сьогоднішній день накопичено велику кількість інформації про ефективність хімічних, біологічних, імунологічних, агротехнічних та інших заходів її контролю. Інтенсивні дослідження з виявлення джерел стійкості до хвороби проводяться ще з минулого століття (Scoot & Hollins, 1983). Масштабні дослідження щодо пошуку джерел стійкості та розроблення методів оцінки стійкості сортів пшениці озимої до офіобольозу проводилися в Україні з 80-х років (Lisovyi M.P. et al., 1991; Lisovyi M.P., Ripenko V.M., 1991; Kriuchkova L., Gritsyuk N., 2017).

Проте сортів пшениці, стійких проти хвороби, не зареєстровано.

У захисті рослин пшениці озимої від офіобольозу провідну роль відіграє не лише генетична стійкість сортів до хвороби, але і зовнішні фактори, які впливають на збудника хвороби. Встановлено, що на колонізацію коренів пшениці грибом *G. tritici* впливають такі фактори, як фізіологічний стан коренів, який, в свою чергу, залежить від кореневого живлення (Gilligan, 1983). Іншим чинником, який зменшує ураження пшениці хворобою, є колонізація ризосфери та корневих клітин супутньою антагоністичною мікрофлорою (Cook et al., 1995). Є дані, що попередня колонізація коренів непатогенними грибами, у тому числі *G. hyphopodioides*, істотно підвищує стійкість пшениці до ураження фітопатогеном *G. tritici* (Osborne et al., 2018).

Ґрунтові бактерії, зокрема *Pseudomonas* pp. і *Bacillus* pp., також сприяють пригніченню офіобольозної інфекції. Висока заселеність ризосферного ґрунту бактеріями підвищує супресивність ґрунту, що сприяє кращому росту рослин та підвищує стійкість до ураження фітопатогенами. Цікаво, що найбільш інтенсивно досліджувалася супресивність ґрунту відносно гриба *G. tritici* (Deacon, 2006).

Мета дослідження – із уражених офіобольозом рослин пшениці озимої виділити ізоляти збудника хвороби та дослідити їх патогенність.

Матеріали та методи досліджень.

Відбір уражених офіобольозом зразків рослин пшениці озимої сорту Єлик, проводили на дослідних

ділянках лабораторії фітопатології у ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція» протягом вегетаційного періоду 2020-2022 рр. Ідентифікацію збудників та виділення їх в чисту культуру проводили в проблемній науково-дослідній лабораторії «Мікології і фітопатології» кафедри фітопатології ім. акад. В.Ф. Пересипкіна. Виділенню гриба *G. tritici* в чисту культуру передувала візуальна діагностика хвороби за почорнінням кореневої системи пшениці озимої. Для ізоляції гриба переважно використовували тканини коренів зі слабким ступенем ураження, оскільки при сильному пошкодженні коренів патогеном виділенню його в чисту культуру перешкоджають численні гриби-сапрофіти, які як вторинні колонізатори заселили відмерлі тканини і можуть витіснити фітопатогена завдяки своєму швидкому росту в чашках Петрі на штучному поживному середовищі.

Уражені корені ретельно відмивали від ґрунту, поверхнево дезінфікували 10%-м розчином гіпохлориту натрію протягом 10 хв., двічі обполіскували стерильною водою і просушували фільтрувальним папером. Шматочки коренів розміром 2-3 см поміщали на картопляно-глюкозний агар (КГА) в чашки Петрі та інкубували в термостаті при 25°C протягом 5 – 7 діб. Колонії грибів, які появлялися навколо коренів, розглядали під мікроскопом. Якщо гіфи по краях колоній мали характерний закручений вигляд («curling back») (Kwak & Weller, 2012), ці ізоляти ідентифікували як *Gaeumannomyces* spp. Для отримання моноізолятів використовували метод «hyphal-tip» (кінцеві гіфи): кінцеві гіфи під мікроскопом обережно відрізали і переносили до

інших чашок Петрі з КГА.

Належність виділених ізолятів до виду *G. tritici* (попередня назва – підвид *G. graminis* var. *tritici*) визначали за допомогою тесту на патогенність на різних видах зернових: пшениці озимої, ячменю озимого, вівса посівного.

Зараження рослин пшениці озимої збудником хвороби проводили згідно методики, описаної Bateman (1988) та модифікованої нами з врахуванням особливостей патогена. Моноізоляти *G. tritici* вирощували протягом 4 тижнів в чашках Петрі на КГА. Для зараження використовували колонізовані ізолятами гриба «агарові диски», вирізані в культурі гриба на рівній відстані від центру чашки. Їх поміщали у пластикові циліндричні ємності (діаметром 4,5 см) реверсом донизу на попередньо насипаний стерильний пісок, який слугував субстратом для вирощування рослин. В дисках рівномірно, на відстані 1-1,5 см один від одного, робили отвори, в які закладали по 1 насінині пшениці для пророщування. У кожній такій ємності пророщували по 5 насінин. Повторність досліду – 6-кратна. Всього по кожному варіанту досліду вирощували по 30 рослин. Зверху інокулюм з насінням присипали піском і весь субстрат зволожували до повної вологості водогінною водою.

Ємності ставили на тацю та залишали без поливання за температури 25°C до появи сходів. З появою сходів рослини періодично поливали, а через 6 тижнів проростки викопували, корені обмивали від піску та за симптомами (почорнінням поверхні коренів) і за наявністю на поверхні коренів характерних чорних широких гіф («runner hyphae»), видимих

під мікроскопом, діагностували хворобу.

Обліки хвороби проводили за 4-бальною шкалою: 0, рослини здорові; 1, до 10% поверхні коренів почорніло; 2, від 10 до 25% коренів почорніло; 3, 25-50% коренів почорніло; 4, від 50 до 100% коренів почорніло, почорніння відмічається на основі стебла проростка (Ownley et al., 1992).

Результати дослідження і їх обговорення.

Із уражених рослин озимої пшениці було виділено 30 ізолятів темно-забарвлених грибів, які за культуральними ознаками попередньо віднесено до роду *Gaeumannomyces* (Kwak & Weller, 2012). Для подальших досліджень ми відібрали 8 моноізолятів: із дослідних ділянок лабораторії фітопатології у ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція». У даних ізолятів визначали видову належність та досліджували патогенні властивості на проростках рослин-хазяїнів.

На сьогодні відомо 19 видів *Gaeumannomyces* (Hernandez-Res-trepo et

al., 2016). Тривалий час у межах фітопатогенного виду *G. graminis* виділяли три підвиди: *G. graminis* var. *tritici*, *G. graminis* var. *avena* та *G. graminis* var. *graminis*, серед яких перший підвид більше уражує пшеницю і ячмінь, другий – овес, а *G. graminis* var. *graminis* – рис і трави (Peixoto et al., 2013). На сьогодні перші два підвиди отримали статус окремих видів, відповідно, *G. tritici* і *G. avenae* (Hernandez–Restrepo et al., 2016).

Для встановлення видової належності виділених ізолятів *Gaeumannomyces* ми дослідили їх патогенність та спеціалізацію на трьох зернових культурах: пшениці, ячмені, вівсі. Всі ізоляти уражували корені всіх трьох культур, проте більш патогенними виявилися на пшениці озимій та ячмені озимому. За цією ознакою попередньо їх було віднесено до підвиду *G. graminis* var. *tritici* (тепер – вид *G. tritici*).

Патогенні властивості ізолятів досліджували на сходах рослин пшениці озимої сорту Єлик. Всі проаналізовані нами ізоляти *G. tritici* проявили різний рівень патогенності. За показником «розвиток хвороби» істот-

1. Ізоляти *Gaeumannomyces tritici*, виділені із рослин пшениці озимої (2020-2022 рр. сорт Єлик, лабораторія фітопатології у ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція»)

Ізолят	Рік	Розвиток хвороби	
		Бал (0-4)	%
1/20	2020	1,10	27,5
3/20	2020	2,34	58,5
7/20	2020	1,87	46,8
2/16/21	2021	2,20	55,0
3/16/21	2021	1,46	36,5
4/16/21	2021	1,10	27,5
16/22	2022	1,83	45,8
9/22	2022	2,88	72,0

но вищою патогенністю порівняно з іншими ізолятами характеризувався ізолят *G. tritici* 9/22 (Табл.1). Більшість інших ізолятів проявили середню патогенність (3/20, 7/20, 2/16/21, 3/16/21, 16/22), і лише два ізоляти (1/20, 4/16/21) виявилися низькопатогенними.

За результатами досліджень Крючкової Л.О. та Грицюк Л.А., попри наявність низькопатогенних ізолятів у популяціях гриба *G. tritici*, інші ґрунтові патогени - *Fusarium spp.*, *Pythium spp.* значно поступалися йому як за агресивністю, так і за співвідношенням високопатогенних і низькопатогенних штамів (Kriuchkova & Gritsyuk, 2017). Це дає підстави розглядати офіобольоз як найбільш небезпечну серед кореневих хвороб пшениці озимої.

Слід відмітити, що зараження збудником офіобольозу коренів рослин пшениці озимої має свої особливості. Збудник не руйнує клітини поверхні коренів, як це відбувається при зараженні іншими ґрунтовими патогенами (*Fusarium spp.*, *Pythium spp.*), а на першому етапі колонізує їх поверхню, обплітаючи мереживом чорних широких гіф. Тому корені спочатку не руйнуються, а, навпаки, спостерігається деяка стимуляція їх росту порівняно з незараженим контролем. Потім збудник проникає всередину судин кореневої системи, закупорюючи її, що призводить до блокування надходження води до надземної частини рослини, внаслідок чого рослина в'яне і гине. Навіть на дорослих рослинах симптоми хвороби часто залишаються непомітними через непошкодженість зовнішніх тканин кореня, а зниження продуктивності і навіть загибель рослин часто приписують іншим факторам.

2. Патогенні властивості ізолятів *G. tritici*

Ізолят	Розвиток хвороби, бал (0-4)	Патогенність
3/20	2,34	середня
7/20	1,87	середня
9/22	2,88	висока
16/22	1,83	низька
3/16/21	1,46	низька
НІР ₀₅	-	

У своїх дослідженнях ми використовували показник «розвиток хвороби» в балах (0-4) для оцінки патогенності ізолятів (Табл. 2). Враховуючи дані по цим показникам, істотно вищою патогенністю порівняно з іншими ізолятами характеризувався ізолят 9/22. Ізоляти 3/20 і 7/20 характеризувалися середньою патогенністю. Ізоляти 16/22 і 3/16/21 проявили низький рівень патогенності.

На процес зараження рослин пшениці збудниками корневих хвороб в природних умовах, крім патогенності ізолятів, істотно впливають інші біотичні фактори, зокрема, стійкість сорту, супресивність ґрунту, тощо, які цікаві для подальших досліджень.

Висновки і перспективи.

Нами досліджено патогенні властивості ізолятів на сходах рослин пшениці сорту Єлик. Всі проаналізовані ізоляти *G. tritici* проявили різний рівень патогенності. За показником «розвиток хвороби» істотно вищою патогенністю порівняно з іншими ізолятами характеризувався ізолят *G. tritici* 9/22, інші ізоляти проявили середню патогенність (3/20, 7/20) і низьку патогенність (16/22, 3/16/21).

При оцінці патогенності ізолятів, ми користувалися показником «розвиток хвороби» в балах. Враховуючи дані по цим показникам, істотно вищою патогенністю порівняно з іншими ізолятами характеризувався ізолят 9/22, при ураженні ним бал розвитку хвороби був 2,88.

На процес зараження рослин пшениці збудниками корневих хвороб в природних умовах, крім патогенності ізолятів, істотно впливають інші біотичні фактори, зокрема, стійкість сорту, супресивність ґрунту, тощо, які цікаві для подальших досліджень.

References

1. Hernandez-Rostrepo M., Groenewald J.Z., Elliot M.L., Cannong G., McMillan V.E., Crous P.W. (2016) Take-all or nothing. *Studies in Mycol.* 83. 19-48. www.studiesinmycology.org
2. Mauler-Machnik A., Rosslénbroich H.-J., Dutzmann S., Applegate J., Jautelat M. (2002) JAU 6476 – a new dimension DMI fungicide. *Proc. of BCPC Conference -Pests & Diseases.* Brighton, UK. 389 – 394.
3. Grytsiuk N.V. (2015) Khvoroby koreniv i prykorenevoi chastyny stebela pshenytsi ozymoi ta obgruntuvannya zakhodiv zakhystu vid nykh v umovakh Polissia Ukrainy [Root and stem-base diseases of winter wheat and substantiation of their control in Ukrainian Polissya]. Kyiv, 21 p. (In Ukrainian)
4. Scott P.R., Hollins T.W. (1983) Role of plant breeding in controlling soilborne diseases of cereals. *Ecology and Management of Soilborne Plant Pathogens* / Ed. by Parker, C.A., Rovira, A.D., Moore, K.J., Wong, P.T.W., Kollmorgen, J.F. *Proceedings of Section 5 of the Fourth International Congress of Plant Pathology, University of Melbourne, Australia, 17-24 Aug. 1983.* 157 – 159.
5. Lisovy M.P., Kolnobytskyi M.I., Shupykova O.I. (1991) Rozvytok korenevyykh hnylei ozymoi pshenytsi v ryznykh ekolohichnykh zonakh URSR v zalezhnosti vid sortiv, struktury sivozminy ta poperednykiv. [Development of root diseases of winter wheat in different ecological zones of USSR in dependency of cultivars, crop rotation and previous crop]. *Zakhyst roslyn.* 38. 9 – 15. (In Ukrainian)
6. Lisovy M.P., Ripenko V.M. (1991) Dzherela stikosti ozymoi pshenytsi proty zbudnykiv korenevyykh hnylei. [Sources of resistance against root rots causal agents]. *Zakhyst roslyn.* 38. 16 – 20. (In Ukrainian)
7. Gilligan C.A. (1983) Dynamics of root colonization by the take-all fungus. *Ecology and Management of Soilborne Plant Pathogens.* / Ed. by Parker, C.A., Rovira, A.D., Moore, K.J., Wong, P.T.W., Kollmorgen, J.F. *Proceedings of Section 5 of the Fourth International Congress of Plant Pathology, University of Melbourne, Australia, 17-24 Aug. 1983.* 84 – 86.
8. Cook, R.J., Tomashow, L.S., Weller, D.M., Fujimoto, D., Mazzola, M., Bangera, G., Kim, D.S. (1995) Molecular mechanisms of defense by rhizobacteria against root disease. *Proc Natl Acad Sci USA*, 92(10). 4197-4201. <https://doi.org/10.1073/pnas.92.10.4197>
9. Osborne, S.-J., McMillan, V.E., White, R., Hammond-Kosack, K.E. (2018) Elite UK winter wheat cultivars differ in their ability to support the colonization of beneficial root-infecting fungi. *Journ Exp Bot.*, 69(12), 3103-3115. DOI:10.1093/jxb/ery136
10. Deacon J.W. (2006) *Fungal Biology.* 4th ed. Blackwell Publishing. 371 pp.
11. Deacon J.W., Henry C.M. (1978) Studies on virulence of take-all fungus, *Gaeumannomyces graminis*, with reference to methodology. *Ann. Appl. Biol.*, 89. 401 – 409.
12. Kwak Y.-S., Weller D.M. (2013) Take-all of wheat and natural disease suppression: a review. *Plant Pathol. Journ.*, 29(2).

- 125-135. <http://dx.doi.org/10.5423/PPJ.SI.07.2012.0112>
13. Ownley, B.H., Weller, D.M., Thomashow, L.S. (1992) Influence of in situ and in vitro pH on suppression of *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* by *Pseudomonas fluorescens* 2-79. *Phytopathol.* 82. 178-184.
14. Bateman, G.L. (1988) *Pseudocercospora anguoides*, a weakly pathogenic fungus associated with eyespot in winter wheat at a site in England. *Plant Path.* 37. 291 – 296
15. Peixoto C.N., Ottoni G., Filippi M.C.C., Silva-Lobo V.L., Prabhu A.S. (2013) Biology of *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* isolates from rice and grasses and epidemiological aspects of crown sheath rot of rice. *Tropical Plant Pathol.*, 38(6). 495- 504.
16. Kriuchkova L., Gritsyuk N. (2017) Populations of *Pythium* spp., *Fusarium* spp. and *Gaeumannomyces* spp. on wheat root and their association with root rot diseases. Proceeding materials of International Conference “Genetics, Physiology and Plant Breeding” (VI edition), 9-10 October 2017, Chisinau. 253-256.
17. Kriuchkova, L., Patyka, T., Shmyhel, T. (2017) In vitro potential of two *Bacillus* strains as biocontrol agents against plant pathogenic fungi. VI annual scientific conference «Biotechnology: accomplishment and hopes». NULESU, Kyiv. 24-25.
18. Cawoy, H., Bettiol, W., Fickers, P., Ongena, M. (2011) *Bacillus*-based biological control of plant diseases, in: Stoytcheva, M. (Eds.), *Pesticides in the Modern World – Pesticides Use and Management*. IntechOpen, pp. 273-302. <http://www.intechopen.com/books/pesticides-in-the-modern-world-pesticides-use-and-management/bacillus-based-biological-control-of-plant-diseases>
19. Hardoim, P.R., van Oberbeek, V.S., Berg, G., Pirttilä, A.M., Compant, S., Campisano, A., Doring, M., Sessitsch, A. (2015) The hidden world within plants: ecological and evolutionary considerations for defining functioning of microbial endophytes. *Microbiol. Molecular Biol. Review.*, 79(3). 293-320. DOI: 10.1128/MMBR.00050-14
20. Wong P.T.W. (1983) Interaction between microbial residents of cereal roots. *Ecology and Management of Soilborne Plant Pathogens* / Ed. by Parker, C.A., Rovira, A.D., Moore, K.J., Wong, P.T.W., Kollmorgen, J.F. Proceedings of Section 5 of the Fourth International Congress of Plant Pathology, University of Melbourne, Australia, 17-24 Aug. 1983. 144 – 147.
21. McMillan, V.E., Canning, G., Moughan, J., White, R.P., Gatteridge, R.J., Hammond-Kosack, K.E. (2018) Exploring the resilience of wheat crops grown in short rotations through minimizing the build-up of an important soil-borne fungal pathogen. *Sci Reports*. 8. 9550. DOI 10.1038/s41598-018-25511-8

Olifer D. (2024).

STUDY OF PATHOGENICITY OF *GAEUMANNOMYCES TRITICI* - THE TAKE-ALL FUNGUS OF WINTER WHEAT

BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 15(1): 91-98.

<https://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/48304>

[http://dx.doi.org/10.31548/biologiya15\(1\).2024.008](http://dx.doi.org/10.31548/biologiya15(1).2024.008)

Abstract. Isolates of *Gaeumannomyces* spp. obtained from diseased roots of winter wheat showing take-all symptoms were characterized by pathogenicity. All isolates were more pathogenic on wheat and barley than on oat, and were identified as *G. tritici*. Most isolates of *G. tritici* were characterized as middle pathogenic, the pathogenicity of one isolate was higher than those of others, and two isolates showed the lowest pathogenicity.

30 isolates of dark-colored fungi were isolated from the affected plants of winter wheat, which according to cultural characteristics were previously assigned to the genus *Gaeumannomyces*. To establish the species affiliation of the selected *Gaeumannomyces* isolates, we investigated their pathogenicity and specialization on three grain crops: wheat, barley, and oats. All isolates affected the roots of all three crops, but they were more pathogenic on wheat and barley. Based on this feature, they were previously assigned to the subspecies *G. graminis* var. *tritici* (now the species *G. tritici*). The pathogenic properties of the isolates were studied on seedlings of Yelyk wheat plants. All *G. tritici* isolates analyzed by us showed a high level of pathogenicity. The *G. tritici* 9/1 isolate was characterized by significantly higher pathogenicity compared to other isolates according to the "disease development" indicator. Most of the other isolates showed medium pathogenicity (3/20, 7/20, 2/16/21, 3/16/21, 16/22), and only two isolates (1/20, 4/16/21) were low pathogenic.

In our research, in addition to the "disease development" indicator in points (0-4) to assess the pathogenicity of isolates, we used indicators that characterize the growth and development of plants, namely "weight of 1 seedling" and "mass of roots from 1 seedling". Taking into account the data on these indicators, isolate 9/22 was characterized by significantly higher pathogenicity compared to other isolates: when affected by it, the mass of wheat seedlings and roots was significantly lower than in other variants. Isolates 3/20 and 7/20 were characterized by medium pathogenicity, when infected with them, a significant decrease in the mass of the roots of seedlings was noted. Isolates 16/22 and 3/16/21 showed a low level of pathogenicity - the decrease in root mass was insignificant.

Key words: *Gaeumannomyces tritici*, take-all, pathogenicity, winter wheat, isolate, strain, disease development.
