

ОЦІНКА ГЕМАТОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ КРОВІ ВЕЛИКОЇ РОГАТОЇ ХУДОБИ ЗА «ЙОДНОЇ» ПАТОЛОГІЇ ПІСЛЯ АВАРІЇ НА ЧАЕС

М.М. ЛАЗАРЄВ,

*кандидат біологічних наук, доцент кафедри загальної екології,
радіобіології та БЖД*

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

А.В. КЛЕПКО,

*доктор біологічних наук, старший науковий співробітник, завідувач
кафедрою загальної екології, радіобіології та БЖД
Національний університет біоресурсів і природокористування України*

E-mail: laz_rev@i.ua

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

Abstracts. Проаналізовано відомості щодо вмісту природного стабільного елемента йоду (^{127}I) на радіоактивно забруднених територіях Українського Полісся і вплив його нестачі у даних регіонах на фізіологічні показники стану здоров'я великої рогатої худоби (ВРХ).

Відомо, що найбільш забруднені території України належать до зони Полісся, які характеризуються як зони з дефіцитом біогенних мікроелементів у ґрунтах, у тому числі йоду. Також добре відомо, що саме радіоактивний йод відіграє провідну роль у радіаційному ураженні біологічних об'єктів практично за будь-якої ядерної аварії при надходженні продуктів ядерного розподілу у навколишнє середовище. Найяскравіше за всю історію ядерних аварій це виявилось після аварії на Чорнобильській АЕС. Діагностичні ознаки та клінічна картина радіаційного ураження тварин радіоактивним йодом досить добре описана у науковій літературі. Однак, недостатньо, на наш погляд, приділено уваги даним питанням при ситуаціях, коли радіоактивний йод вражає популяції тварин в ендемічних за стабільним йодом провінціях.

З даних літератури відомо, що основною клінічною картиною при дефіциті стабільного йоду у ВРХ є: низькорослість, низька маса, низька продуктивність, характерні зміни у волосяному покриві – кучерявість, велика довжина волосся, складчастість шкіри, брадикардія, гіпотонія рубця, порушення відтворювальних

функцій, порушення еритро- і лейкопоезу. Але при оцінці стану здоров'я ВРХ на радіоактивно забруднених територіях у гострий період розвитку аварії на ЧАЕС дослідники відмічали дуже схожі ознаки.

В активних експериментах зі штучним надходженням радіоактивного йоду (^{131}I) в організм великої рогатої худоби різного віку нами досліджено зміни у фізіологічному стані тварин під дією різних сформованих доз опромінення щитоподібної залози й підтверджено нашу гіпотезу щодо подібності біологічних ефектів ураження радіоактивним йодом і клінічної картини нестачі стабільного йоду. Тобто скринінг основних фізіологічних параметрів стану здоров'я тварин є запорукою коректних оцінок ступеня ураження організму тварин радіоактивними ізотопами йоду.

Ключові слова: йод стабільний (^{127}I), йод радіоактивний (^{131}I), забруднена радіонуклідами територія, щитоподібна залоза, гематологічні, імунологічні показники крові.

Вступ.

За останній час з'явилися узагальнюючі роботи, в яких систематизовані відомості щодо сільськогосподарських аспектів проблем тваринництва на забруднених радіонуклідами територіях (Бар'яхтар В.Г. та ін., 2001 р., Прістер Б.С., 2008 р., IAEA, 2020 р., Pentreath R.J., 2023).

Однак, проблемам молочного скотарства в період небезпеки радіоактивних ізотопів йоду приділено недостатньо уваги, а це основна ланка надходження радіоактивного йоду в організм людини через молоко. У першу чергу, через відсутність повних й узагальнених даних про можливі наслідки впливу радіоактивного йоду на організм великої рогатої худоби після Чорнобильської радіаційної катастрофи були допущені прорахунки в оцінці біологічних ефектів від впливу радіоактивного йоду в результаті чого сотні тисяч голів ВРХ були вбиті й тим самим була створена нова проблема - утилізації забрудненого радіонуклідами м'яса, що вирішувалася в продовж 10 років

після аварії (Crout N.M.G. and Voigt G., 1996, Horikami D., et al., 2022).

Таким чином можна виділити дві проблеми радіаційної небезпеки при надходженні продуктів ядерного поділу у навколишнє середовище.

Перша – біологічна дія радіоактивних ізотопів йоду, що пов'язана із ураженням щитоподібної залози тварин і наслідки для стану здоров'я тварин, що пов'язані саме із ураженням структури і функції даного органу. Саме невпевненість у прогностичних оцінках цих наслідків і призвели до вищезгаданих проблем.

Друга – проблема надходження ізотопів радіоактивного йоду в продукцію тваринництва, в основному молоко, оскільки саме через молоко радіоактивний йод надходить до організму людей. Ці дві проблеми органічно пов'язані між собою і їх не можна розділяти при оцінці наслідків радіаційних аварійних ситуацій.

Не слід також забувати, що основні медичні проблеми в післяаварійний період також пов'язані із впливом радіоактивного йоду - це проблема виникнення новоутворень у щитоподі-

дібній залозі, зокрема в дітей, що є також наслідком недооцінки значимості надходження ізотопів радіоактивного йоду з молоком корів в організм дітей. Саме молоко корів постачає основну «йодну» дозу людині (Прістер Б.С., 1999, Прістер Б.С. та ін., 2013).

У випадку аварійного радіоактивного викиду в атмосферу радіоактивний йод є критичним компонентом забруднення зовнішнього середовища, тобто в порівнянні з іншими радіонуклідами становить найбільшу небезпеку інкорпорованого опромінення населення. Це показує досвід відомих прецедентів - аварія в Уіндскейлі, Англія, 1957р. (Webb G A M, et al., 2006, Wakeford R., 2007), катастрофа на ЧАЕС – 1986р. (IAEA, 2006 р.).

Згадані аварії не є єдиними випадками, пов'язаними з викидами радіоактивного йоду в навколишнє середовище. Зараз вже відомо про радіаційні аварії на підводних човнах і підприємствах з переробки опроміненого ядерного палива, але дані аварії не потребували виконання спеціальних мір захисту населення на значній території.

У випадку Чорнобильської катастрофи біологічні ефекти й наслідки біологічної дії радіоактивних ізотопів йоду були визнані світовим співтовариством лише через 10 років після аварії (Karaoglou A. et al., 1996).

Таким чином, радіоактивний йод обумовлює основну небезпеку для населення у випадку радіаційних інцидентів і набуває особливої важливості у сучасний період за реальних умов застосування ядерної зброї.

Мета дослідження полягала у визначенні основних параметрів фізіологічного стану великої рогатої худоби в ендемічних по йоду і забруднених радіонуклідами територій.

Матеріали та методи дослідження.

Для гематологічних і біохімічних досліджень використовували гепаринизовану кров. Проби крові відбирали від 5-6 тварин з кожної групи. В якості антикоагулянту крові використовували гепарин. За час проведення експерименту було оцінено загальний клінічний стан тварин та здійснений індивідуальний облік продуктивності корів методом контрольних доїнь перед початком досліду й далі щомісяця.

Загальний аналіз крові включав: підрахунок кількості еритроцитів і лейкоцитів – у камері з сіткою Горяєва; визначення вмісту гемоглобіну (гемоглобінціанідним методом із ацетонціангідрином); визначення середнього вмісту гемоглобіну в еритроцитах (МСН); виведення лейкограми розрахунковим методом за Левченко В. І. та параметри клінічного стану.

Дослідження проводили на коровах чорно-строкатої породи у виробничих умовах і в умовах активного експерименту з штучним надходженням радіоактивного йоду. Схема проведення досліду представлена у таблиці 1.

Статистичний аналіз проводили методами варіаційної статистики.

Результати та їх обговорення

При проведенні клінічного обстеження і довготривалого спостереження за клінічним станом дослідних тварин важливе значення ми приділяли тому факту, що тварини знаходилися в умовах впливу радіаційного фактору, але й і в умовах нестачі біогенних мікроелементів – йоду, кобальту, цинку, міді, марганцю. Наприклад вміст йоду у воді у 4-50 разів

1. Дослідження корів черно-строкатої породи з штучним надходженням радіоактивного йоду

Групи тварин ВРХ	Місце перебування на момент аварії на ЧАЕС	Дози опромінення			
		На ЩЗ, Гр	Зовнішня, сГр	Внутрішня, сГр	
				На ШКТ	Усе тіло
Виробничі умови (n-20)					
Корови	с.Володимірівка	40	61	35.6	70
Корови	сmt. Поліське	20	30	14	20
Корови	с. Максимовичі	2	15	6	10
Корови (n-3)	с. Новошепелічі	-	200	1000	200
Корови, контроль	с. Музичі	-	-	-	

2. Клініко-фізіологічні параметри стану здоров'я корів, що знаходилися у різних умовах опромінення

№ з/п	Показник	Січень 1986р* (2015-2017)**	0.7 Гр на організм+40Гр на ЩЗ		0.2 Гр на організм+10Гр на ЩЗ		0.1 Гр на організм+3Гр на ЩЗ	
			1.1989	1.1990	1.1989	1.1990	1.1989	1.1990
1	Маса телят при народженні, кг	19-25	25-37	27-40	20-30	20-35	22-31	22-36
2	Анемія слизових оболонок, %	54-60 (26-64)	38-46	45-55	48-55	48-56	40-58	46-54
3	Зміни тонів серця, %	20-34	28	36	32	30	22	26
4	Збільшення меж печінки, %	8-14 (6-14)	6	8	16	10	11	9
5	Гіпотонія рубця, %	18-25 (3-7))	28	28	22	23	22	18
6	Зміни у волосяному покриві, %	58-72 (11-17)	70	68	48	60	60	56
7	Демінералізація скелета, %	56-72	70	68	68	60	60	56
8	Енофтальм, %	15-23	18	20	20	16	20	14
9	Зміни у стані шкіри, %	15-25 (8-21)	20	22	25	20	24	18

* Дані, що отримані науковою експедицією під керівництвом М.І. Судакова;
** Дані, що отримані Н.Г. Грушанською у 2015-2017 рр. під керівництвом М.І. Цвіліховського.

менший за оптимальні значення. Незбалансованість раціонів худоби не могла не сказатися на загальному стані худоби. Результати клінічного обстеження корів, що знаходилися у

різних умовах впливу радіаційного фактору представлені у таблиці 2.
Наведені у таблиці 2 результати клінічного обстеження тварин свідчать про глибоке порушення обмінних

3. Вміст деяких макро і мікроелементів у ґрунтах, раціоні і організмі корів у дослідному господарстві УкрНДІСГР

Об'єкт досліджень	Одиниці виміру	Елементи				
		Co	Zn	Cu	Mn	I
Ґрунт	мг/кг	0.8±0.1	0.1±0.01	2.9±0.3	115±15	1.7±0.2
	Норма	1.1-2.0	0.2-1.0	2.5-4.0	50-100	6-21
Раціон	мг/кг	0.3±0.1	8.0±0.7	6.0±0.8	52.5±4.0	0.08±0.015
	Норма	0.6-1.0	30-60	5-10	40-60	0.3-0.6
Сироватка крові	мкг/100мл	1.1±0.1	60±7	60±8	11±2	1.0±0.1
	Норма	2-4	100-150	60-100	2-8	6-11

4. Морфологічний склад крові корів на території з різними дозами опромінення організму

Показник		Контроль		0.7 Гр на організм+40Гр на ЩЗ		0.2 Гр на організм+10Гр на ЩЗ		0.1 Гр на організм+3Гр на ЩЗ	
		1987	1990	1987	1990	1989	1990	1989	1990
Лейкоцити, т/мкл; норма 6-12		6.4±0.3	6.2±0.4	6.9±0.4	6.4±0.04	6.6±0.4	7.8±0.1	7.6±0.4	7.2±0.3
Лейкограма, %	Базофіли, норма-1.0 (0-2)	0.2±0.04	0.9±0.08	0.4±0.03	0.5±0.08	0.7±0.08	1.4±0.1	1.4±1.1	1.6±0.1
	Еозинофіли, норма-6,5 (5-8)	11.0±1.3	13.2±1.3	13.2±1.1	9.6±0.8	11.6±1.0	12.2±1.3	11.2±1.1	10.4±1.0
	Нейтрофіли, норма-31 (22-42)	29.0±3.0	26.3±2.6	22.2±2.1	24.35±2.2	24.8±2.2	22.7±2.1	21.9±2.0	12.8±2.0
	Лімфоцити, норма-57 (45-65)	57.2±6.0	53.8±5.0	61.5±5.4	60.7±6.2	58.8±6.0	61.4±5.0	60.0±5.8	64.0±4.6
	Моноцити, норма-3.5 (2-7)	2.6±0.3	5.8±0.6	2.6±0.2	4.8±0.3	4.1±0.4	2.3±0.3	5.4±0.6	4.1±0.4
Еритроцити, млн/мкл; норма 5-7.5		6.1±0.2	6.6±0.1	5.3±0.2	6.0±0.5	6.8±0.06	6.0±0.1	6.0±0.04	5.8±0.02
Гемоглобін, г/%, норма 9-12		9.6±0.2	9.4±0.1	9.0±0.01	10.2±0.01	8.9±0.1	9.4±0.1	9.4±0.1	10.0±0.1
Гематокрит, %		29.0±0.3	26.0±0.4	28.2±0.1	27.6±0.01	25.5±0.4	28.8±0.2	28.2±0.2	26.6±0.2
Кольоровий показник, відн. од.		0.8±0.04	0.9±0.02	0.8±0.3	0.9±0.02	0.9±0.02	0.8±0.3	0.9±0.03	0.9±0.02

процесів в організмі корів різних груп, але відокремити вплив радіаційного фактору не представляється можливим із за подібності процесів у всіх дослідних групах, що свідчить про більший вплив екологічних умов і зоогігієнічних умов господарського утри-

мання (перш за все годівлі) худоби.

Порушення у деяких параметрах фізіологічного стану тварин, що в основному характерне для аліментарних нестач біогенних мікроелементів підтверджуються низьким вмістом їх у ґрунтах, раціоні тварин (табл.3).

Слід відмітити, що 5 років після аварії не відмічене видимих змін у процесах обміну речовин у великої рогатої худоби. Вищевказані відхилення у клінічному стані знаходилися на одному рівні і достовірно не залежать від рівнів радіоактивного забруднення території в указаних межах.

Система крові великої рогатої худоби у цілому, і периферійна кров зокрема, є однією з радіочутливих систем організму. Серед змін картини крові, що виникають у периферійній крові тварин найбільш ранніми і достатньо зручними для виявлення біологічних ефектів дії іонізуючих випромінювань є зміни її морфологічного складу.

Однак при цьому слід враховувати, що характер гематологічних змін суттєво залежить як, від рівнів і динаміки опромінення організму тварин, так і від умов їх утримання. Результати гематологічних досліджень крові великої рогатої худоби, що довготривалий час знаходилися на забрудненій радіонуклідами території, представлені у таблиці 4.

Як видно з даних таблиці 4, гематологічні параметри тварин, що знаходилися у різних, за дозовим навантаженням, умовах носить схожий характер. У периферійній крові великої рогатої худоби коливання рівня білих клітин крові відповідає фізіологічним параметрам.

При аналізі кількості еритроцитів в крові великої рогатої худоби слід відмітити, що їх рівень у більшості випадків відповідає нижній межі фізіологічної норми (5–7.5 за В. І. Левченком із співавт., 2017), але достовірної різниці між групами тварин з різними дозами опромінення організму у цілому і дозами опромінення ЦЗ немає.

Більш виражені зміни відмічені при аналізі лейкоцитарної формули крові тварин. Результати показують, що вміст окремих популяцій клітинних елементів крові у ряді випадків суттєво відрізняється від прийнятих фізіологічних норм. Так, вміст еозинофілів клітин у периферійній крові сягало 12, замість 5-8% за нормою. Кількість нейтрофілів клітин у крові тварин знаходиться на нижній межі норми, а рівень лімфоцитів підвищений. Підвищену кількість еозинофілів, також як і інші виявлені нами зміни у кількісному складі крові у корів у перші роки після аварії на ЧАЕС відмічали і інші дослідники на різних слідах радіоактивних випадінь (Іллязов Р.Г., та ін., 2006 р., Прістер Б.С., 1999, та ін.).

При якісному аналізі клітин периферійної крові слід відмітити такі зміни як базофільна зернистість лімфоцитів, некроз, рексис ядер лімфоцитів, каріопікноз і гіперсегментацію нейтрофілів. В мазках крові відмічали наявність патологічних форм еритроцитів – анізацитоз, пойкилоцитоз.

Гематологічні дослідження, що проводилися у дослідному господарстві «Поліське», повторюють загальну картину гематологічних показників, що отримані при дослідженнях різних господарств Київської та Житомирської областей. Характерними змінами, що були відмічені у крові великої рогатої худоби, є понижений рівень еритроцитів і гемоглобіну. У лейкоформулі відмічали понижений рівень нейтрофілів та і збільшення кількості лімфоцитів.

Висновки.

Таким чином, гематологічні дослідження, що проведені у госпо-

дарствах з різними рівнями радіоактивного забруднення і різними дозами опромінення тварин виявили ряд характерних змін у периферійній крові, що, на наш погляд, пов'язані у більшій мірі з умовами утримання і екологічними умовами, насамперед нестачею біогенних мікроелементів в раціонах годівлі тварин. Дефіцит біогенних мікроелементів в раціонах і крові тварин може бути причиною самих різних порушень в системах життєзабезпечення організму тварин. Тим не менше слід підкреслити, що наявна еозинофілія, лімфоцитоз, якісні зміни у клітинах білої крові можуть бути й результатом впливу радіаційного фактору, що підтверджується фундаментальними дослідженнями у роботах (Slavov V., & Plotko T. 2017, Formanek Z., et al., 2003 та ін., Іллязов П.Г., 2006).

References

1. Priester B.S. (2008) "Problems of agricultural radioecology and radiobiology during environmental contamination with a young mixture of nuclear fission products": monograph. Chernobyl: NPP Safety Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, 320 p.
2. International atomic energy agency (2020), Strategies and Practices in the Remediation of Radioactive Contamination in Agriculture, Proceedings Series - International Atomic Energy Agency, IAEA, Vienna. 194 p.
3. Chernobyl: exclusion zone: Collection of scientific works / Ed. col.: V. G. Baryakhtar, I. R. Alekseenko and others. Kyiv: Naukova dumka, 2001. 548 p.
4. Pentreath R.J. (2023) Radiological protection, radioecology, and the protection of animals in high-dose exposure situations. J. of Environmental Radioactivity. Vol. 270. P. 107270. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2023.107270>
5. Crout N.M.G., Voigt G. (1996) Modeling the dynamics of radioiodine in dairy cows. J. Dairy Sci. 79:254-259.
6. Horikami, D., Sayama, N., Sasaki, J. et al. (2022) The effect of exposure on cattle thyroid after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. Sci Rep 12, 21754 <https://doi.org/10.1038/s41598-022-25269-0>
7. Priester B.S. (1999) Consequences of the accident at the Chernobyl nuclear power plant for the rural economy of Ukraine. Issledovanie TsPER, No. 20. Kyiv Ukraine. 104 p.
8. Pryster B.S., Klyuchnikov A.A., Shestopalov V.M., Cook V.P. (2013) Safety problems of atomic energy. Lessons from Chernobyl. 199 c.
9. Webb G A M, Anderson R W and Gaffney M J S (2006) Classification of events with an off-site radiological impact at the Sellafield site between 1950 and 2000, using the International Nuclear Event Scale J. Radiol. Prot. Vol. 26. P.33–49.
10. Wakeford R (2007) The Windscale reactor accident – 50 years on. J. Radiol. Prot. Vol. 27. P. 211-215.
11. International atomic energy agency (2006), Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation : twenty years of experience / report of the Chernobyl Forum Expert Group 'Environment'. — Vienna : International Atomic Energy Agency. 180 p.
12. Karaoglou A., Desmet G., Kelly G.N. and Menzel H.G. (1996) The radioecological consequences of the Chernobyl accident. Editor // EUR 16544 EN.ECSC-EC-EAEC, Brussels. Luxemburg. 1191p.
13. Slavov, V., & Plotko, T. (2017). Natural resistance and breeding capacity of cows under low doses of radiation. Visnyk Agrarnoi Nauky, 2017, № 4, p. 28-33
14. Formanek, Z., Lynch, A., Galvin, K., Farkas, J., & Kerry, J. P. (2003). Combined ef-

- fects of irradiation and the use of natural antioxidants on the shelf-life stability of overwrapped minced beef. *Meat Science*, 63(4), p. 433-440.
15. Freedman, J. E.; Frei, B.; Welch, G. N.; Loscalzo, J. (1995) Glutathione peroxidase potentiates the inhibition of platelet function by S-nitrosothiols. *Journal of Clinical Investigation*; 96 (1), pp 394–400. doi: 10.1172/JCI118047
16. Kolb V. G., Kamishnikov V. S. Determination of ceruloplasmin in serum by modified method of Ravina. In: *Practical book in clinical chemistry*, 1982, pp. 290–291.
17. Levchenko V. I., Vlizlo V. V., Kondrakhin I. P., Golovakha V. I., Morozenko D. V., Sakhnyuk V. V., Slivinska L. G., Chumachenko V. V., Tsvilikhovskiy M., Ulizko S. I., Shchurevych G. O. *Clinical diagnosis of internal diseases of animals*. Bila Tserkva, 2017. 544 p.
-

M.M. Lazarev, A.V. Klepko (2023)

EVALUATION OF HEMATOLOGICAL AND IMMUNOLOGICAL PARAMETERS OF BLOOD IN CATTLE WITH "IODINE" PATHOLOGY AFTER THE ACCIDENT AT TEA.

BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 14(1-2): 5-12.

<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/43934>

[http://dx.doi.org/10.31548/biologiya14\(1-2\).2023.008](http://dx.doi.org/10.31548/biologiya14(1-2).2023.008).

Abstract. Information on the content of the natural stable element iodine (^{127}I) in the radioactive contaminated areas of the Ukrainian Polissya and the impact of its deficiency in these regions on the physiological indicators of the cattle health status were analyzed.

It is known that the most polluted areas of Ukraine belong to the Polissya zone, which is characterized as zones with a deficiency of nutrients in soils, including iodine. It is also well known that radioactive iodine plays a leading role in the radiation damage of biological objects in almost any nuclear accident when the products of nuclear fission enter the environment. This was the brightest in the history of nuclear accidents after the Chernobyl accident. Diagnostic signs and clinical picture of radiation damage to animals with radioactive iodine are well described in the scientific literature. However, in our opinion, not enough attention is paid to these issues in situations where radioactive iodine affects animal populations in provinces endemic for stable iodine.

Also it is known that the main clinical picture of stable iodine deficiency in cattle are: short stature, low weight, low productivity, characteristic changes in the hair - curls, long hair, skin folds, bradycardia, scar hypotension, impaired reproductive function, disorders erythrocyte- and leukopoiesis. But when assessing the cattle health in radioactive contaminated areas during the acute period of the Chernobyl accident, researchers noted very similar signs.

In active experiments with the artificial intake of radioactive iodine (^{131}I) in different age's cattle, we studied changes in the physiological state of animals under chooses doses of thyroid radiation and confirmed our hypothesis about the similarity of biological effects of iodine damage and stable iodine clinical picture. That why, screening of the main physiological parameters of animal health is the key to correct assessments of the degree of damage to animals by radioactive iodine isotopes.

Key words: stable iodine (^{127}I), radioactive iodine (^{131}I), radionuclide-contaminated area, thyroid gland, hematologic and immunologic blood parameters.

ОТРИМАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРОДУКТУ НА ОСНОВІ ФЕРМЕНТОВАНОГО *LACTOBACILLUS* *ACIDOPHILUS* ЯБЛУЧНОГО СОКУ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЙОГО ВЛАСТИВОСТЕЙ

О.А. ШИДЛОВСЬКА,

кандидат біологічних наук,

доцент кафедри біотехнології, шкіри та хутра

<http://orcid.org/0000-0002-6926-3672>

Київський національний університет технологій та дизайну

А.І. КОЙБА,

студентка факультету хімічних та біофармацевтичних технологій,

<http://orcid.org/0009-0000-3367-2936>

E-mail: nastya17koyba@gmail.com

Анотація. Мета статті полягає у висвітленні результатів дослідження параметрів процесу ферментування яблучного соку для отримання на його основі нових видів натуральних ферментованих соків. Метою цього дослідження було оцінити вплив молочнокислої бактерії *Lactobacillus acidophilus* на смаковий профіль та кількість макро- і мікроелементів ферментованого яблучного соку. Проведені дослідження спрямовані на підвищення біологічної цінності яблучного соку шляхом ферментування *L. acidophilus*. Ферментування соку проводили паралельно з додаванням глюкози на початку ферментації та без додаткової глюкози. Вимірювання концентрації магнію, глюкози, калію, проводили за розробленою методикою ТОВ НВП «ФІЛІСІТ-ДІАГНОСТИКА». Кількісне визначення вітаміну С проводили методом йодометричного титрування, а кислотність вимірювали потенціометричним методом. Для порівняння середніх значень та виявлення достовірних відмінностей ($p < 0,05$) між групами застосовували критерій Вілкоксона. На основні отриманих даних зроблено висновок, що концентрація магнію підвищується у разі використання соку без додавання глюкози, а от у соці з глюкозою змін показника магнію не спостерігали. Крім того, під час дослідження вмісту вітаміну С визначили, що концентрація вітаміну С підвищилася у разі використання соку з додавання глюкози, натомість у соці без доданої глюкози змін не спостерігали. Рівень глюкози до й після ферментації в обох експериментах не змінився. Уміст калію в соці із додаванням глюкози менший. Показник загальної кислотності підвищилися при використанні соку

без додавання глюкози, а от в соці з глюкозою змін не відбулося. Ці результати можуть бути корисними для визначення внеску *L. acidophilus* як окремого компоненту в ферментованих соках.

Ключові слова: *Lactobacillus acidophilus*, ферментовані соки, мікроелементи, мікроелементи, біохімічні процеси

Вступ.

В останні роки все більше уваги приділяється виробництву напоїв, що містять ферменти, органічні речовини та мінерали. Різноманітність цих напоїв постійно збільшується завдяки розвитку нових технологій. Молочні продукти є невід'ємною частиною щоденного раціону. Але основною причиною відмови від молока є непереносимість молочного цукру (лактози). Виробництво безлактозних молочних продуктів здійснюється з використанням відповідних ферментів і молекулярних сит. Оскільки молоко та молочні продукти є цінними джерелами необхідних поживних речовин, їхнього виключення з раціону призведе до недостатнього надходження багатьох корисних речовин, що призведе до зниження фізичної працездатності та рівня стійкості до захворювань та інших несприятливих чинників довкілля. Тому перспективним рішенням цієї проблеми є технологія виробництва безлактозних або низьколактозних продуктів.

Порівняння різних груп безлактозних напоїв із погляду лікувально-профілактичного та загальнооздоровчого впливу на організм людини показує, що найбільш перспективними є ферментовані напої (зброджені напої). Їхня активна оздоровча дія зумовлена не лише використанням виключно натуральної рослинної сировини, а й застосуванням у техноло-

гічному процесі культур мікроорганізмів корисних для людини.

Сьогодні фармацевтична промисловість приділяє велику увагу розробці продуктів харчування з використанням живих мікробних культур як біологічних добавок. Стратегія їхнього створення зводиться переважно до забезпечення фізіологічних потреб організму людини в певних біологічно активних речовинах. Одним зі способів вирішення цієї проблеми є створення різноманітних молочних продуктів. Додавання до складу кисломолочних продуктів спеціально відібраних штамів молочнокислих бактерій і біфідобактерій може забезпечити людям будь-якого віку краще засвоєння кальцію, знизити рівень холестерину в крові, активізувати утворення мікробної лактази й задовольнити потреби організму людини (Kalinichenko S.V. et al., 2013).

Лактобактерії дуже поширені в природі. Вони є основними мікроорганізмами ротової порожнини та шлунково-кишкового тракту людини та тварин. Вони містяться в рослинах, ґрунті, молочних і м'ясних продуктах. Також їх можна виділити з квашеної капусти. Молочна кислота, яку вони виробляють, пригнічує ріст і розмноження бактерій, що спричиняють гниття. Лактобацили вводять до складу різних лікувально-профілактичних препаратів, біологічних добавок для підвищення діяльності шлунково-кишкового тракту людини

і тварин. Більшість видів молочно-кислих паличок використовують у молочній промисловості для приготування молочнокислих напоїв, сметани, сиру та в розсолі для маринування овочів і фруктів, у пивоварінні та виноробстві (Starovoitova A.A. 2017).

Lactobacillus acidophilus — вид кишкових мікроорганізмів, які можна виділити з вмісту травного тракту людини і різних тварин. Після культивуванні в молоці ацидофільні бактерії можуть відновлюватися в кишечнику людини і пригнічувати там ріст патогенних і небажаних мікроорганізмів (сальмонел, шигел, стафілококів) (Solomon A.M., et al., 2013), *L.acidophilus* ферментує амігдалін, целлобіозу, глюкозу, лактозу, галактозу, фруктозу, сахарозу, рафінозу, декстрин,саліцин, трегалозу, мальтозу, манозу, не ферментує ксиліозу, рамнозу, мелібіозу, маніт, арабінозу, рафінозу, гліцерин (Kigel, N.F., et al., 2010).

Створення лікувально-профілактичних препаратів на основі мікробних пробіотичних штамів є одним із актуальних завдань сучасної біотехнології. Більшість пробіотичних препаратів засновані на біфідобактеріях і лактобактеріях, оскільки ці бактерії є частиною нормальної мікробіоти травного тракту і відіграють важливу фізіологічну роль у функціонуванні мікроекосистеми здорових людей. З огляду на накопичені дані, розробка комплексних рецептур багатьох різних типів пробіотичних штамів вважається доцільною та перспективною (Strashnova, I.V. et al., 2022).

Лактобактерії, які використовуються у виробництві пробіотичних препаратів, повинні відповідати таким вимогам: мати високу здатність до адгезії до клітин; попереджувати

або послаблювати адгезію патогенів; зберігати життєздатність та розмножуватися; утворювати кислоти, перекис водню та бактеріоцини як антагоністів росту патогенних мікроорганізмів; бути безпечними і сприяти формуванню нормальної збалансованої мікрофлори організму господаря.

Перспективними для приготування ферментованих напоїв є комбінація таких молочнокислих бактерій, як *Lactobacillus acidophilum*, *Lactococcus lactis*, *Lactobacillus bulgaricum* та дріжджів *Candida*, *Torula lactis*; оцтовокислих бактерій *Acetobacter lovaniensis*, пропіоновокислих бактерій *Propionibacterium shermanii* та молочнокислих бактерій *Lactobacillus acidophilum*; оцтовокислих бактерій роду *Gluconobacter oxydans* і дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*; молочнокислих бактерій *Lactobacillus delbrueckii* та цвілевих грибів *Aspergillus oryzae* (Lapytska N.V., 2021).

Натуральні пробіотики збільшують вироблення вітамінів групи В, травних ферментів, укріплюють імунну систему організму. Ферментовані напої рекомендовано вживати для профілактики виникнення шкірних захворювань, алергії, онкозахворювань (Suchy, F.J., 2021). Мікро- та мікроелементи необхідні для людського організму. Магній впливає на енергетичний обмін, окиснювальне фосфорилування, він задіяний у процесах біосинтезу білків, ліпідів та нуклеїнових кислот (Strashnova I.V. et al., 2010). Натрій та калій, які присутні в організмі у вигляді іонів Na⁺ та K⁺, відіграють визначальну роль у підтриманні мембранного потенціалу клітин та генерації нервового імпульсу, скороченні м'язів, регуляції

осмотичної та кислотно-лужної рівноваги, водно-електролітному обміні (Faizullin, O.V. et al., 2019).

У дослідженні ферментованого *L. plantarum* напою ферментація капустино-яблучного соку відбувається за 15°C упродовж 5 днів. Значення на основі капустино-яблучного соку вміст загальних вільних цукрів був значно нижчим у соку після ферментації, ніж у соку до ферментації. У капустино-яблучного соку ферментованого *L. plantarum* зафіксовано, що вміст загальних органічних кислот був значно вищим у соку після ферментації, ніж у соку до ферментації. Уміст оцтової та молочної кислот був високим у соку після ферментації, тоді як вміст лимонної та фумарової кислот був вищим у соку до ферментації, ніж у соку після ферментації (Park S. et al., 2020).

Також є дослідження змін концентрацій вітаміну С, калію та магнію на прикладах інших фруктових соків, таких як ананасовий, апельсиновий, грушевий, томатний та кавунний. Стерилізований, пастеризований фруктовий сік культивували за 34°C упродовж 48 годин. У статті наведено, що після ферментації соків *L. plantarum* NRRL-D-14768 вітаміну С у цих 5 фруктових соках зменшився під час ферментації з кінцевим діапазоном 0,1-9,9 мг/100 мл за 48-годинної ферментації. Але було зафіксовано, що кінцева концентрація вітаміну С в апельсиновому соку була в 5 разів вищою, ніж в інших фруктових соках після 48-годинного культивування. Також у досліді проводили аналіз на зміну концентрацій магнію та калію до та після ферментації 5 соків *L. plantarum*. Уміст калію в апельсиновому, ананасовому, грушевому, томатному та соку з кавуна капісля

48-годинної ферментації підвищився. Вміст магнію збільшився у всіх досліджених соках, окрім соку з кавуна – його значення вмісту калію зменшились (Zeng, H., et al., 2021).

В іншому досліді ферментували яблучний сік 4 штамами молочно-кислих бактерій (LAB): *L. acidophilus* NCFM, *L. rhamnosus* LGG, *L. plantarum* ST-III і *L. casei*. Проаналізували 4 найпоширеніші органічні кислоти у зразках: яблучну кислоту, молочну кислоту, пірро-виноградну кислоту та оцтову кислоту. Середні концентрації яблучної кислоти становили 3,35 мг/мл перед ферментацією. Концентрація яблучної кислоти у всіх зразках помітно знизилася з кінця бродіння впродовж усього періоду зберігання. Загалом, виробництво молочної кислоти відповідає зменшенню яблучної кислоти, що продемонструвало, що яблучно-молочне бродіння відбувається під час бродіння яблучного соку за допомогою LAB. Концентрації пірро-виноградної кислоти в усіх зразках знижувалися впродовж усього терміну зберігання. Концентрація оцтової кислоти мала тенденцію до зростання для всіх зразків упродовж усього періоду зберігання в холодильнику.

Електронний ніс виявив різноманітні профілі смаку в яблучному соку, ферментованому різними LAB, *L. acidophilus* NCFM, *L. rhamnosus* LGG, *L. plantarum* ST-III і *L. casei* LC2W. Летючий склад оцінювали за допомогою вільного простору (HS)-SPME/GC-MS. Леткі сполуки зразків, що містять *L. rhamnosus* LGG, *L. plantarum* ST-III і *L. casei* LC2W, очевидно, що *L. acidophilus* NCFM мав більш виражений вплив на летючі характеристики ферментованого яблучного соку. Загальна концентра-

ція спиртів у ферментованих зразках була принаймні в 10 разів більшою, ніж у неферментованому соку, що вказує на те, що більшість спиртів утворилася в результаті бродіння LAB. Це відкриття вказує на те, що ці сполуки є ключовими чинниками аромату яблучного соку. Сполука 2-етилгексанол, яку в основному отримують гідруванням альдегідів, має квітковий та фруктовий аромат. Дві найвищі концентрації цієї сполуки спостерігалися в яблучному соку, ферментованому *L. casei* (335,64 мкг/кг) і *L. rhamnosus* (330,43 мкг/кг). Найзначнішими сполуками, які вплинули на смак ферментованого яблучного соку, були етилацетат і етилбутират. Концентрація етилацетату в усіх зразках зросла, починаючи з кінця ферментації до 14 дня зберігання ($p < 0,05$), а потім знизилася до кінця періоду зберігання. Зразки з *L. acidophilus* показали найвищу концентрацію (11,20 мкг/кг) на 14 день (Chen Chen et al., 2019).

Дослідження ферментації фруктових соків націлені на визначення важливих показників вмісту мікро- та мікроелементів, вмісту вітамінів та визначення органолептичних показників. Серед відомих досліджень, саме *L. acidophilus* мають визначальний вплив на зміну органолептичних показників соків під час ферментації, проте недостатньо висвітлено вплив цього штаму на вміст макро- та мікроелементів, а також вітамінів. За аналогією із дослідженнями на інших видах LAB можна припустити, що *L. acidophilus* також матимуть вплив на концентрації мікро- та макроелементів в кінцевому продукті. До того ж, у попередніх дослідженнях не було враховано етап підсоложування соку, адже для LAB наявність глюкози в

середовищі відіграє ключову роль у ферментаційних процесах.

Саме тому, метою дослідження було встановити та порівняти вплив *L. acidophilus* на концентрацію мікро- та макроелементів, а також вмісту вітаміну С до ферментації фруктового соку та після, відповідно з додаванням глюкози та без її додавання на початку ферментації.

Матеріали та методи дослідження.

Основна ферментація проводилася в середовищі на основі фруктового соку, який складався з свіжовичавленого яблучного соку сорту Голден. Фруктовий сік перед початком ферментації пастеризували за схемою подвійного нагрівання до 90°C та різкого охолодження до 20°C. Бродіння проводилося в колбах об'ємом соку по 250 мл, і в один із зразків додали глюкозу в кінцевій концентрації 2%.

Попередньо культуру *L. acidophilus* вирощували в статичних анаеробних умовах на рідкому середовищі MRS упродовж 48 год за 37°C. У разі досягнення 2 ОГ стерильно додавали культуру до яблучного соку в пропорції 1:50 та ферментували 48 годин за температури 37°C.

У трьох повторностях за допомогою спектрофотометра та титриметричних методів було зафіксовано показники магнію, глюкози, вітаміну С, калію, загальної кислотності та концентрації яблучної кислоти до та після ферментації в двох експериментах: без додавання глюкози та з додаванням глюкози.

Вимірювання концентрації магнію, глюкози, калію, проводили за методикою компанії ТОВ НВП «ФІЛІ-

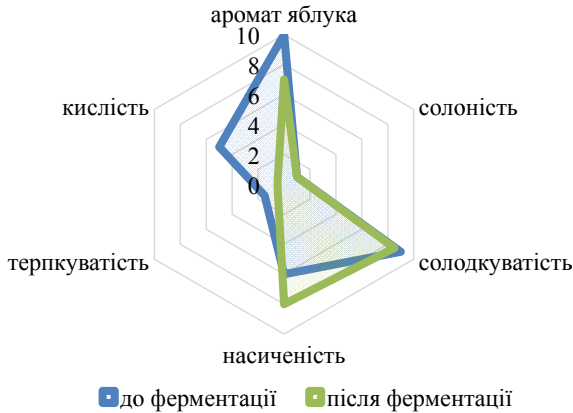


Рис.1. Органолептичні показники яблучного соку без додавання глюкози

СИТ-ДІАГНОСТИКА» (Han M. et al., (2021).

Кількісне визначення вітаміну С проводили методом йодометричного титрування, а кислотність вимірювали потенціометричним методом.

Після бродіння впродовж 48 годин за температури 37°C, також у трьох повторностях за допомогою спектрофотометра та титриметричних методів фіксували отримані показники.

Для порівняння середніх значень та виявлення достовірних відмінностей ($p < 0,05$) між групами застосовували критерій Вілкоксона.

Результати та їх обговорення

Для порівняння властивостей яблучного соку до та після двох діб ферментації з додаванням та без додавання глюкози на початку ферментації аналізували органолептичні показники, вміст магнію, калію, глюкози, вітаміну С та кислотність.

Одним з ключових показників для порівнювання яблучного соку до та після ферментації, відповідно з додаванням глюкози та без, є органо-

лептичні показники, результати яких графічно висвітлено в рисунку 1, 2.

Під час дослідження органолептичних показників було встановлено, що сік без додавання глюкози після ферментації *L. acidophilus* втрачає аромат яблука на 30%, терпкість на 66,7% та кислість на 83,3%. Проте загальна насиченість підвищується на 25,0% (рис.1).

Інша картина спостерігається при додаванні глюкози на початку ферментації. Підвищується солодкуватість на 10,0% та насиченість на 46,7%. Аромат яблука залишається незмінним, проте, він є меншим, ніж за використання соку без додавання глюкози як до, так і після ферментації – відповідно на 50,0% та 28,6% (рис.2).

Важливими сполуками для формування аромату ферментованого *L. acidophilus* яблучного соку є ефірні сполуки, серед яких можна виділити гексилацетат, етилбутират і бутилацетат. Гексилацетат і етилбутират надають фруктовий і солодкий запах. Ферментація соку з використанням *L. acidophilus* збільшує вміст етилацетату, що надає кінцевому продукту ананасовий аромат. Етилгептиллат, мети-

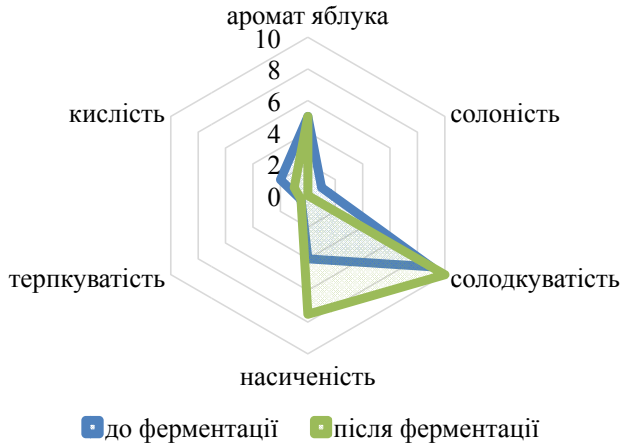
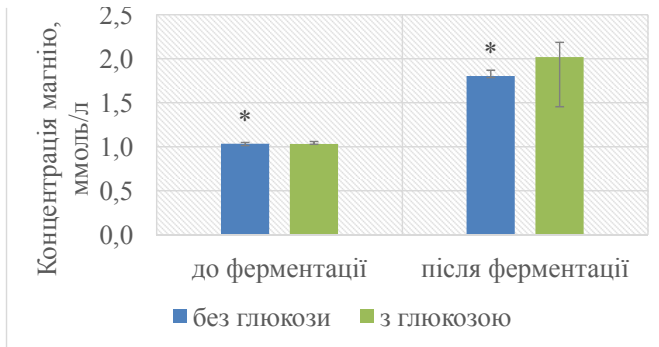


Рис.2. Органолептичні показники яблучного соку з додавання глюкози



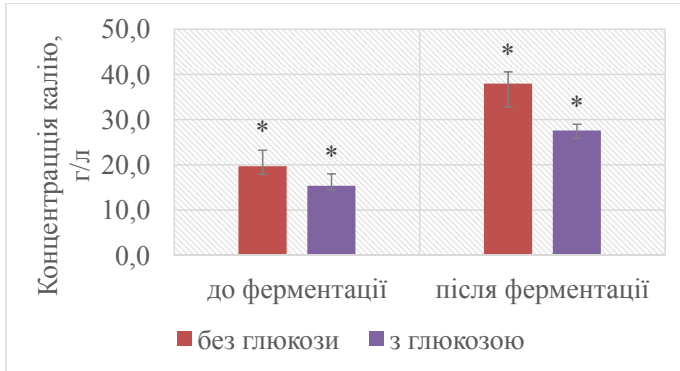
* $p < 0.05$

Рис.3. Концентрація магнію в досліджуваних зразках яблучного соку

локтаноат і пропілпропаноат надають ферментованому соку фруктового, апельсинового та ананасового ароматів. Також, сполуками, що формують органолептику є летючі речовини, такі як спирти. Домінуючим спиртом у ферментованому яблучному соці є гексанол, який сприяє відчуттю солодощів та квітів. Етанол надає сокам солодший запах, а пентанол – запахи квітів і зелені (Szutowaska J., 2020). Порівнюючи дані з отриманими в експерименті, можна зробити висновок, що підвищення загальної насиченості продукту може бути зумовле-

но якраз формуванням фруктових та солодких ароматів, що забезпечується продукцією ефірів та етанолу.

У роботі аналізували показник магнію до й після ферментації у двох експериментах: без додавання глюкози та з додаванням глюкози (рис.3). Встановлено, що концентрація магнію підвищується достовірно на 42,7% за використання соку без додавання глюкози ($p < 0,05$). А от у соці з глюкозою достовірної зміни показника магнію не спостерігається. Рівень магнію в соці до ферментації з додаванням та без додавання глюкози знаходиться на



* $p < 0.05$

Рис.4. Концентрація калію в досліджуваних зразках яблучного соку

одному рівні – 1,0 ммоль/л.

У дослідженні з ферментованими *L. plantarum* NRRL-D-14768 фруктовими соками вміст магнію збільшується у всіх досліджених соках: в апельсиновому, ананасовому, грушевому та томатному, окрім соку з кавуна – вміст магнію зменшується з $90 \pm 7,3$ мг/100 мл до $86 \pm 6,5$ мг/100 мл (Zeng, H. et al., 2021). Отримані дані доповнюють відомі з літератури факти. На основі даного аналізу можна зробити висновок, що концентрація магнію дійсно збільшується під час ферментації соків з використанням лактобацил. Проте, якщо на початку ферментації до соку внести додатково глюкозу, то достовірної зміни концентрації магнію спостерігатися не буде. Це означає, що глюкоза має негативний вплив на продукцію магнію *L. acidophilus* в яблучному соці.

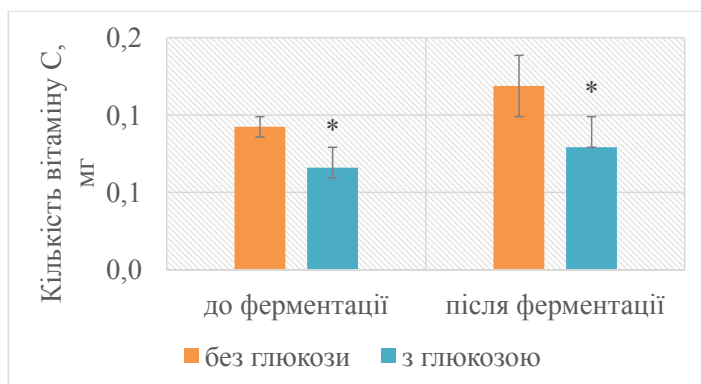
Уміст калію в соці із додаванням глюкози менший, проте рівень накопичення калію в соці не залежить від додавання глюкози (рис.4). Під час роботи встановили, що концентрація калію підвищується достовірно на 48,1% у разі використання соку без додавання глюкози. В іншому зраз-

ку, з додаванням глюкози на початку ферментації, показник достовірно підвищується на 44,3% ($p < 0,05$). Цікаво, що рівень калію у соці без додавання глюкози вище і складає 19,7 г/л до ферментації, в той час як в соці з додаванням глюкози – 15,4 г/л.

Дані з дослідження інших авторів вказують на підвищення вмісту калію в апельсиновому, ананасовому, грушевому, томатному та соку з кавуна після 48-годинної ферментації з *L. plantarum* NRRL-D-14768. У середньому уміст калію у зразках соків збільшився на 13-279 мг/100 мл соку (Zeng, H. et al., 2021).

Отже, отримані в роботі дані корелюють з відомим фактами і під час ферментації яблучного соку за допомогою *L. acidophilus* відбувається підвищення вмісту калію. І даний процес відбувається незалежно від вмісту глюкози в соці.

При дослідженні вмісту вітаміну С визначили, що концентрація вітаміну С підвищилася достовірно на 16,7% під час використання соку з додаванням глюкози на початку ферментації (рис.5). Натомість у соці без доданої глюкози достовірної зміни



* $p < 0.05$

Рис.5. Кількість вітаміну С в досліджуваних зразках яблучного соку

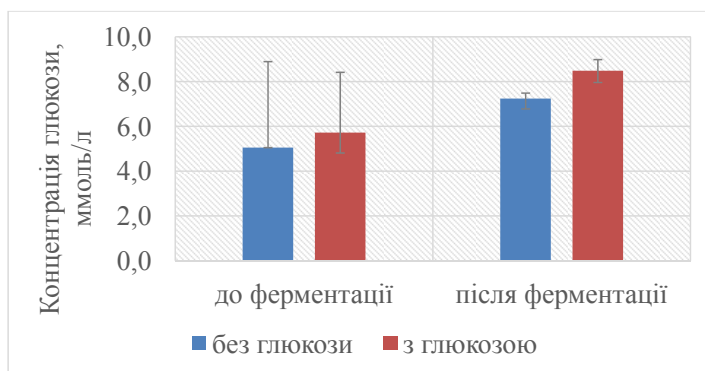


Рис.6. Концентрація глюкози

показника вітаміну С не спостерігали ($p < 0,05$).

Існує безліч наукових досліджень щодо змін концентрацій вітаміну С у ферментованих яблучних соках молочнокислими бактеріями. Так, наприклад, досліджено, що після 12 годин бродіння яблучного соку кешью *L. plantarum* і *L. casei* вміст вітаміну С зріс і згодом залишився на постійному рівні. Водночас використання *L. acidophilus* і *L. casei* призвело до зниження вмісту вітаміну С на кілька відсотків після 48 годин молочнокислого бродіння (Szutowska, J. 2020). Отримані в експерименті дані корелюють

з результатами цього дослідження. Використання одного штаму *L. acidophilus* без додавання інших штамів збільшує концентрацію вітаміну С після 48 год ферментації, але лише за умови додавання глюкози на початку ферментації. Можна зробити висновок, що без внесення додаткової глюкози на початку ферментації показник вітаміну С або не змінюється, або знижується. Проте, у разі внесення глюкози на початку ферментації яблучного соку спостерігається достовірно підвищення кількості вітаміну С. Ці результати можуть бути використані в подальших дослідженнях для вста-

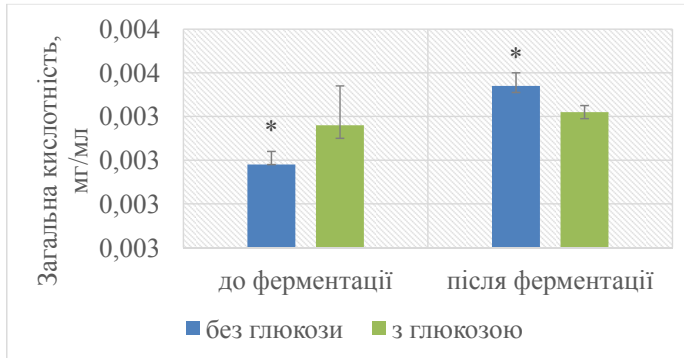


Рис.7. Загальна кислотність досліджуваних зразків яблучного соку

новлення можливості регуляції синтезу вітаміну С в кінцевому продукті.

Рівень глюкози до і після ферментації в двох експериментах: без додавання глюкози та з додаванням глюкози достовірно не змінюється ($p < 0,05$), (рис.6).

Натомість, у досліді з капустино-яблучним соком ферментованим з використанням *L.plantarum* значення глюкози до ферментації складало 3,22 г/100мл, а після ферментації зменшилось до 2,17 г/100мл ($p < 0,001$) (Park, S. et al., 2020). Тобто, відбувається достовірне зниження, що вказує на асиміляцію глюкози молочнокислою бактерією *L.plantarum*. У нашій роботі, відсутність змін у концентрації глюкози може вказувати на процеси розпаду дисахаридів та полісахаридів в складі яблучного соку, що призводить до нівелювання зменшення кількості глюкози в ході її асиміляції *L. acidophilus*. Оскільки в роботі нами не було отримано достовірних даних щодо зміни вмісту глюкози, зміна даного показника потребує додаткових досліджень.

Показник загальної кислотності підвищився достовірно на 10,2% при використанні соку без додавання глюкози ($p < 0,05$), (рис.7). А от в соці

з глюкозою достовірної зміни показників не відбулося.

У дослідженні загальна кислотність капустино-яблучного соку ферментованого *L.plantarum* збільшилась з 1,03 г/100мл до 2,13 г/100мл ($p < 0,001$) [Zeng, H. et al., 2021]. В іншому досліді ферментували яблучний сік чотирма штамами LAB: *L. acidophilus* NCFM, *L. rhamnosus* LGG, *L. plantarum* ST-III і *L. casei* LC2W. Концентрація яблучної кислоти у всіх зразках помітно знизилася до кінця бродіння впродовж усього періоду зберігання, і ця тенденція була особливо виражена для зразків, що містять *L. acidophilus* (Chen Chen, et al., 2019). Порівнюючи отримані експериментальні та теоретичні дані, можна сказати, що у разі використання *L. acidophilus* тільки для ферментації чистого яблучного соку загальна кислотність без додаткового внесення глюкози збільшується. Іншими словами, показник кислотності залежить від умов ферментування та виду молочнокислої бактерії, що використовується. Отримані результати можуть бути використані в подальших дослідженнях для встановлення можливості регуляції концентрацій кислотності в кінцевому продукті.

Висновки і перспективи.

Отже, виконавши ряд досліджень, можна узагальнити дані та зробити висновок, що із додаванням *L. acidophilus* в яблучний сік, спостерігається ряд підвищень концентрацій мікро- та макроелементів. Після ферментації було зафіксовано зростання концентрації вітаміну С, магнію, показники загальної кислотності, але за умови не внесення глюкози на початку ферментації. Натомість, рівень накопичення калію в соці підвищується в будь-якому випадку та не залежить від додавання глюкози, а от змін концентрацій глюкози в соці не зафіксовано. На основі проведених досліджень можна зробити висновок, що додавання глюкози до ферментації пригнічує збільшення корисних властивостей соку. Бактеріальний штам, який використовується для бродіння, робить ключовий внесок у глобальному профілі смаку ферментованого соку. Отримані результати дають основу для подальших досліджень для встановлення найефективніших параметрів ферментації. Крім того, необхідні додаткові дослідження щодо контролю процесу бродіння та виявлення ключових сполук, що утворюються під час бродіння та зберігання соку. Проведені дослідження підтверджують доцільність використання яблучного соку для підвищення його біологічної цінності.

References

1. Kalinichenko S.V., Babykh E.M., Ryzhkova T.A., Maslii I.G., Korotkykh O.O., Danilina S.S., Solianik O.G., Shykova O.A., Sklyar N.I., Tkach L.N., Balak A. K., Nemkova S.M., Desiatnikova O.V. The modern state of development and application of probiotics, prebiotics and synbiotics. *Annals of Mechnikov Institute*, N 3, 2013 www.imiamn.org.ua/journal.htm, (3), 5–12.
2. Starovoitova A. A. The study guide is compiled in accordance with the program of the study discipline "Microbiology of milk and milk products". Bila Tserkva, 2017. 153 c.
3. Solomon A.M., Kazmiruk N.M., Tuzova S.D. Microbiology of food production: a study guide for students of the field of training "Food technologies". Vinnytsia: RVV VNAU, 2020. 312 p.
4. Kigel, N. F., Shulga, N. M. (2010). Bacterial strain of *Lactobacillus acidophilus* used in the production of fermentation cultures for rennet cheeses (Patent of Ukraine No. 91417).
5. Strashnova, I. V., Yamborko, G. V., Vasylieva, N. Yu. (2022). Antagonistic activity of probiotic strains of *Lactobacillus* during co-cultivation. *Microbiology and biotechnology*, (1), 45–57. DOI: [https://doi.org/10.18524/2307-4663.2022.1\(54\).254024](https://doi.org/10.18524/2307-4663.2022.1(54).254024)
6. Lapytska N. V. Technology of drinks, extracts and concentrates: education. manual for students institutions of higher education / edited by doctor of technology Sciences, Prof. O. I. Syzoi. Chernihiv: NUChK named after T.G. Shevchenko, 2021. 217 p.
7. Haydamaka, M.V. (2021). Fermented beverages as a functional ingredient in the production of bakery products. *Materials of the International Student Scientific and Technical Conference "Natural and Humanities. Current issues"*, 59-59.
8. Suchy, F. J., Brannon, P. M., Carpenter, T. O., Fernandez, J. R., Gilsanz, V., Gould, J. B., Hall, K., Hui, S. L., Lupton, J., Mennella, J., Miller, N. J., Osganian, S. K., Sellmeyer, D. E., & Wolf, M. A. (2010). NIH consensus development conference statement: Lactose intolerance and health. *NIH consensus and state-of-the-science statements*, 27(2), 1–27.

9. Faizullin, O. V., Bezdrovna, K. S., Shulga, L. I. (2019). Functional relationship between the elemental balance in the human body and the state of the digestive system. Collection of scientific works of employees of NMAPO named after P.L. Shupyka, (33), 63–73.
10. Park, S., Son, H. K., Chang, H. C., & Lee, J. J. (2020). Effects of Cabbage-Apple Juice Fermented by *Lactobacillus plantarum* EM on Lipid Profile Improvement and Obesity Amelioration in Rats. *Nutrients*, 12(4), 1135. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu12041135>
11. Zeng, H., Shuai, Y., Zeng, X., Xin, B., Huang, M., Li, B., ... & Wang, C. (2021). Evaluation of health-related composition and bioactivity of five fruit juices following *Lactobacillus plantarum* fermentation and simulated digestion. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(2), 648-660. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.14713>
12. Chen Chen, C. Chen, Yanqing Lu, Y. Lu, Haiyan Yu, H. Yu, Zeyuan Chen, Z. Chen, & Huaixiang Tian, H. Tian. (2019). Influence of 4 lactic acid bacteria on the flavor profile of fermented apple juice. *Food bioscience*, 27, 30-36. DOI: 10.1016/j.fbio.2018.11.006 <http://felicit.com.ua/instructions/?lang=uk> (дата звернення:14.03.2023)
13. Han, M., Wang, X., Zhang, M., Ren, Y., Yue, T., & Gao, Z. (2021). Effect of mixed *Lactobacillus* on the physicochemical properties of cloudy apple juice with the addition of polyphenols-concentrated solution. *Food Bioscience*, 41, 101049. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101049>
14. Szutowska, J. (2020) Functional properties of lactic acid bacteria in fermented fruit and vegetable juices: a systematic literature review. *Eur Food Res Technol* 246, 357–372. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03425-7>

Koiba A.I. , Shydlovska O.A. (2023)

OBTAINING A FUNCTIONAL PRODUCT BASED ON FERMENTED LACTOBACILLUS ACIDOPHILUS APPLE JUICE AND STUDYING ITS PROPERTIES.

BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 14(1-2): 13-25.

<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/42705>

[http://dx.doi.org/10.31548/biologiya14\(1-2\).2023.004](http://dx.doi.org/10.31548/biologiya14(1-2).2023.004).

Abstract. The purpose of the article is to highlight the results of research on the parameters of the fermentation process of apple juice to obtain new types of natural fermented juices based on it. The aim of this study was to evaluate the effect of the lactic acid bacterium *Lactobacillus acidophilus* on the taste profile and amount of macro- and microelements of fermented apple juice. The conducted research is aimed at increasing the biological value of apple juice by fermentation of *L. acidophilus*. Juice fermentation was carried out in parallel with the addition of glucose at the beginning of fermentation and without additional glucose. Magnesium, glucose, and potassium concentrations were measured according to the methodology developed by FILISIT-DIAGNOSTIKA LLC. The quantitative determination of vitamin C was carried out by the method of iodometric titration, and the acidity was measured by the potentiometric method. The Wilcoxon test was used to compare mean values and identify significant differences ($p < 0.05$) between groups. Based on the main data obtained, it was concluded that the concentration of magnesium increases when using juice without the addition of glucose, but no changes in the magnesium index were observed in juice with glucose. In addition, when examining the content of vitamin C, it was

determined that the concentration of vitamin C increased when using juice with the addition of glucose, but no changes were observed in the juice without added glucose.

The level of glucose before and after fermentation did not change in both experiments. The potassium content in the juice with the addition of glucose is lower. The indicator of total acidity increased when using juice without the addition of glucose, but there were no changes in juice with glucose. These results may be useful for determining the contribution of *L. acidophilus* as an individual component in fermented juices.

Key words: *Lactobacillus acidophilus*, fermented juices, trace elements, trace elements, biochemical processes

ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНІ ЗБУДНИКИ БАКТЕРІАЛЬНИХ ХВОРОБ КАРТОПЛІ В УКРАЇНІ

Ю.В. КОЛОМІЄЦЬ,

д.с.-г.наук, професор кафедри екобіотехнології та біорізноманіття

<http://orcid.org/0000-0002-1919-6336>

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: julyja12345@gmail.com

Л.М. БУЦЕНКО,

професор кафедри біотехнології і мікробіології

<http://orcid.org/0000-0002-3575-4289>

Національний університет харчових технологій

Анотація. Подано огляд бактеріальних збудників м'яких (мокрех) гнилей картоплі, проаналізовано епідеміологічні та етіологічні аспекти спричинених ними хвороб. Під час підготовки статті використано загальнонаукові методи: узагальнення, порівняння, системний аналіз. Матеріалом для аналітичного дослідження слугували дані Європейської та Середземноморської організацій захисту рослин (ЄОЗР), а також дані фітосанітарних служб країн ЄС і України, наукова література. Торгівля рослинними матеріалами, включаючи насіннєві бульби картоплі та декоративні рослини, значною мірою відповідає за широке розповсюдження збудників. Місцево збудники також поширюються через залишки рослин, ґрунт, водні шляхи, аерозолі, альтернативних хазяїв та/або сільськогосподарську техніку. Основними збудниками бактеріальних мокрих гнилей картоплі є грамнегативні бактерії родів *Pectobacterium* й *Dickeya* та карантинні фітопатогени родів *Clavibacter* і *Ralstonia*. Основними методами виявлення та ідентифікації в безсимптомних бульбах картоплі у промислових масштабах: фітопатологічний (візуальне обстеження насаджень та реєстрація появи симптомів м'яких гнилей), мікробіологічний (культурально-морфологічний і біохімічний метод, використання тест-систем для пришвидшеної ідентифікації мікроорганізмів), імуноферментний (ферментний імуносорбентний аналіз), молекулярно-генетичний (ПЛР із специфічними праймерами, BIOLOG, ДНК-відбитків та секвенування нуклеотидів). На сьогоднішній день не існує абсолютно ефективних пестицидів для контролю всіх збудників, отже, заходи захисту від хвороб й надалі покладатимуться насамперед на уникнення інфікування під час вирощування рослин, а особливо, під час виробництва здорового сертифікованого насіння. Щодо такої культури як картопля, це в першу чергу базується на отриманні вільних від бактерій мінібульб, застосуванні строгих схем сертифікації насіння й суворих фітосанітарних обмежень. Знання джерел патогенів і шляхів

інфікування повинно бути підґрунтям застосування фітосанітарних заходів, особливо під час збору врожаю та після збору врожаю. Особливої уваги потребує контроль карантинних фітопатогенів. Збудники м'яких гнилей є основною причиною обмеження виробництва картоплі в багатьох регіонах світу, зокрема *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicum* та *R. solanacearum* є карантинними об'єктами списку А-2 Європейської та середземноморської організації з карантину і захисту рослин. У разі потрапляння в нашу країну *R. solanacearum* мають високу ймовірність до акліматизації і розповсюдження.

Ключові слова: *Solanum tuberosum* L., мокрі (м'які) гnilі, фітопатогенні бактерії, контроль збудників, карантин рослин.

Вступ.

Картопля (*Solanum tuberosum* L.) є однією з найважливіших культур із погляду місцевого споживання та експорту. Вона стабільно займає четверте місце у світі серед найважливіших продовольчих культур після пшениці, кукурудзи та рису (Birch et al., 2012). Картопля є продуктом харчування, сировиною для переробної промисловості та високоякісним кормом для худоби. Бульби її багаті на різні поживні речовини, зокрема: крохмаль, білок, клітковину, зольні елементи, вітаміни й каротиноїди. Білок бульб картоплі відзначається високою біологічною цінністю, зважаючи на те, що включає незамінні амінокислоти, зокрема, валін, лізин та інші. Маючи такий біохімічний склад, ця культура є також добрим поживним субстратом для багатьох шкідливих мікроорганізмів грибного і бактеріального походження. Вегетативне розмноження картоплі забезпечує фітопатогенам можливість існування в активному стані впродовж тривалого часу в період вегетації у рослинах і бульбах, а у період зберігання – у бульбах (Timko, 2017).

Серед усіх бактеріальних хвороб найбільшу шкоду картоплярству завдають мокрі (м'які) гnilі. Водночас

шкідливість гнилей є значною як під час вирощування картоплі, так і її зберігання. Ця тенденція може посилюватися за використання не сертифікованого насіннєвого матеріалу, а також вирощування сортів, які чутливі до бактеріальних фітопатогенів під час вегетації. Основні збудники бактеріальних гнилей картоплі – грамнегативні бактерії родів *Pectobacterium* та *Dickeya*. Значної шкоди завдають також збудники кільцевої гnilі картоплі грампозитивні бактерії *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicum*. Особливої уваги заслуговує збудник бурої гnilі картоплі *Ralstonia solanacearum*. Останні є карантинними патогенами в Європейському Союзі (Список А2 Європейської та середземноморської організації з карантину та захисту рослин (ЄОКЗР)) і підлягають міжнародному фітосанітарному контролю.

Pectobacterium і *Dickeya* є патогенними для рослин бактеріями, що належать до родини Enterobacteriaceae. Ці патогени здатні інфікувати широке коло господарів й спричиняють в'янення, гnilі і «чорну ніжку» у сільськогосподарських культур у всьому світі (Charkowski et al., 2012, Oztruk et al., 2018). Одним із чинників, що визначає патогенність цих бактерій, є їхня здатність до утворення фер-

ментів, що руйнують клітинну стінку рослин, включно з пектатліазою (Pel), полігалактурою (Peh), протеазою (Prt) і целюлазою (Cel).

Збудник бурї гнилі картоплі *Ralstonia solanacearum* уражає понад двісті видів рослин з понад п'ятдесяти родин (Aslam et al., 2017, Uwamahoro et al., 2020). Він є найбільш руйнівним бактеріальним збудником через його інвазивність, надзвичайно широкий спектр хазяїв, стійкість і широке топографічне поширення (Wei et al., 2018). *Clavibacter michiganensis subsp. sepedonicum* належить до актинобактерій, природним хазяїном є лише картопля. Патоген спричинює ранню загибель рослин, загнивання бульб і значне скорочення врожаю. Особливу небезпеку створює поширення цих фітопатогенів внаслідок розповсюдження латентно інфікованих бульб насінневої картоплі, а також інфікованої води у випадку *R. solanacearum* і *Dickeya* (Potrykus et al., 2016).

Поява різноманітних рас і штамів збудників з відмінною вірулентністю в різних умовах навколишнього середовища становить серйозну небезпеку для європейського та середземноморського виробництва пасльонових. Тому для країн-експортерів насінневої картоплі важливим чинником є відсутність даних збудників.

Зважаючи на розширення площ вирощування картоплі в Україні на тлі зростання обсягів споживання картоплі у агропромисловій галузі нашої країни та у приватному секторі, вивчення бактеріальних хвороб цієї культури потребує особливої уваги. Зокрема, це стосується збудників мокрих гнилей, які є небезпечними для інших видів сільськогосподарських рослин.

Метою роботи був аналіз поширення та шкідливості збудників бактеріальних гнилей для картоплярства України, оцінка можливих шляхів потрапляння карантинних збудників до нашої країни та їхньої здатності до інтродукції в Україні, визначення методів ідентифікації та контролю збудників.

Результати дослідження та їх обговорення.

Поширення, симптоми та етіологія мокрих (м'яких) гнилей картоплі. Поняття мокрі (м'які) гнилі картоплі об'єднує цілу групу схожих за симптомами уражень рослин та бульб картоплі як під час вегетації, так і під час зберігання врожаю. Основною ознакою такого ураження є мацерація рослинних тканин з утворенням мокрої слизоподібної маси, що часто має специфічний неприємний запах. Утворена маса містить як залишки рослинних тканин, так і слизову масу фітопатогена, а, отже, може слугувати інкулятором для подальшого поширення інфекційної хвороби. Розвиток м'яких гнилей пов'язаний із вологістю середовища. Тому частіше ураження спостерігають на початку вегетаційного періоду за вологої, теплої погоди на початку літа, та під час зберігання у приміщеннях із підвищеною вологістю. Шкідливість мокрих гнилей на картоплі дуже висока. За ураження на початку вегетації може відбуватися масова загибель рослин. Ураження бульб, які є чудовим джерелом поживних речовин для патогенів, може призводити до втрати вже вирощеного врожаю. Отже, контроль збудників мокрих гнилей є важливим етапом отримання та збереження урожаю бульб картоплі.

Ефективний контроль поширення мокрих гнилей картоплі вимагає знання про їхніх збудників. Не зважаючи на спільність симптомів мокрі гнилі картоплі можуть мати різну етіологію. Наймасовішою причиною гниття картоплі як під час вирощування, так і на етапі зберігання є бактеріальне ураження. Бактеріальні збудники, що спричиняють гниття картоплі, належать до різних родів бактерій і неоднаково поширені у регіонах вирощування цієї культури. На території України тривалий час домінуючим збудником бактеріальних гнилей картоплі були представники роду *Pectobacterium*: *P. atrosepticum* та *P. Carotovorum subsp. carotovorum*. В останні роки спостерігається тенденція до зміни спектру бактеріальних патогенів, яка, насамперед, проявляється появою тих збудників, які були поширені у регіонах із більш теплим кліматом. Поява нових збудників зумовлена розвитком міжнародної торгівлі і, насамперед, обміном садивним матеріалом. Очевидно, що внесок у зміну спектру патогенів робить і зміна кліматичних умов, зокрема, підвищення температури, яке спостерігається сьогодні. Аналіз спектру поширених патогенів, що спричиняють гниття картоплі, дасть можливість розробити рекомендації щодо їхньої ідентифікації та, зрештою, важливе для розроблення методів контролю фітопатогенів.

Відомо, що низка видів із родів *Pectobacterium* і *Dickeya* викликають чорну ніжку, м'яку гниль бульб, а також в'янення та гниль стебла картоплі. До них належать *D. dadantii*, *D. dianthicola*, *D. solani*, *P. atrosepticum*, *P. wasabiae* та *P. carotovorum subsp. carotovorum* і *P. carotovorum subsp. brasiliensis* (Curland et al., 2021). У всьому світі *P. atrosepticum* та *P.*

carotovorum subsp. carotovorum є основною причиною чорної ніжки та м'якої гнилі картоплі й суттєво обмежують виробництво картоплі. *P. carotovorum subsp. carotovorum* має широкий діапазон хазяїв і поширений у всьому світі на відміну від *P. atrosepticum*, який, в основному, обмежений картоплею і трапляється лише в регіонах з помірним кліматом (Hashemi Tameh, 2020).

Фітопатогени роду *Dickeya*: *D. dianthicola* та *D. solani*, переважають у Північній Європі. Найдавнішим повідомленням про *Dickeya spp.* (*E. chrysanthemi*), що спричиняє хворобу картоплі, є інформація 1970-х років (Toth et al., 2011). До 2005 року всі європейські ізоляти збудників бактеріальних гнилей картоплі, ймовірно, були *D. dianthicola* (Motyka-Pomagruk et al., 2020). Останнім часом у кількох дослідженнях європейських штамів фітопатогенів картоплі було виявлено новий патоген, який згодом назвали *D. solani*, як основний вид *Dickeya*, що вражає картоплю в регіоні (Potrykus et al., 2016; Golanowska et al., 2017, 2018).

Чорна ніжка, спричинена *Pectobacterium* і *Dickeya*, характеризується утворенням слизової, мокрої, чорної гнилі, що поширюється від гниючої материнської бульби вгору по стеблах, особливо у вологих умовах (Czajkowski et al., 2010, 2017, Dees et al., 2017). У сухих умовах симптоми, як правило, призводять до затримки росту, пожовтіння, в'янення та висихання стебел і листя. У теплих вологих умовах симптоми чорної ніжки та м'якої гнилі у картоплі схожі незалежно від того, спричинені вони *Pectobacterium* або *Dickeya*, що робить майже неможливим ідентифікувати збудника лише візуальною оцінкою.

В Україні як збудники чорної ніжки та мокрої гнилі картоплі ідентифікують патогени роду *Pectobacterium* (Polozhenets et. al., 2019). На нашу думку, відсутність повідомлень про збудники роду *Dickeya* в нашій країні пов'язана із недосконалою системою ідентифікації та відсутністю належного контролю. Адже саме ці патогени на сьогодні переважають в сусідніх країнах зі схожими кліматичними умовами.

Особливе занепокоєння у виробників картоплі спричиняє збудник кільцевої гнилі картоплі *Clavibacter michiganensis subsp. sepedonicum*. Цей фітопатоген поширений в усіх регіонах вирощування картоплі в Україні та включений у список А3 (регульовані некарантинні організми) Переліку регульованих шкідливих організмів (№ 879/33850 від 08 серпня 2019 р.). Водночас збудник обмежено поширений на територіях країн, до яких експортує картоплю Україна. Наприклад, *C. michiganensis subsp. sepedonicum* включений в список А2 Європейської та середземноморської організація захисту та карантину рослин і у разі експортування картоплі вимагається підтвердження відсутності цього збудника.

Симптоми кільцевої гнилі часто виявляються на рослинах картоплі під час вегетаційного періоду в полі, й інфекція може залишатися латентною впродовж тривалого періоду. На ранніх стадіях ураження на рослинах картоплі міжжилкові проміжки листя стають від світло-зеленого або блідо-жовтого кольору. Потім листя починає в'янути і злегка згортається на краях. За прогресування хвороби листя стає некротичним, починаючи з країв. Листя та бульби часто зменшуються в розмірі, а рослини відстають у

рості. За сприятливих умов довкілля, тобто прохолодної та вологої погоди, спостерігається загальне в'янення і загибель рослин. Симптоми кільцевої гнилі на бульбах зазвичай спостерігаються після збору врожаю та під час зберігання (Gryń et al., 2020). Тяжкість симптомів коливається від відсутності виявлених симптомів до повного руйнування судинного кільця, що проходить по всій бульбі. Що стосується зовнішньої сторони інфікованих бульб, можуть бути помітні поверхневі тріщини й темні плями безпосередньо під перидермою. На відміну від мацерації, спричиненої м'якими гнилями картоплі, бактеріальна кільцева гниль зазвичай не має запаху. Симптоми в бульбах починаються як легка склоподібність або прозорість тканини без розм'якшення навколо судинної системи. Спостерігається легка зміна кольору судинного кільця до жовтуватого забарвлення. Якщо бульбу обережно стискають, із судин виходять стовпчики бактеріальної маси (EFSA et al., 2019). Молочний ексудат іноді може видавлюватися із зів'ялих стебел поблизу місця прикріплення до бульби, а судинні тканини цих стебел можуть мати коричневе забарвлення. Більша кількість бульб із симптомами захворювання спостерігається після періоду зберігання. У насінневих бульбах, які зберігалися протягом кількох місяців – залежно від умов зберігання – симптоми кільцевої гнилі включають зміну кольору судинної тканини, яка стає кремово-жовтою, під час розрізання та стискання бульб виділяються молочні краплі бактеріального слизу. У разі сильного ураження частини кори можуть розділитися, а поверхня бульби стає червонувато-коричневою (Osdaghi et al., 2022).

Бактеріальне в'янення рослин кар-

топлі та бура гниль на бульбах картоплі, спричинені *R. solanacearum*, є однією з найбільш небезпечних хвороб виробництва картоплі в Європі, Азії, Африці, Центральній і Південній Америці (Charkowski et al., 2020). Цей збудник внесено до Списку А2 ЄОКЗР та карантинні списки багатьох країн світу, в тому числі, України. В останні роки регулярно з'являються повідомлення підрозділів Державної служби України з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів про виявлення в деяких господарствах збудника бурої гнилі *R. solanacearum* (Review, 2022). Водночас, на сьогодні збудник не має масового поширення в Україні, а, зважаючи на його велику шкідливість, запобігання його інтродукції і поширення є важливим завданням.

R. solanacearum розділена на п'ять рас відповідно до діапазону хазяїна та на п'ять біоварів згідно з Mutimawurugo et al., 2019, на основі здатності окислювати тригексозні цукрові спирти (дульцит, маніт і сорбіт) і три дисахариди (целобіозу, лактозу та мальтозу). Відповідно, біовар (1) не може споживати ці цукри, тоді як біовар (2) може використовувати лише дисахариди, біовар (3) може розкласти їх усі, а біовар (4) окислює лише гексозні спирти, тоді як біовар (5) може споживати всі цукру, за винятком дульциту та сорбіту, як зазначено Sagar et al. (2014). Ці бактерії вважаються ґрунтовими, тому вони зазвичай атакують рослини через коріння та колонізують судини ксилеми (García et al., 2019). Оскільки судинні пучки у хворих рослин заповнені бактеріями, вони перешкоджають транспортуванню води та поживних речовин, і внаслідок чого з'являються симптоми, якими є пожовтіння листя,

почервоніння судинних пучків, некроз і, зрештою, повне в'янення заражених рослин, а потім – фізіологічні зміни в хворих рослинах, такі як збільшення частоти дихання та зменшення транспірації і фотосинтезу (Karim and Hossain, 2018).

Захворювання на кільцеву та буру гнилі зареєстровані в Регіоні ЄОКЗР: Болгарія, Чехія, Естонія, Фінляндія, Німеччина, Греція, Латвія, Литва, Нідерланди, Норвегія (обмежено поширений), Україна (широко поширений), Румунія, Польща, Іспанія, Швеція (EPPO, 2022); Азія: Китай, Грузія, Японія, Тайвань, Непал, Північна Корея, Пакистан, Туреччина, Узбекистан; Північна Америка: Канада (Альберта, Британська Колумбія, Манітоба, Нью-Брансвік, Ньюфаундленд і Лабрадор, Нова-Скотія, Онтаріо, Острів Принца Едуарда, Квебек, Саскачеван), Мексика, США (Колорадо, Айдахо, Канзас, Мен, Нью-Йорк, Північна Дакота, Орегон, Вашингтон, Вісконсін) (CABI, EPPO, 1997). Окремі колишні спалахи були ліквідовані в Австрії, Бельгії, Кіпрі, Данії, Франції та Великобританії (Англія та Уельс).

Морфолого-культуральні та фізіолого-біохімічні властивості збудників гнилей картоплі. За даними Van der Wolf et al. (2014b), *D. Solani* є грамнегативними рухливими паличкоподібними бактеріями з пектинолітичною активністю, які можуть швидко руйнувати тканини картоплі. *D. solani* виробляють фосфатази і здатні виробляти індол і кислоти з α -метил-глюкозиду. Ріст відбувається за 37 °C, аргінін не розкладають в анаеробних умовах, кислота утворюють з D-арабінози, маніту, мелібіози та рафінози, але не з 5-кетоглюконату чи інуліну (табл. 1).

Бактерії *P. atrosepticum* грамнегативні, паличкоподібні, продукують ферменти, не флуоресціюють на середовищі Кінга В; позитивний тест на розрідження желатину, розщеплення пектину на напівселективному середовищі CVP-тест, каталазну та пектолітичну активність, ростуть на 5% NaCl, утворюють відновлюючі речовини з сахарози, кислотоутворення з лактози та α -метилглюкозиду; негативний тест щодо росту при 37 °С, кислотоутворення з сорбіту та мальтози, активності фосфатази, тестів на ячний жовток (лецитин), чутливості до еритроміцину та пігментації на дріжджовому декстрозно-кальцій-карбонатному агаризованому середовищі (табл. 1)

R. solanacearum – грамнегативні бактерії з паличкоподібними клітинами завдовжки 0,5-1,5 мкм з одним полярним джгутиком. Позитивна реакція фарбування гранул полі- β -гідроксибутирату суданським чорним В або нільським синім відрізняє *R. solanacearum*

від багатьох інших (фітопатогенних) грамнегативних видів бактерій. Грамнегативні палички з полярним пучком джгутиків, часто утворюють нефлуоресцентний, але дифундуючий коричневий пігмент. Полігідроксибутират (PHB) накопичується як клітинний резерв і може бути виявлений за допомогою фарбування суданського чорного на багатих поживними речовинами середовищах або тесту Nile Blue, а також у зразках з інфікованих тканин (Anonymous, 2006). На загальних поживних середовищах вірулентні ізоляти *R. solanacearum* утворюють перламутрово-кремово-білі, плоскі, неправильної форми та рідкі колонії, часто з характерними завитками в центрі. Авірулентні форми *R. Solanacearum* утворюють невеликі, округлі, маслянисті колонії, кремово-білого кольору. На середовищах з тетразолю Кельмана та SMSA завитки криваво-червоного кольору. Авірулентні форми *R. Solanacearum*

1. Фізіологічні та біохімічні властивості найпоширеніших ентеробактерій м'якої гнилі картоплі

Тест	<i>P. atrosepticum</i>	<i>D. solani</i>
Розщеплення пектину на напівселективному середовищі CVP (24 год, при 28°C)	+	+
Ріст на поживному агарі при 37°C	-	+
Ріст в 5% NaCl	+	-
Чутливість до еритроміцину	-	+
Утворення відновлюючих речовин із сахарози	+	-
Виробництво індолу	-	+
Виробництво фосфатази	-	+
Утворення кислоти з лактози	+	+
Утворення кислоти з мальтози	+	-
Утворення кислоти з α -метилглюкозиду	+	-
Утворення кислоти з трегалози	+	-
Утворення кислоти з сорбіту	-	-
Утилізація малонату	-	+

утворюють невеликі, круглі, нерідкі маслянисті колонії, які повністю темно-червоні. *R. solanacearum* мають позитивну реакцію на оксидазну активність і негативну реакцію на аргінін-гидролазу, гідроліз крохмалю та розрідження желатину. Що стосується утилізації джерел вуглецю, то всі патогенні ізоляти здатні утилізувати глюкозу, лактозу, мальтозу та целлібіозу (Khairy et al., 2021).

C. michiganensis subsp. sepedonicum – короткі, нерухомі, грампозитивні паличкоподібні бактерії. Збудник аеробний, але в анаеробних умовах може спостерігатися повільний ріст. Колонії кремові жовтуваті. Оптимальна температура росту 20-23°C. Клітини, пофарбовані за Грамом, можуть виглядати злегка булавоподібними та мати тенденцію до парного утворення L- або V-образного типу. Клітини зі свіжих ізолятів, вирощених на лабораторному середовищі, іноді досить плеоморфні з морфологією клітин, яка варіюється від великих кулястих форм до типових коротких, злегка булавоподібних паличок (Li et al., 2018; Bragard et al., 2019).

Ідентифікація збудників бактеріальних гнилей картоплі. Для надійного виявлення збудників мокрих (м'яких) гнилі в безсимптомних бульбах картоплі в промислових масштабах рекомендується застосування візуального, культурально-морфологічного і біохімічного методів (використовуючи, як API-системи чи подібні), ферментного імуносорбентного аналізу (ELISA), методи, що базуються на ПЛР (за порівняння із типовим штамом), BIOLOG (Biolog Inc., США), аналіз жирних кислот, ДНК-відбитків та секвенування нуклеотидів (EFSA et al., 2019).

Візуального огляду бульб або рослин картоплі в полі недостатньо для

виявлення інфекції і, тим більше, ідентифікації її збудника. Рослини можуть бути латентно інфіковані, і в разі появи симптомів можлива сплутаність з тими, які спричинені інфекцією комплексом видів збудників мокрих (м'яких) гнилі, а симптоми можуть маскуватися через природне старіння (van der Wolf et al., 2005). Для підтвердження зараження латентно інфікованих партій насіння (бульб) потрібна ізоляція збудника.

У Європі зразки картоплі на ураження *R. solanacearum* та *C. michiganensis subsp. sepedonicum* наразі перевіряють за допомогою мікроскопії непрямої імуофлуоресценції (ІІФ) відповідно до схваленого методу Європейської та середземноморської організації захисту рослин. Завдяки одночасному застосуванню ІІФ і флуоресцентної гібридизації *in situ* (FISH) поєднуються дві незалежні мішені для ідентифікації *R. solanacearum*, що забезпечує швидку (через 1 добу) точну ідентифікацію патогенного збудника (Pastrik et al., 2002).

Методи ампліфікації на основі ДНК зараз найбільш широко використовуються в сучасних лабораторіях для виявлення та диференціації видів *Pectobacterium* і *Dickeya*, *Ralstonia* і *Clavibacter*. Вони складаються з ампліфікації цільових специфічних послідовностей за допомогою аналізів ПЛР різних форматів, включно зі звичайною ПЛР, мультиплексною ПЛР, ПЛР у реальному часі з флуоресцентним виявленням амплікону (Taq-Man) (Puaprasert et al., 2018, Birhane et al., 2020).

ПЛР у реальному часі простий і зручний метод для високопродуктивного аналізу, адаптований до первинного скринінгу для сертифікації

2. Специфічні праймери для звичайної ПЛР

Цільовий фітопатоген	Ген мішень	Назва праймера	Послідовність праймера (5'-3')	Розмір амплікону (bp)
<i>Pectobacterium and Dickeya spp.</i>	16S rRNA	SR3FS R1cR	GGTGAAGCGTTAATCGGAATG AGA CTC TAG CCT GTC AGT TTT	119
<i>Pectobacterium atrosepticum</i>	геном	ECA1f ECA2r	CGG CAT CAT AAA AAC ACG GCA CAC TTC ATC CAG CGA	690
<i>Dickeya solani</i>	пектатліаза	ADE1 ADE2	GATCAGAAAGCCGCGACCCAGAT CTGTGGCCGATCAGGATGGTTTG TCG TGC	420
<i>Ralstonia solanacearum</i>	ендонукле- аза	R.sol1 R.sol2	CCGACACCACGACCCTGAA GCGGACGGATAGATGTAGTTGC	331
<i>C. michiganensis subsp. sepedonicum</i>	плазмід pCS1	CMS-6 CMS-7	CGCTCTCCCTCACCAGACTC TCCGTGCTTGCTCGCTTG	258

бульб, та не потребує етапу обробки після ПЛР (Mackay, 2004; Mumford et al. 2006).

Цикл розвитку бактеріальних збудників гнилей картоплі та джерела інфікування. Колонізація рослин-хазяїнів збудниками м'яких гнилей завдає серйозної шкоди фермерам, постачальникам і споживачам. Основне джерело інфікування – це заражене насіння картоплі, де бактерії можуть латентно залишатися на низькому рівні, доки умови довкілля не стануть сприятливими для експресії чинників вірулентності та екстенсивного розмноження бактерій. Збудники можуть заражати бульби через ґрунтову воду, коріння та судинну систему. Виживання збудника м'якої гнилі в ґрунті залежить від рН ґрунту, температури та вологості. Бактерії здатні виживати в ґрунті до 6 місяців навіть за відсутності рослинних рештків (Czajkowski et al., 2011). Збудники також можна знайти в поверхневій та зрошувальній воді (Czajkowski et al., 2011). Чутливість бульб до бактеріальних м'яких гнилей залежить від водного потенціалу бульби, проник-

ності мембран, міжклітинної концентрації відновлюючих цукрів, поліфенолоксидази, рівня кисню та інших чинників. Низька концентрація кисню підвищує сприйнятливість до м'яких гнилей бульб, що призводить до великої деградації тканин. Дослідження Marquez-Villavicencio et al. (2011) показали, що на м'яку гниль картоплі впливають такі фізіологічні характеристики, як розмір і зрілість бульб. Дрібні бульби були більш стійкими до м'якої гнилі, ніж великі. Зрілі бульби були більш стійкими завдяки краще розвиненій перидермі та наявності антибактеріальних речовин, а також меншому вмісту води.

Коли материнська бульба загниває, бактерії вивільняються в ґрунт. *Dickeya solani* не виживає в ґрунті, але може тривалий час виживати в поверхневих водах (Toth et al., 2011), бур'янах (Fikowicz-Krosko, Czajkowski, 2017) або зимуючий картоплі та поширюється комахами (Rossmann et al., 2018). Як і *Pectobacterium*, *Dickeya* поширюється головню під час збору врожаю, від заражених бульб до раніше незара-

3. Умови здійснення ПЛР із специфічними праймерами до збудників бактеріальних гнилей картоплі

Цільовий фітопатоген	Крок 1	Крок 2	Крок 3
<i>Pectobacterium</i> and <i>Dickeya</i> spp.	94°C 5 хв	40 циклів: 94°C 30 с, 68°C 45 с, 72°C 45 с	72°C 7 хв
<i>Pectobacterium atrosepticum</i>	94°C 5 хв	36 циклів: 94°C 30 с, 62°C 45 с, 72°C 45 с	72°C 7 хв
<i>Dickeya solani</i>	94°C 5 хв	25 циклів: 94°C 60 с, 72°C 2 хв	72°C 7 хв
<i>Ralstonia solanacearum</i>	95°C 5 хв	30 циклів: 94°C 30 с, 63°C 30 с, 72°C 1 хв	72°C 7 хв
<i>C. michiganensis</i> subsp. <i>sepedonicum</i>	95°C 5 хв	35 циклів: 95°C 1 хв, 59°C 30 с, 72°C 1 хв	72°C 7 хв

4. Праймери та зонди для фдентифікації збудників бактеріальних гнилей картоплі методом ПЛР у реальному часі (Taq-Man)

Цільовий фітопатоген	Назва праймера	Послідовність праймера та зонда (5'-3')
<i>Pectobacterium atrosepticum</i>	ECA-CSL-1F ECA-CSL-89R ECA-CSL-36T-P	CGGCATCATAAAAAACACGCC CCTGTGTAATATCCGAAAGGTGG ACATTCAGGCTGATATCCCCCTGCC
<i>Dickeya solani</i>	SOLC-F SOLC-R SOLC-P	GCCTACACCATCAGGGCTAT ACACTACAGCGCGCATAAAC CCAGGCCGTGCTCGAAATCC
<i>Dickeya solani</i>	fusA-F fusA-R fusA-P	GGTGTGCTTGACCTGGTGAAA ATAGGTGAAGGTACACCCCTCATC TGAAAGCCATCAACTGGAATGATTC
<i>Ralstonia solanacearum</i>	R.sol1 R.sol2 Rs-pro	CCGACACCACGACCCTGAA GCGGACGGATAGATGTAGTTGC ACC TGG CAT ACC TTG GCG ACA CC
<i>C. michiganensis</i> subsp. <i>sepedonicum</i>	CelA-F CelA-R Cela	TCTCTCAGTCATTGTAAGATGAT ATTGACCGCTCTCAAA TTCGGGCTTCAGGAGTGC GTG

жених. Бактерії в основному розміщуються на чечевичках бульби, але також можуть бути присутніми в рубці столона бульби. Потрапляючи в стебла, бактерії не обов'язково спричиняють гниль стебла (чорну ніжку) і можуть виживати в прихованій формі. Температура вище 30 °C упродовж вегетаційного періоду є особливо сприятливою для розвитку хвороби. Спільне зараження *Pectobacterium* і *Dickeya*, очевидно, призводить до

розвитку захворювання частіше, ніж коли присутня лише *Dickeya*. Важливим екологічним чинником розвитку чорної ніжки є рівень води в ґрунті. Наявність водяної плівки на поверхні бульби викликає розвиток анаеробних умов у материнських бульбах, тим самим сприяючи розмноженню бактерій та ініціації гниття.

Оскільки *Pectobacterium* поширені в довкіллі, то можуть бути виявлені в ґрунті, воді, бур'янах та комах. Не-

можливо вирощувати картоплю, вільну від цього збудника (Charkowski, 2015). Бактерії цього роду можуть поширюватися комахами, але важливість комах порівняно з іншими шляхами поширення залишається невідомою. *Pectobacterium* поширюються переважно під час збору врожаю. У бульбах бактерії знаходяться в чечевичках і всередині лубка.

Незважаючи на те, що *R. solanacearum* часто описують як ґрунтові патогени, виживання зазвичай короткочасне за низької температури в ґрунті, але є тривалим на альтернативних диких рослинах-хазяїнах. Захворювання зазвичай найважче протікає за температури 24–35 °С. Висока вологість ґрунту, періоди вологої погоди або сезони дощів пов'язані з високою захворюваністю. Проникнення в рослини зазвичай відбувається через пошкодження кореня, звідки бактерії рухаються внаслідок колонізації ксилеми, де вони прилипають до стінок судин через полярне тяжіння або проникають в отвори. Основною причиною в'янення вважається блокування судин бактеріальним позаклітинним полісахаридом (EPS) (Milling et al., 2011).

C. michiganensis subsp. Sepe-donicum переважно передається насінням (бульбами), але також може проникати в рослини-хазяїни через рани (наприклад, розрізаючи бульби картоплі під час їхньої посадки) і гідатооди (Robert, 2013), головню через контакт із зараженими бульбами або через заражене обладнання, що використовується для виробництва картоплі (ножі, саджалки, комбайни та контейнери для зберігання). Бактерії колонізують судини ксилеми рослин і з бульби через столони поширюється на стебла, черешки, коріння та бульби, що розвиваються. Після безсимп-

томної колонізації рослин, яка може тривати майже весь період росту картоплі, симптоми можуть розвинути в надземних частинах рослини. Оптимальна температура росту *C. michiganensis subsp. sepedonicum* досить низька, тобто 20–23 °С.

C. michiganensis subsp. sepedonicum може зберігатися в полі в незібраних бульбах картоплі, а також в заражених рослинних залишках картоплі (De Boer et al., 2017). Шкідник погано виживає за наявності мікробної конкуренції поза рослиною-хазяїном і може зберігатися в сухих і холодних умовах. Бактерії особливо добре виживають, якщо їх висушити в мазках гнилої тканини бульби на обладнанні, машинах, мішках для картоплі та контейнерах для зберігання. Бактерії залишалися інфекційно здатними у висушеному стані принаймні 18 місяців за температури від 5° до -40 °С (Charkowski et al., 2020).

Методи контролю бактеріальних збудників гнилей картоплі. На сьогодні зупинка поширення збудників мокрих (м'яких) гнилей є проблемою, оскільки немає доступних ефективних пестицидів і немає стійких комерційних сортів, тоді як використання резистентних культур, отриманих за допомогою біотехнології, хоча й є перспективним, але не є широко прийнятим. Крім того, збудники мають широкий діапазон хазяїнів і легко поширюються через гнилий рослинний матеріал.

Контроль, в основному, базується на сертифікації насіння для обмеження ризиків використання інфікованого посадкового матеріалу, а також на дезінфекції і методах вирощування, які зменшують перехресне зараження всередині та між партіями насіння. Сертифікація перебуває під офіційним

контролем уповноваженого уряду країни-виробника, і багато країн мають власні національні стандарти, які можуть бути суворішими за регульовані. У ЄС сертифікація регулюється Директивами 2014/20/EU та 2014/21/21/EU. Програми сертифікації насіння зазвичай починаються з виробництва та розмноження *in vitro* мікророслин, вільних від патогенів. У рамках схеми сертифікації використання мінібульб, вирощених із вільних від патогенів рослин *in vitro*, значно сприяє контролю захворювання.

Фізичні й хімічні заходи обробки насіннєвих бульб мають бути зосереджені на зменшенні популяції збудників у латентно інфікованих бульбах (Czajkowski et al., 2011b; Charkowski et al., 2015). Однак нездатність цих обробок повністю знищити бактерії, розташовані глибоко в судинній системі бульби або в чечевичках, без негативного впливу на рослину або розвиток бульби, значно обмежує їхню ефективність. Наприклад, фізичні методи обробки насіння, такі як гаряча вода, пара, гаряче сухе повітря та ультрафіолетове випромінювання, є екологічно чистими та визнаними такими, що конкурують з біологічними та хімічними методами, оскільки вони можуть бути ефективними проти широкого спектру патогенів і не потребують реєстрації (Czajkowski et al. 2011b). Але вони можуть негативно вплинути на проростання бульб і впливати на корисні мікроорганізми.

Було протестовано широкий спектр хімічних сполук для зменшення зараження збудниками на або всередині бульб. Більшість сполук містять антибіотики (переважно стрептоміцин та його похідні), неорганічні та органічні солі або комбинації цих сполук (Czajkowski et al.,

2011b). Проте антибіотики не використовуються у виробництві картоплі через ризики запровадження резистентності бактеріальних збудників у людини чи тварин. Як альтернативу антибіотикам було випробувано широкий спектр потенційних бактерицидів (Czajkowski et al., 2011b). Такі органічні сполуки, як гідроксихінолін і 5-нітро-8-гідроксихінолін, були ефективними для боротьби з м'якою гниллю у пошкоджених бульбах картоплі. Неорганічні та органічні солі, включно ацетатом алюмінію, метабісульфатом натрію, пропілпарабенном, бензоатом натрію, сорбатом калію, пропіонатом кальцію, гіпохлоридом натрію, бікарбонатом натрію, хлоридом алюмінію та сульфатом міді можуть пригнічувати ріст *P. atrosepticum in vitro* (Mills and Hurta, 2006). Нещодавно була оцінена здатність бактерицидів і дезінфікуючих засобів, таких як етанол, гіпохлорит натрію, сульфат міді, пероцтова кислота, перекис водню, бензойна кислота, трифосфат натрію та кофеїн, знижувати розвиток збудників (Czajkowski et al., 2013).

Експериментальні дані підтверджують, що інокулат у насіннєвих бульбах можна зменшити за допомогою термотерапії та застосування біоцидів. Бактерії, що використовують у складі препаратів для біоконтролю, виробляють велику різноманітність антимікробних молекул, таких як перекис водню, сидерофори, антибіотики та летючі сполуки. У контрольованих умовах, застосування насіннєвої картоплі з агентами біоконтролю показало багатообіцяючі результати, але на сьогодні є мало даних про ефективність біоконтролю в польових умовах (Stridh et al., 2022; Cray et al., 2016).

Збалансоване живлення також підвищує природну стійкість до хвороб. Рослини з оптимальним харчовим статусом мають найвищу стійкість до хвороб, тоді як дефіцит або надлишок основних елементів може призвести до підвищеної сприйнятливості до захворювань (Huber et al. 2012). Азот (N) є четвертим за поширеністю елементом у рослинах і міститься в різних частинах рослини в різних формах. N є компонентом білків, ферментів, гормонів, фенольних сполук і фітоалексинів, які впливають на розвиток захворювання (Huber and Thompson, 2007; Elmer and Datnoff, 2014). Дія кальціюпроти збудників м'яких гнилей, очевидно, зумовлена взаємодією іонів Ca з пектином клітинної стінки, що їх зміцнює і призводить до більш високої стійкості до пектинолітичних ферментів, що виділяються бактерії, які діють на руйнування клітинної стінки (White and Broadley, 2003).

Хоча стійкість у диких видів *Solanum* spp. були виявлені, але на сьогодні день жодні гени не були перенесені в комерційних сортів картоплі. Однак нові технології селекції, такі як CRISPR/CAS 9 і використання справжнього насіння картоплі (TPS), дадуть нові можливості для створення стійких сортів.

Вірогідність інтродукції та акліматизації. Оскільки бульби насіннєвої картоплі є основним джерелом інфекції, збудники м'яких гнилей поширилися до багатьох районів вирощування картоплі у всьому світу внаслідок переміщення в торгівлі зараженими насіннєвими бульбами. Збудники трапляються на всіх континентах, де вирощують картоплю, і, ймовірно, присутні як сапрофіти в ґрунті, воді, а також є регулярними

мешканцями коренів рослин, коли не спричиняють хвороб (Van der Wolf et al., 2021).

Бактерії також поширюються від заражених бульб через прямий контакт та через забруднені поверхні обладнання, яке використовується у виробництві картоплі, наприклад, насіннерізки, сівалки, жатки, грейдери та транспортні засоби, а також у заражених сховищах і контейнерах. Поширення від рослини до рослини в полі зазвичай низьке, але є деякі експериментальні докази того, що комахи можуть передавати хворобу.

Карантинний ризик складається з двох компонентів: можливість проникнення шкідливого організму з імпортом товаром та можливість розповсюдження його в середні країни (Hadizadeh et al., 2019). Збудники м'яких гнилей виживають упродовж тривалих періодів від багатьох місяців до років у сухому та прохолодному середовищі, досить термо- та холодостійкі бактерії (здатна активно уражувати рослини в температурному діапазоні 17-37 °C) і може уражувати та перебувати, як в філосфері, так і ризосфері рослини. Ще однією важливою особливістю цих бактерій, які можуть сприяти потраплянню з імпортованими рослинами, є можливість перебування у латентному стані в рослині 2-3 роки. І ці 2-3 роки рослина буде виглядати здоровою, без симптомів хвороби.

Висновки та перспективи.

Бактеріальні гнилі є одним із найважливіших біотичних обмежень для виробництва картоплі. Основними збудниками бактеріальних гнилей картоплі в Україні є патогени роду *Pectobacterium*: *P. atrosepticum* та

P. carotovorum subsp. carotovoru. Існує висока ймовірність поширення в господарствах збудників гнилей роду *Dickeya*. Збудник кільцевої гнилі картоплі *C. michiganensis subsp. sepedonicum* поширений на території України. Його контроль особливо важливий під час виробництва картоплі для експорту. Збудник бурої гнилі *R. solanacearum*, є карантинним об'єктом списку А-2 Європейської та середземноморської організації з карантину і захисту рослин. У разі потрапляння в Україну *R. solanacearum* має високу вірогідність до акліматизації і розповсюдженню в країні.

На сьогодні не існує абсолютно ефективних пестицидів для контролю всіх збудників, отже, заходи захисту від хвороб й надалі покладатимуться насамперед на уникнення інфікування під час вирощування рослин, а особливо, під час виробництва здорового сертифікованого насіння. Щодо такої культури як картопля, це насамперед базується на одержанні вільних від бактерій мінібульб, застосуванні строгих схем сертифікації насіння й суворих фітосанітарних обмежень. Знання джерел патогенів і шляхів інфікування повинно бути підґрунтям застосування фітосанітарних заходів, особливо під час збору врожаю та після збору врожаю.

References

1. Anonymous (2006) Commission Directive 2006/63/EC of 14 July 2006: amending Annexes II to VII to Council Directive 98/57/EC on the control of *Ralstonia solanacearum* (Smith) Yabuuchi et al. Official Journal of the European Communities, L206: 36-106.
2. Aslam MN, Mukhtar T, Hussain MA, Raheel M. (2017) Assessment of resistance to bacterial wilt incited by *Ralstonia solanacearum* in tomato germplasm. Journal of Plant Disease Protection. 124: 585-590. <https://doi.org/10.1007/s41348-017-0100-1>
3. Baştaş KK, Hekimhan H, Maden S, Tör M. (2009) First Report of Bacterial Stalk and Head Rot Disease Caused by *Pectobacterium atrosepticum* on Sunflower in Turkey. Plant Disease. 93(12): 1352. <https://doi.org/10.1094/PDIS-93-12-1352B>
4. Birch PR, Bryan G, Fenton B, Gilroy EM, Hein I, Jones JT, Toth IK. (2012) Crops that feed the world 8: Potato: are the trends of increased global production sustainable. Food Security, 4(4): 477-508. [10.1007/s12571-012-0220-1](https://doi.org/10.1007/s12571-012-0220-1)
5. Birhane E, Hailemariam M, Gebresamuel G. et al. (2020) Source of mycorrhizal inoculum influences growth of *Faidherbia albida* seedlings. Journal of Forestry Research, 31(1): 313-323. DOI:10.1007/s11676-018-0810-7
6. Bragard C, Dehnen-Schmutz K, Serio F. di, Gonthier P, Miret JAJ, Justesen AF, MacLeod A, Magnusson CS, Milonas P, Navas-Cortes JA, Parnell S, Potting R, Reignault PL, Thulke HH, Werf W. van der, Civera AV, Yuen J, Zappalà L, Wolf J. van der, Kaluski T, Pautasso M, Jacques MA. (2019) Pest categorisation of *Clavibacter sepedonicus*. EFSA Journal, 17(4): e05670. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.5670>
7. CABI, EPPO (1997) *Clavibacter michiganensis subsp. sepedonicus*. [Distribution map]. In: Distribution Maps of Plant Diseases, Wallingford, UK: CAB International. Map 20. DOI:10.1079/DMPD/20066500020
8. Charkowski A, Blanco C, Condemine G, Expert D, Franza T, Hayes C, Hugouvieux-Cotte-Pattat N, López Solanilla E, Low D, Moleleki L, Pirhonen M, Pitman A, Perna N, Reverchon S, Rodríguez Palenzuela P, San Francisco M, Toth I, Tsuyumu S, van der Waals J, van der Wolf J, Van Gijsegem F, Yang CH, Yedidia I (2012) The role of secretion systems and small molecules in soft-rot enterobacteriaceae pathogenicity. Annu Rev Phytopathol, 50:425-449

9. Charkowski A, Sharma K, Parker ML, Secor GA, Elphinstone J. (2020) Bacterial Diseases of Potato. In: Campos H, Ortiz O. (eds) The Potato Crop. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-28683-5_10
10. Charkowski AO (2015) Biology and control of Pectobacterium in potato. *Am J Potato Res*, 92(2): 223-229. DOI:10.1007/s12230-015-9447-7
11. Charkowski AO (2018) The changing face of bacterial soft-rot diseases. *Annu Rev Phytopathol*, 56(1): 269-288. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080417-045906>
12. Cray JA, Connor MC, Stevenson A, Houghton JDR, Rangel DEN, Cooke LR, Hallsworth JE. (2016) Biocontrol agents promote growth of potato pathogens, depending on environmental conditions. *Microb. Biotechnol.* 9: 330-354. 10.1111/1751-7915.12349
13. Curland RD, Mainello A, Perry KL, Hao J, Charkowski AO, Bull CT, et al. (2021) Species of *Dickeya* and *Pectobacterium* isolated during an outbreak of blackleg and soft rot of potato in northeastern and north Central United States. *Microorganisms*, 9: 1733. DOI: 10.3390/microorganisms9081733
14. Czajkowski R, de Boer WJ, Velvis H, van der Wolf J. (2010) Systemic colonization of potato plants by a soilborne, green fluorescent protein-tagged strain of *Dickeya* sp. biovar 3. *Phytopathology*, 100: 134-42. DOI: 10.1094/PHYTO-100-2-0134
15. De Boer SH, Elphinstone JG, Schaad NW. (2017) Detection of *Clavibacter michiganensis* subsp. *Sepedonicus* in potato tubers In: Fatmi M, Walcott RR. and Schaad NW. (eds). *Detection of Plant-Pathogenic Bacteria in Seed and Other Planting Material*, 2nd edition American Phytopathological Society, St Paul, Minnesota, USA: pp. 205–209.
16. Dees MW, Lebecka R, Perminow JIS. et al. (2017) Characterization of *Dickeya* and *Pectobacterium* strains obtained from diseased potato plants in different climatic conditions of Norway and Poland. *Eur. J. Plant Pathol.* 148: 839–851. <https://doi.org/10.1007/s10658-016-1140-2>
17. EFSA (European Food Safety Authority), Schenk M, Camilleri M, Diakaki M and Vos S (2019) Pest survey card on *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus*. EFSA supporting publication 2019: EN-1569. 18pp. <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2019.en-1569>
18. Elmer WH, Datnoff LE. (2014) Mineral nutrition and suppression of plant disease. *Encyclopedia Agric. Food Systems* Press (New York: Academic Press), 231-244. doi: 10.1016/B978-0-444-52512-3.00251-5
19. EPPO (2022) EPPO Global database. In: EPPO Global database, Paris, France: EPPO. 1 pp. <https://gd.eppo.int/>
20. Fikowicz-Krosko J, Czajkowski R (2017) Systemic colonization and expression of disease symptoms on bittersweet nightshade (*Solanum dulcamara*) infected with a GFP-tagged *Dickeya solani* IPO2222 (IPO2254). *Plant Dis*, 102(3): 619-627. <https://doi.org/10.1094/PDIS-08-17-1147-RE>
21. García RO, Kerns JP, Thiessen L. (2019) *Ralstonia solanacearum* species complex: a quick diagnostic guide. *Plant Health Progress*, 20(1): 7-13. 10.1094/PHP-04-18-0015-DG
22. Golanowska M, Kielar J, Lojkowska E. (2017) The effect of temperature on the phenotypic features and the maceration ability of *Dickeya solani* strains isolated in Finland, Israel and Poland. *European Journal of Plant Pathology*, 147(4): 803-817. <https://doi.org/10.1007/s10658-016-1044-1>.
23. Golanowska M, Potrykus M, Motyka-Pomajuk A, Kabza M, Bacci G, Galardini M, Bazzicalupo M, Makalowska I, Smalla K, Mengoni A, Hugouvieux-Cotte-Pattat N, Lojkowska E. (2018) Comparison of highly and weakly virulent *Dickeya solani* strains, with a view on the pangenome and panregulon of this species. *Frontiers in Microbiology*, 9: 1940. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01940>.
24. Gryń G, Franke K, Nowakowski MM, Nowakowski M. (2020) Latent infection by *Clavi-*

- bacter sepedonicus and correlation with ring rot symptoms development in potato cultivars. *Potato Research*, 64: 459-468.
25. Hadizadeh I, Peivastegan B, Hannukkala A, Van der Wolf J, Nissinen R, Pirhonen M. (2019) Biological control of potato soft rot caused by *Dickeya solani* and the survival of bacterial antagonists under cold storage conditions. *Plant Pathology*, 68: 297–311. <https://doi.org/10.1111/ppa.12956>
26. Hashemi Tameh M, Primiceri E, Chiriaco MS, Poltronieri P, Bahar M, Maruccio GJB. (2020) *Pectobacterium atrosepticum* biosensor for monitoring blackleg and soft rot disease of potato. *Biosensors (Basel)*, 10(6): 64. doi: 10.3390/bios10060064
27. Huber D, Römhelt V, Weinmann M (2012) Relationship between nutrition, plant diseases and pests. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (Third Edition)* 3: 283-298. DOI:10.1016/B978-0-12-384905-2.00010-8
28. Huber DM, Thompson IA (2007) Nitrogen and plant disease. In: Datnoff LE, Elmer WH, Huber DM (eds) *Mineral nutrition and plant disease*. APS Press, St. Paul, pp. 31–44 <https://doi.org/10.1146/annurev.py.12.090174.001035>
29. Karim Z, Hossain MS. (2018) Management of bacterial wilt (*Ralstonia solanacearum*) of potato: focus on natural bioactive compounds. *Journal of Biodiversity Conservation and Bioresource Management*, 4 (1): 73-92. 10.3329/jbcm.v4i1.37879
30. Karim Z, Hossain MS. (2018) Management of bacterial wilt (*Ralstonia solanacearum*) of potato: focus on natural bioactive compounds. *Journal of Biodiversity Conservation and Bioresource Management*. 4(1): 73–92. <https://doi.org/10.3329/jbcm.v4i1.37879>.
31. Khairy AM, Tohamy MRA, Zayed MA, Ali MAS. (2021) Detecting pathogenic bacterial wilt disease of potato using biochemical markers and evaluate resistant in some cultivars. *Saudi J. Biol. Sci.*, 28(9): 5193-5203. 10.1016/j.sjbs.2021.05.045
32. Li X, Tambong J, Yuan KX, Chen W, Xu H, Lévesque CA, Boer SH De. (2018) Re-classification of *Clavibacter michiganensis* subspecies on the basis of whole-genome and multi-locus sequence analyses. *Int J Syst Evol Microbiol.*, 68(1): 234-240. DOI: 10.1099/ijsem.0.002492
33. Mackay IM. (2004) Real-time PCR in the microbiology laboratory. *Clinical Microbiology and Infection*, 10(3): 190-212. doi:10.1111/j.1198-743X.2004.00722.x
34. Marquez-Villavicencio MDP, Groves RL, Charkowski AO. (2011) Soft rot disease severity is affected by potato physiology and *Pectobacterium* taxa. *Plant Disease*, 95: 232-241. DOI: 10.1094/PDIS-07-10-0526
35. Milling A, Babujee L, Allen C. (2011) *Ralstonia solanacearum* extracellular polysaccharide is a specific elicitor of defense responses in wilt-resistant tomato plants. *PLoS One*, 6(1): e15853. doi:10.1371/journal.pone.0015853.
36. Mills A, Hurta R (2006) Sensitivity of *Erwinia* spp. to salt compounds in vitro and their effect on the development of soft rot in potato tubers in storage. *Postharvest Biol Technol* 41(2): 208-214 <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.03.015>
37. Motyka-Pomagruk A, Zoledowska S, Sledz W. et al. (2021) The occurrence of bacteria from different species of *Pectobacteriaceae* on seed potato plantations in Poland. *Eur J Plant Pathol*, 159: 309-325. <https://doi.org/10.1007/s10658-020-02163-x>
38. Mumford R, Boonham N, Tomlinson J, Barker I. (2006) Advances in molecular phyto-diagnosics – new solutions for old problems. *European Journal of Plant Pathology*, 116(1): 1–19. DOI: 10.1007/s10658-006-9037-0
39. Mutimawurugo MC, Wagara IN, Muhinyuza JB, Ogwenjo JO. (2019) Virulence and characterization of isolates of potato bacterial wilt caused by *Ralstonia solanacearum* (Smith) in Rwanda. *African Journal of Agricultural Research*, 14(6): 311-320, 10.5897/AJAR2018.13686

40. Osdaghi E, van der Wolf JM, Abachi H, Li X, De Boer SH, Ishimaru CA. (2022b) Bacterial ring rot of potato caused by *Clavibacter sepedonicus*: a successful example of defeating the enemy under international regulations. *Molecular Plant Pathology*, 23: 911-932. DOI: 10.1111/mpp.13191
41. Oztruk M, Aksoy HM, Potrykus M, Lojkowska E. (2018) Genotypic and phenotypic variability of *Pectobacterium* strains causing blackleg and soft rot on potato in Turkey. *European Journal of Plant Pathology*, 152: 143-155. DOI:10.1007/s10658-018-1459-y
42. Pastrik KH, Elphinstone J, Pukall R. (2002) Sequence Analysis and Detection of *Ralstonia solanacearum* by Multiplex PCR Amplification of 16S–23S Ribosomal Intergenic Spacer Region with Internal Positive Control. *European Journal of Plant Pathology*, 108: 831-842. <https://doi.org/10.1023/A:1021218201771>
43. Polozhenets V, Nemerytska L. (2019) Diagnosis, symptoms and sources of infection of the black stalk of the potato. *Scientific Dopovidu NULES*, 6(82): 1-6.
44. Potrykus M, Golanowska M, Sledz W, Zolewska S, Motyka A, Kolodziejaska A, Butrymowicz J, Lojkowska E. (2016) Biodiversity of *Dickeya* spp. isolated from potato plants and water sources in temperate climate. *Plant Disease*, 100(2): 408-417. <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-15-0439-RE>.
45. Puaprasert K, Chu C, Saralamba N, Day NP, Nosten F, White NJ, Imwong M. (2018) Real time PCR detection of common CYP2D6 genetic variants and its application in a Karen population study. *Malaria Journal*, 17(1): 427, 10.1186/s12936-018-2579-8
46. Review of the spread of quarantine organisms in Ukraine. Available from: <https://dpss.gov.ua/fitosanitariya-kontrol-u-sferi-nasinnictva-ta-rozsadnictva/fitosanitarnij-kontrol/oglyad-poshirenniya-karantinnih-organizmiv-v-ukrayini>.
47. Robert M. (2013) General aspects of the prevention and control of the potato ring rot disease (*Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus*). *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, 17: 122-124.
48. Rossmann S, Dees MW, Perminow J, Meadow R, Brurberg MB (2018) Soft rot Enterobacteriaceae are carried by a large range of insect species in potato fields. *Appl Environ Microbiol*, 84 (12): e00281–e00218. <https://doi.org/10.1128/AEM.00281-18>
49. Sagar V, Jeevalatha A, Mian S, Chakrabarti SK, Gurjar MS, Arora RK, Singh BP. (2014) Potato bacterial wilt in India caused by strains of phylotype I, II and IV of *Ralstonia solanacearum*. *European Journal of Plant Pathology*, 138(1): 51-65, 10.1007/s10658-013-0299-z
50. Stridh LJ, Mostafanezhad H, Andersen CB. et al. (2022) Reduced efficacy of biocontrol agents and plant resistance inducers against potato early blight from greenhouse to field. *J Plant Dis Prot*, 129: 923-938. <https://doi.org/10.1007/s41348-022-00633-4>
51. Timko LV. (2017) Evaluation of the parameters of the adaptive capacity of potato varieties in the conditions of the Right Bank Polisia of Ukraine. *Potato production of Ukraine*. 1–2 (42–43): 18–22.
52. Toth IK, Hyman LJ, Wood JR (1999) A one step PCR-based method for the detection of economically important soft rot *Erwinia* species on micropropagated potato plants. *J Appl Microbiol*, 87: 158–166. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.1999.00808.x>
53. Toth IK, van der Wolf JM, Saddler G, Lojkowska E, Hélias V, Pirhonen M, Tsror (Lahkim) L, Elphinstone JG (2011) *Dickeya* species: an emerging problem for potato production in Europe. *Plant Pathol*, 60(3): 385-399. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2011.02427.x>
54. Uwamahoro F, Berlin A, Bucagu C, Bylund H, Yuen J. (2020) *Ralstonia solanacearum* causing potato bacterial wilt: host range and cultivars susceptibility in Rwanda. *Plant Pathology*. 69(3): 559-568. <https://doi.org/10.1111/ppa.13140>.

55. Van der Wolf JM, De Boer SH, Czajkowski R, Cahill G, Van Gijsegem F, Davey T, Brice Dupuis, B, Ellicott J, Jafra S, Kooman M, Toth IK, Tsrer L, Yedidia I, Van der Waals JE. (2021a) Management of diseases caused by *Pectobacterium* and *Dickeya* species. Plant diseases caused by *Dickeya* and *Pectobacterium* species. Springer, Cham. Pages 175-214. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61459-1_6
56. Van der Wolf JM, Elphinstone JG, Stead DE, Metzler M, Müller P, Hukkanen A and Karjalainen R. (2005a). Epidemiology of *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus* in relation to control of bacterial ring rot. Plant Research International, Report 95. Wageningen, The Netherlands, 44 pp. Available online: <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/full>
57. van der Wolf JM, Nijhuis EH, Kowalewska MJ (2014b) *Dickeya solani* sp. nov., a pectinolytic plant pathogenic bacterium isolated from potato (*Solanum tuberosum*). International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 64: 768–74. DOI: 10.1099/ij.s.0.052944-0
58. Wei Y, Moreno CC, Gongora TJ, Wang K, Sang Y, Duran RL, Macho AP. (2018) The *Ralstonia solanacearum* csp22 peptide, but not flagellin-derived peptides, is perceived by plants from the solanaceae family. Journal of Plant Biotechnology. 16(7): 1-14. <https://doi.org/10.1111/pbi.12874>.
59. White PJ, Broadley MR. (2003) Calcium in plants. Ann. Bot, 92: 487-511. doi: 10.1093/aob/mcg164

Kolomyets Yu. , Butsenko L. (2023).

POTENTIALLY DANGEROUS CAUSES OF BACTERIAL DISEASES OF POTATOES IN UKRAINE

BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 14(1-2): 26-44.

<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/42703>

[http://dx.doi.org/10.31548/biologiya14\(1-2\).2023.002](http://dx.doi.org/10.31548/biologiya14(1-2).2023.002)

Abstract. An overview of bacterial causative agents of soft (wet) rot of potatoes is given, the epidemiological and etiological aspects of the diseases caused by them are analyzed. When preparing the article, general scientific methods were used: generalization, comparison, system analysis. Data from the European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPO), as well as data from phytosanitary services of EU countries and Ukraine, scientific literature served as material for the analytical study. Trade in plant materials, including potato seed tubers and ornamental plants, is largely responsible for the widespread distribution of pathogens. Locally, pathogens are also spread through plant debris, soil, waterways, aerosols, alternative hosts, and/or farm machinery. The main causative agents of bacterial wet rot of potatoes are gram-negative bacteria of the genera *Pectobacterium* and *Dickeya* and quarantine phytopathogens of the genera *Clavibacter* and *Ralstonia*. The main methods of detection and identification in asymptomatic potato tubers on an industrial scale are: phytopathological (visual examination of plantations and registration of symptoms of soft rot), microbiological (cultural-morphological and biochemical method, use of test systems for accelerated identification of microorganisms), immunoenzymatic (enzyme immunoassay), molecular genetic (PCR with specific primers, BIOLOG, DNA fingerprinting and nucleotide sequencing).

To date, there are no completely effective pesticides to control all pathogens, so disease control measures will continue to rely primarily on avoiding infection during plant cultivation, and

*especially during the production of healthy certified seed. For a crop like potatoes, this is primarily based on obtaining bacteria-free minibulbs, applying strict seed certification schemes and strict phytosanitary restrictions. Knowledge of the sources of pathogens and routes of infection should be the basis for the application of phytosanitary measures, especially during and after harvest. Control of quarantine phytopathogens requires special attention. Soft rot pathogens are the main cause of limiting potato production in many regions of the world, particularly *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicum* and *R. solanacearum* are quarantine objects of the A-2 list of the European and Mediterranean Organization for Quarantine and Plant Protection. Upon entering our country, *R. solanacearum* has a high probability of acclimatization and spread in the country.*

Key words: *Solanum tuberosum* L., wet (soft) rot, phytopathogenic bacteria, pathogen control, plant quarantine.

РОЗРОБЛЕННЯ ILP-МАРКЕРІВ ДЛЯ ГЕНІВ *PFKFB4* *ТА RAS* У *AEGILOPS TAUSCHII*

С.О. ГОРДИНСЬКИЙ,

аспірант

ДУ «Інститут харчової біотехнології та геноміки

Національної академії наук України»

ORCID: 0009-0005-7369-3359, E-mail: serhiy_hordinskiy@ukr.net

Анотація. Актуальність дослідження зумовлена поширеністю зернових культур, зокрема пшениці м'якої, одним з предків якої є *Aegilops tauschii*. Розробка нових маркерів, які можуть бути використані для дослідження генетичного різноманіття злаків є актуальною проблемою сьогодення. Метою роботи було розробити ILP (intron length polymorphism) маркери для вивчення поліморфізму довжини інтронів *PFKFB4* та *RAS*-генів у *Aegilops tauschii*, перевірити можливість використання розроблених маркерів для генетичної диференціації *Ae. tauschii* та *Ae. biuncialis*. Для отримання EST послідовностей було використано базу даних NCBI, онлайн інструменти CD-HIT, BLAST та Primer3Plus (для розроблення праймерів). Було розроблено молекулярні маркери *Aet_ILP_1.1*, *Aet_ILP_1.2* і *Aet_ILP_2* та перевірено ефективність їхнього застосування на зразках *Ae. tauschii* та *Ae. biuncialis*. Ампліфіковані фрагменти розділяли за допомогою електрофорезу у неденатуруючому поліакриламідному гелі та фарбували сріблом. За використання маркера *Aet_ILP_1.1* п'ятнадцять зразків *Ae. biuncialis* диференційовано на дві групи. Використовуючи маркер *Aet_ILP_1.2* встановлено, що певні зразки *Ae. tauschii* та *Ae. biuncialis* мали додатковий амплікон на електрофореграмі. За використання маркерної системи *Aet_ILP_2* візуалізувалися амплікони лише у зразків *Ae. biuncialis*. Загалом отримані результати вказують на невисокий рівень внутрішньовидової генетичної мінливості *Ae. tauschii* за розробленими маркерами, натомість, вони можуть бути ефективно використані для оцінки міжвидової диференціації *Ae. tauschii* та *Ae. biuncialis*.

Ключові слова: *Aegilops tauschii*, *Aegilops biuncialis*, генетичні маркери, поліморфізм довжини інтронів.

Вступ.

Пшениця м'яка (*Triticum aestivum*) є однією з найбільш поширених зернових культур в світі, через що вона має велике значення для харчової промисловості (Konev, R. Yu., 2014). Однак, природні та антропогенні зміни, які впливають на розвиток культури, створюють необхідність в постійному виведенні нових сортів пшениці м'якої з високою продуктивністю та стійкістю до різноманітних шкідників та захворювань (Ashfaq, M. et al., 2011).

Aegilops tauschii є одним із найбільш важливих джерел генетичних ресурсів для покращення пшениці. Висока генетична різноманітність цього виду дає можливість створювати нові сорти пшениці з покращеними властивостями (Luo, M.C. et al., 2017). Дослідження *Ae. tauschii* також може допомогти зрозуміти механізми, що забезпечують високу стійкість цього виду до різних факторів середовища, зокрема до хвороб, шкідників та абіотичних стресів (Jafarzadeh J, et al., 2016).

Гени PFKFB4 кодують фруктозо-2,6-біфосфатазу, яка є ключовим регулятором гліколізу та глюконеогенезу в рослинах (Geigenberger, P., 2011). У злаків, таких як пшениця та кукурудза, експресія PFKFB4 виявлена в багатьох органах, включаючи листя, колоски та зерна (Nielsen, T.H. et al., 2004). Деякі дослідження показали, що експресія PFKFB4 може бути посиленою відповідно до стресових умов, таких як посуха або підвищена температура (Cen, W. et al., 2018). Це може свідчити про те, що гени PFKFB4 можуть бути задіяні в адаптації злаків до несприятливих умов навколишнього середовища. Також

дослідження на рисі показали, що збільшення експресії генів PFKFB4 може підвищити вміст цукрів в зерні та покращити якість рису (Li, C. et al., 2020).

Сімейство RAS-генів у злаків відіграє важливу роль у регуляції росту і розвитку рослин, а також у відповіді на стресові умови (Swarup, R., & Bhosale, R., 2019). Ці гени кодують малі білки GTP-ази, які перемикаються між активним та неактивним станом залежно від наявності пов'язаного з ними гуанін-нуклеотиду (Van Ha. et al., 2013). Гени сімейства RAS є ключовими компонентами різних сигнальних каскадів, пов'язаних з метаболізмом, ростом, поділом клітин та іншими біологічними процесами (Zhang, H. et al., 2020). Наприклад, мутації в генах сімейства RAS можуть призводити до різних порушень росту та розвитку у злаків (Tiwari M. et al., 2021). Цікаво, що деякі дослідження показали, що зміна експресії генів сімейства RAS може підвищити стійкість рослин до стресових умов, таких як посуха або солоність ґрунту (Mao, X. et al., 2010). Це пов'язано з тим, що сигнальні каскади, в яких беруть участь RAS-гени, можуть активувати захисні механізми рослин, спрямовані на подолання стресових умов.

Розробка маркерів, що базуються на оцінці поліморфізму довжини інтронів (ILP) різноманітних генів, зокрема PFKFB4 та RAS – один з перспективних напрямків дослідження для оцінки генетичної різноманітності та адаптаційного потенціалу рослин, зокрема *Aegilops tauschii* (Wei, S., Peng, Z., & Yang, Z., 2015). ILP-маркери є економічно вигідними та швидкими для розробки і застосування, оскільки вони не потребують

використання спеціальних реагентів та обладнання (Wang, X., et al., 2005). З огляду на те, що один з геномів пшениці походить від *Ae. tauschii*, перспективним може стати використання розроблених маркерів для генетико-селекційних досліджень *Triticum aestivum* L.

Мета роботи – розробити ІЛР-маркери для PFKFB4 та RAS-генів *Aegilops tauschii* і проаналізувати ефективність їхнього застосування для внутрішньо- та міжвидової диференціації представників роду *Aegilops*.

Матеріали і методи дослідження.

Було проаналізовано вибірку з 30-ти зразків *Aegilops tauschii* та 15-ти зразків *Aegilops biuncialis*. Для отримання інформації щодо екзон-інтронної структури генів використані EST послідовності *Ae. tauschii* з публічної бази даних NCBI (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>). За застосування онлайн інструменту CD-HIT (Cluster Database at High Identity with Tolerance) (http://weizhong-lab.ucsd.edu/cdhit_suite/cgi-bin/index.cgi) EST були перевірені для видалення повторів. За допомогою BLAST (<https://phytozome-next.jgi.doe.gov/blast-search>) здійснено порівняння з геномом *Oryza sativa* для ідентифікації положення інтронів, оскільки геном рису повністю анотований. Праймери для ампліфікації інтронів генів підбиралися за використання програми Primer3Plus (<https://www.bioinformatics.nl/cgi-bin/primer3plus/primer3plus.cgi>).

ДНК з насіння виділяли за допомогою ЦТАБ методу. Полімеразну ланцюгову реакцію (ПЛР) здійсню-

вали в ампліфікаторі Thermal Cycler 2720 («Applied Biosystems», США), використовуючи 10 мкл реакційної суміші, що містила: 5х ПЛР-буфер із сульфатом амонію, 2,5 ммоль $MgCl_2$, 50 нг ДНК, 1 мкМ кожного з праймерів, 0,2 ммоль кожного дНТФ, 0,5 од. Taq-полімерази («Thermo Fisher Scientific», США)). Якість отриманої ДНК перевіряли за допомогою електрофорезу в 1 % агарозному гелі, а також визначенням її концентрації спектрофотометрично на біофотометрі «Eppendorf» (США). Умови проведення ПЛР були такими: початкова денатурація – 95°C упродовж 5 хв, 35-40 - циклів ампліфікації (денатурація – 95°C – 30 с, гібридизація праймерів – 59,7 – 60,2° С – 30 с, елонгація – 72°C – 30 с), заключна елонгація - 72°C – 7 хв. Продукти ампліфікації розділяли за допомогою електрофорезу у 6 %-му неденатуруючому поліакриламідному гелі в 1хTBE-буфері. Фарбування фрагментів ДНК здійснювали нітратом срібла з подальшою фотодокументацією гелів. Електрофореграми аналізували за використання програми GelAnalyzer (<http://www.gelalyzer.com/>). Довжину відтворюваних і чітких фрагментів визначали за допомогою ДНК-маркера (O'Gene Ruler™ 100bp Plus DNA Ladder, ready-to-use; «Thermo Fisher Scientific», США).

Результати дослідження та їх обговорення.

У результаті біоінформатичного аналізу з використанням вище зазначених онлайн інструментів було відібрано 181 EST послідовність *Ae. tauschii*, серед яких CX244641.1 (має високий ступінь гомології з генами *O. sativa* PFKFB4) та CX244633.1 (що має

1. Маркери та їхня характеристики

Назва маркеру	Тип праймера	Послідовність	Tm (°C)	Розмір продукту*(п. н.)
Aet_ILP_1.1	F	AAGCTGGATTGCAGGACTTC	60	109
	R	CCCTCCCCTTTTACCATATCA		
Aet_ILP_1.2	F	CTACGAGCCAGTGCAGGAAG	60.5	136
	R	TGCGTACCAATTCACCAAGA		
Aet_ILP_2	F	CCCATTAGGGGTCAATGCTA	59.5	204
	R	CCTCCGTGCTTTTCATTTTCT		

* без урахування розміру інтрону

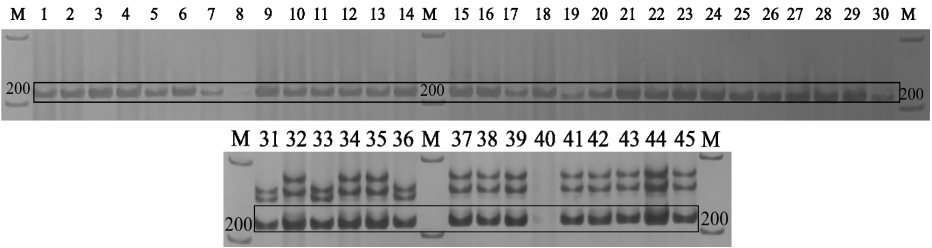


Рис. 1. Електрофореграма, що демонструє результати ПЛР-аналізу зразків егілопсів з використанням маркеру Aet_ILP_1.1. Зразки *Ae. tauschii* - 1-30, *Ae. biuncialis* – 31-45, М – ДНК-маркер «100pb Plus Ladder»

високий ступінь гомології з RAS-генами). У подальшому на підставі аналізу консенсусних послідовностей EST *Ae. tauschii* та *O. sativa* було розроблено молекулярно-генетичні маркери (Aet_ILP_1.1, Aet_ILP_1.2, Aet_ILP_2), що дають можливість оцінити поліморфізм інтронів PFKFB4 та RAS-генів у *Aegilops tauschii*. Їх в подальшому планується використати для генетичної паспортизації і диференціації генотипів *Ae. tauschii* та інших близькоспоріднених видів культурних та дикорослих злаків. Коротку інформацію щодо маркерів наведено у таблиці 1.

На електрофореграмі (рис.1) зображено результати ПЛР з вико-

ристанням пари праймерів до маркеру Aet_ILP_1.1. На рисунку видно, що фрагменти мають більшу довжину, ніж очікувана (розрахована) довжина продуктів ПЛР без урахування інтрону – 109 п.н., а саме 210 п.н., що може вказувати на наявність інтронів в ампліконах. Також добре видно, що зразки *Ae. tauschii* значно не відрізняються один від одного за цим маркером, виключення хіба-що складають зразки 8 та 19. Проте зразки *Ae. biuncialis*, крім цільового фрагменту (210 п.н.), також мають додаткову зону, яка представлена двома синхронно мігруючими фрагментами у гелях, за якими у досліджених зразків виявлено поліморфізм (250 та 260

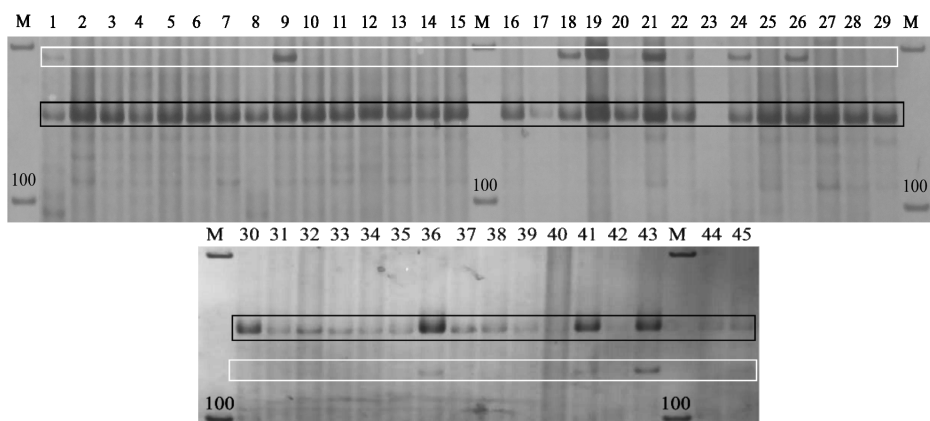


Рис. 2. Електрофореграма, що демонструє результати ПЛР-аналізу зразків егілопсів з використанням маркеру *Aet_ILP_1.2*. Зразки *Ae. tauschii* – 1-30, *Ae. biuncialis* – 31-45, М – ДНК-маркер «100pb Plus Ladder»

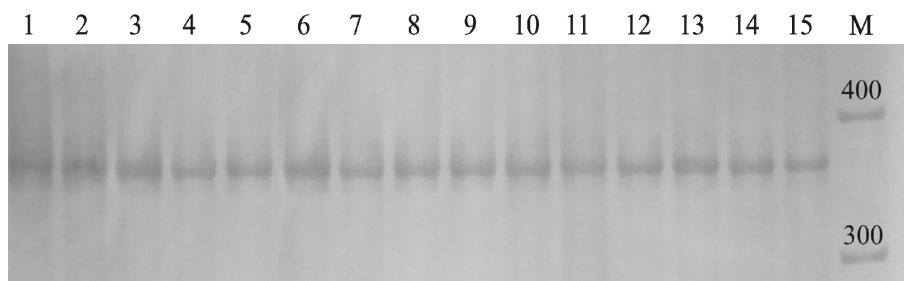


Рис. 3. Електрофореграма, що демонструє результати ПЛР-аналізу зразків егілопсів з використанням маркеру *Aet_ILP_2*. Зразки *Ae. biuncialis* 1-15, М – ДНК-маркер «100pb Plus Ladder»

п.н., 255 та 265 п.н. відповідно). У такий спосіб, цей маркер може бути використаний для міжвидової диференціації *Ae. tauschii* та *Ae. biuncialis*, а також для внутрішньовидової диференціації *Ae. biuncialis*.

На рисунку 2 зображено електрофореграму продуктів ПЛР з використанням праймерів до маркеру *Aet_ILP_1.2*. У кожного зразка *Ae. tauschii* та *Ae. biuncialis* добре видно спільний фрагмент завдовжки 155 п.н., що свідчить взагалом про невелику дов-

жину досліджуваного інтрона гена. Також зразки 1, 9, 18, 19, 21, 24 та 26 мають додатковий фрагмент завдовжки 194 п.н. Поодинокі фрагменти ще виявлялися під час аналізу зразків *Ae. biuncialis*, проте вони мають довжину 127 п.н. та присутні лише в трьох зразків: 36, 41 та 43.

Результати електрофоретичного аналізу фрагментів ДНК, отриманих з використанням праймерів *Aet_ILP_2*, представлені на рис. 3. Не дивлячись на те, що пара праймерів

була розроблена для *Ae. tauschii* на основі EST CX244633.1, під час ПЛР було отримано фрагменти лише для *Ae. biuncialis*. Ймовірною причиною відсутності продукту для *Ae. tauschii* може бути недостатній рівень подібності між EST CX244633.1 і відповідною їй кодуючою послідовністю гена білка Rab7 *Ae. tauschii* (XM_020339732.3) у області підбору одного з праймерів. Водночас, за використання тієї ж пари праймерів були отримані ПЛР продукти для зразків *Ae. biuncialis*. Довжина отриманих фрагментів у *Ae. biuncialis* склала 363 п.н. за маніміально очікуваної довжини 204 п.н., що так само може свідчити про можливу наявність інтрону в цільовій послідовності.

Висновки та перспективи.

Було розроблено генетичні маркери Aet_ILP_1.1, Aet_ILP_1.2 та Aet_ILP_2, які можуть бути використані для оцінки генетичної диференціації представників роду *Aegilops*. Зокрема маркер Aet_ILP_1.1 успішно розділив зразки *Ae. biuncialis* на дві чіткі групи. Маркер Aet_ILP_1.2 також виявився ефективним для виокремлення певних зразків *Ae. tauschii*, незважаючи на те, що обидва маркери відносяться до одного EST CX244641.1. Щодо маркера Aet_ILP_2, дискусійною залишається причина, за якою використання маркера не призвело до отримання ампліконів для *Ae. tauschii*. Подальші дослідження можуть допомогти з'ясувати причину цього явища. Однак, цей маркер може бути корисним для диференціації генотипів *Ae. biuncialis*.

Загалом отримані результати свідчать про потенційну можливість застосування цих генетичних маркерів для вивчення внутрішньо- та між-

видової диференціації рослин роду *Aegilops*. Подальші дослідження з використанням більшої кількості видів роду *Aegilops*, а також інших близьких видів злаків, зокрема пшениці, можуть допомогти отримати більше інформації стосовно генетичної структури, еволюції та оцінювання адаптаційного потенціалу цих видів рослин.

References

1. Konev, R. Yu. (2014). Ukraine on the world wheat market: export potential and its realization. The youth scientific bulletin of the UABS of the NBU. - Series: Economic Sciences. – 2014; 7: 615-626.
2. Ashfaq, M., Zulfiqar, F., Sarwar, I., Quddus, M. A., & Baig, I. A. (2011). Impact of climate change on wheat productivity in mixed cropping system of Punjab. Soil & Environment, 30(2). 12026–12034.
3. Luo, M. C., Gu, Y. Q., Puiu, D., Wang, H., Twardziok, S. O., Deal, K. R., ... & Dvořák, J. (2017). Genome sequence of the progenitor of the wheat D genome *Aegilops tauschii*. Nature, 551(7681), 498-502. DOI:10.1038/nature24486
4. Jafarzadeh J, Bonnett D, Jannink J-L, Akdemir D, Dreisigacker S, Sorrells ME (2016) Breeding Value of Primary Synthetic Wheat Genotypes for Grain Yield. PLoS ONE 11(9): e0162860. DOI: 10.1371/journal.pone.0162860
5. Geigenberger, P. (2011). Regulation of starch biosynthesis in response to a fluctuating environment. Plant physiology, 155(4), 1566-1577. DOI: 10.1104/pp.110.170399
6. Nielsen, T. H., Rung, J. H., & Villadsen, D. (2004). Fructose-2, 6-bisphosphate: a traffic signal in plant metabolism. Trends in plant science, 9 (11), 556-563. DOI: 10.1016/j.tplants.2004.09.004
7. Cen, W., Liu, J., Lu, S., Jia, P., Yu, K., Han, Y., ... & Luo, J. (2018). Comparative proteomic

- analysis of QTL CTS-12 derived from wild rice (*Oryza rufipogon* Griff.), in the regulation of cold acclimation and de-acclimation of rice (*Oryza sativa* L.) in response to severe chilling stress. *BMC Plant Biology*, 18, 1-17. DOI: 10.1186/s12870-018-1381-7
8. Li, C., Li, N., Huang, R., Chen, C., Guo, J., Yang, X., ... & Wang, P. (2020). A single nucleotide substitution at the 3'-end of SBPase gene involved in Calvin cycle severely affects plant growth and grain yield in rice. *BMC Plant Biology*, 20(1), 1-14. DOI:10.1186/s12870-020-02541-x
 9. Swarup, R., & Bhosale, R. (2019). Developmental roles of AUX1/LAX auxin influx carriers in plants. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1306. DOI: 10.3389/fpls.2019.01306
 10. Van Ha, C., Le, D. T., Nishiyama, R. I. E., Watanabe, Y. A. S. U. K. O., Sulieman, S., Tran, U. T., ... & Tran, L. S. P. (2013). The auxin response factor transcription factor family in soybean: genome-wide identification and expression analyses during development and water stress. *DNA research*, 20(5), 511-524. DOI:10.1093/dnares/dst027
 11. Zhang, H., Zhang, J., Xu, Q., Wang, D., Di, H., Huang, J., ... & Zhou, Y. (2020). Identification of candidate tolerance genes to low-temperature during maize germination by GWAS and RNA-seq approaches. *BMC plant biology*, 20, 1-17. DOI: 10.1186/s12870-020-02543-9
 12. Tiwari, M., Kumar Trivedi, P., & Pandey, A. (2021). Emerging tools and paradigm shift of gene editing in cereals, fruits, and horticultural crops for enhancing nutritional value and food security. *Food and Energy Security*, 10(1), e258. DOI:10.1002/fes3.258
 13. Mao, X., Zhang, H., Tian, S., Chang, X., & Jing, R. (2010). TaSnRK2. 4, an SNF1-type serine/threonine protein kinase of wheat (*Triticum aestivum* L.), confers enhanced multistress tolerance in *Arabidopsis*. *Journal of experimental botany*, 61(3), 683-696. DOI:10.1093/jxb/erp331
 14. Wei, S., Peng, Z., & Yang, Z. (2015). A simple approach based on intron length polymorphism (ILP) for chromosomal localization of gene WAG-2. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 75(3), 314-317. DOI: 10.5958/0975-6906.2015.00049.8
 15. Wang, X., Zhao, X., Zhu, J., & Wu, W. (2005). Genome-wide investigation of intron length polymorphisms and their potential as molecular markers in rice (*Oryza sativa* L.). *DNA Research*, 12(6), 417-427. DOI: 10.1093/dnares/dsi019

Hordynskyi S.O. (2023).

DEVELOPMENT OF ILP MARKERS FOR PFKFB4 AND RAS GENES OF AEGILOPS TAUSCHII

BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 14(1-2): 45-52.

<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/42712>

[http://dx.doi.org/10.31548/biologiya14\(1-2\).2023.005](http://dx.doi.org/10.31548/biologiya14(1-2).2023.005)

Abstract. The relevance of this research is determined by the prevalence of cereal crops, particularly common wheat, one of the ancestors of which is *Aegilops tauschii*. The development of new markers that can be used to study the genetic diversity of cereals is a current issue today. The aim of this study was to develop intron length polymorphism (ILP) markers to investigate the intron length polymorphism of PFKFB4 and RAS genes in *Aegilops tauschii*, and to assess the potential use of the developed markers for genetic differentiation of *Ae. tauschii* and *Ae. biuncialis*. EST sequences were obtained using the NCBI database, and online tools such as CD-HIT, BLAST, and Primer3Plus were employed for primer design. Molecular markers, Aet_ILP_1.1,

Aet_ILP_1.2, and Aet_ILP_2, were developed and their efficiency was tested on samples of Ae. tauschii and Ae. biuncialis. Amplified fragments were separated using denaturing polyacrylamide gel electrophoresis and silver staining was performed. The Aet_ILP_1.1 marker differentiated fifteen Ae. biuncialis samples into two groups. The use of the Aet_ILP_1.2 marker revealed additional amplicons in certain Ae. tauschii and Ae. biuncialis samples on electropherograms. The Aet_ILP_2 marker visualized amplicons only in Ae. biuncialis samples. Overall, the results indicate a low level of intraspecific genetic variability in Ae. tauschii using the developed markers, however, they can be effectively utilized for assessing interspecific differentiation between Ae. tauschii and Ae. biuncialis.

Keywords: *Aegilops tauschii, Aegilops biuncialis, genetic markers, intron length polymorphism.*

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКІСНОЮ ПИТНОЮ ВОДОЮ СІЛЬСЬКОГО НАСЕЛЕННЯ В КОНТЕКСТІ ВИКОНАННЯ ЦІЛЕЙ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

В.М. БОГОЛЮБОВ,

*доктор педагогічних наук, професор кафедри загальної екології,
радіобіології та безпеки життєдіяльності*

E-mail volbog@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-5181-6892>

Національний університет біоресурсів і природокористування України,

А.В. КЛЕПКО,

*доктор біологічних наук, завідувачка кафедри загальної екології,
радіобіології та безпеки життєдіяльності*

E-mail alla.klepko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3768-2397>

Національний університет біоресурсів і природокористування України,

В.І. БОНДАРЬ,

*кандидат с.-г. наук, доцент кафедри загальної екології, радіобіології та
безпеки життєдіяльності*

E-mail ndiego@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-8737-3568>

Національний університет біоресурсів і природокористування України,

О.І. НАУМОВСЬКА,

*кандидат с.-г. наук, завідувачка кафедри екології агросфери та
екологічного контролю,*

E-mail el.naumovskaya@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8737-3568>

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Анотація. Питання безпеки та якості питної води є актуальним на рівні кожної адміністративної одиниці та держави загалом. Вирішальними чинниками санітарного та епідеміологічного благополуччя населення є екологічний стан поверхневих вод і якісні показники води в них. Адже невідповідність якості питної води нормативним вимогам є однією з причин поширення групи різних за етіологією хвороб (інфекційні, хвороби системи травлення, ендокринної системи та інші). Існує нагальна потреба в удосконаленні технологій підготовки та постачання питної води. До важливих проблем, що потребують вирішення, відносяться: незадовільний аварійний стан водопровідних мереж, відсутність експертів з їхнього технічного обслуговування; забруднення колодязів та несвоєчасне проведення власниками профілактичних заходів.

Шоста Ціль сталого розвитку України «Чиста вода та належні санітарні умови» декларує, що кожен житель нашої держави повинен мати доступ до безпечної питної води. Якість води має бути покращена за рахунок мінімізації забруднення, скорочення кількості неочищених скидів та збільшення рівнів повторного безпечного використання водних ресурсів. Питна вода повинна бути безпечною в епідемічному та радіаційному відношенні.

У статті визначено та обґрунтовано показники, які доцільно використовувати для розробки оцінювання процесів переходу сільських громад до сталого розвитку. Авторами визначено основні проблеми, пов'язані з оцінкою таких процесів та окреслено задачі подальших наукових досліджень у цьому напрямі. У роботі використані теоретико-аналітичні методи дослідження. Виконано аналіз результатів моніторингових досліджень виконання Цілей сталого розвитку України у 2021 році.

Представлено пріоритетні показники та підходи щодо оцінювання процесів переходу сільських громад до сталого розвитку з використанням статистичних даних.

Ключові слова: сільські громади, сталий розвиток, екологічні показники, населений пункт, водопостачання, водовідведення.

Вступ.

Одним із найбільш важливих і життєво критичних природних ресурсів, без якого неможлива життя і діяльність людини, є питна вода. Від її якості залежить здоров'я як окремого громадянина, так і цілої нації. Саме тому питання безпеки та якості питної води є актуальним на рівні кожної адміністративної одиниці та держави загалом (ЦСР 6 «Чиста вода та належні санітарні умови») (UNDP, 2017).

Джерелом питного водопостачання жителів України на 80 % є поверхневі води й на 20 % – підземні (VRU, 2022). Вирішальними чинниками санітарного та епідеміологічного благополуччя населення є екологічний стан поверхневих вод і якісні показники води в них. В останні роки спостерігається закономірне погіршення якості води, зумовлене природно-кліматичними чинниками та забруднен-

ням водних об'єктів, з одного боку, і технологічною неспроможністю систем очистки з іншого.

Питання доступу населення до якісної і безпечної води вирішується організацією централізованого водопостачання. Усього в Україні ним забезпечено 99 % міст, 89 % селищ міського типу (смт) та 30 % сільських населених пунктів (СНП). Централізованим водовідведенням – відповідно 95 % міст, 61 % смт та 2,5 % сільських населених пунктів (Analytical portal, 2021).

Різні аспекти проблем доступності якісних послуг з постачання безпечної питної води в контексті переходу сільських громад до сталого розвитку розглянуті у працях багатьох вчених: М.О. Клименка, А.М. Прищепи, О.А. Брежицької, Р.А. Валерко (Klymenko M.O. et al., 2018), Л.О. Герасимчук (Valerko, R.A., Herasymchuk, L.O., 2021), Сагайдак І., Чорна Т., Павлішина В. (Sagaidak I. et al., 2021) та інших.

Необхідність розроблення системи індикаторів сталого сільського розвитку об'єднаних територіальних громад та СНП є актуальною, особливо з врахуванням інфраструктурних проблем у забезпеченні СНП централізованим водопостачанням і водовідведенням. Водночас необхідна їхня гармонізація з міжнародними індикаторами, які базуються на використанні достовірної статистичної інформації щодо забезпечення українського села якісною питною водою.

Об'єктом дослідження є оцінювання процесів переходу сільських громад до сталого розвитку.

Матеріали та методи дослідження.

У роботі використані аналітично-наукові методи досліджень, зокрема, аналіз науково-технічної літератури, а також аналіз даних Моніторингового звіту Державної служби статистики України: «Цілі сталого розвитку: Україна-2021» (State Statistics Service of Ukraine, 2021).

Результати та їх обговорення

У більшості сільських населених пунктах для питних потреб населення користується шахтно-криничними водами, які часто забруднені сполуками азоту, органічними сполуками, важкими металами та не відповідають мікробіологічним нормативам. Тому питання якості води потребує постійного контролю. На якість води в джерелі водопостачання також впливає стан прилягаючої території, рівень його захисту від можливого забруднення ззовні, зокрема облаштування санітарно-захисної зони.

Викликає велику турботу забруднення водоймищ пестицидами й мінеральними добривами, які потрапляють з полів разом зі стоками дощової і талої води. Відомо, що пестициди, які містяться у воді у вигляді суспензій легко розчиняються в нафтопродуктах, якими часто забруднені річки й озера. Ця взаємодія приводить до значного ослаблення окислювальних функцій водних рослин. Потрапляючи у водоймища, пестициди нагромаджуються в планктоні, рибі, а через ланцюжок живлення потрапляють в організм людини, діючи негативно як на певні органи, так і на організм загалом.

У зв'язку з інтенсифікацією тваринництва все більш дають про себе знати стоки підприємств цієї галузі аграрного виробництва. Стічні води, що містять рослинні волокна, тваринні й рослинні жири, фекальну масу, залишки плодів і овочів, відходи промисловості є причиною органічних забруднень водоймищ.

Правові, економічні та організаційні засади функціонування системи питного водопостачання, спрямовані на гарантоване забезпечення населення якісною та безпечною для здоров'я людини питною водою визначаються положеннями Закону України «Про питну воду, питне водопостачання та водовідведення» від 10.01.2002 р. № 2918-III (Law of Ukraine, 2002).

Згідно із Наказом Міністерства охорони здоров'я України від 12.05.2010 р. N 400 «Про затвердження Державних санітарних норм та правил "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" (ДСанПіН 2.2.4-171-10) (Order of the Ministry of Health, 2001), питна вода, призначена для

споживання людиною, повинна бути безпечною в епідемічному та радіаційному відношенні, мати сприятливі органолептичні властивості та нешкідливий хімічний склад. Гігієнічну оцінку безпечності та якості питної води проводять за показниками епідемічної безпеки (мікробіологічні, паразитологічні), санітарно-хімічними (органолептичні, фізико-хімічні, санітарно-токсикологічні) та радіаційними показниками.

Вимоги ДСанПіН (Order of the Ministry of Health, 2001), є обов'язковими для виконання органами виконавчої влади, місцевого самоврядування, підприємствами, установами, організаціями незалежно від форми власності та підпорядкування, діяльність яких пов'язана з проектуванням, будівництвом та експлуатацією систем питного водопостачання, виробництвом та обігом питних вод, наглядом і контролем у сфері питного водопостачання населення. Державний санітарно-епідеміологічний нагляд за безпекою та якістю питної води здійснюється в місцях водозаборів, перед надходженням води у водопровідну мережу та безпосередньо в ній, а також на етапах виробництва та реалізації питної води споживачу. Вміст у питній воді шкідливих речовин, не зазначених у Санітарних нормах, не повинен перевищувати їх граничнодопустимих концентрацій (ГДК), визначених санітарними нормами для поверхневих вод.

Безпечність та якість питної води, залежно від джерел питного водопостачання, за органолептичними, фізико-хімічними та санітарно-токсикологічними і мікробіологічними показниками повинна відповідати гігієнічним нормативам, наведеним у додатку 2 ДСанПіН 2.2.4-171-10

(Order of the Ministry of Health, 2001). Під час гігієнічної оцінки радіаційної безпечності питної води у місцях водозаборів поверхневих та підземних джерел питного водопостачання попередньо визначаються питомі сумарні альфа- і бета-активності за показниками ДСанПіН 2.2.4-171-10. У разі встановлення перевищення одного або обох показників варто проводити радіологічні дослідження питної води за радіаційними показниками. Орієнтовний перелік стандартів та методик визначення показників безпечності та якості питної води наведено у ДСанПіН 2.2.4-171-10. Для визначення показників безпечності та якості питної води можуть також використовуватись інші атестовані методики та стандарти.

Відповідно до «Порядку підготовки та оприлюднення Національної доповіді про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 29 квітня 2004 р. № 576 (Resolution of the CMU, 2004), щорічно збираються та узагальнюються дані стосовно джерел і стану систем питного водопостачання і водовідведення, якості питної води. Вплив стічних вод, які скидаються у водойми, на складові навколишнього природного середовища визначається за результатами державного санітарного нагляду за системами питного водопостачання.

Нами проаналізований останній Моніторинговий звіт, який розроблено Державною службою статистики України за підтримки ЮНІСЕФ в Україні з використанням даних державних статистичних спостережень (State Statistics Service of Ukraine, 2021) (State Statistics Service of Ukraine, 2021) щодо досягнення Цілі



Рис. 1. Якість питної води на територіях сільських громад, % (підготовлено за матеріалами State Statistics Service of Ukraine, 2021)

сталого розвитку № 6 «Чиста вода та належні санітарні умови». Проведене дослідження виявило, що існує тенденція до підвищення безпечності і якості води за органолептичними, фізико-хімічними, санітарно - токсикологічними показниками. Найменша частка нестандартних проб води, відібраних на сільських територіях, ідентифіковано за радіаційними показниками (6,5) у 2020 році (рис. 1).

Якість та безпечність питної води за мікробіологічними показниками в цілому погіршується, про це свідчить незначне збільшення відсотку нестандартних проб, а саме 13,8 % в 2020, тоді як в 2019 році цей показник становив 11,4. Що стосується радіаційних, органолептичних, фізико-хімічних та санітарно токсикологічних показників, то безпечність та якість питної води у 2020 році покращилась в середньому на 28 %.

Аналіз моніторингових даних щодо виконання ЦСР дає можливість

встановлювати пріоритетність і взаємозв'язки між секторами економіки та інфраструктурними об'єктами. Можна вважати, що до соціальних та інфраструктурних аспектів переходу сільської громади до сталого розвитку є Індикатор 5.1.4 "Частка сільського населення, яке має доступ до централізованого водопостачання" та Індикатор 6.2.1 "Частка сільського населення, яке має доступ до централізованих систем водовідведення, %".

Ці показники розраховуються як відношення кількості населення ОТГ, яке має доступ до централізованого водопостачання та водовідведення до загальної кількості населення (якщо у відсотках, то помножене на 100). За даними Моніторингового звіту Державної служби статистики України: «Цілі сталого розвитку: Україна - 2021» (Goals of sustainable development, 2021) у 2020 році показник «Частка сільського населення, яке має доступ до централізованого

1. Водопостачання та водовідведення на сільських територіях

Показник	2015	2016	2017	2018	2019	2020
П1. Частка сільського населення, яке має доступ до централізованого водопостачання, %	25,0	29,0	30,0	30,1	26,0	27,0
П2. Частка сільського населення, яке має доступ до централізованих систем водовідведення, %	3,0	2,2	2,5	2,5	3,4	1,8

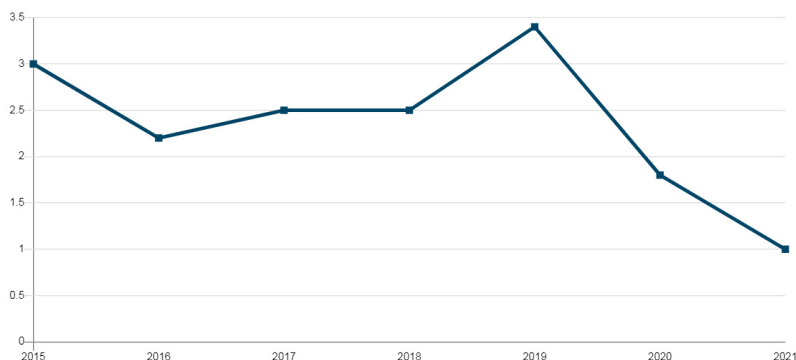


Рис. 2. Частка сільського населення, що має доступ до централізованих систем водовідведення, % (State Statistics Service of Ukraine, 2018)

водопостачання» (показник П1) становив 27%, а показник "Частка сільського населення, яке має доступ до централізованих систем водовідведення, %" становив 1,8% (табл. 1).

Зниження показників П1 і П2 у 2020 році у порівнянні з 2016-2018 рр., може бути пов'язано як з пандемією, так і з тим, що більша частина трубопроводів перебуває у аварійному та зношеному стані. Аналіз цих тенденцій дає змогу стверджувати, що обидва показники об'єктивно і своєчасно висвітлюють соціальну та інфраструктурну ситуацію на території сільської громади. Водночас показник П2 ("Частка сільського населення, яке має доступ до централізованих систем водовідведення"), можна вважати більш пріоритетним,

оскільки станом на 2021 рік тільки 1% сільського населення має доступ до централізованого водовідведення і цей показник погіршився майже у 3,5 рази (рис. 2). (State Statistics Service of Ukraine, 2018).

Висновки.

Таким чином, гематологічні дослідження, що проведені у господарствах з різними рівнями радіоактивного забруднення і різними дозами опромінення тварин виявили ряд характерних змін у периферійній крові, що, на наш погляд, пов'язані у більшій мірі з умовами утримання і екологічними умовами, насамперед нестачею біогенних мікроелементів в раціонах годівлі тварин. Дефіцит

біогенних мікроелементів в раціонах і крові тварин може бути причиною самих різних порушень в системах життєзабезпечення організму тварин. Тим не менше слід підкреслити, що наявна еозинофілія, лімфоцитоз, якісні зміни у клітинах білої крові можуть бути й результатом впливу радіаційного фактору, що підтверджується фундаментальними дослідженнями у роботах (Slavov V., & Plotko T. 2017, Formanek Z., et al., 2003 та ін., Іллязов Р.Г., 2006).

References

1. UNDP. (2017). National report "Sustainable Development Goals: Ukraine". URL: <http://surl.li/emwvb> (in Ukr).
2. Verkhovna Rada of Ukraine. (2022) WATER STRATEGY OF UKRAINE for the period until 2050. URL: https://zakononline.com.ua/documents/show/511091__706478. (in Ukr).
3. Klymenko M. O., Pryshchepa A. M., & Brezhitska O. A. (2018). Assessment of the state of the city territories according to indicators of sustainable development: monograph. Rivne: NUVHP. (in Ukr).
4. Sagaidak I., Chorna T., & Pavlishina V. (2021). Sustainable development of cities and regions: problems of availability of quality services for the supply of safe drinking water: Materials of the XXII International Scientific and Practical Conference "Ecology. Man. Society". URL: <http://ecoconference.kpi.ua/article/view/233102/> (in Ukr).
5. State Statistics Service of Ukraine. (2021). Monitoring report of the State Statistics Service of Ukraine: "Goals of sustainable development: Ukraine-2021". URL: https://ukrstat.gov.ua/csr_prezent/2020/ukr/st_rozv/publ/SDGs%20Ukraine%202021%20Monitoring%20Report%20ukr.pdf. (in Ukr).
6. State Statistics Service of Ukraine. (2018). Clean water and proper sanitary conditions. Indicator 6.2.1. URL: <https://sdg.ukrstat.gov.ua/uk/6-2-1/> (in Ukr).
7. Law of Ukraine "On drinking water, drinking water supply and drainage" dated January 10, 2002 No. 2918-III. Access mode: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2918-14#Text>.
8. Analytical portal. Word and deed. Central water supply of Ukraine: how many networks are in an emergency state. Access mode: <https://www.slovovidilo.ua/2021/06/11/infografika/suspilstvo/centralne-vodopostachannya-ukrayiny-skilky-merezh-perebuvaye-avarijnomy-stani>.
9. Valerko, R. A., & Herasymchuk, L. O. (2021). Ecological Assessment of the State of Drinking Water Within the United Territorial Communities of the Enlarged Zhytomyr District. Man and Environment. Issues of Neoeology, 35, 37-47. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2021-35-04>.
10. Goals of sustainable development: Ukraine-2021. Monitoring report. Access mode: https://ukrstat.gov.ua/csr_prezent/2020/ukr/st_rozv/publ/SDGs%20Ukraine%202021%20Monitoring%20Report%20ukr.pdf.
11. Order of the Ministry of Health "On Approval of State Sanitary Norms and Rules "Hygienic Requirements for Drinking Water Intended for Human Consumption", No. 452/17747, 2001. Access mode: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text>.
12. Resolution of the CMU dated April 29, 2004, No. 576 "On approval of the Procedure for the preparation and publication of the National Report on the quality of drinking water and the state of drinking water supply in Ukraine." Access mode: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/576-2004-%D0%BF#Text>.

13. State Statistics Service of Ukraine (2021).

Access mode: <https://ukrstat.gov.ua/>

[druk/publicat/kat_u/2021/zb/11/](#)

[Yearbook_2020_e.pdf](#).

Bogoliubov V.M., Klepko A.V., Bondar V.I., Naumovska O.I. (2023)
PROVIDING QUALITY DRINKING WATER TO THE RURAL POPULATION IN THE
CONTEXT OF ACHIEVING THE GOALS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT.
BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 14(1-2): 53-60.
<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/editor/submission/43988>
[http://dx.doi.org/10.31548/biologiya14\(1-2\).2023.009](http://dx.doi.org/10.31548/biologiya14(1-2).2023.009).

Abstract. *The issue of safety and quality of drinking water is relevant at the level of each administrative unit and the state as a whole. The ecological state of surface waters and the quality indicators of the water in them are decisive factors for the sanitary and epidemiological well-being of the population. There is an urgent need to improve drinking water preparation and supply technologies. The important problems that need to be solved include: the unsatisfactory emergency state of water supply networks, the lack of experts in their technical maintenance; contamination of wells and untimely implementation of preventive measures by the owners.*

The sixth goal of sustainable development of Ukraine "Clean water and proper sanitary conditions" declares that every resident of our country should have access to safe drinking water. Water quality should be improved by minimizing pollution, reducing untreated discharges, and increasing levels of safe reuse of water resources. Drinking water must be safe in terms of epidemics and radiation.

The article defines and substantiates the indicators that should be used to develop an assessment of the transition of rural communities to sustainable development. The authors identified the main problems associated with the evaluation of such processes and outlined the tasks of further scientific research in this direction. Theoretical and analytical research methods are used in the work. An analysis of the results of monitoring studies on the implementation of the Sustainable Development Goals in 2021 was performed.

Priority indicators and approaches for evaluating the processes of the transition of rural communities to sustainable development using statistical data are presented.

Keywords: *rural communities, sustainable development, ecological indicators, settlement, water supply, drainage.*

ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ МЕТАГЕНОМНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ЧОРНОГО МОРЯ

М.О. ПАВЛОВСЬКА,

аспірантка, Національний університет біоресурсів
і природокористування України, науковий співробітник,
Державна Установа Національний антарктичний науковий центр МОН України
<https://orcid.org/0000-0003-2050-5973>
E-mail: mawwwa88@gmail.com

А.В. КЛЕПКО,

доктор біологічних наук, старший науковий співробітник кафедри
загальної екології, радіобіології та безпеки життєдіяльності,
Національний університет біоресурсів і природокористування,
Київ, Україна

E-mail: alla.klepko@gmail.com

Є.П. ПРЕКРАСНА-КВЯТКОВСЬКА,

кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, Державна
Установа Національний антарктичний науковий центр МОН України
E-mail: preckrasna@gmail.com

Анотація. Згідно з Рамковою директивою про морську стратегію оцінка екологічного стану морської екосистеми здійснюється з урахуванням 11 дискрипторів, в основі яких лежать біологічні, хімічні та фізичні показники. Біологічні параметри традиційно оцінюються за допомогою аналізу таксономічного складу та розподілу еукаріотичних організмів. Водночас, угруповання бактеріопланктону є чутливими до антропогенних змін, а тому вважаються перспективними індикаторами стану водного середовища.

Нами було проведено експериментальне дослідження розрахунку індексу екологічного тиску на середовище (Pi) на основі даних хімічного аналізу вод Чорного моря та індексу екологічного стану середовища за даними метагеномного аналізу мікробних угруповань водного стовпа (місrod AMBI).

Було встановлено суттєву різницю показників Pi залежно від класу забруднюючих речовин, що вказує на необхідність використання широкого спектру ксенобіотиків у комплексній оцінці екологічного стану Чорного моря.

За розрахунками місrod AMBI води Чорного моря характеризувались переважно “добрим” екологічним станом. На трьох станціях було встановлено “задовільний”, “поганий” та “дуже поганий” стан, однак регіональних відмінностей між екологічним станом шельфової зони та відкритих вод зафіксовано не було.

Частка *Actinomycetales*, *Halomonadaceae* та *Shewanella* в досліджуваному угрупованні асоціювалась із вищими показниками *microgAMBI* та, відповідно, гіршим екологічним станом вод. Водночас було встановлено позитивну кореляцію між часткою *Synechococcus*, *Acidimicrobiaceae*, *Pelagibacteraceae*, *Rhodobacteraceae*, *Microbacteriaceae*, *Polaribacter*, *Rhodothermaceae* та *Chloroflexi* та “добрим” екологічним станом.

Отже, використання даних метагеномного аналізу угруповань бактеріо-планктону є перспективною складовою комплексної оцінки екологічного статусу вод Чорного моря, однак даний підхід потребує додаткових валідаційних досліджень. Доповнення баз метагеномних даних призведе до покращення точності оцінки екологічного стану вод за індексом *microgAMBI*.

Ключові слова: екологічний стан, індекси, угруповання мікроорганізмів, ксенобіотики, Чорне море

Актуальність та огляд попередніх досліджень

Водна Рамкова Директива визначає екологічний стан водного об’єкта як вираження якості структури і функціонування водних екосистем, що пов’язані з поверхневими водами і класифіковані відповідно до біологічної складової якості, а також гідроморфологічної, хімічної та фізико-хімічної складових якості, які підтримують біологічну” (Water Framework Directive, 2000).

За Рамковою Директивою про морську стратегію екологічний стан - це «загальний стан морського середовища з урахуванням структури, функції та процесів морських екосистем, включно з природними фізико-географічними, географічними, біологічними, геологічними та кліматичними чинниками, а також з фізичними, акустичними та хімічними умовами, що виникають, зокрема, в результаті людської діяльності» (Directive 2008/56/EC).

Водна Рамкова Директива про морську стратегію пропонує визначати екологічний стан поверхневих вод за шкалою з п’ятих категорій: відмінний,

добрий, задовільний, поганий та дуже поганий. Відповідно, за Рамковою Директивою про морську стратегію межа між “гарним екологічним станом” (GES) та поганим екологічним станом (non-GES) проходять між категоріями “добрий” та “задовільний”.

Згідно з Рамковою Директивою про морську стратегію оцінка екологічного стану морського середовища здійснюється з урахуванням 11 дискрипторів, що охоплюють біологічні, хімічні та фізичні параметри.

Традиційно, оцінка біологічних дескрипторів ґрунтується на аналізі угруповань еукаріотичних організмів – фітопланктону та фітобентосу, зоопланктону та зообентосу, а також риб та морських ссавців. Водночас, таксономічні та функціональні параметри мікроорганізмів у традиційній оцінці екологічного стану морських екосистем не враховуються (Caruso, G. et al., 2003, Aylagas, E. et al., 2017). Відомо, що бактерії водної товщі та донних осадів є чутливими до природних та антропогенних змін середовища і реагують на них дуже швидко, модифікуючи таксономічне різноманіття, а також фізіологічні і функціональні особливості (Zhang, Y. et al., 2014,

Stoeck, T. et al., 2017). Так, за даними Laroche et al. бактерії є більш чутливим індикатором стану довкілля, ніж макробентос. Причиною обмеженого використання мікроорганізмів як індикаторів стану довкілля є складність їхніх угруповань і пов'язана з цим проблематичність проведення повноцінного таксономічного аналізу (Aylagas, E. et al, 2017).

Розвиток технологій метагеномного аналізу обумовив використання цього підходу під час оцінки та моніторингу угруповань мікроорганізмів, включно зі значною часткою некультивованих (Caruso, G. et al, 2016). Екологічна геноміка дала можливість проводити розробку потенційних індикаторів стану довкілля, базуючись на даних щодо поширеності, розподілу та функціональних характеристик угруповань мікроорганізмів, які виконують важливі екосистемні функції (Lanzén, A. et al, 2021].

Нами було проведено розрахунок індексу microGAMBI (microbial genomic Marine Biotic Index) та Pi

(Pressure index) на основі, відповідно, даних таксономічного складу угруповань бактерій водної товщі та донних осадов, а також концентрації забруднюючих речовин у зразках.

Матеріали і методи дослідження.

Дані для розрахунку індексів було отримано в рамках проекту EMBLAS-II шляхом аналізу зразків морської води, відібраних під час дослідницького рейсу в серпні-вересні 2017 року на станціях 1a, 1b, 1 - 10 (Рис.1).

Індекс екологічного тиску (Pi) було розраховано аналогічно до (Aylagas et al., 20017) на основі даних хімічного аналізу, проведеного в рамках проекту ЕМБЛАС-II (Slobodnik, J. et al., 2020). Шкала значень Pi мала діапазон від 0 до 5, де 0 - повна відсутність забруднюючої речовини, а 5 - максимальне значення екологічного тиску. Максимальне значення екологічного тиску розраховувалось за пороговими показниками, визначеними Директи-

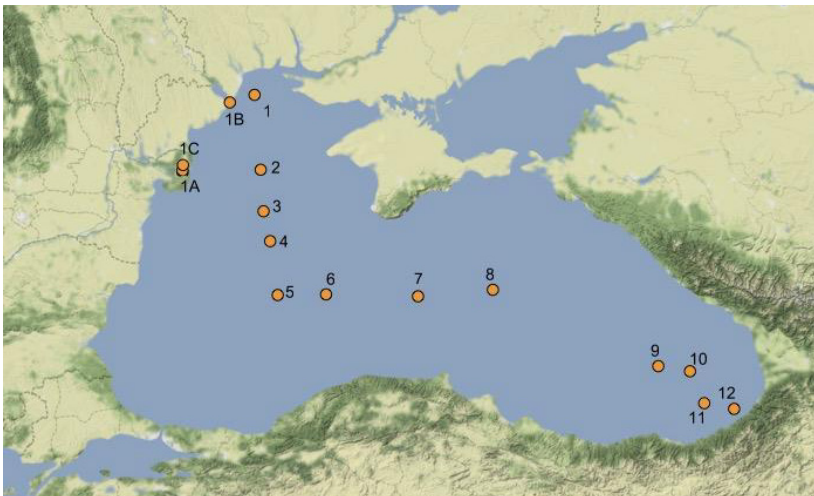


Рис. 1. Розташування станцій моніторингу екологічного стану Чорного моря в рамках дослідницького рейсу JOSS

вою ЄС (2013/39/EU AA-EQS Marine, ER_UA, 2013). У шкалі Рі порогові показники екологічного тиску (межа між прийнятним та неприйнятним рівнем забруднення) відповідали значенню 2.

Рі було розраховано для окремих забруднюючих речовин, всередньому для класу ксенобіотиків - металів, поліхлорбіфенілів (ПХБ), хлороорганічних сполук (ХОС) - і загалом для кожної станції, на якій проводився відбір зразків.

Для оцінки екологічного стану на основі даних таксономічної структури мікроорганізмів було розраховано індекс microgAMBI за методикою, що описана у (Aylagas et al. 2017). Даний індекс було розроблено на основі AMBI (AZTI's Marine Biotic Index) (Borja, A., et al. 2011) за яким проводять оцінку водного середовища на основі даних щодо різноманіття угруповань зообентосу.

MicrogAMBI базується на розрахунку співвідношення таксономічних груп, які чутливі до забруднення середовища (екологічна група I - EG I) та опортуністичних, тобто толерантних до надходження ксенобіотиків (екологічна група III - EG III). Критеріями для віднесення мікробного таксону до EG III є: (i) домінування у середовищі із високим вмістом органічних речовин, (ii) експериментально доведена відповідь на присутність органічного забруднення, (iii) домінування у безкисневому середовищі з високим вмістом метану, (iv) здатність до окиснення нітриту і попередньо зафіксована реакція на надходження сполук азоту, (v) присутність у стічних водах з високим вмістом сульфідів, (vi) участь у метаногенному розкладі алканів, (vii) здатність до розкладу поліароматичних вуглеводнів, (viii) при-

належність до потенційних патогенів (Aylagas, E., et al. 2017). Решту таксономічних груп складають аероби, мікроорганізми, що зазвичай трапляються у незабруднених донних осадах та водах, а тому належать до EG I. У випадку відсутності даних з приводу функціональних особливостей певного таксону у попередніх дослідженнях, таксономічна група потрапляла у "невизначену" категорію.

Таксономічну структуру мікробного угруповання було визначено за даними сиквенування 16S рРНК з подальшим порівнянням їх із базою даних, створеною на основі метааналізу даних попередніх досліджень з приводу функціональної ролі та поширення мікроорганізмів (Aylagas, E., et al. 2017, Borja, A. (2018). На момент нашого аналізу база даних охоплювала 693 таксономічні групи різного ієрархічного рівня (порядок, клас, родина, рід та вид), з яких 373 належали до EG I, а 297 - до EG III.

Індекс microgAMBI розраховували за формулою:

$$\text{microgAMBI} = [(\% \text{EG I} \times 0) + (\% \text{EG III} \times 6)] \div 100$$

Діапазон даного індексу від 0 до 6, де 0 відповідає 100% мікробних послідовностей у EG I, а 6 - 100% послідовностей у EG III. (Aylagas et al., 2017) було запропоновано співвідношення між індексом microgAMBI та екологічною оцінкою водного середовища за критеріями Водної Рамкової Директиви (Water Framework Directive, 2000). Так, межею між "добрим" та "задовільним" екологічним станом вважається значення microgAMBI = 2,4, що відповідає комбінації з 60% таксонів у групі EG I і 40% у групі EG III (Таблиця 1).

З метою визначення таксонів, що є потенційними індикаторами погір-

1. Співвідношення між microgAMBI та екологічним станом навколишнього середовища за Водною Рамковою Директивою

Межа класу за microgAMBI	Внесок екологічної групи	Екологічний стан (WFD)
$0 < \text{microgAMBI} \leq 1,2$	$> 80\% \text{ EG I}$	“відмінний”
$1,3 < \text{microgAMBI} \leq 2,4$	$60\% \text{ EG I}, 40\% \text{ EG III}$	“добрий”
$2,5 < \text{microgAMBI} \leq 3,6$	$40\% \text{ EG I}, 60\% \text{ EG III}$	“задовільний”
$3,7 < \text{microgAMBI} \leq 4,8$	$20\% \text{ EG I}, 80\% \text{ EG III}$	“поганий”
$4,9 < \text{microgAMBI} \leq 6$	$> 80\% \text{ EG III}$	“дуже поганий”

2. Значення індексу тиску на навколишнє середовище, розраховане для водної товщі Чорного моря за різними параметрами

Станція	Рі (умовні одиниці)			
	Метали	ХОС	ПХБ	Загальний
1a	1	1	3	2
1b	1	3	5	3
1	0	1	3	1
2	0	1	4	2
3	0	0	3	1
4	0	2	5	2
5	0	3	5	3
6	0	4	5	3
7	0	2	5	2
8	0	2	4	2
9	0	2	4	2
10	0	4	4	3

шення екологічного стану Чорного моря, було проведено непараметричний кореляційний аналіз за Спірменом між таксономічним складом угруповань мікроорганізмів водної товщі Чорного моря та розрахованими індексами microgAMBI.

Результати дослідження та їх обговорення.

Визначення індексу екологічного тиску Рі для вод Чорного моря.

Загальний індекс Рі для кожної

станції відбору було обчислено як середнє з індексів по окремих класах забруднюючих речовин.

Було виявлено значну різницю у показниках Рі, для окремих класів забруднюючих речовин. Так, найнижчі значення мав Рі, розрахований за концентрацією металів у морській воді, що свідчить про відсутність екологічного тиску за цим параметром. Індекс тиску за ХОС був вищим на деяких станціях відбору, зокрема на станціях 1б, 5, 6 та 10 він перевищував межу допустимих значень. Найвищі

3. Зміни величини індексу microgAMBI у водах Чорного моря в залежності від місця розташування станцій відбору

Станція	microgAMBI (умовні одиниці)	Екологічна група (ЕГ, цифрова градація)	Екологічний стан (умовна оцінка)
1a	1,867	2	Добрий
1б	1,661	2	Добрий
1	1,734	2	Добрий
2	3,750	4	Поганий
3	2,341	2	Добрий
4	2,251	2	Добрий
5	2,479	3	Задовільний
6	4,602	5	Дуже поганий
7	1,473	2	Добрий
8	2,345	2	Добрий
9	1,711	2	Добрий
10	2,253	2	Добрий

показники P_i було зафіксовано для ПХБ, що, на нашу думку, пов'язано із високими концентраціями стійких ПХБ у воді Чорного моря (Slobodnik, J., 2020). Так, P_i за ПХБ становив 5 на станціях 4, 5, 6, 7, що, напряду, свідчить про високий рівень екологічного тиску.

Загальне значення P_i , що було отримане усередненням по різних класах ксенобіотиків, становило від 1 до 3 із найвищими показниками на станціях 1б, 6 та 10 (Таблиця 2).

Отже, розподіл P_i у морській воді мав мозаїчний характер, водночас не було виявлено тенденції до максимальних показників даних індексів в прибережних зонах порівняно із відкритими водами.

Розрахунок індексу microgAMBI для угруповань мікроорганізмів водної товщі Чорного моря.

Згідно отриманих результатів, переважна частина досліджуваної акваторії характеризувались “добрим” екологічним станом. В районі станції

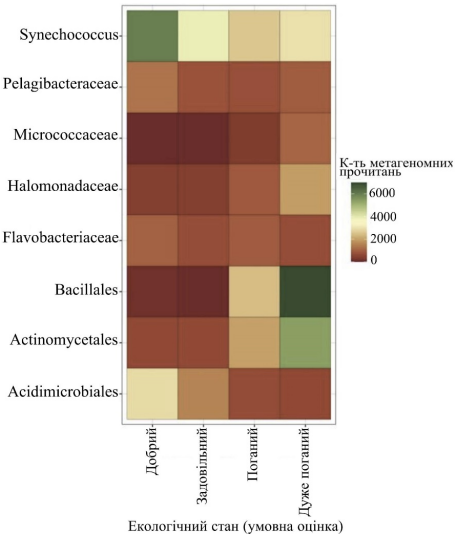


Рис. 2 Таксономічний склад угруповань мікроорганізмів водної товщі Чорного моря (чисельність перевищує 1000 метагеномних послідовностей) у відповідності до екологічного стану

5 було встановлено “задовільний” екологічний стан, біля станції 2 - “поганий” і, біля станції 6 - “дуже поганий” (Таблиця 3).

Було встановлено, присутність негативної кореляції між екологічним статусом вод та часткою *Actinomycetales* у досліджуваному угрупованні ($\rho=0,6$, $p=0,04$), котрі відомі високим рівнем толерантності до присутності ксенобіотиків у до-вкільлі, навіть пропонуються до використання для біоремедіації (Hamedi, J., et al. 2013, Devanshi, S., et al. 2022) Середня частка *Actinomycetales* зростала від 0,03 на станціях із “добрим” екологічним станом до 0,22 на станціях із “дуже поганим” екологічним станом (Рис. 1).

Аналогічно спостерігалась статистично достовірна негативна кореляція між часткою *Halomonadaceae*, частка яких становила від 0,02 на станціях із низькими значеннями *microgAMBI* до 0,08 для високих значень *microgAMBI*, та екологічним станом середовища ($\rho=0,6$, $p=0,04$) (Рис. 2). Дана таксономічна група є опортуністичною та толерантною до присутності органічних забруднюючих речовин та токсинів у середовищі (Kalaitzidou, M.P. et al. 2022). Згідно попередніх досліджень *Halomonadaceae* здатні до де-струкції ПАВ (Dong, C., et al., 2015). Високу чисельність представників *Halomonadaceae* було встановлено у районах із хронічним забрудненням

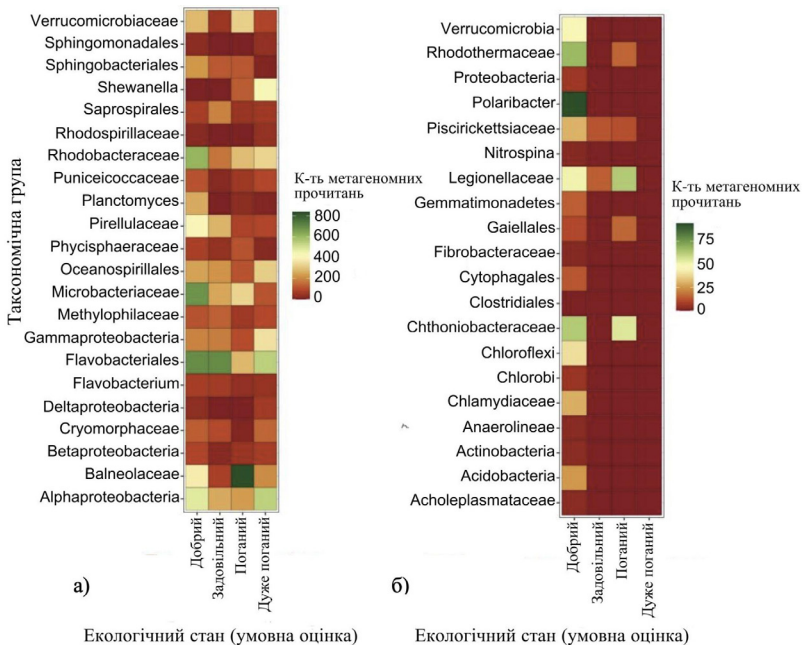


Рис. 3 Таксономічний склад угруповань мікроорганізмів водної товщі Чорного моря (а) чисельність більша за 100 метагеномних послідовностей, б) чисельність менша за 100 метагеномних послідовностей) у відповідності до екологічного стану

та під час масового розвитку фітопланктону, що супроводжувався надходженням значної кількості органічних речовин до морських вод (Рері, М. et al., 2017, Catania, V., et al., 2018).

Серед таксонів бактеріопланктону із нижчою часткою в угрупованні *Shewanella* характеризувались достовірною негативною кореляцією із екологічним станом вод ($\rho=0,6$, $p=0,03$). Так, частка даної таксономічної групи коливалась в межах від 0,00 до 0,018 за умови “доброго” або “дуже поганого” стану вод, відповідно (Рис.3а). На нашу думку це пояснюється тим, що, згідно попередніх даних представники *Shewanella* здатні до розщеплення ПАВ та детокси-

кації інших ксенобіотиків (Dong, C., et al., 2015, Lemaire, O. N. et al., 2021).

Крім зазначених таксономічних груп, нами було відмічено динамічні зміни серед інших представників бактеріопланктону у відповідності до екологічного стану вод, однак статистично достовірних кореляцій тут встановлено не було. Так, із “добрим” екологічним станом, як правило, асоціювалось зростання частки *Synechococcus*, *Acidimicrobiaceae*, *Pelagibacteraceae* (Рис.2), *Rhodobacteraceae*, *Microbacteriaceae* (Рис.3а), *Polaribacter*, *Rhodothermaceae*, *Chloroflexi* (Рис.3б).

Дані попередніх досліджень та проведеного нами кореляційного ана-

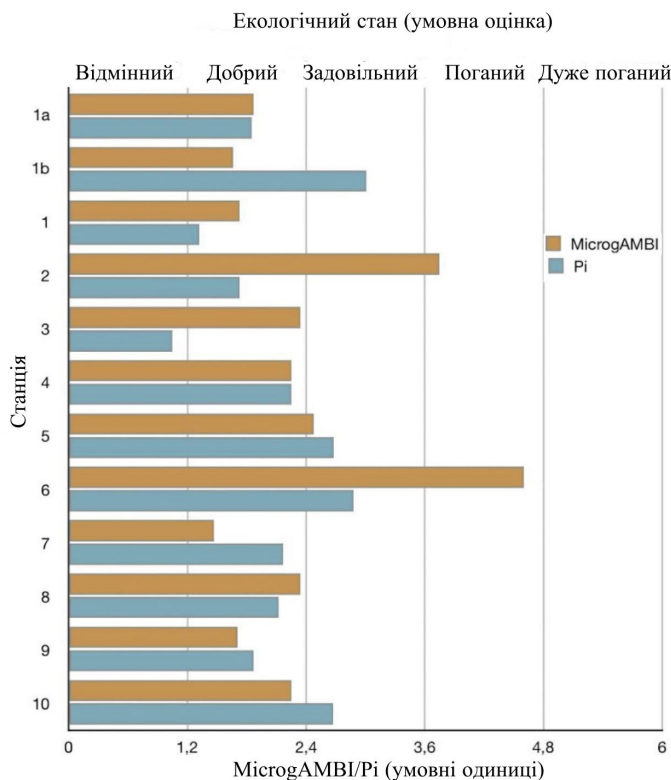


Рис. 4 Порівняння індексів Рі та microgAMBI для визначення екологічного стану вод Чорного моря

лізу вказують на потенційну можливість використання *Actinomycetales*, *Halomonadaceae* та *Shewanella*, як можливих індикаторів стану вод Чорного моря. Подальші дослідження у Чорноморському регіоні дозволять розширити цей список.

Порівняння значень індексу тиску на навколишнє середовище та індексу екологічного стану *microgAMBI*.

Індекси тиску на навколишнє середовище та індекси екологічного стану, розраховані для водної товщі Чорного моря характеризувалися подібним розподілом (Рис. 4), хоча значення *microgAMBI* були переважно вищими. Екологічний стан вод визначався ідентично за *microAMBI* та *Pi* для всіх станцій, крім 1б та 3.

Як бачимо, розраховані індекси мають певні розбіжності, водночас показано, що *microgAMBI* дозволяє уточнювати висновки щодо екологічного стану, як вод, так і донних осади. Через те на даному етапі доцільним є застосування *microgAMBI*, як складової комплексного підходу до моніторингу стану екосистеми Чорного моря.

Розрахований індекс є експериментальним, оскільки на даний момент його не впроваджено у програми регулярного моніторингу морських вод через брак досліджень із його застосуванням. Крім того, відомо, що функціональна відповідь бактерій на антропогенне навантаження характеризується значним різноманіттям, що, разом зі швидкими змінами геному бактерій під дією стрес-фактору, ускладнює інтерпретацію даних (Borja, A. 2018, Haggerty, J. M., & Dinsdale, E. A. 2017).

Саме тому, актуальним є впровадження даного підходу для водних об'єктів із різним ступенем та типом

антропогенного впливу. Також, варто зазначити, що точність розрахунків *microgAMBI* залежить від двох факторів: 1) наповненості баз даних, за якими визначається таксономічна приналежність операційних таксономічних одиниць, отриманих внаслідок метагеномного секвенування, 2) наявності досліджень щодо реакції мікробного угруповання на надходження певного типу ксенобіотиків до середовища, як в лабораторних, так і в реальних умовах довкілля. На даний момент, методи метагеномного секвенування набувають все більшого поширення, особливо для аналізу прокариот, що призводить до постійного покращення точності таксономічного та функціонального аналізу. З огляду на це, розробка та валідація індексів якості довкілля із використанням даних метагеномного аналізу мікроорганізмів стає дуже перспективним напрямком наукових досліджень.

Висновки.

Нами було проведено розрахунок індексу екологічного тиску на середовище (*Pi*) та індексу екологічного стану середовища за даними метагеномного аналізу мікробних угруповань водного стовпа (*microgAMBI*). Показники *Pi* різнилися залежно від класу забруднюючих речовин, за якими їх було розраховано, що вказує на необхідність використання широкого спектру ксенобіотиків під час екологічної оцінки стану вод. Розрахунки *microgAMBI* показали, що екологічний стан вод Чорного моря переважно “добрий”. Лише на трьох станціях було зафіксовано “задовільний”, “поганий” та “дуже поганий” стан. Було також зафіксовано позитивну коре-

ляцію між часткою *Actinomycetales*, *Halomonadaceae* та *Shewanella* в угрупованнях бактеріопланктону та високими показниками *microgAMBI*, що свідчило про незадовільний екологічний стан морських вод. Висока частка *Synechococcus*, *Acidimicrobiaceae*, *Pelagibacteraceae*, *Rhodobacteraceae*, *Microbacteriaceae*, *Polaribacter*, *Rhodothermaceae* та *Chloroflexi* у воді асоціювалася із “добрим” екологічним станом.

Використання даних метагеномного аналізу щодо таксономічної та функціональної структури угруповань мікроорганізмів для моніторингу морських екосистем є перспективним напрямком, оскільки дозволяє суттєво доповнити традиційну морфо-таксономічну оцінку і не потребує такого рівня реплікації, як аналіз еукаріотичних бентосних угруповань. Водночас, розвиток та впровадження даної методології у регулярний моніторинг потребує додаткових досліджень та валідації існуючих індексів в оцінці регіональних водних екосистем.

References

1. Water Framework Directive (Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the Community action in the field of water policy, Official Journal (OJ L 327) on 22 December 2000
2. Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive). 17 June 2008 establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive) (Text with EEA relevance) (OJ L 164, 25.6.2008) 27 pp.
3. Caruso, G., La Ferla, R., Azzaro, M., Zoppini, A., Marino, G., Petochi, T., Corinaldesi, C., Leonardi, M., Zacccone, R., Fonda, S., Caroppo, C., Monticelli, L., Azzaro, F., Decembri, F., Maimone, G., Cavallo, R., Stabili, L., Todorova, N., Karamfilov, V., ... Danovaro, R. (2016). Microbial assemblages for environmental quality assessment: Knowledge, gaps and usefulness in the European marine strategy framework directive. In Critical Reviews in Microbiology. <https://doi.org/10.3109/1040841X.2015.1087380>
4. Aylagas, E., Borja, Á., Tangherlini, M., Dell'Anno, A., Corinaldesi, C., Michell, C. T., Irigoien, X., Danovaro, R., & Rodríguez-Ezpeleta, N. (2017). A bacterial community-based index to assess the ecological status of estuarine and coastal environments. Marine Pollution Bulletin. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.10.050>
5. Zhang, Y., Chen, L., Sun, R., Dai, T., Tian, J., Liu, R., & Wen, D. (2014). Effect of wastewater disposal on the bacterial and archaeal community of sea sediment in an industrial area in China. FEMS Microbiology Ecology. <https://doi.org/10.1111/1574-6941.12298>
6. Stoeck, T., Frühe, L., Forster, D., Cordier, T., Martins, C. I. M., & Pawlowski, J. (2018). Environmental DNA metabarcoding of benthic bacterial communities indicates the benthic footprint of salmon aquaculture. Marine Pollution Bulletin. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.11.065>
7. Laroche, O., Pochon, X., Tremblay, L. A., Ellis, J. I., Lear, G., & Wood, S. A. (2018). Incorporating molecular-based functional and co-occurrence network properties into benthic marine impact assessments. FEMS Microbiology Ecology. <https://doi.org/10.1093/FEMSEC/FIY167>
8. Lanzén, A., Mendibil, I., Borja, Á., & Alonso-Sáez, L. (2021). A microbial mandala for environmental monitoring: Predicting multiple impacts on estuarine prokaryote communities of the Bay of Biscay. Molecular Ecology. <https://doi.org/10.1111/mec.15489>

9. Slobodnik, J., Alexandrov, B., Komorin, V., Mikaelyan, A., Guchmanidze, A., Arabidze, M., Korshenko, A. National Pilot Monitoring Studies and Joint Open Sea Surveys in Georgia, Russian Federation and Ukraine, 2017: Final Scientific Report / J. Slobodnik, B. Alexandrov, V. Komorin, A. Mikaelyan, A. Guchmanidze, M. Arabidze, A. Korshenko. – Dnipro: Seredniak T.K., 2020.
10. Directive 2013/39/EU of the European Parliament and of the Council of 12 August 2013 amending Directives 2000/60/EC and 2008/105/EC as regards priority substances in the field of water policy Text with EEA relevance (OJ L 226 24.08.2013, p. 1, ELI: <http://data.europa.eu/eli/dir/2013/39/oj>)
11. Borja, A., Franco, J., & Pérez, V. (2000). A marine Biotic Index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Marine Pollution Bulletin*. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(00\)00061-8](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(00)00061-8)
12. Borja, A. (2018). Testing the efficiency of a bacterial community-based index (microg-AMBI) to assess distinct impact sources in six locations around the world. *Ecological Indicators*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.11.018>
13. Hamed, J., Mohammadipanah, F., & Ventosa, A. (2013). Systematic and biotechnological aspects of halophilic and halotolerant actinomycetes. In *Extremophiles*. <https://doi.org/10.1007/s00792-012-0493-5>
14. Devanshi, S., R. Shah, K., Arora, S., & Saxena, S. (2022). Actinomycetes as An Environmental Scrubber. In *Crude Oil - New Technologies and Recent Approaches*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.99187>
15. Kalaitzidou, M. P., Alvanou, M. V., Papa-georgiou, K. V., Lattos, A., Sofia, M., Kritas, S. K., Petridou, E., & Giantsis, I. A. (2022). Pollution Indicators and HAB-Associated Halophilic Bacteria Alongside Harmful Cyanobacteria in the Largest Mussel Cultivation Area in Greece. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. <https://doi.org/10.3390/ijerph19095285>
16. Dong, C., Bai, X., Sheng, H., Jiao, L., Zhou, H., & Shao, Z. (2015). Distribution of PAHs and the PAH-degrading bacteria in the deep-sea sediments of the high-latitude Arctic Ocean. *Biogeosciences*. <https://doi.org/10.5194/bg-12-2163-2015>
17. Pepi, M., Heipieper, H. J., Balestra, C., Borra, M., Biffali, E., & Casotti, R. (2017). Toxicity of diatom polyunsaturated aldehydes to marine bacterial isolates reveals their mode of action. *Chemosphere*. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.031>
18. Catania, V., Cappello, S., Di Giorgi, V., Santisi, S., Di Maria, R., Mazzola, A., Vizzini, S., & Quatrini, P. (2018). Microbial communities of polluted sub-surface marine sediments. *Marine Pollution Bulletin*. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.04.015>
19. Lemaire, O. N., Méjean, V., & Iobbi-Nivol, C. (2021). The *Shewanella* genus: Ubiquitous organisms sustaining and preserving aquatic ecosystems. In *FEMS Microbiology Reviews*. <https://doi.org/10.1093/FEMSRE/FUZ031>
20. Haggerty, J. M., & Dinsdale, E. A. (2017). Distinct biogeographical patterns of marine bacterial taxonomy and functional genes. *Global Ecology and Biogeography*. <https://doi.org/10.1111/geb.12528>

Pavlovska M., Klepko A., Prekrasna-Kviatkovska YE. (2023).
THE UTILITY OF METAGENOMIC DATA FOR THE BLACK SEA ECOLOGICAL STATUS ASSESSMENT.
BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 14(1-2): 61-72.
<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/42709>
[https://doi.org/10.31548/biologiya14\(1-2\).2023.006](https://doi.org/10.31548/biologiya14(1-2).2023.006)

Abstract. According to Marine Strategy Framework Directive the assessment of marine ecosystems' environmental status is performed with 11 Descriptors, which are based on biological, physical and chemical parameters. The biological indexes are calculated based on taxonomic structure and distribution of eukaryotic communities. Meanwhile, bacterioplankton is sensitive to anthropogenic impact and is thus a promising indicator of aquatic environment status.

We have tested the utility of ecological pressure index (P_i) calculated with chemical data and bacterial community-based index (microgAMBI) for the assessment of Black sea waters ecological status. According to our estimations P_i varied depending on the chemical data used for its calculation, which indicates the necessity of using a wide range of xenobiotics in complex ecological status assessment. MicrogAMBI indicated that the Black sea surface waters can be characterized by "good" environmental status. "Moderate", "poor" and "bad" ecological status was shown for 3 stations, yet there were no significant region-specific differences between the shelf zone and the open water.

Actinomycetales, Halomonadaceae and Shewanella relative abundance was associated with higher microgAMBI estimations and respectively with worse ecological status. Meanwhile, positive correlation was found between Synechococcus, Acidimicrobiaceae, Pelagibacteraceae, Rhodobacteraceae, Microbacteriaceae, Polaribacter, Rhodothermaceae and Chloroflexi abundance and "good" ecological status.

Microbial metagenomic data is promising for the complex assessment of Black sea waters ecological status, however, more research is needed to validate this approach. The development of metagenomic databases will contribute to increase in precision of microgAMBI calculation and subsequent ecological status analysis.

Keywords: ecological status, index, microbial communities, xenobiotics, Black sea

НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СИСТЕМ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ РЕГІОНАЛЬНОГО РІВНЯ В УМОВАХ ВІЙНИ

Д.А. САГАЙДАК,

аспірант 3-го року навчання,

кафедри загальної екології та безпеки життєдіяльності

Email: denik04@ukr.net

ORCID: 0000-0002-7184-7730

Національний університет біоресурсів і природокористування України,

м. Київ, вул. Героїв Оборони 15, 03041, Україна

В.М. БОГОЛЮБОВ,

доктор педагогічних наук, професор кафедри загальної екології,

радіобіології та безпеки життєдіяльності

Email: volbog@ukr.net

ORCID: 0000-0001-5181-6892

Національний університет біоресурсів і природокористування

України, м. Київ, вул. Героїв Оборони 15, 03041, Україна

Анотація. Було проведено дослідження впливу дій вієнного характеру на пересування повітряних мас, забруднених дрібнодисперсним пилом: тверді часточки розміром до 2,5 мкм ($PM^{2.5}$) та 10 мкм (PM^{10}). Водночас, практично всі пости системи безперервного моніторингу повітря під час активних бойових дій під Києвом було вимкнено для безпеки. Підтверджено, що під час детонації ракет, вибухах артилерійських снарядів та мін, а також при пересуванні важкої військової техніки, утворюється велика кількість дрібнодисперсного пилу фракцій $PM^{2.5}$ та PM^{10} , який поширюється на значні відстані. Потрапляння цього пилу в легені негативно впливає на організм людини у вигляді респіраторних захворювань та серцево-судинних обтяжень. Зазвичай зібрати та проаналізувати всі фактори впливу на людину і навколишнє середовище практично неможливо, адже це занадто складна система, у якій важко отримати точні дані й розрахунки, особливо під час активних воєнних дій. Зібрані моніторингові дані можуть допомогти у загальному оцінюванні впливу на населення і навколишнє природне середовище та оцінити потенційні збитки завдані від агресивних воєнних дій.

Під час дослідження було проаналізовано концентрацію твердих частинок пилу $PM^{2.5}$ і PM^{10} в атмосферному повітрі після ракетних, артилерійських, бомбових обстрілів та інших чинників впливу військового характеру, а також

проведено оцінювання потенційного впливу таких частинок на здоров'я населення і навколишнє середовище.

Відбір проб здійснювався на території міста Києва в Шевченківському, Голосіївському, Оболонському, Святошинському, Солом'янському районах. У зв'язку з тим, що прогнозувати місце падіння або влучання снарядів було неможливо, деякі виміри робились в максимально наближених місцях до точок влучання.

Результати аналізу впливу дрібнодисперсних частинок $PM^{2,5}$ та PM^{10} на навколишнє середовище показали, що через забруднення атмосферного повітря, часточки можуть осідати на рослини, потрапляти у ґрунти, воду і в подальшому негативно впливати на стан локальних екосистем.

Ключові слова: моніторинг, дрібнодисперсний пил, $PM_{2,5}$, PM_{10} , ракетні обстріли, атмосферне повітря, забруднення атмосфери

Вступ.

Атмосферне повітря без небезпечних забруднень є суспільною цінністю та останнім безкоштовним природним ресурсом, що для більшості населення не має альтернативи споживання. У вересні 2021 р. Всесвітня організація охорони здоров'я ООН оприлюднила нові рекомендації до якості повітря, що надають чіткі докази шкоди, яку забруднене повітря завдає здоров'ю людей, навіть у менших концентраціях, ніж вважалося раніше. За оцінками експертів ВООЗ, щороку забруднення повітря обумовлює до 7 млн. передчасних смертей і призводить до втрати мільйонів здорових років життя (New WHO GAQG, 2021). Забруднення повітря є однією з актуальних екологічних загроз здоров'ю людей, проте найбільше воно вражає населення країн з низьким і середнім рівнем доходу.

Заступник директора ДУ «Вінницький ОЛЦ МОЗ України» А.В. Борисенко неодноразово звертав увагу на проблему забруднення атмосферного повітря усіх регіонів України та наголошував на необхідності законодавчих, організаційних та інституційних змін у сфері моніторингу вмісту

забруднюючих речовин та державного управління якістю атмосферного повітря (Borysenko A.V., 2009). У серпні 2019 р. Україна підписала Угоду про асоціацію з ЄС і активізувала зміни механізмів організації та здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря (New WHO GAQG, 2021). Проте реалізація цієї Постанови КМУ стикнулася з низкою нормативно-правових, організаційних та технічних перепон. Зокрема, більшість зон та агломерацій України і досі не мають розроблених та затверджених програм моніторингу якості атмосферного повітря, а відповідно – і не приступили до їх впровадження.

Нормативно-правова база у галузі охорони та моніторингу стану атмосферного повітря в останні роки активно розвивається та оновлюється. Активний поштовх відбувся завдяки ратифікації Україною Угоди про асоціацію з Європейським Союзом та Європейським співтовариством з атомної енергії (Angurets O. et al., 2021).

Матеріали та методи досліджень

У Основних засадах (стратегії) державної екологічної політики Укра-

їни на період до 2030 року, що затверджені Законом України від 28 лютого 2019 року № 2697-VIII, у розділі I «Існуючі проблеми та сучасний стан довкілля в Україні» зазначено, що забруднення атмосферного повітря є однією з найгостріших екологічних проблем, а розділ III містить стратегічні цілі та завдання, що безпосередньо пов'язані з управлінням якістю атмосферного повітря (рис. 1) (The Law of Ukraine On the Basic Principles (Strategy), 2019). Як бачимо, основні цілі екологічної політики хоч і розділяються але взаємопов'язані, адже без інтеграції екологічної політики у сфері прийняття рішень неможливо знизити екологічні ризики антропогенного впливу на екосистеми та здоров'я людей. В останньому пункті на шляху інтеграції вказано про формування галузевих стратегій та їх розгалуження і це вкрай необхідний пункт по імплементації екологічного мислення в усі сфери діяльності і перетворення цих сфер у велику систему. Результатом такої імплементації буде цільове суттєве зниження рівня забруднення атмосферного повітря.

Зараз правова база в Україні (у контексті моніторингу та управління якістю атмосферного повітря) є недосконалою, містить дискусійні та суперечливі вимоги та потребує вдосконалення. Для цієї сфери характерними є недостатньо повне врегулювання питань вимірювань і підготовки управлінських рішень, декларативність деяких положень законів і суперечності між певними нормами правових актів. Це є наслідком поспішного прийняття законів, браку ефективного організаційно-правового механізму забезпечення законотворчої діяльності, а також недостатнього рівня правової культури осіб, які беруть участь в законотворчому процесі (Ambient air quality management, 2021). Ці проблеми, насамперед, стосуються формуванню системи моніторингу атмосферного повітря на регіональному рівні.

Попередні дослідження авторів проекту "Чисте повітря для України" демонструють широкий спектр проблем природоохоронного законодавства України (Dirty sky overhead, 2020). Водночас, законотворчій ді-

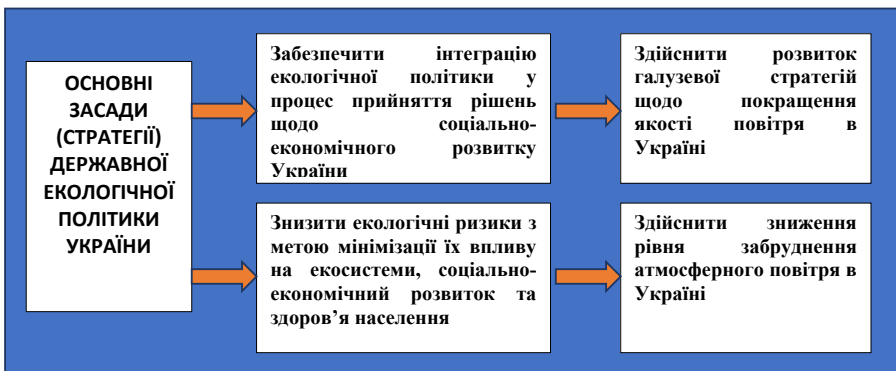


Рис. 1. Зв'язок державної екологічної політики з проблемою забруднення атмосферного повітря в Україні (The Law of Ukraine On the Basic Principles (Strategy), 2019)

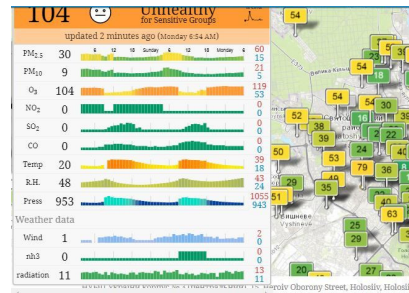
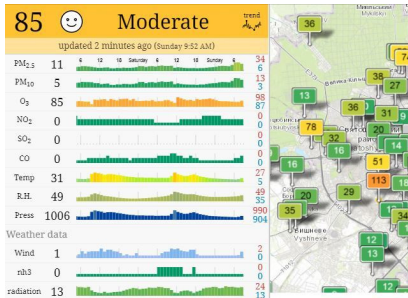


Рис. 2. Дані станції моніторингу EcoCity на території НУБП України
а) дані на ранок 01.05.22 р.; б) дані на ранок 13.06.22 р.

яльності, що присвячена розвитку та впровадженню сучасної системи моніторингу та управління якістю атмосферного повітря, сприяють наявні спроби імплементації норм і положень законодавства ЄС у практику їх застосування в Україні. Безумовно, ці норми законодавства ЄС потребують більш глибокої адаптації, контекстного переосмислення та більш активного впровадження у природоохоронне законодавства України.

Захисні функції атмосфери проявляються з одного боку в екрануванні земної поверхні від попадання на неї різноманітних космічних тіл (метеорів, метеоритного пилу), більшість яких згоряє в щільних шарах атмосфери. Так, озон у верхніх шарах атмосфери, відіграє надзвичайно важливу роль – озоновий шар поглинає частину ультрафіолетового випромінювання Сонця. Стратосферний озон виконує роль фільтру для космічної та сонячної радіації, надійно захищаючи живі організми від надмірного ультрафіолетового випромінювання.

Атмосфера відіграє головну роль у глобальному, регіональному та локальному перенесенні забруднювальних речовин (ЗР) та забрудненні природного середовища. Зростаючі

антропогенні навантаження послаблюють природний процес самоочищення атмосфери, що призводить до накопичення шкідливих домішок, які зумовлюють її забруднення (хімічне, радіоактивне, біологічне, теплове та електростатичне).

Рівень озонового забруднення атмосферного повітря в столиці за даними вимірювань Інституту громадського здоров'я імені Марзеєва НАМНУ, які проводились з 2012 по 2017 роки, стабільно перевищує гранично допустимі концентрації, що становить пряму загрозу здоров'ю населення (<http://amnu.gov.ua/>). Результати вимірювань автоматичними станціями на платформі EcoCity також свідчать про зростання середньодобових концентрацій приземного озону від 90 мкг/м³ на початку травня (рис. 2 а) до 180 мкг/м³ на початку липня 2022 року (рис. 2 б).

Моніторинг концентрації приземного озону вже більше десяти років є одним з обов'язкових і пріоритетних досліджень у країнах ЄС. В Україні цей забруднювач повітря до останнього часу не спостерігався взагалі. Перше наукове дослідження для визначення граничних концентрацій озону в приземному шарі атмосфер-

ного повітря в столиці провела лабораторія якості повітря Інституту громадського здоров'я імені Марзеєва НАМНУ у 2018 році науковці проводили заміри в травні-вересні 2018 і 2019 роках, і за весь цей період концентрації озону були або на межі допустимого нормативу, або сильно перевищували його. До речі зміни в ГДК згідно постанови Міністерства охорони здоров'я України відбулися 5 серпня 2021 році, тому для подальшого оперування ми будемо відштовхуватися від цих показників.

Результати дослідження та їх обговорення.

Виконуючи положення про розвиток регіональних програм моніторингу довкілля в м. Київ і Київській області формуються регіональні системи моніторингу якості повітря – на початок 2022 року у столиці система вже включає 46 автоматичних індикативних сертифікованих датчиків (Air quality monitoring sensors were installed in Kyiv, 2022).

Одним із показників, які потрібно включати до обов'язкового списку досліджень атмосферного забруднення є дрібнодисперсний пил. Тверді частинки і аерозолі розміром менше 2,5 мкм знаходяться в повітрі в підвищеному стані. Вони є і в лісі, і на морі, але саме в місті становлять найбільшу небезпеку. По-перше, зазвичай їх в місті набагато більше, а по-друге, хімічний склад дрібнодисперсного аерозолі в місті небезпечніше, ніж у природному середовищі (Vinnytsia Regional Center for Disease Control and Prevention of the Ministry of Health of Ukraine, 2022).

Основна небезпека $PM^{2.5}$ полягає якраз не в різких скачках концентра-

ції, а в хронічному впливі цих частинок на організм. За день кожен громадянин вдихає близько 200 мільярдів частинок $PM^{2.5}$ (The invisible killer: how does fine dust ($PM^{2.5}$)). Половина з них відкладається в легенях. Одна така доза може не мати серйозних наслідків. Але з часом відкладення $PM^{2.5}$ в організмі переважають за критичний рівень, і тоді все може стати набагато гірше.

Думки багатьох вчених (Ангурець О., Міскун О., Борисенко А. та ін., 2021) щодо причин руйнування озонового шару і утворення озонових дір розходяться. Більшість екологів вважає, що виною всьому техногенний фактор, зокрема, у вигляді дрібнодисперсного пилу $PM^{2.5}$ та PM^{10} . Однак є й такі вчені, які пов'язують зниження концентрації озону в озоновому шарі з віковими коливаннями аерохімічних властивостей атмосфери і незалежними змінами клімату. Враховуючи твердження вчених, які віддають перевагу впливу дрібнодисперсного пилу на руйнацію озонового шару, можемо зробити висновок, що $PM^{2.5}$ та PM^{10} неопосередковано впливає на здоров'я людини через озон.

Доведено, що озон в атмосфері здатний зруйнувати як сполуки азоту і водню (наприклад, аміак і метан), так і сполуки хлору (хлорфторвуглеці - фреони). Фреони застосовуються в холодильних установках, кондиціонерах, розчинниках, аерозольних балончиках/спреях і вогнегасниках. Наслідком зменшення товщини озонового шару, є згубний вплив на здоров'я людини ультрафіолетового випромінювання, яке спокійно проходить через всі шари атмосфери. У людей послаблюється імунна система, розвиваються такі хвороби як рак шкіри і катаракта.

1. Результати польових вимірювань концентрації дрібнодисперсного пилю в м. Києві в період з 20 березня по 28 квітня 2022 року

Місце виміру	На- прям вітру	Дата і час	PM ^{2.5} (мкг/ м³)	PM ¹⁰ (мкг/ м³)	Виміри вночі PM ^{2.5} (мкг/м³)	Явище впливу на повітря
Метро Теремки,	ПНСХ	20.03 11:00	9 14 12	15 22 14	7	Приліт снаряду в Святошинському районі 20 березня
Метро Теремки,	СХ	23.03 15:00	11 17 17	21 18 29	11	Приліт ракети в Со- ломянському районі 23 березня
Метро Теремки	ПДСХ	28.04 16:30	13 13	24 22	2	Приліт ракети в Шевченковському районі 28 квітня
Вул. Оран- жерейна	ПД	28.04 12:00	22 33 28 29 14 30	39 43 29 38 15 36	2221	Приліт ракетив Шевченковському районі 28 квітня
Метро Теремки	ПД	15.05 15:00	10 10 12	14 11 19	13	Підвищення середь- нодобової темпера- тури
Акдем- містечко	ЗХ	19.05 10:00	17 8 10 14 14 5	26 12 18 18 20 9	13 9 14	Рух військової техніки
Метро Лісова	ПН		16 32 40	24 51 48	15	Рух військової техніки
Теремки	СХ		21 19	22 14	14	Обстріли енерго- носіїв
Теремки	ПД		32 34 19 22	45 40 33 18	33 34 29	Обстріли енергоно- сіїв с. Чабани
Оболонь	ПД	18.09 14:00	40 27 36 34	38 29 27 14	30 28 19	Обстріли енергоно- сіїв Київська ТЕЦ-6

В період з 20 березня по 28 квітня 2022 року (під час активних воєнних дій в м Києві) нами було проведено експериментальне польове дослід-

дження щодо визначення концентрацій дрібнодисперсного пилю $PM^{2.5}$, PM^{10} безпосередньо після ракетних атак. При цьому враховували напрям



Рис. 3. Зміни концентрації дрібнодисперсного пилу PM_{2,5} через 1-6 годин після вибуху в Шевченківському районі м. Києва 28.04.2022 року

вітру та інші чинники впливу на забруднення атмосферного повітря. Знаходячись безпосередньо біля місця розриву ракети або на деякій відстані, виміри робились з 3-хкратною повторністю, результати ж записувались у вигляді середньо-арифметичного значення (табл.1). Вимірювання робились приблизно через годину після кожного прильоту та з такою ж приблизно частотою.

Оскільки під час активних бойових дій під Києвом данні із загально-доступних систем стаціонарного спостереження були недоступними (з міркувань безпеки руху Українських військ), було проведено власне вимірювання пересувним газоаналізатором СЕМ-9881 (табл.1).

Аналіз отриманих даних свідчить про те, що якість повітря безпосередньо у місці прильоту снаряду різко погіршується і впродовж декількох годин цей рівень забруднення зберігається (рис.3).

Значне перевищення нормативних показників (понад 25 мкг/м³) спостерігалось під час обстрілів енергосистем України, за якого концентрація пилу перевищувала вдвічі

впродовж 5 годин без значних змін на пониження вмісту забруднюючих часточок. Причиною такого тривалого по часу перевищення були тривалі пожежі на станціях, які під час горіння, поміж інших небезпечних речовин, підіймали та розповсюджували дрібнодисперсний пил PM_{2.5}, який поривами вітру поширювався по всіх напрямках рози вітрів.

Також можна відмітити підняття пилового стовпу під час пересування військової техніки, затримка часток PM_{2,5} у повітрі тривала протягом двох годин із перевищенням на 15-20 мкг/м³, під час вимірювань забруднень від руху техніки в інший день. Через значну кількість опадів перевищення нормативних показників було відсутнє або незначне, так само показує вплив опадів на розповсюдження твердих часточок.

Як видно з діаграми на рисунку 3 пік підвищення вмісту часток PM₁₀ до 45 мкг/м³ спостерігається не одразу після прильоту, а через 1-2 години. Це пов'язане із місцем вимірювань, які проводились на відстані до 1-2 км від зони вибуху.

Для порівняння змін у стані ат-

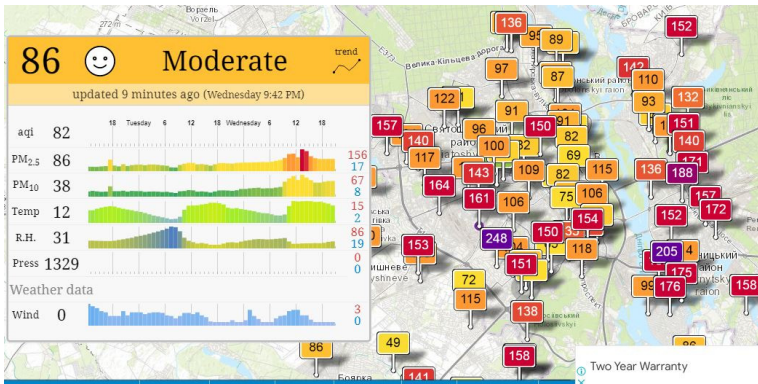


Рис. 4. Дані автоматичної станції на 4 корпусі НУБІП України системи громадського моніторингу в м. Київ станом на 21.30. 23 березня 2022 року

мосферного повітря використовували дані громадської мережі моніторингу атмосферного повітря на платформах Air Pollution та EcoCity (рис. 4).

Як видно рисунку 4, підвищений вміст дрібнодисперсного пилу значною мірою спостерігається після прильоту ракети об 11:00 з деяким зниженням концентрації внаслідок перенесення повітряних мас вітром.

Висновки і перспективи.

В наших дослідженнях проведених на території Києва дав нам результат у вигляді перевищення гранично допустимої концентрації дрібнодисперсного пилу $PM^{2.5}$ та PM^{10} в декілька разів, а в окремих ситуаціях рівень забруднення сягав дуже небезпечного значення до 156 $мкг/м^3$ (відповідно індекс якості повітря AQI зростає до 248). Виходячи із даних отриманих в ході вимірювання в стані так званого «спокою», та порівнюючи їх з даними, отриманими внаслідок воєнних дій, маємо значне зростання концентрації дрібнодисперсного пилу $PM^{2.5}$ та PM^{10} від 25

до 102 $мкг/м^3$. Водночас, спостерігались зміни напрямку вітру від точки виміру до точки прильоту більше ніж на 120° , а зміни в концентрації пилу не відбуваються, або підвищуються лише на 1-4 $мкг/м^3$.

Результати дослідження можуть стати основою для прийняття управлінських рішень щодо розв'язання проблеми забруднення повітря в зонах конфліктів та підкреслюють необхідність належного управління та виконання заходів щодо мінімізації впливу забруднення повітря на здоров'я населення та навколишнє середовище. Загалом дослідження підкреслює важливість регулярного моніторингу якості повітря і виявлення потенційних джерел забруднення для вжиття відповідних заходів щодо захисту здоров'я населення та навколишнього середовища.

Зважаючи на отримані дані можна констатувати безпосередній негативний вплив ракетних обстрілів на якість атмосферного повітря, ґрунти, воду та здоров'я людини. Завислі частки тримаються у повітрі впродовж тривалого часу та переносяться

вітром на доволі великі відстані, що так само розширює зону негативного впливу.

Суть пропозиції полягає у забезпеченні систематичних моніторингових досліджень, а також пошуку можливостей прогнозування можливих негативних змін якості атмосферного повітря для попередження подальшого його забруднення цими поліюантами шляхом розробки науково-обґрунтованих рекомендацій і доопрацюванні нормативної бази.

Тема є досить актуальною на сьогодні, тому дослідження будуть проводитись і надалі у напрямку автоматизації процесів збирання і обробки і аналізу моніторингової інформації в інформаційно-технічній системі, яка розробляється.

References

1. The procedure for state monitoring in the field of atmospheric air protection. CMU Resolution of August 14, 2019 No. 827. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-2019-%D0%BF#n18>.
2. The Law of Ukraine On the Basic Principles (Strategy) of the State Environmental Policy of Ukraine for the Period Until 2030, dated February 28, 2019. No 2697-VIII.
3. Ambient air quality management: from concept to implementation - <https://cleanair.org.ua/wp-content/uploads/2021/11/cleanair.org.ua-i-ukrajina-fin-web-hires.pdf>
4. Dirty sky overhead: Legislation in the field of atmospheric air protection in Ukraine and the EU / Sharka Havrankova, Olena Miskun, Tamara Kharchilava, etc./, 2020. <https://cleanair.org.ua/>
5. Ministry of Health. Order, Regulation of 14.01.2020. No 52.
6. Air quality monitoring sensors were installed in Kyiv /Official portal of Kyiv: https://kyivcity.gov.ua/news/u_kiyevi_vstanovili_46_datchikiv_monitoringu_ya-kosti_povitrya/?en=true
7. "Vinnytsia Regional Center for Disease Control and Prevention of the Ministry of Health of Ukraine" Issues of public health. <http://cgz.vn.ua/>
8. EN 14907:2005 - This European Standard describes a standard method for determining the PM_{2,5} mass concentration of suspended particulate matter in ambient
9. CSN EN 14907 - Ambient air quality - Standard gravimetric measurement method for the determination of the PM_{2,5} mass fraction of suspended particulate matter.
10. Borysenko A.V. The state of atmospheric air and non-infectious morbidity. http://cgz.vn.ua/problematika-gromadskogo-zdorovya/problematika-gromadskogo-zdorovya_455.html
11. Angurets O., Khazan P., Kolesnikova K. Atmospheric air quality management: from concept to implementation: Report on research results / edited by M. Soroka. Prague-Kyiv: Arnika, 2021. 52 p. ISBN 978-80-87651-99-5.
12. «Institute of Public Health named after O.M. Marzeeva of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine". <http://amnu.gov.ua/>
13. The invisible killer: how does fine dust (PM_{2.5}) affect the human body? <https://www.savednipro.org/>
14. Big smog(Wiki). https://uk.wikipedia.org/wiki/Великий_смог
15. New WHO Global Air Quality Guidelines aim to save millions of lives from air pollution. <https://www.who.int/ru/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution>

Sagaydak D., Bogolubov V. (2023).

SCIENTIFIC SUBSTANTIATION OF ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEMS AT THE REGIONAL LEVEL USING THE EXAMPLES OF $PM^{2.5}$, PM^{10} AND OZONE IN WARTIME CONDITIONS

BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 14(1-2): 73-82.

<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/43936>

[https://doi.org/10.31548/biologiya14\(1-2\).2023.010](https://doi.org/10.31548/biologiya14(1-2).2023.010)

Abstract. The system of continuous air monitoring during active hostilities near Kyiv was turned off in order to ensure security and mask the movement of Ukrainian military equipment. A study was conducted to determine the impact of military actions on the movement of air masses contaminated with fine dust: solid particles up to 2.5 microns ($PM^{2.5}$) and 10 microns (PM^{10}). During the fall or detonation of rockets, artillery shells and mines, as well as during the movement of a large amount of heavy military equipment, a large amount of finely dispersed dust of $PM^{2.5}$ and PM^{10} fractions is formed, which spreads over long distances and settles on buildings, soils and plants. Getting this dust into the lungs negatively affects the human body in the form of respiratory diseases and cardiovascular complications. Usually, it is almost impossible to collect and analyze all the factors and factors affecting the person and the environment, because it is too complex a system in which accurate data and calculations are difficult, especially during active military operations. The collected monitoring data can help in the general assessment of the impact on the population and the surrounding natural environment and assess the potential damage caused by aggressive military actions.

During the study, the concentration of $PM^{2.5}$ and PM^{10} solid dust particles in the atmospheric air after missile, artillery, bomb attacks and other influential factors of a military nature was analyzed, as well as an assessment of the potential impact of such particles on the health of the population and the environment.

Sampling was carried out on the territory of the city of Kyiv in the Shevchenkivskiyi, Holosiivskiyi, Obolonskiy, Svyatoshynskiyi, Solomyanskii districts. Due to the fact that it was impossible to predict the place of fall or impact of projectiles, some measurements were made in places as close as possible to the points of impact.

The results of the analysis of the impact of $PM^{2.5}$ and PM^{10} fine particles on the environment showed that due to atmospheric air pollution, the particles can settle on plants, enter the soil, water and subsequently negatively affect the state of local ecosystems.

Key words: monitoring, fine dust, $PM^{2.5}$, PM^{10} , rocket attacks, atmospheric air, atmospheric pollution

ОЦІНКА ВПЛИВУ БІОВУГІЛЛЯ НА ПРОЦЕС ТЕРМОЛІЗУ БІОМАСИ РОСЛИН, ВИРОЩЕНИХ НА РЕКУЛЬТИВОВАНИХ ЗЕМЛЯХ

М. М. ХАРИТОНОВ,

доктор сільськогосподарських наук,

професор, головний науковий співробітник

Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро

<https://orcid.org/0000-0002-9886-678X>

І. І. КЛІМКІНА,

кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та технологій

захисту навколишнього середовища

Національний технологічний університет «Дніпровська політехніка»,

м. Дніпро

Н. В. МАРТИНОВА,

кандидат біологічних наук,

завідувач лабораторії природної флори ботанічного саду

Дніпровський національний університет ім. О. Гончара, м. Дніпро

<https://orcid.org/0000-0002-1523-1886>

І. В. РУЛА,

кандидат технічних наук, доцент кафедри хімії

Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро

E-mail: kharytonov.m.m@dsau.dp.ua

<https://orcid.org/0000-0003-4229-6463>

Анотація. Зразки забрудненого важкими металами ґрунту для закладення вегетаційних дослідів з однорічними культурами (кукурудза, сорго цукрове та суданське) були відібрані біля шахт «Павлоградська» та «Благодатна» у вугледобувному регіоні Західного Донбасу. Основу рекультивованих ділянок становив відвал з шахтних порід (ШП) потужністю 8-10 м, перекритий різними шарами чорнозему або червоно-бурої глини шляхом створення двох типів штучних профілів рекультивованих відвалів рекультивації з внесенням 30 см чорнозему (30 см НШЧ +ШП) і 50 см червоно-бурої глини (50см ЧБГ+ ШП). Дослідні зразки ґрунту обробляли 3,0 % (мас./мас.) біовугілля. Метою дослідження було вивчення ефекту впливу додавання біовугілля на процес термічної деструкції біомаси суданської трави, кукурудзи та цукрового сорго, вирощених на різних субстратах – складових штучних рекультивованих профілів (верхніх шарах чорноземної маси та червоно-бурої глини). Процес термолізу складових біомаси

трьох сільськогосподарських культур вивчали методом термогравіметричного аналізу. Термічна деструкція біомаси трьох досліджуваних видів рослин відбувалася у дві стадії: випаровування води та летких сполук (стадія 1) і розкладання основних компонентів: геміцелюлози, целюлози та лігніну (стадія 2). Перший етап проходив в діапазоні температур 50-180°C. Процес проходив повільно, максимальна швидкість не перевищувала 5-8%/хв, екстремальна точка спостерігалася при температурі 100-110°C. Втрата маси тіла незначна, 4,5–7,5 %. Другу стадію поділено на дві фази: розкладання холоцелюлози з початком розкладання лігніну (фаза 1) і припинення розкладання лігніну та утворення негорючого залишку (фаза 2). Деструкція холоцелюлози відбувалася в інтервалі температур 190-390°C. Через велику кількість геміцелюлози в біомасі досліджуваних рослин її розпад був зміщений в область вищих температур. Тому діапазони руйнування геміцелюлози та целюлози перекривалися, і на кривих ДТГ спостерігалася лише одна крайня точка. Процес протікав на високих швидкостях з піком деструкції в інтервалі температур 280-310°C. Втрата ваги також була найбільш значною і становила від 50 до 55%. Розкладання лігніну відбувалося досить повільно, з одним незначним піком в діапазоні температур 420-440°C. Встановлено втрату ваги 26-30%. На першому етапі процес протікав переважно з теплопоглинанням; реакції другої стадії були екзотермічними з помітними тепловими ефектами в зонах розпаду целюлози та лігніну.

Відмінності в теплових характеристиках біомаси сорго цукрового, вирощеної на різних субстратах та з додаванням біовугілля були визначені в процесі термолізу. Руйнування холоцелюлози відбувалося повільніше в біомасі, зібраній з посудини з червоно-бурою глиною, на відміну від лігніну, який розкладався швидше, ніж у досліді де субстратом був насипний шар чорнозему. Частка негорючих залишків була майже в 2 рази меншою. Спостерігалася незначне збільшення швидкості реакції розкладання целюлози (в 1,2 рази) та значне збільшення швидкості реакції руйнування лігніну (у 5 разів). У варіанті з біовугіллям спостерігалася більш повне згоряння біомаси. Швидкість розкладання целюлози у досліді з червоно-бурою глиною стала дещо вищою, хоча розкладання лігніну відбувалося повільніше. Частка негорючих залишків зросла у 1,8 рази. Термічне руйнування біомаси суданської трави на обох субстратах відбувалося подібним чином. Додавання біовугілля не виявило істотних відхилень у термічній поведінці біомаси, вирощеної на чорноземі на відміну від досліді з червоно-бурою глиною, де внесення біовугілля сприяло значному скороченню тривалості термолізу. Перший етап термолізу біомаси кукурудзи був дещо коротшим у досліді з насипним шаром чорнозему порівняно з червоно-бурою глиною і супроводжувався меншою втратою маси. Така ж тенденція спостерігалася при розкладанні холоцелюлози. При цьому деструкція лігніну у варіанті з чорноземом тривала довше, точка екстремуму зміщена в область вищих температур, швидкість процесу була майже вдвічі меншою, ніж у варіанті з глиною, а частка негорючого залишку становила 1,7. разів вище. Більш повне згоряння біомаси кукурудзи спостерігалася також у варіанті з біовугіллям.

Ключові слова: біовугілля, ґрунт, гірська порода, біомаса, термоліз

Актуальність.

Потенціал маргінальних земель для вирощування культур другого покоління як біопалива привернув підвищену увагу в останні роки (Blanco-Canqui H., 2016). Виробництво якісної біосировини на рекультивованих землях вимагатиме внесення поживних речовин або змін у ґрунті для сприяння заходам меліорації та детоксикації (Bielski. S., 2015). Отже невідкладним питанням є використання того, що часто називають «відпрацьованими поживними речовинами» для забезпечення високих врожаїв біоенергетичних культур.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Біовугілля, отримане при низьких температурах піролізу, складається в основному з аліфатичних і целюлозних структур (Brown R.A. et al., 2006). Вони є хорошим субстратом для розвитку бактерій і грибів, які мінералізують їх, утилізуючи таким чином решти органічних речовин в ґрунті. З підвищенням температури піролізу вміст золи в біовугіллі зазвичай збільшується через його термічну стабільність, тоді як співвідношення вуглецю, водню, кисню та азоту знижується (Chaiwong K. et al., 2013, Shih-Hao J. et al., 2013). Вважається, що високотемпературне біовугілля є кращим для зв'язування вуглецю (Day D., 2005). Тому воно характеризується високою площею поверхні та мікропористістю. Водночас проведення піролізу при низьких температурах призводить до отримання біовугілля з низькою адсорбційною здатністю. Сировина, з якої виробляється біовугілля, також визначає його властивості. Наприклад, при виробництві біову-

гілля з органічних відходів з високим вмістом калію продукт міститиме більше калію, ніж біовугілля, виготовлене повністю з деревини (Chan K. Y. et al., 2008, Sohi S.P. et al., 2010, Ren X. et al., 2016). Отже, сировина для виробництва біовугілля, технологія виготовлення, а також дози внесення визначають характер дії біовугілля на ґрунт і рослини, що ростуть на ньому.

Мета дослідження. Метою дослідження було вивчення ефекту впливу додавання біовугілля на процес термічної деструкції біомаси суданської трави, кукурудзи та цукрового сорго, вирощених на різних субстратах – складових штучних рекультивованих профілів (верхніх шарах чорноземної маси та червоново-бурої глини).

Матеріали та методи досліджень

Три енергетичні однорічні культури (кукурудзу, суданську траву та цукрове сорго) вирощували в модельному експерименті у вегетаційних посудинах з двома типами ґрунтів: насипному шарі чорнозему (НШЧ) та червоно-бурої глини (ЧБГ). Зразки забрудненого важкими металами ґрунту для цього дослідження були відібрані у двох місцях біля шахт «Павлоградська» та «Благодатна» у вугледобувному регіоні Західного Донбасу. Основу рекультивованих ділянок становив відвал з шахтних порід (ШП) потужністю 8-10 м, перекритий різними шарами чорнозему або червоно-бурої глини шляхом створення двох типів штучних профілів рекультивованих відвалів рекультивації з внесенням 30 см чорнозему (30 см НШЧ +ШП) і 50 см червоно-бурої глини (50см ЧБГ+ ШП). Зразки ґрунту та гірських порід від-

бирали з верхнього шару ґрунту (0-20 см), ретельно перемішували та висувували на повітрі. Дослідні зразки ґрунту обробляли 3,0 % (мас./мас.) біовугілля. Біовугілля, застосоване в цьому дослідженні, було отримано шляхом піролізу горіхової шкаралупи. Зразки субстрату (0,5 кг) необробленого та обробленого біовугіллям горіхової шкаралупи чорнозему та червоно-бурої глини з поміщали в посудини. П'ять насінин кукурудзи, суданської трави та цукрового сорго були висаджені в кожен посудину, а потім проріджувалися до 3 рослин після проростання. Усі горщики щодня доводили до вмісту води 75% польової ємності за вагою.

Процес термолізу складових біомаси сільськогосподарських культур вивчали методом термогравіметричного аналізу. Аналіз проводили на дериватографі Q-1500D фірми «Ф. Паулік-Й. Паулік-Л. Ердей». Були зареєстровані диференціальні втрати маси та ефекти нагрівання. Результати вимірювань обробляли за допомогою програмного комплексу, що входить до комплексу поставки приладу. Зразки біомаси аналізували динамічно при швидкості нагрівання 10°C/хв в атмосфері повітря. Маса зразків становила 100 мг. Речовиною порівняння служив оксид алюмінію.

Результати дослідження та їх обговорення.

Термічна деструкція біомаси трьох досліджуваних видів рослин відбувалася у дві стадії: випаровування води та летких сполук (стадія 1) і розкладання основних компонентів: геміцелюлози, целюлози та лігніну (стадія 2). Перший етап проходив в діапазоні температур 50-180°C. Про-

цес проходив повільно, максимальна швидкість не перевищувала 5-8%/хв, екстремальна точка спостерігалася при температурі 100-110°C. Втрати маси тіла незначна, 4,5–7,5 %. Другу стадію поділено на дві фази: розкладання холоцелюлози з початком розкладання лігніну (фаза 1) і припинення розкладання лігніну та утворення негорючого залишку (фаза 2). Деструкція холоцелюлози відбувалася в інтервалі температур 190-390°C. Через велику кількість геміцелюлози в біомасі досліджуваних рослин її розпад був зміщений в область вищих температур. Тому діапазони руйнування геміцелюлози та целюлози перекривалися, і на кривих ДТГ спостерігалася лише одна крайня точка. Процес протікав на високих швидкостях з піком деструкції в інтервалі температур 280-310°C. Втрати ваги також була найбільш значною і становила від 50 до 55%. Розкладання лігніну відбувалося досить повільно, з одним незначним піком в діапазоні температур 420-440°C. Встановлено втрату ваги 26-30%.

На першому етапі процес протікав переважно з теплопоглинанням; реакції другої стадії були екзотермічними з помітними тепловими ефектами в зонах розпаду целюлози та лігніну (рис. 1).

Відмінності в теплових характеристиках біомаси сорго цукрового, вирощеної на різних субстратах та з додаванням біовугілля були визначені в процесі термолізу. Руйнування холоцелюлози відбувалося повільніше в біомасі, зібраної з посудини з червоно-бурою глиною, на відміну від лігніну, який розкладався швидше, ніж у досліді де субстратом був насипний шар чорнозему. Частка негорючих залишків була майже в 2 рази меншою

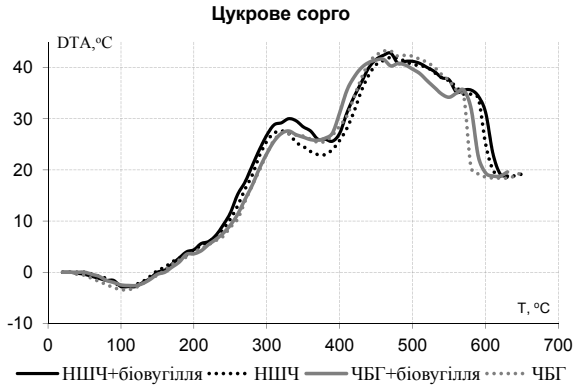


Рис.1. Крива DTA термолізу цукрового сорго

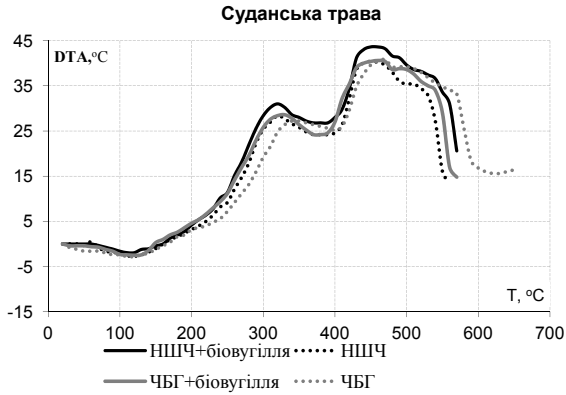


Рис.2. Криві DTA термолізу суданської трави

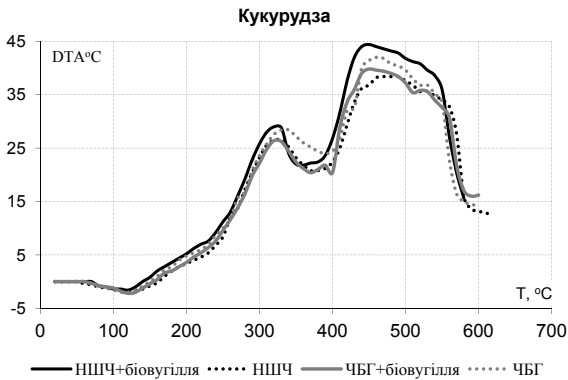


Рис.3. Криві DTA термолізу кукурудзи

1. Термічні характеристики розкладання біомаси цукрового сорго

Стадія	НШЧ				НШЧ + Біовугілля			
	Інтервал, оС	Точка екстремуму, оС	Максимальна швидкість %/хв	Втрата маси, %	Інтервал, оС	Точка екстремуму, оС	Максимальна швидкість %/хв	Втрата маси, %
I	50-160	100	7,4	5,8	40-150	100	8,0	5,71
II	160-400	290	24,4	52,92	150-400	290	27,6	54,27
III	400-630	420	1,2	25,78	400-600	440	6,4	28,96
I	60-170	100	6,4	7,42	60-160	100	6,4	5,66
II	170-400	290	21,4	53,97	160-400	290	24,4	52,92
III	400-580	430	2,0	30,07	400-580	420	1,2	25,78

(табл.1). Спостерігалось незначне збільшення швидкості реакції розкладання целюлози (в 1,2 рази) та значне збільшення швидкості реакції руйнування лігніну (у 5 разів). Крім того, точка екстремуму руйнування лігніну була зміщена в область більш високих температур. Крім того, у досліді з біовугіллям спостерігалось більш повне згоряння біомаси (рис. 4). Швидкість розкладання целюлози у досліді з червоно-бурою глиною стала дещо вищою, хоча розкладання лігніну відбу-

валось повільніше. Частка негорючих залишків зросла у 1,8 раза.

Термічне руйнування біомаси суданської трави на обох субстратах відбувалося подібним чином. Проте у варіанті з червоно-бурою глиною екстремальна точка розкладання целюлози була зміщена в область з більш високими температурами, руйнування лігніну відбувалось дещо швидше, а частка негорючого залишку була меншою в 1,3 рази (табл.2). Додавання біовугілля не

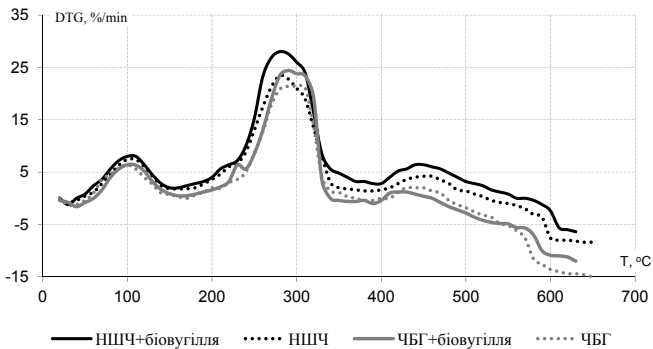


Рис.4. Криві DTG термолізу цукрового сорго у досліді з додаванням біовугілля

2. Термічні характеристики розкладання біомаси суданської трави

Стадія	НШЧ				НШЧ + Біовугілля			
	Інтервал, оС	Точка екстремуму, оС	Максимальна швидкість %/хв	Втрата маси, %	Інтервал, оС	Точка екстремуму, оС	Максимальна швидкість %/хв	Втрата маси, %
I	60–170	110	7,0	5,86	60–170	110	7,2	5,0
II	170–390	290	24,0	51,91	170–390	280	24,0	54,0
III	390–550	430	3,4	26,26	390–570	430	3,2	26,2
I	60–180	110	6,4	6,87	50–170	110	7,4	6,53
II	180–400	310	23,2	52,11	170–380	290	23,28	53,24
III	400–640	430	4,4	28,69	380–570	430	4,2	27,54

виявило істотних відхилень у термічній поведінці біомаси, вирощеної на чорноземі (рис. 5). У досліді з червоно-бурою глиною додавання біовугілля сприяло значному скороченню тривалості термолізу, а також зміщенню точки екстремуму розкладання целюлози в область з нижчими температурами.

Перший етап термолізу біомаси кукурудзи був дещо коротшим у до-

сліді з насипним шаром чорнозему порівняно з червоно-бурою глиною і супроводжувався меншою втратою маси (табл. 3).

Така ж тенденція спостерігалася при розкладанні холоцелюлози. Водночас деструкція лігніну у варіанті з чорноземом тривала довше, точка екстремуму зміщена в область вищих температур, швидкість процесу була майже вдвічі меншою, ніж у ва-

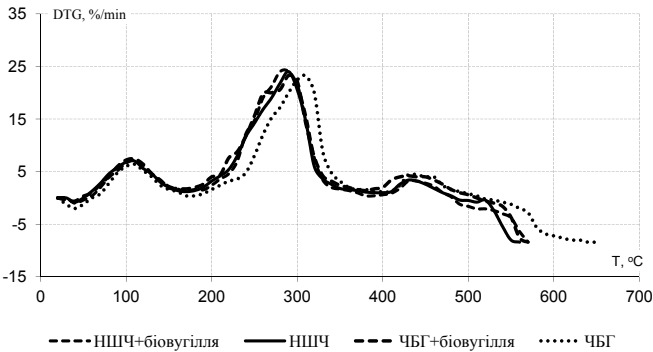


Рис.5. Криві DTG термолізу трави суданки у досліді з додаванням біовугілля

3. Термічні характеристики розкладання біомаси кукурудзи

Стадія	НШЧ				НШЧ + Біовугілля			
	Інтервал, оС	Точка екстремуму, оС	Максимальна швидкість %/хв	Втрата маси, %	Інтервал, оС	Точка екстремуму, оС	Максимальна швидкість %/хв	Втрата маси, %
I	70–180	130	5,6	4,4	50–180	110	7,0	5,2
II	180–390	290	22,0	50,0	180–380	280	26,6	51,6
III	390–600	440	2,8	26,0	380–560	420	6,0	28,6
I	60–180	110	7,6	6,8	70–170	110	6,2	6,2
II	180–400	300	22,4	55,0	170–380	290	22,8	50,0
III	400–590	420	5,0	27,0	380–590	430	3,0	29,6

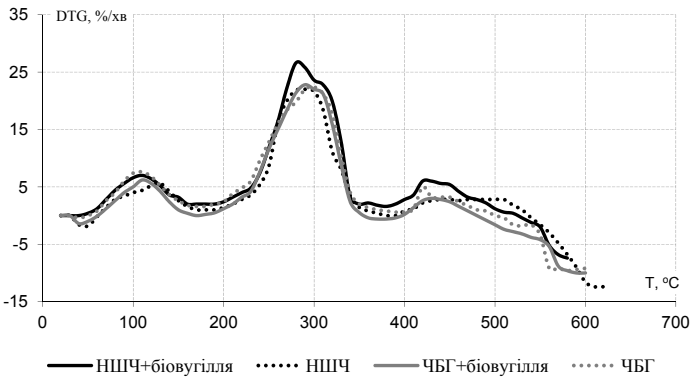


Рис.6. Криві DTG термолізу кукурудзи у досліді з додаванням біовугілля

ріанті з глиною, а частка негорючого залишку становила 1,7. разів вище. Виявлено, що внесення біовугілля як домішки до чорнозему сприяє збільшенню швидкості розкладання холоцелюлози та лігніну та зміщенню точок екстремуму в область з нижчими температурами. Більш повне згоряння біомаси спостерігалось також у варіанті з біовугіллям (рис.6).
У варіанті з червоно-бурою глиною внесення біовугілля мало менш помітний ефект порівняно з чорнозе-

мом. Характер стадій термолізу змінився несуттєво. Спостерігалось підвищення термостабільності біомаси на початкових етапах розкладання в 2,1 раза (чорнозем) та 1,6 раза (червоно-бура глина) на обох субстратах з біовугіллям.
Висновки і перспективи.
Специфічні характеристики субстратів можуть впливати на теплові характеристики біомаси однорічних

сільськогосподарських культур. Додавання біовугілля в ґрунт призвело до більш повного згоряння біомаси сорго цукрового, вирощеного на чорноземі, і, навпаки, збільшила зольність біомаси, вирощеної на червоно-бурій глині. Під час спалювання біомаси суданської трави в досліді з червоно-бурою глиною додавання біовугілля сприяло значному скороченню тривалості термолізу та зміщенню точки екстремуму розкладання целюлози в область нижчих температур. У випадку біомаси кукурудзи спостерігався подібний ефект, але тільки в досліді з чорноземом.

References

1. Blanco-Canqui H. (2016). Growing Dedicated Energy Crops on Marginal Lands and Ecosystem Services Soil Sci. Soc. Am. J. 80:845–858
2. Bielski. S. (2015). The agricultural production of biomass for energy purposes in Poland. Agriculture & Forestry, Vol. 61 Issue 1: 153-160
3. Brown R.A., Kercher A.K., Nguyen T.H., Nagle D., Ball W.P. 2006. Production and characterization of synthetic wood chars for use as surrogates for natural sorbent. Organic Geochemistry, 37, 321–333. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2005.10.008>
4. Chaiwong K., Kiatsiriroat T., Vorayos N., Thararax C. 2013. Study of bio-oil and bio-char production from algae by slow pyrolysis. Biomass Bioenergy, 56, 600–606. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.05.035>
5. Shih-Hao J., Chien-Sheng W. 2013. Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil. Catena, 110, 225–233. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.06.021>
6. Day D., Evans R. J., Lee J.W., Reicosky D. 2005. Economical CO₂, SO_x, and NO_x capture from fossil-fuel utilization with combined renewable hydrogen production and large-scale carbon sequestration. Energy, 30(14), 2558–2579. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2004.07.016>
7. Chan K. Y., Van Zwieten L., Meszaros I., Downie A., Joseph S. 2008. Using poultry litter biochars as soil amendments. Australian Journal of Soil Research, 46, 437–444. <https://doi.org/10.1071/SR08036>
8. Sohi S.P., Krull E., Lopez-Capel E., Bol R. 2010. Chapter 2 - A review of biochar and its use and function in soil, advances in agronomy. Academic Press, 105, 47–82. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)05002-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)05002-9)
9. Ren X., Zhang P., Zhao L., Sun H. 2016. Sorption and degradation of carbaryl in soils amended with biochars: influence of biochar type and content. Environmental Science and Pollution Research, 23, 2724–2734. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5518-z>

Kharytonov M., Klimkina I., Martynova N., Rula I. (2023).

ASSESSMENT OF THE EFFECT OF BIOCHAR ON THE PROCESS OF THERMOLYSIS OF BIOMASS OF PLANTS GROWN ON RECLAIMED LANDS

BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 14(1-2): 83-92.

<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/42710>

[https://doi.org/10.31548/biologiya14\(1-2\).2023.007](https://doi.org/10.31548/biologiya14(1-2).2023.007)

Abstract. Samples of soil contaminated with heavy metals for pot experiments with annual crops (maize, sweet and sudan sorghum) were taken near the mines "Pavlogradska" and "Blagodatna" in the coal-mining region of Western Donbass. The basis of the reclaimed areas was an 8-10 m thick

mine rock (MR) dump, covered with different layers of black soil or red-brown clay by creating two types of soil artificial profiles with the addition of 30 cm of black soil (30 cm of BS +MR) and 50 cm red-brown clay (50 cm RBC + MR). Experimental soil samples were treated with 3.0% (w/w) biochar. The purpose of the study was to study the effect of the addition of biochar on the process of thermal destruction of the biomass of maize, sweet and sudan sorghum, grown on different substrates - components of artificial reclaimed profiles (upper layers of chernozem mass and red-brown clay). The process of thermolysis of biomass components of three agricultural crops was studied by the method of thermogravimetric analysis. Thermal destruction of the biomass of the three studied plant species occurred in two stages: evaporation of water and volatile compounds (stage 1) and decomposition of the main components: hemicellulose, cellulose and lignin (stage 2). The first stage took place in the temperature range of 50-180°C. The process was slow, the maximum speed did not exceed 5-8%/min, the extreme point was observed at a temperature of 100-110°C. Loss of body weight is insignificant, 4.5–7.5%. The second stage is divided into two phases: the decomposition of holocellulose with the beginning of lignin decomposition (phase 1) and the cessation of lignin decomposition, and the formation of non-combustible residue (phase 2). Destruction of holocellulose occurred in the temperature range of 190-390°C. Due to the large amount of hemicellulose in the biomass of the studied plants, its decomposition was shifted to the region of higher temperatures. Therefore, the degradation ranges of hemicellulose and cellulose overlapped, and only one extreme point was observed in the DTG curves. The process proceeded at high speeds with the peak of destruction in the temperature range of 280-310°C. Weight loss was also the most significant and was between 50 and 55%. Decomposition of lignin occurred rather slowly, with one insignificant peak in the temperature range of 420-440°C. A weight loss of 26-30% has been established. At the first stage, the process proceeded mainly with heat absorption; the reactions of the second stage were exothermic with noticeable thermal effects in the zones of cellulose and lignin decomposition.

Differences in thermal characteristics of sugar sorghum biomass grown on different substrates and with the addition of biochar were determined in the process of thermolysis. Degradation of holocellulose occurred more slowly in biomass collected from a vessel with red-brown clay, in contrast to lignin, which decomposed faster than in the experiment where the substrate was a loose layer of chernozem. The share of non-combustible residues was almost 2 times smaller. A slight increase in the rate of the cellulose decomposition reaction (1,2 times) and a significant increase in the rate of the lignin destruction reaction (5 times) was observed. In the treatment with biochar, a more complete combustion of biomass was observed. The rate of cellulose decomposition in the experiment with red-brown clay became somewhat higher, although the decomposition of lignin occurred more slowly. The share of non-combustible residues increased by 1,8 times.

Thermal destruction of Sudan grass biomass on both substrates occurred in a similar manner. The addition of biochar did not reveal significant deviations in the thermal behavior of biomass grown on chernozem, in contrast to the experiment with red-brown clay, where the addition of biochar contributed to a significant reduction in the duration of thermolysis. The first stage of thermolysis of corn biomass was somewhat shorter in the experiment with a bulk layer of chernozem compared to red-brown clay and was accompanied by a lower mass loss. The same trend was observed in the decomposition of holocellulose. At the same time, the destruction of lignin in the version with chernozem lasted longer, the extremum point was shifted to the region of higher temperatures, the speed of the process was almost twice as low as in the version with clay, and the proportion of non-combustible residue was 1,7. times higher. More complete combustion of corn biomass was also observed in the version with biochar.

Key words: biochar, soil, rock, biomass, thermolysis.

ПРОГНОЗУВАННЯ СТАДІЙ РОЗВИТКУ ПІВДЕННОАМЕРИКАНСЬКОЇ ТОМАТНОЇ МОЛІ *TUTA ABSOLUTA* MEYR. В ПОСІВАХ ТОМАТІВ

Т.В. БІЛОУСОВА,

здобувач наукового ступеня доктора філософії
зі спеціальності 202 «Захист і карантин рослин»

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9244-9061>

E-mail: tatinka_m@ukr.net

Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, вул. Героїв Оборони 15, 03041, Україна

Анотація. статті наведено основні результати фенологічних спостережень південноамериканської томатної молі (*Tuta absoluta* Meyr.) в посівах томатів. Прогнозування стадій розвитку томатної молі має важливе значення для своєчасного впровадження карантинних заходів захисту посівів томатів від фітофагів.

Дослідження базується на зборі та аналізі сучасних даних, включаючи кліматичні параметри, такі як CET та ГТК, біологічні особливості південноамериканської томатної молі та популяційну динаміку фітофага. Зібрані дані використовуються для розробки фенологічного календаря та моделей прогнозу.

Отримана модель дозволяє прогнозувати періоди масового розвитку томатної молі у посівах томатів за коливань погодно-кліматичних показників.

Доцільність даного дослідження викликано фрагментарністю наукової літератури щодо вивчення біологічних, екологічних показників південноамериканської томатної молі в Україні та удосконаленню методів й прийомів моніторингу, а також контролю чисельності фітофага, що сприяло б підвищенню урожаю та якості плодів томатів. Зокрема, локалізації й знищенні даного шкідника, відповідно до фітосанітарних вимог.

Ключові слова: прогноз, фенологія, фенологічний календар, томатна міль, фітофаг.

Вступ.

Останнім часом значний обсяг наукових досліджень приділяється проблемі прогнозування розвитку південно американської томатної молі *Tuta absoluta* Meyr., з використанням погодно-кліматичних показників. Так, розглядається вплив різних показників клімату на інтенсивність розвитку шкідників у сільському господарстві (Borisenko, 2021; Borisenko, Novak, Kaliyevskij, 2018). За сучасних методів фітосанітарного моніторингу, який базуються на взаємозв'язках між фенологічними стадіями розвитку рослин і динамікою чисельності шкідників, з урахуванням метеорологічних параметрів різної складності (від температурних показників повітря (Polgar, Primack & Williams, 2014) до аналізу глобальних кліматичних змін (Bale, Masters & Hodkinson, 2002)). Це свідчить про важливість моніторингу і прогнозування інтенсивності розвитку і розмноження шкідників, своєчасного виявлення і контролю поширених і карантинних видів фітофагів, зокрема, південно американської томатної молі.

Окремі автори орієнтуються на розгляд проблеми в контексті глобальних змін клімату, використовуючи математичні моделі та аналітичні підходи (Anderson & May, 1979), однак, на практиці, для прогнозування розвитку шкідників використовується традиційний метеорологічний показник, як середньодобова температура та вологість повітря та інші (Weiss, Mason & Kasina, 2001; Bale, Lenteren & Bigler, 2008). Цей підхід обґрунтований, оскільки дозволяє оцінити сезонні результати та скласти прогноз розвитку шкідників у конкретних агроєкосистемах з урахуванням місцевого рельєфу та коливань мікроклімату

(Capinera, 2008; Radcliffe, Hutchinson & Cancelado, 2009).

Аналізуючи основні методи прогнозування розвитку фітофагів, доцільно зазначити, що порівняно поширеним є метод багаторічних фенограм, який ґрунтується на встановленні середніх термінів настання фенологічних подій для конкретних видів із узагальненням багаторічних даних (Gamayunova, Kudrina, 2020). Цей метод використовує температурні показники, такі як сума ефективних температур (далі – СЕТ), та для окремих видів – гідротермічний коефіцієнт (далі – ГТК). Недостатня ефективність прогнозу розвитку фітофагів за методом із СЕТ є його залежність від температурних умов попереднього сезону, періоду зимівлі, та неврахування температур, що наближаються до нижньої межі, але не сягають її, а також вплив надмірно високих температур на розвиток фітофагів (Gamayunova, Kudrina, 2020). Тим не менше, СЕТ лишається важливим показником і для прогнозування розвитку та розмноження південноамериканської томатної молі у різних ґрунтово-кліматичних зонах України.

Характерно, що окремі методи спостережень включають в себе температурно-фенологічні номограми А.С. Подольського, а також кореляційно-регресійний аналіз агрометеорологічних предикторів для побудови прогностичних моделей (Borzih, 2020). За різних технологій вирощування овочевих культур частково визначаються сезонні та багаторічні тенденції в кліматичних показників, які впливають на розвиток окремих видів фітофагів. Регіональні дослідження передбачають окреме вдосконалення прогностичних методів на основі СЕТ, ГТК та багаторічних кліматичних показників

з урахуванням заходів захисту томатів для багаторічного прогнозування розвитку поширених видів фітофагів і не розроблені для карантинного шкідника південноамериканської томатної молі.

Матеріали та методи досліджень

Формування фенологічного календаря південноамериканської томатної молі проводили за загальноприйнятою методикою (Borzih, 2019; Dobrovolskij, 1969) на основі багаторічних результатів польових обстежень сучасних сортів томатів.

Для виявлення і аналізу стадій, зведений фенологічний календар (2020-2022 рр.) порівнювали з показниками погодно-кліматичних даних у роки досліджень зокрема суми ефективних температур (СЕТ) та значень гідротермічного коефіцієнту (ГТК) Селянінова. Для розрахунку ГТК Селянінова використовували формулу (1), яка враховує суму опадів (ΣR) у міліметрах протягом певного періоду, та суму активних температур ($\Sigma t > 10$) протягом того ж часу, зменшену в 10 разів.

$$\text{ГТК} = \frac{\Sigma R * 10}{\Sigma t > 10^{\circ}\text{C}} \quad (1)$$

Для визначення фенологічних подій у популяціях південноамериканської томатної молі використана сучасна методика (Moroz, Fokin, 2021).

Вона передбачає розбиття графіків динаміки суми ефективних температур (СЕТ) та гідротермічного коефіцієнту (ГТК) на окремі періоди, що відповідають різним стадіям розвитку фітофага із визначенням трен-

дів цих елементів.

Це дозволило формалізувати більшість фенологічних стадій в популяціях південноамериканської томатної молі, а також встановити зв'язок цих подій з кліматичними умовами районів спостережень.

Результати дослідження та їх обговорення.

В 2020-2022 роки за результатами проведених досліджень, щодо біології та екології південноамериканської томатної молі, уточнено розвиток і формування у трьох генераціях за рік (табл. 1).

Фенологічні спостереження дозволили уточнити особливості сезонного розвитку виду, включаючи тривалість життєвого циклу різних стадій. Так, літ імаго томатної молі тривав протягом 100 днів, з першої декади травня до вересня 2022 року за СЕТ 160 °С. Під час розвитку першої генерації, яйцекладка спостерігалася з середини травня, СЕТ – 162 °С., перші гусениці з'являлися на третій-п'ятий день СЕТ – 169-171 °С., після закінчення розвитку, який тривав 12-18 днів заляльковувалися СЕТ – 177 °С. Стадія лялечки тривала в період підвищення середньодобової температури повітря в середньому до +19,2...+20,5 °С, що відповідало показнику суми ефективних температур – 204 °С.

Літ імаго другої генерації спостерігався на початку червня за СЕТ 204 °С. Яйцекладка спостерігалася з першої декади червня і до кінця місяця, за СЕТ - 206 °С, гусениці з'являлися на 2-4 день після завершення розвитку, який тривав за СЕТ – 219 °С. Стадія лялечки тривала у період кінця червня початку липня протягом за показнику суми ефективних температур 221 °С.

1. Фенологічний календар південноамериканської томатної молі (*Tuta absoluta* Меур.) (ПП «Батько і Син», Миколаївська обл., 2020-2022 рр.)

		Лялечка	Метелик 1-ої генерації	Яйце	Гусениця	Лялечка	Метелик 2-ої генерації	Яйце	Гусениця	Лялечка	Метелик 3-ї генерації	Яйце	Гусениця	Лялечка
Березень	I	0												
	II	0												
	III	0												
Квітень	I	0												
	II	0												
	III	0												
Травень	I	0	+											
	II	0	+	.	-									
	III		+	.	-	0								
Червень	I				-	0	+							
	II						+	.	-					
	III						+	.	-	0				
Липень	I								-	0	+			
	II										+	.	-	
	III										+	.	-	0
Серпень	I										+	.	-	0
	II												-	0
	III												-	0
Вересень	I													0
	II													0
	III													0

Літ імаго третьої генерації спостерігався протягом липня за СЕТ на початку місяця - 266 °С та в третій декаді липня - 264 °С. Яйцекладка спостерігалася на 7-10 день льоту імаго, що відповідало діапазону СЕТ – 206...266 °С. Перші гусениці з'являлися у третій генерації на п'ятий день за СЕТ - 269 °С, після закінчення розвитку, який тривав 8-10 днів, після чого заляльковувалися та зимували за

зниження СЕТ від 263 °С до 171 °С наприкінці серпня початку вересня.

Уточнення фенології південноамериканської томатної молі (*Tuta absoluta* Меур.) із сезонною динамікою гідротермічного коефіцієнта (ГТК).

Для спостережень початку льоту імаго та виходу гусениць розроблені моделі прогнозу фітофага (табл.2), які з вірогідністю понад 76% дозволяють контролювати шкідника за осо-

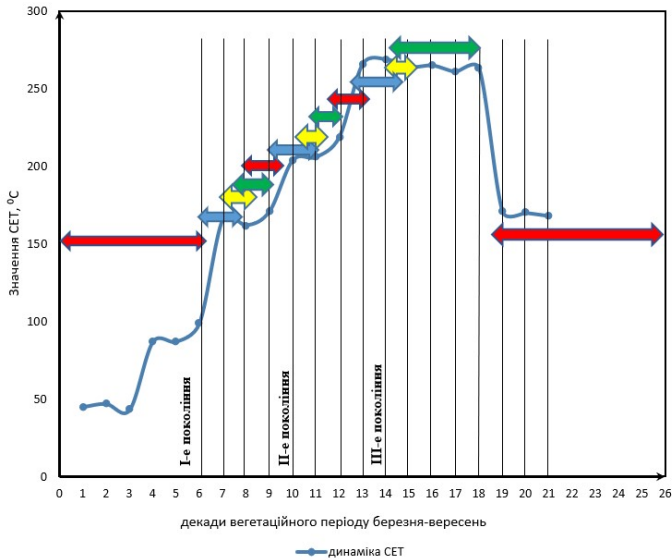


Рис. 1. Фенологія південноамериканської томатної молі відповідно до CET (Миколаївська обл., ПП «Батько і Син» 2020-2022 рр.)

зелений колір стрілки – гусениця, синій – літ імаго, червоний – лялечки, жовтий – період відкладання яєць

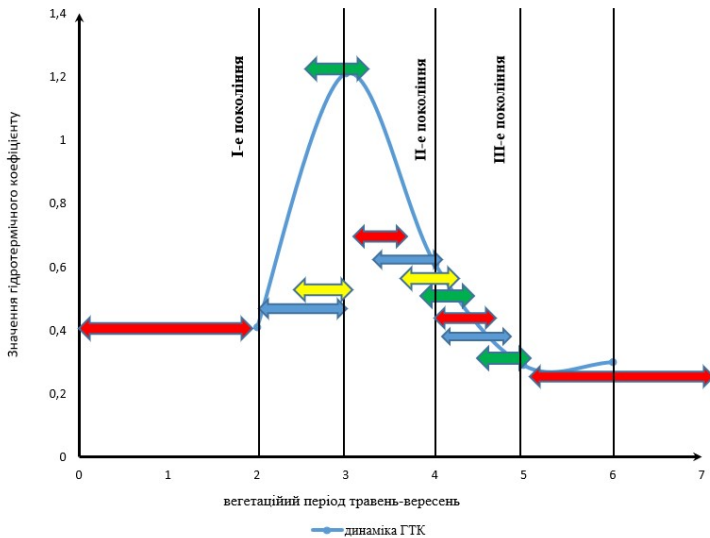


Рис. 2. Фенологія південноамериканської томатної молі відповідно до значень ГТК (Миколаївська обл., ПП «Батько і Син» 2020-2022 рр.)

зелений колір стрілки – гусениця, синій – літ імаго, червоний – лялечки, жовтий – період відкладання яєць

2. Моделі прогнозу розвитку південноамериканської томатної молі *Tuta absoluta* Меур на томатах

Стадії розвитку	Моделі за предиктором прогнозу СЕТ	Коеф. кореляції	Моделі за предиктором прогнозу ГТК	Коеф. кореляції
Початок льоту імаго	$y = 0,4477x + 170,85$	0,87	$y = -0,0907x^2 + 0,4253x + 0,29$	0,96
Початок виходу гусениць	$y = 346,89x - 296,18$	0,92	$y = -0,0125x^2 + 0,2745x - 0,90$	0,98

бливостями формування і розвитку як дорослої стадії, так і гусениць в регіоні досліджень. Це доцільно враховувати в системі карантинних заходів боротьби із південноамериканською томатною міллю на томатах.

Так, відповідно до показників гідротермічного коефіцієнта, періоди заляльковування і льоту імаго відповідали інтервалу 1,21-0,41. ГТК періоду яйцекладки - 0,61-1,21. Відмічено, що яйцекладка розпочинається лише за певних показників вологості. Відродження і розвиток гусениць до їх діapaузи відповідав ГТК у діапазоні від 0,29 у серпні (посушливий період) до 0,30 у вересні (порівняно сильно посушливий період) (Рис. 2).

Висновки і перспективи.

В результаті досліджень фенології південноамериканської томатної молі із характерною особливістю виду є розвиток у трьох генераціях протягом вегетації томатів із тривалістю формування різних стадій їхнього життєвого циклу в залежності від показників СЕТ та ГТК.

Водночас, накладання фенологічного календаря фітофагів на динаміку кліматичних показників (СЕТ, ГТК) дає змогу отримати сезонну інформацію щодо прогнозування появи тієї чи іншої стадії, що є необхідним елементом щодо прийняття рішень

щодо застосування карантинних заходів і засобів регулювання чисельності фітофага на томатних.

У 2020-2022 рр. в першій генерації, літ імаго розвивався з середини травня СЕТ 160 °С. Яйцекладка відбувалось за СЕТ 162 °С, а гусениці з'являлися за СЕТ 169-171°С. Стадія лялечки тривала за середньодобових показників температури від +19,2 до +20,5 °С, що відповідало сумі ефективних температур - 204 °С. Характерною ознакою виявилась висока життєздатність виду, зокрема, під час розвитку першої генерації показник із ГТК - 0,42 (сильна посуха).

Так, у другій генерації, літ імаго розвивався на початку червня за СЕТ 204°С. Яйцекладка відбувалась 3 10-го до 30 червня, що відповідало показнику суми ефективних температур 206 °С, а гусениці з'являлись за 219 °С, за високих значень ГТК – 1,2 (надмірна вологість), що і пояснює дещо розтягнутий період розвитку гусениць. Стадія лялечки тривала з третьої декади червня до першої декади липня, СЕТ - 221 °С.

Розвиток третьої генерації характеризувався порівняно високими показниками середньодобової температури повітря та низьким рівнем опадів. Так інтенсивний літ імаго відмічено в липні за суми ефективних температур – від 264 °С до 266 °С. Яйцекладка спостерігалася на 7-10

день після початку льоту імаго, що відповідало СЕТ – 206...266 °С. Перші гусениці третьої генерації з'являються при 269 °С. Після розвитку вони заляльковувалися та зимували при зниженні СЕТ від 263 °С до 171 °С наприкінці серпня і до кінця вересня відповідно.

References

1. Borzih O.I. (2020) Naukove obgruntuвання poperedzheniya fitosanitarnih rizikiv u transformovanih biocenozah. Karantin i zahist roslin [The Scientific basis for preventing phytosanitary risks in transformed biocenoses]. Quarantine and Plant Protection. № 4-6. 3–7 pp. doi: <https://doi.org/10.36495/2312-0614.2020.4-6> [in Ukrainian]
2. Borzykh O. I., Chelombitko A. F., Stefkivskyi V. M., Retman S. V., Bashynska O. V., Kryvosheiev S. P., Demchuk I. V., Lykhach Ye. A., Kish N. M., Ivasiuk N. V., Moroz L. P., Kopersako M. Yu., Starodub I. O (2019) Metodichni rekomendatsii shchodo provedenia fitosanitarnoi ekspertyzy z vyavlennia ta diahnostryky shkidlyvykh orhanizmiv v ob'iektakh rehuliuвання (z metoiu otrymannia pozytyvnykh ekonomichnykh rezultativ hospodarskoi diialnosti) [Methodological recommendations for conducting phytosanitary expertise on detection and diagnosis of pests in regulated objects (in order to obtain positive economic results of economic activity)]. The State Service of Ukraine for Food Safety and Consumer Protection, 41 p. [in Ukrainian].
3. Borisenko V.V. (2021) Vpliv umov viroshuvannya na formuvannya listkovoyi pov'erhni i fotosintetichnij potencial posivu gibridiv sonyashnika [Influence of growing conditions on leaf surface formation and photosynthetic potential of sunflower hybrids] Taurida Scientific Herald. 117. 16–21 pp. doi: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.117.3> [in Ukrainian]
4. Borisenko V.V., Novak A.V., Kaliyevskij M.V. (2018) Vpliv gustoti posivu ta shirini mizhryad na urozhajnist rannostiglih gibridiv sonyashnika [Influence of sowing density and row spacing on the yield of early ripe sunflower hybrids]. Taurida Scientific Herald. 103. 3-9. doi: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.111.3> [in Ukrainian]
5. Gamayunova V.V., Kudrina V.S. (2020) Formuvannya produktivnosti sonyashniku pid vplyvom pozakorenevih pidzhivlen suchasnymi biopreparatami v umovah Pivdenno-go Stepu Ukrayini [Formation of sunflower productivity under the influence of foliar fertilisation with modern biological products in the Southern Steppe of Ukraine]. Agrology. Vol. 3. № 4. 225–231. DOI: <https://doi.org/10.32819/020027> [in Ukrainian]
6. Dobrovolskij B.V. (1969) Fenologiya nasekomyh [The insects phenology]. High school. 232 p.
7. Moroz S. Fokin A. (2021) Prognozuvannya fenofaz vnutrishnosteblovih komah-fitofagiv sonyashnika [Prediction of the phenophases of sunflower intrastem insect phytophages]. Taurida Scientific Herald. № 119. 73-82. doi: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.119.11> [in Ukrainian]
8. Anderson, R.M., & May, R.M. (1979). Population biology of infectious diseases: Part I. Nature, 280(5721), 361-367.
9. Bale, J.S., Masters, G.J., & Hodkinson, I.D. (2002). Effects of climate change on the distribution and abundance of insects. In T.E. Lovejoy & L. Hannah (Eds.), Climate Change and Biodiversity (pp. 89-116). Yale University Press.
10. Bale, J.S., van Lenteren, J.C., & Bigler, F. (2008). Biological control and sustainable food production. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 363(1492), 761-776.
11. Capinera, J.L. (2008). Encyclopedia of Entomology. Springer.

12. Polgar, C.A., Primack, R.B., & Williams, E.A. (2014). Climate effects on flowering and abundance of rhododendron maximum. *International Journal of Biometeorology*, 58(6), 1207-1215.
 13. Radcliffe, E.B., Hutchison, W.D., & Canceledo, R.E. (2009). Integrated Pest Management: Concepts, Tactics, Strategies and Case Studies. Cambridge University Press.
 14. Weiss, R.M., Mason, S.C., & Kasina, J.M. (2001). Temperature and pest predictions for regional pest management. *Journal of Economic Entomology*, 94(3), 637-646.
-

Bilousova T.V. (2023).

THE FORECASTING OF PHENOPHASES OF THE SOUTH AMERICAN TOMATO MOTH (*TUTA ABSOLUTA MEYR.*) IN TOMATO CROPS.

BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 14(1-2): 93-100.

<https://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/47289>

[http://dx.doi.org/10.31548/biologiya14\(1-2\).2023.011](http://dx.doi.org/10.31548/biologiya14(1-2).2023.011)

Abstract. The article presents the main results of phenological observations of the South American tomato moth (*Tuta absoluta* Meyr.) in tomato crops prediction of the phenophases of tomato moth development is important for planning the system of crop protection against pests, in particular phytophages.

The research is based on the collection and analysis of various data, including climatic parameters such as SET and HTC, biological characteristics of the South American tomato moth and population dynamics of the phytophage. The collected data is used to develop a phenological calendar and forecasting models.

The resulting model allows predicting periods of mass development of the South American tomato moth in tomato crops based on existing weather and climatic indicators.

The expediency of this study is caused by the fragmentation of scientific literature on the study of biological and ecological indicators of the South American tomato moth in Ukraine and the improvement of methods and techniques for monitoring and controlling the number of phytophages, which would increase the productivity and quality of tomato fruits, as well as the localisation and eradication of this pest, in accordance with phytosanitary requirements.

Keywords: forecast, phenology, phenological calendar, tomato moth, phytophage.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРОФІЧНИХ ЗВ'ЯЗКІВ І ФЕНОЛОГІЇ *METCALFA PRUINOSA* SAY (HEMIPTERA: FLATIDAE В УМОВАХ НАЦІОНАЛЬНОГО БОТАНІЧНОГО САДУ ІМ. М.М. ГРИШКА НАНУ

Н.В. КУШНІР,

кандидат біологічних наук,

Національний ботанічний сад ім. М.М. Гришка

Національної академії наук України

E-mail: crocusnat8@gmail.com,

<https://orcid.org/0000-0002-9659-8814>

Л.М. БОНДАРЕВА,

кандидат сільськогосподарських наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України,

E-mail: lnubip69@gmail.com,

<http://orcid.org/0000-0002-8171-2338>

О.В. ЗАВАДСЬКА,

кандидат сільськогосподарських наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України,

E-mail: zavadska3@gmail.com,

<https://orcid.org/0000-0002-5409-0115>

Анотація. У статті наводяться дані щодо появи і поширення інвазивного шкідника *Metcalfa pruinosa* (Say) в умовах Національного ботанічного саду імені М.М. Гришка НАНУ. Уперше комаху зафіксовано на ботаніко-географічній ділянці «Далекий Схід» в НБС в травні 2016 року. Відтоді цитрусова цикадка розширила свій ареал, і були знайдені нові місця інвазії комах в НБС і на приватних територіях за межами ботанічного саду. Було ідентифіковано рослини-господарі цикадки й оцінено ступінь їхнього пошкодження. Найбільш заселені види рослин належали до родів Rosaceae, Aceraceae, Oleaceae, Lamiaceae, Fabaceae, Amaranthaceae, Apiaceae, Araliaceae, Balsaminaceae. Досліджено фенологію *M. pruinosa*. Встановлено, що комаху має одне покоління на рік. Розвиток цитрусової цикадки обмежується мінімальною температурою повітря 17–20 °С. У першій декаді травня спостерігається поява личинок цикадки. Перші імаго зафіксовані на початку або в середині липня залежно від метеорологічних умов року. Повне

зникнення дорослих особин відбувається наприкінці серпня. Щоб запобігти подальшій інтродукції, поширенню та шкідливості *M. pruinosa* в Україні, треба розглянути такі заходи: (1) торгівля рослинами для посадки необхідна тільки з вільних від шкідника місць виробництва, (2) проводити періодичні перевірки рослин на заселеність личинками *M. pruinosa* в червні, (3) проводити спеціальний огляд воскових ниток, (4) застосувати інсектициди проти молодих незрілих стадій цикадки цитрусової, (5) підвищувати обізнаність громадськості про цього шкідника.

Ключові слова: інвазії, *Metcalfa pruinosa*, поширення, трофічні зв'язки, фенологія, Україна.

Вступ.

Глобалізація і збільшення обсягів торгівлі призводять до суттєвого ризику випадкового вторгнення чужорідних видів у нові райони (Mooney, 2005). З літературних джерел відомо про появу, збільшення чисельності та поширення ареалу представників цикадових (Auchenorrhyncha: Hemiptera), у тому числі, завдяки новим інвазивним видам, таких як цикадка цитрусова, або біла (*Metcalfa pruinosa* Say), цикадка японська, цикадка горбатка-буйвол (*Stictocephala bupalus* F.), (Radionov'ska & Didenko 2014; Popova, Bondareva, Polozhenets & Nemeritskaya, 2019). Види-інвайдери найбільше виявляють агресивні якості у трансформованому середовищі. Вони змінюють свій ареал, просуваються на північ, з'являються у локальних «плямах» у сприятливих для них середовищах – у міських умовах, вздовж транспортних шляхів, на дачних ділянках – і завдають серйозних пошкоджень кормовим рослинам, що призводить до втрати екосистемами їхньої стійкості до будь-яких впливів. Одним з таких фітофагів, що добре адаптується до нових умов, є *Metcalfa pruinosa* (Say, 1830).

Комаха має походження з Північної Америки (Dean & Bailay, 1961). В Європу вперше потрапила в Італію в 1979 році (Zangheri & Donadini, 1980), де швидко поширилася і зараз присутня майже у всіх європейських країнах, спричиняючи економічні збитки плодовим садам і виноградникам у деяких південно-європейських країнах. З Італії потрапила на південь Франції (della Giustina & Navarro, 1986). Згідно з даними цифрової бібліотеки CABI цитрусова цикада присутня в таких країнах: Словенії, Швейцарії, Хорватії, Австрії, Німеччині, Греції, Іспанії, Сербії, Чорногорії, Угорщині, Болгарії, Боснії і Герцеговині, Чехії, Словенії, Румунії, Албанії, Туреччині, Росії, Азербайджані. У 1994 році *M. pruinosa* була зареєстрована у Великій Британії, проте інвазійну популяцію вдалося знищити (Malumphy, Baker & Cheek, 1994). У Польщі цикаду вперше зареєстровано в серпні 2021 року в м. Варшава (Świerczewski, Woźnica, Smulski, & Stroński, 2022). Окрім Європи, у 2005 році комаха проникла в Азію, де дотепер відома тільки в Південній Кореї (Lee, Stephen & Wilson, 2010).

Хоча *M. pruinosa* не має великого економічного значення в США

(Wilson & Lucchi, 2001), вона привертає увагу ентомологів у Європі через свою здатність досягати значної чисельності, живлячись на широкому спектрі рослин, у тому числі тих, що мають сільськогосподарське значення (Bagnoli & Lucchi, 2000).

В Україні вперше поодинокі особини *M. pruinosa* були виявлені на рослинах айланту найвищого (*Ailanthus altissima*) в Одесі у 2011 р. (Uzhevskaya, Popova & Ryzhko, 2012). Уже за кілька років на присадибних ділянках в Одеській обл. було відзначено стійку популяцію *M. pruinosa* на різних видах рослин місцевої флори (Popova, Bondareva, Polozhenets & Nemeritskaya, 2019). У 2016 році поодинокі особини комахи вперше були виявлені на ботаніко-географічній ділянці «Далекий Схід» у Національному ботанічному саду (НБС) імені М.М. Гришка НАНУ (Kushnir, 2019). Відтоді цитрусова цикадка розширила свій ареал, і були знайдені нові місця інвазії комахи. Згідно з даними Національної мережі інформації з біорізноманіття (UkrBIN, 2023) *M. pruinosa* зафіксована у 2017 році у Виноградівському районі, а у 2019 році в Ужгородському районі Закарпатської області. У 2020 році комаха з'явилася в Харківській області у Харківському районі, у 2021 році в Дніпропетровській області Дніпровському районі. В цьому ж році комаху зафіксовано в Оболонському районі м. Київ. На території Північного масиву Донецького ботанічного саду цитрусову цикадку вперше зафіксовано у 2018 році під час обстеження дерево-чагарникової рослинності на березі штучного водоймища (Martynov & Nikulina, 2018). Є повідомлення про знахідку комах в м. Сімферополь (Stryukova & Stryukov, 2020).

З огляду на можливість особливої небезпеки *M. pruinosa* як виду-інвайдера для рослин, які ростуть в екстремальних для них антропогенно змінених умовах, було визнано доцільним вивчити особливості поширення, фенології виду та діапазон кормових рослин в умовах НБС ім. М.М. Гришка, який має велику колекцію інтродукційних рослин.

Матеріали та методи досліджень.

Об'єктом досліджень була цитрусова цикадка, або біла, – *Metcalfa pruinosa* (Say, 1830). Спостереження за розвитком та активністю поширення комах проводили в Національному ботанічному саду ім. М.М. Гришка Національної Академії Наук України (НАНУ) та прилеглих до нього територій у вегетаційні сезони 2016 – 2021 рр. Упродовж 70-річного періоду на ботаніко-географічній ділянці «Далекий Схід» завдяки інтродукції рослин за аналогією з природними рослинними асоціаціями була штучно створена ділянка хвойно-широколистяних лісів площею 6.0 га, де щотижня проводився моніторинг на наявність шкідника на різних видах рослин. Робота виконувалася методом маршрутних оглядів, а також із використанням жовтих липких пасток (Takitraps 25×10 см ТОВ «Біотех Систем Україна»). Види рослин, на яких були виявлені яйця, личинки, дорослі особини, воскові нитки або поява медвяної роси, були відзначені як кормові рослини шкідника.

Ступінь пошкодження рослин визначали за трьох бальною шкалою: незначна (присутність слідів перебування цикадки на площі, що становить до 25 % поверхні рослини),

середня (площа пошкодження 25–50 %), значна (понад 50 %) (Uzhevskaya, Popova & Ryzhko, 2012).

Для вивчення фенології *M. pruinosa* були відібрані інтродукційні дерева та чагарники ботанічного саду. Кожні 15 днів упродовж вегетаційного сезону, випадково зрізали двадцять гілок дерев (довжиною близько 25 см), поміщали їх у поліетиленові пакети й передавали до лабораторії для визначення всіх стадій *M. pruinosa* та спостереження за їхнім розвитком. Також на ботаніко-географічній ділянці «Далекий Схід» у насадженнях були розміщені жовті липкі пастки для моніторингу динаміки льоту шкідника.

Ідентифікація дорослих особин та личинок, що належать інвазивному виду *M. pruinosa*, була легко здійснена через їхні відмітні ознаки, широко описані в літературі (Karpun, Ayba, Zhuravlova & Ihnatova, 2005).

Результати та обговорення.

У травні 2016 році на території Національного ботанічного саду ім. М.М. Гришка НАН України (м. Київ) на ботаніко-географічній ділянці «Далекий Схід» (50° 24' 45.61" N, 30° 33' 44.1" E) уперше виявлено інвазивний вид – цикадку цитрусову (*Metcalfa pruinosa*). Поширення комах розпочалося з південної частини, яка межує з тепличним комплексом «Зеленого будівництва». Саме під паркан, що межує з ботанічним садом, виставляються пошкоджені рослини для обробки. Ми вважаємо, що з пошкоджених рослин тепличного господарства інвазивний вид проник на територію ботанічного саду.

У вегетаційні сезони 2017 - 2021 рр. було проведено моніторинг рос-

лин, заселених *M. pruinosa*. Встановлено, що комаху мешкає переважно на синантропних, а також інтродукційних декоративних видах рослин ботаніко-географічної ділянки «Далекий Схід», плодкових та овочевих культурах, що підтверджує її широкую поліфагію (Uzhevskaya, Popova & Ryzhko, 2012).

Розповсюдження *M. pruinosa* території ботанічного саду відбувалося поступово. Насамперед личинки цієї комаху з'явилися на дикорослих ґрунтопокривних рослинах флори України. Серед 13 родин найбільш заселеними цикадкою виявились 8 видів дикорослих рослин, а саме: *Conium maculatum.*, *Aegopodium podagraria* L., *Adenocaulon adhaerescens* Maxim, *Impatiens nolitangere* L., *Humulus lupulus* L., *Geum urbanum* L., *Urtica dioica* L. і *Parthenocissus quinquefolia* (L.) Planch. Усі інші рослини заселялися середньо чи слабо (табл. 1).

Через три-чотири тижні личинок та імаго *M. pruinosa* спостерігали на інтродукційних чагарниках та нижніх ярусах дерев, а також ліанах ділянки «Далекий Схід». Найбільш пошкодженими цикадкою виявились представники родин: *Celastraceae*, *Fabaceae* і *Oleaceae* (табл. 2).

У 2019-2021 рр. відбулося вторгнення комаху до південно-західної частини ботанічного саду на інші ділянки. Насамперед комаху була виявлена на трав'янистих багаторічниках: *Amaranthus blitoides* Watson, S., *Amaranthus retrofl exus* L., *Arctium lappa* L., *Chenopodium album* L., *Conyza canadensis* (L.) Cronq., *Bromus* sp., *Hypericum* sp., *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop., *Phytolacca americana* L., *Plantago* sp., *Setaria* sp., *Pteridium aquilinum* L., *Verbascum* sp., *Solanum nigrum* L., *Viola arvensis* Murray.

1. Дикорослі рослини, заселені *M. pruinosa* на ботаніко-географічній ділянці «Далекий Схід» у Національному ботанічному саду ім. М. М. Гришка НАНУ (м. Київ), 2016 - 2021 рр.

Родина	Вид рослини	Заселеність
<i>Apiaceae</i>	<i>Conium maculatum</i> L.	+++
	<i>Aegopodium podagraria</i> L.	+++
<i>Asteraceae</i>	<i>Adenocaulon adhaerescens</i> Maxim	+++
<i>Balsaminaceae</i>	<i>Impatiens noli-tangere</i> L.	+++
<i>Brassicaceae</i>	<i>Capsella bursa-pastoris</i> L.	++
<i>Cannabaceae</i>	<i>Humulus lupulus</i> L.	+++
<i>Equisetaceae</i>	<i>Equisetum arvense</i> L.	+
<i>Fabaceae</i>	<i>Medicago lupulina</i> L.	+
	<i>Trifolium pratense</i> L.	++
<i>Lamiaceae</i>	<i>Lamium purpureum</i> L.	+
	<i>Lamium album</i> L.	+
	<i>Glechoma hederacea</i> L.	+
<i>Rosaceae</i>	<i>Geum urbanum</i> L.	+++
<i>Rubiaceae</i>	<i>Galium aparine</i> L.	++
<i>Urticaceae</i>	<i>Urtica dioica</i> L.	+++
<i>Violaceae</i>	<i>Viola odorata</i> L.	+
<i>Vitaceae</i>	<i>Parthenocissus quinquefolia</i> (L.) Planch.	+++

+ – слабка заселеність; ++ – середня заселеність; +++ – сильна заселеність

Поступово личинки цикадки поширилися на сусідні ботаніко-географічні ділянки, і були виявлені на таких декоративних рослинах: *Hedera helix* L., *Cornus mas* L., *Swida alba* (L.) Opiz, *Thuja occidentalis* L., *Jasminum fruticans* L., *Chaenomeles japonica* Thunb., *Parthenocissus quinquefolia* (L.) Planch.

Відзначено пошкодження комах у ботанічному саду плодкових культур: *Juglans regia* L., *Actinidia chinensis* Plan., *Vitis vinifera* L., *Viburnum opulus* L., *Rubus fruticosus* L., *Rubus idaeus* L., *Pyrus communis* L. *Prunus americana* Marsh., *Prunus persica* L., *Prunus armeniaca* L., *Prunus cerasus* L. Також виявлено цикадку на кормових та сільськогосподарських рос-

линах: *Capsicum annuum* L., *Brassica oleracea* L., *Lycopersicon* sp., *Solanum melongena* L.

Спостереження за поширенням *M. pruinosa* було зроблено і за межами ботанічного саду на прилеглій до неї території (в приватному секторі). У 2019 році відзначено вторгнення комах на плодів та декоративні дерева, кущі, ліани та овочеві культури приватних будинків.

Отже, за кілька років *M. pruinosa* поширилася за межі первинного осередку. Масове розмноження шкідника спостерігалось на всіх обстежених ділянках ботанічного саду та прилеглих до нього територій.

Цикадка цитрусова була виявлена на 28 видах бур'янів із 27 родин.

2. Інтродукційні види рослин флори Далекого Сходу, заселені *M. pruinosa* на ботаніко-географічній ділянці «Далекий Схід» у Національному ботанічному саду ім. М. М. Гришка НАНУ (м. Київ), 2016 - 2021 рр.

Родина	Вид рослини	Заселеність
<i>Aceraceae</i>	<i>Acer mono Maxim.</i>	+
	<i>Acer mandshuricum Maxim.</i>	++
	<i>Acer pseudosieboldianum (Pax) Kom.</i>	+
	<i>Acer negundo L.</i>	++
	<i>Acer tataricum L.</i>	+++
<i>Actinidiaceae</i>	<i>Actinidia arguta</i> (Siebold & Zucc.) Planch. ex Miq	+
	<i>Actinidia kolomikta</i> (Maxim. & Rupr.) Maxim.	+
<i>Araliaceae</i>	<i>Aralia cordata Thunb.</i>	++
	<i>Eleutherococcus senticosus</i> (Rupr. & Maxim.) Maxim.	+++
<i>Caprifoliaceae</i>	<i>Lonicera maximowiczii (Rupr.) Regel.</i>	+
	<i>Lonicera maacki (Rupr.) Herd.</i>	+
<i>Celastraceae</i>	<i>Euonymus maackii Rupr.</i>	+++
	<i>Euonymus maximowicziana Prokh.</i>	+++
<i>Fabaceae</i>	<i>Robinia pseudoacacia L.</i>	++
<i>Oleaceae</i>	<i>Fraxinus rhynchophylla Hance.</i>	++
	<i>Syringa amurensis Rupr.</i>	+++
	<i>Syringa wolfii Schneid.</i>	+++
<i>Polygonaceae</i>	<i>Reynoutria sachalinense Fisch.</i>	+
<i>Ranunculaceae</i>	<i>Clematis mandschurica Rupr.</i>	++
	<i>Clematis vitalba L.</i>	++
<i>Rosaceae</i>	<i>Prunus maackii (Rupr.) Kom. & Aliss.</i>	+
	<i>Rosa rugosa Thunb.</i>	++
	<i>Cotoneaster melanocarpus Fisch. ex Blytt.</i>	+
	<i>Crataegus pinnatifida Bunge.</i>	+
	<i>Pyrus communis L.</i>	+
<i>Ulmaceae</i>	<i>Ulmus pumila L.</i>	+
<i>Vitaceae</i>	<i>Ampelopsis brevipedunculata (Maxim.)</i>	+
	<i>Vitis amurensis Rupr.</i>	+

+ – слабка заселеність; ++ – середня заселеність; +++ – сильна заселеність

На деревах, чагарниках та ліанах вид виявлено на 52 видах рослин із 28 родин. Найбільш заселеними кома-

хою виявилися родини: *Rosaceae* - 18 видів рослин, *Aceraceae* - 5 видів, *Oleaceae* - 4 види, *Lamiaceae* - 3 види,

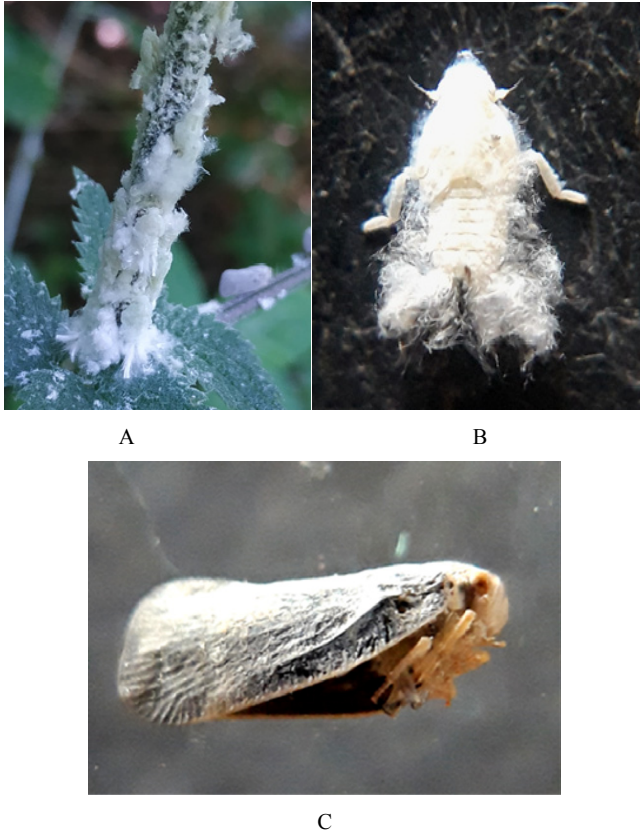


Рис. 1. А – колонія личинок *M. pruinosa*. В - личинка *M. pruinosa*. С – імаго *M. pruinosa*. (Національний ботанічний сад імені М. М. Гришка НАН України. Фото авторів).

Fabaceae - 3 види, *Amaranthaceae*, *Apiaceae*, *Araliaceae*, *Balsaminaceae* по 2 види.

Під час оглядів менш заселеними фітофагом виявилося 10 родин, а саме: *Apiaceae*, *Aceraceae*, *Araliaceae*, *Asteraceae*, *Balsaminaceae*, *Cannabaceae*, *Celastraceae*, *Oleaceae*, *Rosaceae*, *Urticaceae*.

Отже, загальна кількість кормових рослин цитрусової цикадки становила 80 видів рослин, що належать до 55 родин.

Зимує *M. pruinosa* на стадії яйця, яке відкладає в тріщини кори дерев і

чагарників (della Giustina & Navarro, 1993). Цей факт, безперечно, сприяв її проникненню в Європу, в тому числі в Україну із декоративними рослинами.

Упродовж років досліджень розвиток цикадки тривав із травня до серпня. Денна та нічна температура повітря, кількість опадів та їхня тривалість мали вирішальне значення в темпах розвитку комах. У першій декаді травня спостерігали появу перших личинок на рослинах. У цей період мінімальна денна температура становила приблизно 20 °С, а міні-

мальна нічна приблизно 17 °С, опадів випало 50 мм. У подальшому зі збільшенням температури повітря чисельність личинок шкідника зростала. Личинки малорухливі й не йдуть далеко від того місця, де вперше почали житися. Проте, сильні пориви вітру сприяють поширенню шкідника. Личинки білого кольору та різного ступеня опушення, живлячись соком рослин, рясно виділяють восковий наліт (нитки) білого кольору, який нагадує тонкий шар вати (рис. 1).

Розвиток личинок триває близько двох місяців, проходячи п'ять стадій. Останні дві личинкові стадії мають здатність стрибати. Перші імаго з'являються на початку або в середині липня залежно від метеорологічних умов сезону, за мінімальної нічної 22 °С і денної 26 °С температури (рис. 1). З другої декади липня кількість дорослих особин збільшується і у кінці місяця чисельність імаго втричі перевищує чисельність личинок. Дорослі особини живуть кілька тижнів і на початку серпня стають цілком зрілими. Самці та самиці видають призовні сигнали вдень і особливо інтенсивно вночі, коли відбувається парування і відкладання зимових яєць.

Зникнення личинок зафіксовано наприкінці липня – на початку серпня. У першій декаді серпня спостерігалось зменшення чисельності імаго і тривав цей процес до кінця серпня, за зниження нічної температури повітря нижче 17 °С. Винятком були 2018 та 2020 роки. У ці роки в першій декаді вересня середньодобова температура повітря перевищувала норму (13,9 °С), і становила в середньому 17,3 °С – 18,4 °С, а також відсутність опадів у цей період сприятливо позначилася на тривалості життя *M. pruinosa* до середини вересня.

Потрібно зазначити, що у 2019 році метеорологічні умови також вплинули на строки розвитку цикади. Через рясні дощі і зниження температури повітря в третій декаді липня і першій декаді серпня, чисельність комах значно скоротилася. Повне зникнення імаго спостерігали в середині серпня (рис. 2).

Отже, в умовах м. Києва *M. pruinosa* має одне покоління, яке триває з травня до серпня. Розвиток комах обмежується мінімальною температурою повітря 17 - 20 °С і значною кількістю опадів.

Інвазія та розповсюдження *M. pruinosa* на території України тягне за собою безліч негативних наслідків для рослин. Основна проблема полягає в тому, що цикадка цитрусова живиться на багатьох рослинах, їх понад 300 видів (трав'яниста рослинність, дерева, чагарники, сільськогосподарські культури). Живлення шкідника зазвичай не призводить до деформації листя, але тургор знижується, рослина послаблюється, спостерігається всихання пагонів і опадання плодів. Погіршується зовнішній вигляд пошкодженої рослини через клейкі виділення білого кольору, які тримаються впродовж вегетаційного сезону. На них поселяються сажкові гриби, що перешкоджають нормальному фотосинтезу (Baranets, 2016; Popova, Bondareva, Polozhenets & Nemeritskaya 2019). У процесі живлення личинок і дорослих особин, рослини формують неповноцінне або деформоване насіння, яке не здатне до розвитку наступного покоління. Це призводить до значного зменшення або навіть відсутності рослинних проростків. Наприклад, таке явище ми спостерігали у рослин флори ботанічної ділянки "Далекий

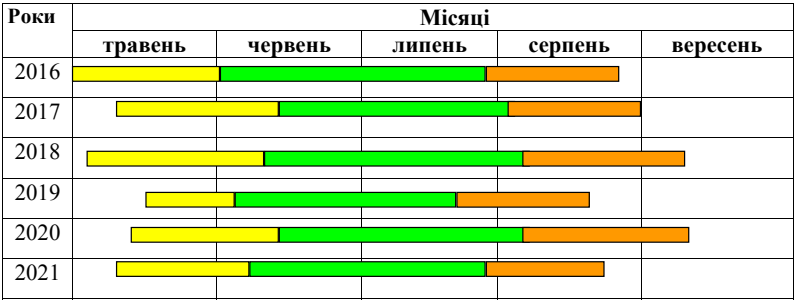


Рис. 2. Фенологічні спектри розвитку *M. pruinosa* у Національному ботанічному саду імені М. М. Гришка

Схід": *Lonicera*, *Euonymus*, *Syringa*, *Reynoutria*, *Cotoneaster*, *Aralia*, *Eleutherococcus*, *Clematis*. І нарешті, не виключена можливість передачі вірусів та мікоплазм від заражених рослин до здорових.

Висновки і перспективи

Отже, *M. pruinosa* є інвазивним видом для м. Києва, а це поки що найпівнічніша точка виявлення комахи на території України. Однією з можливих причин поширення цикади в Україні можуть бути кліматичні зміни, недостатні карантинні заходи та випадкове перенесення людьми. Активному поширенню комахи на ділянках ботанічного саду сприяли малосніжні та теплі зими, посушливі весни та незначна кількість опадів у весняний та літній періоди. Винятком став 2019 рік, коли було зазначене зменшення чисельності цикади. Тепліший клімат останніх десятиліть надає нові можливості комахам для знайомства з регіонами, де донедавна інтродуковані види не могли вижити. Це підтверджується збільшенням кількості даних щодо заселення і розширення площ членистоногих, які походять з південних регіонів (Bondareva & Chumak, 2017, 2020).

Щоб запобігти подальшій інтродукції, поширенню та шкідливості *M. pruinosa* в Україні, треба розглянути такі заходи: (1) торгівля деревними рослинами для посадки з вільних від шкідника місць виробництва, (2) періодичні перевірки деревних рослин на заселеність личинками *M. pruinosa* в червні, (3) спеціальний огляд воскових ниток, (4) застосування інсектицидів проти молодих незрілих стадій *M. pruinosa*, (5) підвищення обізнаності громадськості про цього шкідника.

References

1. Bagnoli, B.A., Lucchi, A. (2000). Danosità e misure di controllo integrato. In, A. Lucchi (Editor). La Metcalfa negli ecosistemi italiani [Harmfulness and integrated control measures. In, A. Lucchi (Editor). Metcalfa in Italian ecosystems.] Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione nel settore Agricolo-forestale [Regional Agency for Development and Innovation in the Agricultural-forestry sector]. Firenze, Italy [In Italian].

2. Baranets, L. (2016). Sysni shkidnyky. [Sucking pests]. Sadivnytstvo po-ukrainsky, 3 (15), 68–71, [In Ukrainian].

3. Bondareva, L.M., Chumak, P.Y., Bondarev S.I. (2017). Revealing the Sustainable Pop-

- ulation of *Pentamerismus taxi* (Acari, Tenuipalpidae) Outside the Zone of its Natural Habitation in Ukraine. *Vestnik zoologii*, 51, 5, 435–438. DOI 10.1515/vzoo-2017-0052
4. Bondareva, L.M., Chumak, P.Y. (2020). First finding of *Pentamerismus oregonensis* and its abundance (Acari: Tenuipalpidae) on juniper trees in Kyiv, Ukraine. *Persian Journal Acarology*, 9, 3, 299–301. <http://dx.doi.org/10.22073/pja.v9i3.60667>
5. Dean, H.A., Bailay, J.C. (1961). A flatidplanthopper, *Metcalfa pruinosa*. *Journal of Economic Entomology*, 54, 1104–1106.
6. Della Giustina, W., Navarro, E. (1993). *Metcalfa pruinosa*, un nouvel envahisseur. *Phytoma – La Défense des végétaux*, 451, 30–32.
7. Heung-Su, Lee, Stephen, W. (2010). Wilson First report of the nearctic flatid planthopper *Metcalfa pruinosa* Say in the republic of Korea (Homoptera: Fulgoroidea). *Entomological News*, 121 5, 506–513.
8. Karpun, N. N., Ayba, L.L., Zhuravlova, B.N., Ihnatova, M. Sh. (2005). Rukovodstvo po opredeleniyu novykh vidov vrediteley dekorativnykh drevesnykh rasteniy na Chernomorskom poberezhe Kavkaza [Guidelines for Identification of New Pest Species Affecting Ornamental Woody Plants on the Caucasian Black Sea Coast], 78 pp.
9. Kushnir, N.V. (2019). Invaziyni vyd *Metcalfa pruinosa* Say Y u Natsionalnomu botanichnomu sadu im. M.M. Hryshka NAN Ukrainy [Invasive species *Metcalfa pruinosa* Say in M.M. Grishko National Botanical Garden, National Academy of Sciences of Ukraine]. *Stratehiia zberezhenia roslyn u botanichnykh sadakh ta dendroparkakh: Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia* [Strategies of Plant Protection in Botanical Gardens and Dendroparks: International research and practice conference]. Kyiv: Lira-K., 278–279. [In Ukrainian].
10. Malumphy, C., Baker, R., Cheek, S. (1994). Citrus planthopper. *Plant Pest Notice*. Central Science Laboratory. 19, 1–2.
11. Martynov, V.V., Nikulin, T.V. (2018). *Per-vaia nakhodka yidzivnogo vida Metcalfa pruinosa* (Say, 1830) (Hemiptera:Auchenorrhyncha: Flatidae) (v faune Donbassa. [The first record of the invasive species *Metcalfa pruinosa* (Say, 1830) (Hemiptera:Auchenorrhyncha: Flatidae) in the fauna of Donbas]. *Promyshlennaya botanika* [Industrial botany], 18, 54–62.
12. Mooney, H.A. (2005). Invasive alien species: the nature of the problem. In: Mooney H.A., R.N. Mack, J.A. McNeely, L.E. Neville, P.J. Schei, J.K. Waage (Eds.) *Invasive alien species: a new synthesis*. Island Press, 1–15.
13. Popova, L.V., Bondareva, L.M., Polozhenets, V.M., Nemeritskaya, L.V. (2019). Formation of Persistent Population of Invasive Species *Metcalfa Pruinosa* (Say, 1830) (Auchenorrhyncha: Flatidae) in the South of Ukraine. *Russian Journal of Biological Invasions*, 10, 1, 48–51. <https://doi.org/10.1134/S2075111719010132>
14. Radionovs'ka, Ya.E., Didenko, L.V. (2014). Invaziia ta osoblyvosti rozvytku tsyadky yaponskoi vynohradnoi na vynohradnykh nasadzheniakh Krymu. [Invasion by Japanese grape leafhopper *Arboridia kakogawana* Mats. And specific features of its development in Crimean vineyards]. *Karantin Zakhist Roslin* [Quarantine and plant protection], 8, 5–7 [In Ukrainian].
15. Stryukova, N.M., Stryukov, A.A. (2020). Novyye dannyye ob invazivnykh nasekomykh v respublike Krym [New data on invasive insect species in the Republic of Crimea]. *Biologiya rasteniy i sadovodstva: Teoriya, Innovatsii* [Plant Biology and Horticulture: Theory, Innovation], 4 (157), 56–66. <https://doi.org/10.36305/2712-7788-2020-4-157-56-66>.
16. Świerczewski, Dariusz, Woźnica, Andrzej, Jozef, Smulski, Teodor, Stroiński, Adam (2022). First report of the Nearctic planthopper *Metcalfa pruinosa* (Say, 1830) in

- Poland, its current status and potential threats (Hemiptera: Fulgoromorpha: Flatidae). *Journal of Plant Protection Research*, 62, 3, 238–246. <https://doi.org/10.24425/jppr.2022.142130>
17. Uzhevskaya, S.F., Popova, E.N., Ryzhko, V.E., (2012). Belaya tsikadka (Metcalfa pruinosa Say, 1830) v Odesse. [The citrus flatid planthopper (Metcalfa pruinosa Say, 1830) in Odessa]. *Visn. Kharkiv. Nats. Agrarn. Univ., Ser. Fitopatol. Entomol. [Bulletin of KhNAU. Series Phytopathology and Entomology]* 11, 123–133.
 18. Wilson, S.W., Lucchi, A. (2001). Distribution and ecology of Metcalfa pruinosa and associated planthoppers in North America (Homoptera: Fulgoroidea). *Atti dell' Accademia Nazionale Italiana di Entomologia. Rendiconti Anno*, 49, 21–130.
 19. Zangheri, S., Donadini, P. (1980). Compar-
sa nel Veneto di un omottero neartico: Metcalfa pruinosa Say (Homoptera, Flatidae). *Redia*, 63, 301–305.
 20. CABI Digital Library User Guides <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/cabicompendium.35054#todistribution> (Accessed: 18. 01. 2023)
 21. UkrBIN: Ukrainian Biodiversity Information Network [public project & web application]. UkrBIN, Database on Biodiversity Information. Available from: <http://www.ukrbin.com>. (Accessed: 18. 01. 2023).

Kushnir N., Bondareva L., Zavadzka O. (2023).

RESEARCH OF TROPHIC CONNECTIONS AND PHENOLOGY METCALFA PRUINOSA SAY (HEMIPTERA: FLATIDAE) IN THE GRYSHKO NATIONAL BOTANICAL GARDEN OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE

BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 14(1-2): 101-112.

<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/42706>

[http://dx.doi.org/10.31548/biologiya14\(1-2\).2023.001](http://dx.doi.org/10.31548/biologiya14(1-2).2023.001)

Abstract. The article presents data on the emergence and spread of the invasive potential of the dangerous pest Metcalfa pruinosa (Say) in the conditions of the Gryshko National Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine. The insect was recorded for the first time at the botanical-geographic site "Far East" in the NBG in May 2016. Since then, M. pruinosa has expanded its range, and new sites of insect infestation have been found in the NBG and on private grounds outside the botanical garden. The host plants were identified and the extent of their damage was assessed. The most populated plant species belonged to the genera Rosaceae, Aceraceae, Oleaceae, Lamiaceae, Fabaceae, Amaranthaceae, Apiaceae, Araliaceae, Balsaminaceae. The phenology of citrus flatid planthopper was investigated. It has been established that the insect has one generation per year. The development of the M. pruinosa is limited to a minimum air temperature of 17–20 °C. In the first decade of May, the appearance of larvae citrus flatid planthopper is observed. The first imagoes are recorded in early or mid-July, depending on the meteorological conditions of the year. The complete disappearance of adults occurs at the end of August. In order to prevent the further introduction, spread and harmfulness of M. pruinosa in Ukraine, the following measures should be considered: (1) trade of plants for planting is necessary only from pest-free production sites, (2) periodic inspections of plants for colonization by M. pruinosa larvae should be carried out in June, (3) conduct a special inspection of wax threads, (4) apply insecticides against the young immature stages of M. pruinosa, (5) increase public awareness of this pest.

Keywords: invasions, Metcalfa pruinosa, distribution, trophic connections, phenology, Ukraine.

ЧУТЛИВІСТЬ ЗБУДНИКА БАКТЕРІОЗУ СОРГОВИХ ДО АНТИБІОТИКІВ

М.В. РЕШЕТНИКОВ,

аспірант відділу фітопатогенних бактерій
<https://orcid.org/0000-0002-6297-6629>, E-mail: leose@ukr.net

С.М. МОРОЗ,

старший науковий співробітник відділу фітопатогенних бактерій,
<https://orcid.org/0000-0002-9655-9081>

Л.А. ПАСІЧНИК,

старший науковий співробітник відділу фітопатогенних бактерій,
<https://orcid.org/0000-0002-5662-3106>

Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України,
Київ, Україна

Л.М. БУЦЕНКО,

професор кафедри біотехнологій і мікробіології
<http://orcid.org/0000-0002-3575-4289>

Анотація. Значне поширення резистентності до антибіотиків, яке є глобальною проблемою людства, у значному ступені пов'язано із надмірним використанням антибіотиків у сільськогосподарській практиці. Зростання кількості антибіотиків у рослинництві, яке пов'язане як з безпосереднім застосуванням для контролю фітопатогенів, так і з надходженням разом із відходами тваринництва, що уживаються як добрива, призводить до зростання резистентності до антимікробних препаратів серед асоційованих з рослинами мікроорганізмів. Водночас, в Україні практично відсутні дані щодо виявлення антибіотикорезистентних штамів у рослинництві та його продукції й контроль за циркуляцією бактерій з набутою резистентністю в цій сфері.

Метою дослідження є визначення чутливості штамів збудників бактеріальних хвороб соргових *P. syringae* щодо антимікробних препаратів різного механізму дії.

Визначення антибіотикочутливості здійснювали диско-дифузійним методом серед штамів *Pseudomonas syringae*, виділених із соризу, та штамів фітопатогенних бактерій з колекції відділу фітопатогенних бактерій Інституту мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАНУ.

Встановлено, що досліджені штами розподілилися у 5 груп за резистентністю до антимікробних речовин. Найпоширенішою є резистентність

до цефалоспоринових антибіотиків. Свіжоізольовані штами, ізольовані з соризу, показали спектр антибіотикочутливості, подібний до колекційних штамів *P. syringae*. Найбільшу чутливість досліджуваним штамам *P. syringae* виявили до стрептоміцину, тетрацикліну і хлорамфеніколу. Одним із потенційних джерел пошуку активних антагоністів щодо цих патогенів є ґрунтові стрептоміцети.

Ключові слова: бактеріальні хвороби, сорго, фітопатогенні бактерії, резистентність до антибіотиків

Вступ.

Набута резистентність до антибіотиків є глобальною проблемою людства, яка стосується не лише медицини, а й сільського господарства (Mann A. et al., 2021). Саме у галузях сільського господарства створюються передумови для надмірного використання антибіотиків, що, як відомо, є основним фактором поширення резистентності до антибіотиків серед мікроорганізмів (Iwu, 2020). При цьому Всесвітня організація з охорони здоров'я підтверджує можливість передачі та поширення резистентних до антибіотиків мікроорганізмів від рослинної сировини та продукції до людей, які є споживачами такої продукції (WHO, 2017). Разом із тим, масштаби, шляхи передачі та пов'язані з ними наслідками для здоров'я людей та економіки потребують ретельного дослідження (Iwu C.D. et al., 2020). Поширення на рослинах антибіотикорезистентних мікроорганізмів може бути наслідком не лише прямого їх застосування в рослинництві, а й використання для удобрення рослин перегною, що містить залишки антибіотиків та антибіотикорезистентні штами від тварин (Wang F.-H/ et al., 2015). Підвищення резистентності фітопатогенних бактерій до антибіотиків може відбуватися і за дії

пестицидів (Булеца Н.М. і ін., 2015, Булеца Н.М. і ін., 2015). Водночас, в Україні практично відсутні дані щодо виявлення антибіотикорезистентних штамів у рослинництві та його продукції й контроль за циркуляцією бактерій з набутою резистентністю в цій сфері.

В науковій літературі обмежені дані щодо поширення набутої резистентності до антибіотиків і серед фітопатогенних бактерій. Хоча передбачається, що резистентність патогенів рослин до антибіотиків найчастіше розвивається через надбання детермінант резистентності шляхом горизонтального перенесення генів. Наприклад, гени резистентності до стрептоміцину *strAB* зустрічаються в *Erwinia amylovora*, *Pseudomonas syringae* та *Xanthomonas campestris*, і ці гени, ймовірно, були отримані від непатогенних епіфітних бактерій рослин-хазяїв (Sundin, G. W., Wang, N., 2018). Знання щодо поширення набутої стійкості серед асоційованих з рослинами бактерій мають важливе значення для розробки надійних стратегій управління резистентністю для забезпечення безпечного та ефективного подальшого використання антибіотиків у лікуванні критично важливих захворювань.

Метою дослідження є визначення чутливості штамів збудників бакте-

ріальних хвороб соргових *P. syringae* щодо антимікробних препаратів різного механізму дії.

Матеріали та методи дослідження

Визначення антибіотикочутливості штамів збудників хвороб соргових здійснювали диско-дифузійним методом, який ґрунтується на здатності антибіотичних препаратів (АБП) дифундувати з просочених ними паперових дисків у поживне середовище і пригнічувати ріст мікроорганізмів, посіяних на поверхні агару (Методичні рекомендації, 2021).

У якості поживного середовища використовували агар Мюллер-Хінтона, який готували відповідно до інструкції виробника і розливали у чашки Петрі шаром $4,0 \pm 0,5$ мм завтовшки та залишали для застигання за кімнатної температури на горизонтальній поверхні, що важливо, оскільки розмір і форма зони пригнічення росту залежить від глибини і рівномірності агарового шару. Попередньо здійснювали перевірку середовища на придатність для росту досліджуваних штамів фітопатогенних бактерій. Перед інокуляцією бактеріальною суспензією чашки підсушували у термостаті при 35°C зі злегка відкритою кришкою впродовж 10-20 хв, щоб уникнути утворення конденсату на внутрішній поверхні кришки.

Мікробну суспензію (інокулюм) готували з добової культури бактерій, відбираючи її петлею у пробірку зі стерильним фізіологічним розчином, доводячи густину до концентрації $0,5 \times 10^9$ КОУ/см³, ретельно перемішуючи до однорідної щільності. Щільність бактеріальної суспензії вимірювали шляхом візуального по-

рівняння зі стандартом каламутності. Одразу після приготування інокулюму, його наносили піпеткою на поверхню чашки Петрі з поживним середовищем в об'ємі 0.1-0.2 см³ і рівномірно розподіляли по поверхні стерильним шпателем.

Досліджували штами *Pseudomonas syringae* van Hall 1902, виділені із соризу. В якості колекційних використали штами фітопатогенних бактерій з колекції відділу фітопатогенних бактерій Інституту мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАНУ. Колекційні штами були ізольовані з кукурудзи і сорго й ідентифіковані як *P. syringae* (*Pseudomonas holci*) 8299, 8300 і 8301 та типовий штам УКМ В-1027Т (NCPPB 281) *P. syringae* (van Hall 1902) Janse 1982.

Для визначення чутливості використовували стандартизовані диски діаметром 6 мм з дев'ятьма антибіотиками виробництва Pronadisa Laboratorios (CONDA, Іспанія). В якості негативного контролю використовували диски без антибіотика. Досліджували антибіотики цефазолін, цефотаксим, цефтазидим, хлорамфенікол, еритроміцин, пеніцилін, стрептоміцин, тетрациклін, тобраміцин, що належали до різних фармакотерапевтичних груп і мали різні механізми антимікробної дії. Аплікацію дисків здійснювали за допомогою стерильного пінцета, дотримуючись відстані від диска до краю чашки і між дисками 15-20 мм. Для рівномірного контакту диску з поверхнею агару, його злегка притискали пінцетом. Одразу після аплікації дисків чашки Петрі поміщали в термостат догори дном і інкубували за температури 28°C впродовж 24 год.

Після інкубації вимірювали діаметр зон затримки росту, фіксуючи

зону повного пригнічення видимо-го росту. Зона затримки росту є від-сутньою, якщо спостерігається ріст мікроорганізмів біля диску і відсут-ні ознаки інгібування, що вказує на резистентність мікроорганізму до даного антибіотика. Чим більша зона відсутності росту, тим більша чутли-вість мікроорганізму до даного анти-біотика. Зона інгібування до 20 мм вказує на помірну резистентність або чутливість, від 20 до 30 мм – середню чутливість, від 30 мм і більше – висо-ку чутливість.

Результати дослідження та їх обговорення.

Соргові культури, такі як зернове сорго і новостворений гібрид – сориз, характеризуються найбільшою по-сухостійкістю серед усіх культурних

рослин. Враховуючи зміни кліматич-них умов, соргові є дуже перспек-тивними для вирощування в Україні. Однак інтродукція нових видів і сор-тів веде за собою зміну спектру збуд-ників хвороб. За обстеження посівів нової соргової культури – соризу у Черкаській області нами були виявле-ні рослини, що мали типові для бакте-ріальної плямистості сорго ураження – плями на листі солом’яно-жовтого кольору, які мають характерну чер-вону облямівку. Сім ізолятів, виді-лені з уражених рослин соризу, були ідентифіковані як *P. syringae* (табл. 1). Відомо, що цей вид є поліфагом і спричинює хвороби багатьох видів рослин. Три ізоляти ідентифіковані як *Pseudomonas sp.*

Для вивчення антибіотикорезис-тентності ізольованих штамів, а та-кож колекційних штамів і типового

1. Характеристика досліджених штамів *Pseudomonas syringae*

Вид	Штам	Джерело виділення	Рік виділення/отримання	Місце виділен-ня/отримання
<i>P. syringae</i>	211141	Сориз <i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench	2021	Черкаська обл., Україна
	211141a			
	21034			
	210341			
	210342			
	210541a			
	210541в			
<i>Pseudomonas sp.</i>	21052	Кукурудза <i>Zea mays</i> L.	1961	Київська обл., Україна
	210521			
	21054			
<i>P. syringae (P. holci)</i>	8299*	Copro <i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench	1972	Великобританія
	8300*			
	8301*			
<i>P. syringae</i>	УКМ В-1027Т (NCPPB 281) *	Бузок <i>Syringa vulgaris</i> L.		

Примітка. * - штамів із колекції відділу фітопатогенних бактерій Інституту мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАНУ

2. Характеристика досліджених антибіотиків

Антибіотик	Концентрація, мкг/диск	Фармако-терапевтична група	Механізм антимікробної дії
Цефазолін	30	Бета-лактамі антибіотики. Цефалоспорины I покоління	пригнічення ферменту транспептидази, блокада біосинтезу мукопептиду у клітинній стінці бактерії.
Цефотаксим	30	Бета-лактамі антибіотики. Цефалоспорины III покоління	пригнічення ферментів, які відповідають за синтез клітинної стінки бактерій, що призводить до лізису бактеріальної клітини.
Цефтазидим	30		порушення синтезу стінок бактеріальної клітини, дія на білки-мішені клітинної стінки.
Хлорамфе-нікол	30	Амфеніколи	інгібування пептидилтрансферази, порушення синтезу білків у бактеріальних клітинах.
Еритроміцин	15	Макроліди	проникнення крізь клітинну мембрану бактерій, оборотне зв'язування з субодиноцею 50S бактеріальних рибосом, гальмування транслокації пептидів з акцепторної ділянки рибосом до донорської, перешкоджання подальшому синтезу білка.
Пеніцилін	10	Бета-лактамі антибіотики.	пригнічення біосинтезу клітинної стінки за рахунок блокади пеніцилінзв'язуючих білків.
Стрептоміцин	300	Аміноглікозиди	зв'язування з 30S-субодиноцею бактеріальної рибосоми, що в подальшому призводить до пригнічення синтезу білка.
Тетрациклін	30	Тетрацикліни	пригнічення синтезу білка шляхом блокування зв'язування аміноацил-транспортної РНК (тРНК) з комплексом «інформаційна РНК (іРНК)-рибосома»
Тобраміцин	10	Аміноглікозиди	пригнічення комплексу поліпептидів та синтезу у рибосомах

штаму *P. syringae* УКМ В-1027Т, було використано препарати, які належали до різних фармакотерапевтичних груп і мали різні механізми антимікробної дії, також різнилися концентрацією (табл. 2) (<https://likicontrol.com.ua/>).

Результати аналізу *in vitro* показали, що досліджувані штами *P. syringae* мали різні стійкості до різ-

них антибіотиків (табл. 3).

Всі свіжоізольовані штами патогенів соризу *P. syringae* виявилися стійкими до дії цефазоліну, так само як і колекційні штами 8300, 8299, 8301 та УКМ В-1027Т. Цефазолін є напівсинтетичним антибіотиком групи цефалоспоринові I покоління. Механізм його антимікробної дії пов'язаний з

3. Чутливість штамів збудників хвороб соризу *P. syringae* до антимікробних препаратів

Штам	Антимікробний препарат, мкг/диск								
	цефазолін	цефотаксим	цефтазидим	хлорамфені- кол	еритроміцин	пеніцилін	стрептоміцин	тетрациклін	тобраміцин
	30	30	30	30	15	10	300	30	10
	Діаметр зони інгібування росту, мм								
211141	–	–	–	30±0,5	15±0,3	–	40±0,3	30±0	25±0,4
211141a	–	–	–	35±0,2	15±0,4	15±0,2	45±0,2	30±0,2	25±0,3
21034	–	15±0,2	–	35±0,2	20±0,2	15±0,3	45±0,1	32±0,1	30±0,1
210341	–	25±0,1	–	35±0,3	18±0,3	30±0,2	40±0,1	30±0,2	15±0,4
210342	–	–	–	30±0,1	14±0,5	–	40±0,3	25±0,1	20±0,2
210541a	–	25±0,2	15±	45±0,1	30±0,3	–	45±0,2	40±0,1	40±0,2
210541в	–	15±0,3	–	30±0,3	20±0,2	30±0,1	40±0	35±0,2	15±0,3
8300	–	–	–	30±0,4	12±0,4	12±0,3	40±0,1	30±0,3	25±0,2
8299	–	–	–	30±0	18±0,3	10±0,4	35±0,3	30±0	20±0,2
8301	–	–	–	25±0,2	10±0,3	–	35±0,2	30±0,2	18±0,3
УКМ В-1027Т	–	–	–	35±0,3	18±0,2	–	30±0,3	30±0,2	18±0,4
21052	–	–	–	40±0,2	40±0,1	40±0,2	40±0,2	40±0,3	40±0,2
210521	–	–	–	40±0,2	40±0,2	40±0,3	40±0,1	40±0,1	40±0,2
21054	–	–	–	–	–	–	15±0,4	15±0,4	–

пригніченням ферменту транспептидази, блокадою біосинтезу мукопептиду у клітинній стінці бактерії. Препарат має широкий спектр бактерицидної дії і є високоактивним щодо більшості грамнегативних мікроорганізмів, однак клінічні *Pseudomonas* *sp.* резистентні до нього.

Серед досліджених нами штамів патогенів соризу *P. syringae* половина була середньо і слабочутливі до дії цефотаксиму, тоді як інша половина штамів, а також всі колекційні штами *P. syringae* виявилися резистентними до дії цього антибіотика. Цефотаксим – напівсинтетичний цефалоспорино-

вий антибіотик III покоління, також має широкий спектр бактерицидної дії, однак наприклад *Pseudomonas aeruginosa* непостійно чутлива до препарату.

Попри те, що інший бактерицидний цефалоспориновий антибіотик III покоління – цефтазидим і виявляє активну антимікробну дію щодо клінічних ізолятів *P. aeruginosa* та інших *Pseudomonas* *sp.*, однак більшість досліджених нами штамів *P. syringae* були резистентними до нього, і лише один штам (210541a) виявив слабку чутливість.

Загалом бета-лактамі цефа-

лоспоринові антибіотики виявилися в цілому найменш дієвими щодо свіжоізолюваних штамів патогенів соризу *P. syringae* та колекційних штамів патогенів соргових. Це корелює з дослідженням (Vasebia Y. et al., 2019), в якому штам *P. syringae*, ізолюваний з плодів дерев, також виявився резистентним до дії цефтриаксону (30 мкг/диск), цефалоспоринового антибіотику III покоління. Понад 80 % штамів *P. aeruginosa* виявляли резистентність до цефалоспоринів III-IV поколінь (Буркот В.М., 2021).

У нашому дослідженні хлорамфенікол виявив сильну антимікробну дію щодо всіх свіжовиділених штамів патогенів соризу *P. syringae*, а також щодо всіх колекційних штамів *P. syringae*. Протимікробний препарат для системного застосування хлорамфенікол має у звичайних дозах бактеріостатичну дію, інгібуючи пептидилтрансферазу та порушуючи синтез білків у бактеріальних клітинах. Це антибіотик широкого спектра дії, який ефективний щодо багатьох грамнегативних і грампозитивних бактерій. Однак зазначається, що препарат неактивний до клінічних штамів *P. aeruginosa*. Високу антибіотичну активність продемонстрував хлорамфенікол у концентрації 30 мкг/диск до *P. syringae* pv. *lachrymans* з діаметром зони інгібування $32,0 \pm 0,5$ мм (Hossain M.F. et al., 2017).

Щодо штамів патогенів соризу та колекційних штамів *P. syringae* найсильнішу дію серед досліджених антибіотиків спричиняв стрептоміцин, можливо через найвищу концентрацію діючої речовини – 300 мкг/диск. Антибіотик групи аміноглікозидів стрептоміцин проявляє бактерицидну дію внаслідок зв'язування з 30S-субодиницею бактері-

альної рибосоми, що в подальшому призводить до пригнічення синтезу білка. Стрептоміцин має широкий спектр антимікробної дії, однак щодо *P. aeruginosa* неактивний. Стрептоміцин широко використовується для боротьби з хворобами рослин з 1950-х років і вважається найефективнішою сучасною хімічною обробкою для захисту плодів дерев від збудника бактеріального опіку плодів *Erwinia amylovora* (Aćimović S.G. et al., 2015) та *P. syringae* pv. *actinidiae* (Serizawa S. et al., 1989, Han H.S. et al., 2003). Однак, тривале застосування стрептоміцину призвело до появи резистентності до нього серед патогенів рослин, в т.ч. *P. syringae* pv. *actinidiae* (Nakajima M. et al., 1995). Разом із тим, і за нижчої концентрації – 10 мкг/диск – стрептоміцин виявляв антимікробну дію щодо штамів *P. syringae*, виділених із плодів дерев (Vasebia Y. et al., 2019). Щодо *P. syringae* pv. *lachrymans* стрептоміцин у концентрації 10 мкг/диск показав середню антибіотичну активність з діаметром зони інгібування $20,0 \pm 0,5$ мм (Hossain M.F. et al., 2017). Встановлено (Moragrega C. et al., 1998), що мінімальною інгібуючою концентрацією для стрептоміцину до 7 штамів *P. syringae* pv. *syringae* є 1-2 г/мл.

Тобраміцин у дозі 10 мкг/диск проявляв антибіотичну дію до всіх штамів *P. syringae*, ізолюваних із соризу, крім штаму 21054, а також до всіх колекційних штамів *P. syringae*. Тобраміцин – природний швидкодіючий бактерицидний антибіотик групи аміноглікозидів III покоління. Вироблення препарату передбачає використання продуктів життєдіяльності *Streptomyces tenebrarius*. Його головна дія спрямована на бактеріальні клітини, пригнічуючи комплекс полі-

пептидів та синтез у рибосомах. До нього чутливі аеробні грампозитивні і грамнегативні мікроорганізми, у тому числі *P. aeruginosa*.

Тетрациклін виявив високу антибіотичну дію щодо всіх свіжоізолюваних із соризу штамів *P. syringae*, а також всіх колекційних культур *P. syringae*. Бактеріостатичний антибіотик тетрациклін пригнічує синтез білка шляхом блокування зв'язування аміноацил-транспортної РНК (тРНК) з комплексом «інформаційна РНК (іРНК)-рибосома». Це препарат широкого спектра дії щодо грампозитивних і грамнегативних бактерій. Разом з тим клінічні штами *P. aeruginosa* стійкі до дії препарату. Про ефективність тетрацикліну щодо патогенів плодових дерев *P. syringae* повідомляли також інші дослідники (Vasebia Y. et al., 2019), та окситетрацикліну щодо *E. amylovora* (Aćimović S.G. et al., 2015). З іншого боку, тетрациклін продемонстрував найнижчий діаметр зони інгібування $10,0 \pm 0,5$ мм при концентрації 30 мкг/диск до *P. syringae* pv. *lachrymans* (Hossain M.F. et al., 2017).

Штами патогенів соризу та колекційні штами *P. syringae* показали різну чутливість до дії еритроміцину у дозі 15 мкг/диск – від слабкої до середньої і високої. Еритроміцин – макролідний антибіотик бактеріостатичної дії. У великих концентраціях і відносно до високочутливих мікроорганізмів може мати бактерицидний ефект. Проникає крізь клітинну мембрану бактерій і зворотно зв'язується з субодиницею 50S бактеріальних рибосом; гальмує транслокацію пептидів з акцепторної ділянки рибосоми до донорської, перешкоджаючи подальшому синтезу білка. До дії еритроміцину стійкі штами *Pantoea*

agglomerans (Булигіна Т.В. і ін. 2016) та *P. aeruginosa*. Разом з тим, є повідомлення про резистентність штамів *P. syringae*, ізолюваних із плодових дерев, до еритроміцину (Vasebia Y. et al., 2019). В той же час щодо *P. syringae* pv. *lachrymans* еритроміцин у концентрації 10 мкг/диск продемонстрував найвищу антибіотичну активність з діаметром зони інгібування $40,0 \pm 0,5$ мм (Hossain M.F. et al., 2017).

Пеніцилін у концентрації 10 мкг/диск виявив високу активність щодо двох штамів патогенів соризу *P. syringae* і контрольного штаму 8299, а також слабку щодо чотирьох штамів *P. syringae*. Інші 3 штами *P. syringae* і колекційний штам 8300 були резистентними до дії пеніциліну. Бета-лактамний антибіотик пеніцилін чинить бактерицидну дію на чутливі мікроорганізми шляхом пригнічення біосинтезу клітинної стінки за рахунок блокади пеніцилінзв'язуючих білків. Ентеробактерії та *P. aeruginosa* вважаються природно стійкими видами до пеніциліну. Щодо *P. syringae* pv. *lachrymans* пеніцилін у концентрації 10 мкг/диск показав слабу антибіотичну активність з діаметром зони інгібування $15,0 \pm 0,5$ мм (Hossain M.F. et al., 2017).

З трьох ізолятів із соризу, ідентифікованих як *Pseudomonas* sp., два виявилися подібними між собою за високою чутливістю до більшості досліджуваних антибіотичних препаратів і резистентністю до бета-лактамних цефалоспоринових антибіотиків. Один ізолят 21054, навпаки, виявився резистентним до дії більшості антибіотиків і був помірно чутливим до стрептоміцину і тетрацикліну.

Загалом, досліджені штами розподілилися у 5 груп за резистентністю

4. Групи резистентності досліджених штамів *P. syringae* та *Pseudomonas sp.*

№ групи	Резистентність до антибіотиків	Штами	Кількість штамів, %
1	Цефазолін, цефотаксим, цефтазидим	211141a, 8300, 8299, 210521*, 21052*	36
2	Цефазолін, цефотаксим, цефтазидим, пеніцилін	211141, 8301, 210342, УКМ В-1027Т	29
3	Цефазолін, цефтазидим	21034, 210341, 210541в	21
4	Цефазолін, пеніцилін	210541a	7
5	Цефазолін, цефотаксим, цефтазидим, хлорамфенікол, еритроміцин, пеніцилін, тобраміцин,	21054*	7

Примітка: * – штами, які нами ідентифіковано як *Pseudomonas sp.*

до антимікробних речовин (табл. 4).

До найчисельнішої групи увійшли як свіжовиділені, так і колекційні штами, які були резистентні до цефалоспоринових антибіотиків. Друга за чисельністю група включала свіжовиділені і колекційні штами, а також типовий штам *P. syringae* УКМ В-1027Т, у яких до резистентності щодо цефалоспоринових антибіотиків додалася резистентність до пеніциліну. Інші групи резистентності були нечисленними, але одна з них включала штам *Pseudomonas sp.* 21054, який показав широкий спектр резистентності до досліджених антимікробних речовин.

Висновки і перспективи.

Досліджені штами за резистентністю до антимікробних речовин розподілені у 5 груп. Свіжоізолюва-

ні штами, ізолювані з соризу, показали спектр антибіотикочутливості, подібний до колекційних штамів *P. syringae*. Бета-лактамні цефалоспоринові антибіотики I і III покоління виявилися в цілому найменш дієвими як щодо свіжоізолюваних штамів патогенів соризу *P. syringae*, так і до колекційних штамів патогенів соргових. Найбільшу чутливість досліджуваних штамів *P. syringae* виявили до стрептоміцину, тетрацикліну і хлорамфеніколу. Оскільки збудники хвороб соризу були найбільш чутливими до стрептоміцину, одним із потенційних джерел пошуку активних антагоністів щодо цих патогенів є ґрунтові стрептоміцети.

References

1. Mann, A., Nehra, K., Rana, J. S., Dahiya, T. (2021). Antibiotic resistance in agricul-

- ture: Perspectives on upcoming strategies to overcome upsurge in resistance. Current research in microbial sciences. 2. 100030. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2021.100030>.
2. Iwu, C. D., Korsten, L., Okoh, A. I. (2020). The incidence of antibiotic resistance within and beyond the agricultural ecosystem: A concern for public health. MicrobiologyOpen. 9(9), e1035. <https://doi.org/10.1002/mbo3.1035>.
3. World Health Organization (WHO) (2017). Antimicrobial resistance in the food chain. [WWW Document]. WHO. Retrieved from https://www.who.int/foodsafety/areas_work/antimicrobial-resistance/amrfood-chain/en/.
4. Wang, F.-H., Qiao, M., Chen, Z., Su, J.-Q., Zhu, Y.-G. (2015) Antibiotic resistance genes in manure-amended soil and vegetables at harvest. Journal of Hazardous Materials. 299, 215–221. [10.1016/j.jhazmat.2015.05.028](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.05.028).
5. Buletsa, N.M., Butsenko, L.M., Pasichnyk, L.A., Patyka, V.P. (2015). The sensitivity of phytopathogenic bacteria to streptomycin under the action of pesticides. Journal of microbiology. 77(6); 62–69.
6. Buletsa, N.M., Butsenko, L.M., Pasichnyk, L.A., Patyka, V.P. (2015). The influence of pesticides on the antibiotic sensitivity of phytopathogenic bacteria. 5th All-Ukrainian congress of ecologists with international participation. September 23-26, 2015. Vinnytsia: Collection of Sciences. works - Vinnytsia, 130.
7. Sundin, G. W., Wang, N. (2018) Antibiotic Resistance in Plant-Pathogenic Bacteria. Annual review of phytopathology. 56, 161–180. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080417-045946>.
8. Methodical recommendations for determining the sensitivity of microorganisms to antimicrobial drugs (2021): Methodical recommendations /T.O. Harkavenko, O.I. Horbatiuk, T.G. Kozyt'ska, V.O. Andriyashchuk, V.M. Harkavenko, S.M. Dybkova, I.V. Azyrkina - K: DNDILDVSE,. 101 p. <http://vetlabresearch.gov.ua/derzhavnizakupivli/docs/%D0%90%D0%BD%D1%82%D0%B8%D0%B1%D1%96%D0%BE%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%B7%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%BD%D1%96%D1%81%D1%82%D1%8C.pdf>
9. Офіційний сайт Ліки Контроль. <https://likicontrol.com.ua/%D1%96%D0%BD%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F/?%5b34408>
10. Vasebia, Y., Khakvara, R., Faghiih, M.M., Vinatzer, B.A. (2019). Genomic and pathogenic properties of Pseudomonas syringae pv. syringae strains isolated from apricot in East Azerbaijan province, Iran. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. Volume 19, May, 101167 <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101167>.
11. Burkot, V.M. (2021). Characterization of the influence of environmental factors on the biological activity of gram-negative non-fermenting bacteria. Dissertation for obtaining the degree of Doctor of Philosophy. Vinnytsia National Medical University named after M. I. Pirogov, Ministry of Health of Ukraine, Vinnytsia. 149.
12. Hossain, M.F., Hasan, S.M.Z., Zaoti, Z.F., Hasan, M.F., Acharjee, U.K., Islam, M.A., Khalekuzzaman, M., Sikdar, B. (2017). Isolation and characterization of Pseudomonas syringae pv. lachrymans from angular leaf spot disease of cucumber (Cucumis sativus L.) and evaluation of its antibiotic sensitivity. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 6(6): 233–238.
13. Ćimović, S.G., Zeng, Q., McGhee, G.C., Sundin, G.W., Wise, J.C. (2015). Control of fire blight (Erwinia amylovora) on apple trees with trunk-injected plant resistance inducers and antibiotics and assessment of induction of pathogenesis-related protein genes. Front. Plant Sci., 10 February <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00016>.

14. Serizawa, S., Ichikawa, T., Takikawa, Y., Tsuyumu, S., Goto, M. (1989). Occurrence of bacterial canker of kiwifruit in Japan: description of symptoms, isolation of the pathogen and screening of bactericides. *Annals of the Phytopathological Society of Japan*. 55, 427–36.
15. Han, H.S., Nam, H.Y., Koh, Y.J., Hur, J.-S., Jung, J.S. (2003). Molecular bases of high-level streptomycin resistance in *Pseudomonas marginalis* and *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*. *Journal of Microbiology*. 41, 16–21.
16. Nakajima, M., Yamashita, S., Takikawa, Y., Tsuyumu, S., Hibi, T., Goto, M. (1995). Similarity of streptomycin resistance gene(s) in *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* with *strA* and *strB* of plasmid RSF1010. *Annals of the Phytopathological Society of Japan* 61, 489–92.
17. Moragrega, C., Manceau, C., Montesinos, E. (1998). Evaluation of drench treatments with phosphonate derivatives against *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* on pear under controlled environment conditions. *European Journal of Plant Pathology*. 104: 171–180
18. Bulygina, T. V., Varbanets, L. D., Pasichnyk, L. A., Zhitkevich, N. V. (2016). Antimicrobial resistance of *Pantoea agglomerans* bacteria. *Microbiology and biotechnology*. No. 1. 68–75. http://nbuv.gov.ua/UJRN/MiB_2016_1_9.

Reshetnikov M., Moroz S., Pasichnyk L., Butsenko L. (2023).

SENSITIVITY OF SORGHUM BACTERIOSIS TO ANTIBIOTICS

BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 14(1-2): 112-122.

<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/42704>

[http://dx.doi.org/10.31548/biologiya14\(1-2\).2023.003](http://dx.doi.org/10.31548/biologiya14(1-2).2023.003)

Abstract. *The significant spread of antibiotic resistance, which is a global human problem, is largely due to the excessive use of antibiotics in agricultural practices. The increase in the number of antibiotics in crop production, which is associated with both direct use for the control of phytopathogens and the arrival together with livestock wastes used as fertilizers, leads to an increase in resistance to antimicrobial drugs among plant-associated microorganisms. At the same time, in Ukraine there are practically no data on the detection of antibiotic-resistant strains in crop production and its products, and control over the circulation of bacteria with acquired resistance in this area. The purpose of the study is to determine the sensitivity of strains of bacterial pathogens of sorghum *P. syringae* to antimicrobial drugs with different mechanisms of action.*

*Determination of antibiotic sensitivity was carried out by the disk diffusion method among strains of *Pseudomonas syringae* isolated from sorghum and strains of phytopathogenic bacteria from the collection of the department of phytopathogenic bacteria of the Institute of Microbiology and Virology named after D.K. Zabolotny NASU. It was established that the studied strains were divided into 5 groups according to resistance to antimicrobial substances. The most common is resistance to cephalosporin antibiotics. Freshly isolated strains isolated from sorghum showed a spectrum of antibiotic sensitivity similar to the collection strains of *P. syringae*. The studied strains of *P. syringae* were most sensitive to streptomycin, tetracycline, and chloramphenicol. One of the potential sources for the search for active antagonists against these pathogens is soil streptomycetes.*

Key words: *bacterial diseases, sorghum, phytopathogenic bacteria, resistance to antibiotics*