



УДК 504+631.4+631.5

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.6.2023.8>

## ВПЛИВ ЙОНІВ СВИНЦЮ (Pb) НА ПОСІВНІ ЯКОСТІ НАСІННЯ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ СОРТУ «ЮВІЛЕЙНА»

І. П. Онищук<sup>1</sup>, І. В. Хом'як<sup>2</sup>, О. Ю. Кичкирук<sup>3</sup>, Є. О. Зайко<sup>4</sup>

Метою дослідження є встановлення впливу забруднення ґрунту йонами  $Pb^{2+}$  на посівні якості насіння озимої пшениці сорту «Ювілейна». Відповідно до мети були вирішені такі завдання: отримано ґрунтові витяжки та розчини відповідно до прогнозованого рівня забруднення та нормативів гранично допустимих концентрацій; у результаті експерименту встановлено вплив різних концентрацій  $Pb^{2+}$  на схожість насіння пшениці; змодельовано вплив міліарного забруднення ґрунту солями свинцю на культивування досліджуваного сорту пшениці. Під час експерименту ми врахували рівень забруднення ґрунту в місцях вибуху боєприпасів (територія міста Малин) та визначені нормативними документами ГДК йонів свинцю. Встановлено, що у досліджуваних концентраціях йонів  $Pb^{2+}$  не спостерігається критичного токсичного впливу на процеси проростання насіння пшениці сорту «Ювілейна». Насіння цього сорту пшениці реагує на збільшення концентрації  $Pb^{2+}$  типовими змінами, що стосуються тільки окремих показників посівної якості насіння. Динаміка зміни довжини первинного кореня описується математичною моделлю, що наближена до кривої Гауса та відповідає закону оптимуму. Екологічний оптимум на стадії початку проростання насіння спостерігається при концентрації йонів  $Pb^{2+}$  7,2 мг/л. В зоні оптимуму середня довжина первинного кореня досягає 6,1 мм, мінімальна – 3,1 мм, а макси-

<sup>1</sup> кандидат біологічних наук, доцент,  
доцент кафедри екології та географії  
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)  
e-mail: irinashpin@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-2847-8570

<sup>2</sup> кандидат біологічних наук, доцент,  
доцент кафедри екології та географії  
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)  
e-mail: khomyakivan@gmail.com  
ORCID: 0000-0003-0080-0019

<sup>3</sup> кандидат хімічних наук, доцент,  
доцент кафедри хімії  
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)  
e-mail: ranova\_o\_yu@ukr.net  
ORCID: 0000-0002-0558-1647

<sup>4</sup> учень наукового ліцею  
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)  
e-mail: egorzaiko7@gmail.com  
ORCID: 0009-0003-5049-7027

мальна – 10 мм. Динаміка довжини первинного паростка не демонструє алогічної залежності. Загальноприйняті ГДК не відповідають правому песимуму для насіння та перших молодих паростків озимої пшениці. Це можна пояснити тим, що визначені законодавством гранично допустимі концентрації були розраховані з точки зору безпеки для здоров'я споживача і не враховують вплив на організми речовин, які містяться в продуктах харчування. Отримані результати є початком широкого спектру подальших досліджень щодо впливу вищих концентрацій іонів  $Pb^{2+}$  на інші фізіологічні процеси рослинних організмів, інтенсивність росту і розвитку різних сільськогосподарських культур на різних етапах їхнього онтогенезу.

**Ключові слова:** продовольча безпека, мілітарне забруднення ґрунту, важкі метали.

## THE EFFECT OF LEAD (II) IONS ON THE SOWING QUALITIES OF WINTER WHEAT SEEDS OF THE “YUVILEYNA” VARIETY

I. P. Onishchuk, I. V. Khomiak, O. Yu. Kychkyruk, E. O. Zaiko

The purpose of the study is to determine the effect of soil contamination with  $Pb^{2+}$  ions on the sowing quality of winter wheat seeds of the “Yuvileyna” variety. Following the goal, the following tasks were solved: soil extracts and solutions were obtained in accordance with the predicted level of pollution and standards of maximum permissible concentrations; as a result of the experiment, the influence of different concentrations of  $Pb^{2+}$  on the germination of wheat seeds was established; the influence of military contamination of the soil with lead salts on the cultivation of the investigated wheat variety was simulated. During the experiment, the level of soil contamination at the place of rupture of the explosive devices (Malyn village) determined by the regulatory documents of the MPC was taken into account. It was established that the studied concentrations of  $Pb^{2+}$  ions do not have a critical toxic effect on the processes of germination of wheat seeds of the “Yuvileyna” variety. The seeds of this wheat variety respond to an increase in the concentration of  $Pb^{2+}$  with typical changes affecting only certain physiological functions that accompany its germination. The dynamics of the change in the length of the primary root is described by a mathematical model that is close to the Gaussian curve and corresponds to the law of the optimum. The ecological optimum at the stage of the beginning of seed germination is observed at a concentration of  $Pb^{2+}$  ions of 7.2 mg/l. In the optimum zone, the average length of the primary root reaches 6.1 mm, the minimum is 3.1 mm, and the maximum is 10 mm. The dynamics of the length of the primary sprout does not show any logical pattern. Generally accepted MPCs do not correspond to the right pessimum for seeds and the first young sprouts of winter wheat. This can be explained by the fact that the maximum permissible concentrations determined by the legislation were calculated from the point of view of safety for the health of the consumer and do not take into account the impact on organisms of substances contained in food products. The obtained results are the beginning of a wide range of further research on the effect of higher concentrations of  $Pb^{2+}$  ions on the physiological processes of plant organisms, and the intensity of growth and development of various agricultural crops at different stages of their ontogenesis.

**Key words:** food security, military soil pollution, heavy metals.

### Вступ

Людство протягом своєї історії стикалося із багатьма проблемами, які загрожували його існуванню або погіршували якість життя. Однак, жодна із проблем не призводила до таких кардинальних змін в технологіях та суспільному житті, як загроза дефіциту харчових ресурсів (Хом'як, 2023). Кожного разу, коли людство опинялося перед тривалою загрозою голоду, відбувався перехід на новий технологічний рівень існування. Так, після катастрофи, пов'язаної із виверженням вулкану Тоба (близько 70 тисяч років до нашої ери), відбулася зміна клімату, людство опинилося на межі вимирання і на нашій планеті залишилося

близько двох тисяч людей. Це підштовхнуло тодішніх *Homo sapiens* до ряду новацій, пов'язаних із пошуком їжі: міграцією за межі Африки, зміною способів полювання та мисливських і рибальських знарядь, зміною та розширенням раціону, тощо. Змінився і суспільний устрій, що спричинив утворення кроманьйонських культур у Європі, які після завершення вюрмського зледеніння (близько 11,7 тисяч років тому), поставило їх перед загрозою голоду.

У восьмому тисячолітті до нашої ери на території Передньої Азії виникло землеробство, однак поствюрмські похолодання та нераціональна поведінка перших землеробів призупинила цю цивілізаційну тенденцію

на два тисячоліття. Але вона знову вибухнула практично по всьому світу в шостому тисячолітті до нашої ери. Таке відбувалося всю подальшу історію цивілізації: людство стикалося із викликами, пов'язаними із дефіцитом харчових ресурсів і справлялося із ними виходячи на новий технологічний рівень.

Причинами, що породжували загрозу голоду були і поступові або різкі катастрофічні зміни клімату, і зниження кількості харчових ресурсів, і зростання чисельності населення та гіперексплуатація природних ресурсів протягом усієї історії людства. Згодом, така поведінка людських спільнот призвела до змін в навколишньому середовищі.

Поява землеробства породила нові проблеми, зокрема виснаження ґрунту. Щоб підвищити урожайність людина з кінця XIX і початку XX століття широко застосувала синтетичні мінеральні добрива та хімічні способи захисту рослин. Часто, така практика була нераціональною і в гонитві за високими урожаями людина спричиняла забруднення хімічними речовинами не лише пов'язаних із сільськогосподарськими угіддями екосистем, а й самі агроекосистеми. Це призводило до зниження якості сільськогосподарської продукції та її безпечності під час вживання. Разом із тим, спостерігалось активне використання великої кількості синтетичних хімічних речовин чи переміщення та концентрація речовин природного походження.

У наш час викликами для продовольчої безпеки є стрімке зростання чисельності населення, збідніння населення Глобального Півдня, глобальні зміни клімату, ерозія та забруднення ґрунтів, військові конфлікти тощо. Торгівля продуктами харчування, інвестиції в сільське господарство, розподіл продуктів серед бідних країн і навіть військові операції щодо цього стали важливою частиною світової політики. Наприклад, Російська Федерація в своїй агресії проти України планувала крім усього іншого отримати монополію на торгівлю збіжжям із країнами Глобального Півдня. Це мало б значно посилити її позиції в Світі та збільшити шанси на успіх в її імперському поході проти демократичного Заходу. За даними компанії Global Rights Compliance (GRC) із цією метою оборонний підрядник міністерства оборони Російської Федерації вже в грудні 2021 року зафрахтував велике число суховантажів для вивезення захопле-

ного українського зерна (The Independent..., 2023).

Крім загроз продовольчій безпеці людства, пов'язаних із руйнування аграрної інфраструктури України та перешкоджанням в транспортуванні збіжжя, війна несе і прямі екологічні загрози. Вони обумовлені забрудненням ґрунтів різноманітними речовинами в результаті бойових дій. В публічній площині ми чуємо багато розмов про загрози такого явища продовольчій безпеці. Проте, незважаючи на активні дослідження цієї проблеми українськими науковцями, в ній залишається занадто багато «білих плям».

Збереження родючості ґрунтового покриву та безпечності вирощуваної для споживачів аграрної продукції – одна із найбільш актуальних проблем сучасного людства. Оскільки саме у ґрунтах зберігаються усі необхідні умови для проростання насіння культурних рослин та подальшого їхнього виживання, росту і розвитку, збереження ґрунтів є ключовим фактором продовольчої безпеки.

Одними із найпоширеніших і, водночас, найбільш забруднюючих речовин, є сполуки, що містять йони  $Pb^{2+}$  (Malacea, 2003). Зазвичай у більшості природних екосистем сполуки свинцю зустрічається в незначних кількостях в літосфері. Їх можна зустріти у вигляді гірської породи галеніту, яка є найбільш поширеним, стабільним, кінцевим продуктом радіоактивного розпаду ізотопів урану, що зустрічаються магматичних породах. Під час руйнування магматичних порід цей «природний» свинець із пилом потрапляє в атмосферу і потім, осідаючи на земну поверхню, – в ґрунтовий розчин. Це також відбувається під час виверження вулканів, коли він мігрує із димом або як дрібний силікатний пил, морські сольові аерозолі тощо. У наш час основне джерело сполук свинцю – це активна людська діяльність. Слід зазначити, що серед найбільш потужних джерел забруднення природного навколишнього середовища свинцем антропогенного походження є: хімічна промисловість (виробництво фарб, сикативів, сумішей для акумуляторів, пластмас, скла, мастил), металургійна промисловість, паливна промисловість (виготовлення спеціальних антидетонаційних присадок для автомобільних бензинів) та воєнні дії (Skalny et al., 2021). Зазвичай колообіг свинцю в природних екосистемах у напрямку до організму людини здійснюється таким шля-

хом: повітряне середовище – водне середовище – ґрунт – рослинність та гриби – продукти харчування – споживачі продуктів харчування. Усі сполуки свинцю є високотоксичними речовинами та викликають у людей і тварин дуже тяжкі симптоми отруєння. Наприклад, у людський організм сполуки свинцю потрапляють із водою, продуктами харчування рослинного походження та грибами. Можливим також залишається більш складний шлях руху  $Pb^{2+}$ . Мається на увазі їхній перехід через організми домашніх тварин, яких годують забрудненими рослинними кормами. У зв'язку із активними воєнними діями існує висока ймовірність потрапляння сполук плюмбуму у організм людини через сільськогосподарську продукцію, у виробництві якої використовувалася сировина, що вирощувалася в агроєкосистемах, порушених у результаті бойових дій. Саме тому українських дослідників зараз більш за все цікавлять питання величин переходу йонів  $Pb^{2+}$  в трофічних ланцюгах або в системі «ґрунт – продуценти (рослини) – консументи (тварини) – (споживач сільськогосподарської продукції (людина)». Ще одним актуальним предметом для дослідження є адаптаційні реакції та життєвість культурних рослин під впливом різних рівнів забруднення йонами  $Pb^{2+}$ .

#### Мета статті

Метою дослідження є встановлення впливу забруднення ґрунту йонами свинцю (II) на посівні якості насіння пшениці сорту «Ювілейна».

Відповідно до мети поставлено такі завдання:

1. Приготувати ґрунтові витяжки та розчини відповідно до прогнозованого рівня забруднення та нормативів гранично допустимих концентрацій йонів плюмбуму.

2. У результаті експерименту визначити вплив різних концентрацій йонів  $Pb^{2+}$  на посівні якості насіння пшениці.

3. Змодельовати вплив міліарного забруднення ґрунту на культивування пшениці сорту «Ювілейна».

#### Матеріал та методи

Для проведення дослідження обрано найбільш поширених на території Полісся та Лісостепу сорт м'якої озимої пшениці «Ювілейна» (МІП Ювілейна або МІР Yuvileina). Експеримент здійснювався із насінням покоління F2. Сорт «МІП Ювілейна» – це український сорт, зареєстрований 2019 році. Він рекомендований для масового вирощування на території

Лісостепу, але є досить популярним у аграріїв деяких регіонів, зокрема, Центрального Полісся. Вегетаційний період культури триває 259–266 діб. Рослина виростає до 82,4–94,2 см. Рослина має відносно високий вміст білку (від 13,5 до 14,1%), високу стійкість до вилягання (до 8 балів), до обсіпання (до 9 балів), до посухи (до 8 балів), до борошнистої роси (до 9 балів), до бурі іржі (до 9 балів), до фузаріозу колосся (до 9 балів), до мухи шведської (до 9 балів) та до клопа черепашки (до 9 балів) (Пшениця ..., 2023).

У ході проведеного дослідження була відібрана змішана проба ґрунту, згідно стандартних методик в місці розриву вибухових пристроїв (м. Малин). Для визначення концентрації зазначених йонів в ґрунті згідно методики (Набиванець та ін., 1996) готували водну витяжку: з подрібненого і просіяного крізь сито ґрунту на технічних терезах брали наважку ґрунту, додавали прокип'ячену дистильовану воду і струшували впродовж 5 хв. Після цього фільтрували крізь великий паперовий фільтр, вставлений у лійку. Оскільки перший фільтрат виявився мутним, фільтрування повторювали двічі.

Вміст катіонів у водній витяжці (мг/л) визначали атомно-абсорбційним методом з використанням полум'яного атомно-абсорбційного спектрофотометра С115-М виробництва Selmi (Україна). В спектрофотометрі атомізацію проводили полум'яним способом з використанням суміші ацетилен – повітря. Довжини хвиль вимірів становили – 283,3 нм, а ширина щілини дорівнювала 0,5 см.

Концентрацію у розчині визначали методом калібрувального графіку (рис. 1). Для побудови калібрувальних графіків атомно-абсорбційного визначення вмісту йонів  $Pb^{2+}$  використовували стандартні розчини з концентраціями йонів металів 0,9; 4,5; 9,0 та 5,0; 10,0; 20,0 мг/л відповідно.

Робочі розчини нітратів Pb (II) готували з наборів «Стандартних розчинів» цих солей у 1 М  $HNO_3$  (виробництва ФХІ ім. А. В. Богатського в Одесі) з концентраціями 1 та 10 мг/мл (Yanovska et al, 2007). Розчини катіонів металів для ростового тесту готували відповідним розведенням робочих розчинів.

Визначення схожості насіння пшениці проводилося в лабораторних умовах, шляхом виконання ростового тесту. В спеціальні лотки, на кілька шарів фільтрувального паперу (в якості субстрату) викладали по 100 насінин пшениці, які потім зволо-

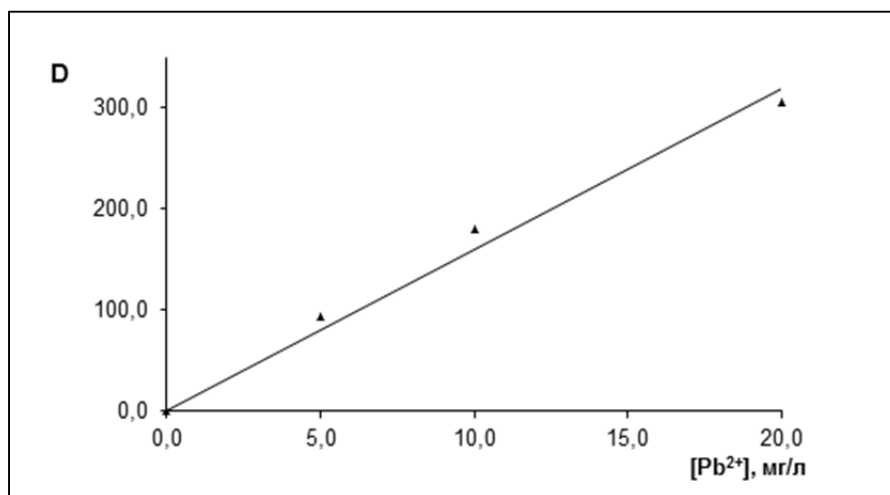


Рис. 1. Калібрувальний графік атомно-абсорбційного визначення катіонів  $Pb^{2+}$

жували та провітрювали кожних 4 години. В якості контрольних зразків використовували лотки, зволоження насіння в яких здійснювалось кип'яченою відстояною водою, відібраною з водопровідної мережі м. Житомир. Насіння дослідних зразків викладали на фільтрувальний папір, змочений розчинами нітратів відповідних металів з нижче вказаними концентраціями.

Серія розчинів для ростового тесту була приготовлена із концентраціями катіонів  $Pb^{2+}$ , які відповідають ГДК та перевищують її в діапазоні 1,1–2 рази, вказаними в таблиці 1.

Дослід тривав 72 години. Фіксували наступні показники: час появи перших корінців; кількість насінин, які вже проросли (кожну добу); довжину надземної та підземної частин проростків та їх приріст (кожну добу); загальну кількість пророслих насінин (на час завершення експерименту); морфологічні особливості проростків (раннє пожовтіння, особливості розвитку кореневої системи та надземної частини). Для експерименту було використано 1800 насінин. Із них 600 насінин (6 лотків по 100 штук) для контрольного експерименту та по 200 насінин (2 лотки по 100 штук) для кожної обраної концентрації.

#### Результати

Було встановлено, що вміст іонів  $Pb^{2+}$  у водній витяжці відібраної проби ґрунту

становив менше 0,1 мг/г ґрунту. Отже, в місці взяття проб концентрація сполук свинцю не перевищила визначені законодавством норми гранично допустимих концентрації.

Пророщування насіння з використанням розчинів солей, що містили різні концентрації іонів  $Pb^{2+}$  дало змогу встановити реакцію організмів у їхній присутності. При цьому ми спостерігаємо, що фізіологічні реакції рослин були неоднаковими. Дослідження показали, що зміни довжини первинних коренів демонструють добре помітну закономірність, яка відповідає нормальному розподілу (рис. 2–4). Це типова картина для екологічних систем, описана як закон оптимуму. Водночас, відповідь зерна у вигляді росту первинного паростка на зміну концентрації іонів свинцю не показує такої добре вираженої залежності (рис. 5–7). Така ж ситуація спостерігається й щодо енергії проростання насіння. Це вказує на те, що сполуки із йонами  $Pb^{2+}$  у концентраціях, обраних для дослідження, не здійснюють критичного токсичного впливу на процеси проростання насіння.

Під час зростання концентрації йонів  $Pb^{2+}$  від 6 мг/л до 9 мг/л довжина первинного кореня змінюється у відповідності із математичною моделлю, яка нагадує криву Гауса. Коли величина концентрації йонів

Таблиця 1

Серії розчинів  $Pb^{2+}$  різної концентрації для ростового тесту

Йони	Концентрації розчинів, які відповідають (мг/л)					
	ГДК	1,1 ГДК	1,2 ГДК	1,3 ГДК	1,5 ГДК	2 ГДК
$Pb^{2+}$	6	6,6	7,2	7,8	9	12

свинцю перевищує ГДК, то спостерігається різке стрибкоподібне зростання довжини первинних коренів до 6,1 мм (див. рис. 2). В даному експерименті аналогічні зміни спостерігалися і щодо мінімальних довжин первинного кореня, в яких вони досягають 3,1 мм при концентрації йонів  $Pb^{2+}$  7 мг/л (див. рис. 3). Максимальні розміри первинного кореня при цій концентрації досягають 10 мм (див. рис. 4). Отже, можна при-

пустити, що малі концентрації йонів  $Pb^{2+}$  можуть відігравати функцію мікродобрива. Проте подальше зростання концентрації призводить до помітного пригнічення багатьох фізіологічних процесів, насамперед, реакцій рослин, пов'язаних із ростом. Разом із тим, можна припустити, що отримані результати пов'язані із низькою амплітудою зміни концентрації йонів  $Pb^{2+}$ . Це обумовлено тим, що загальноприйняті ГДК

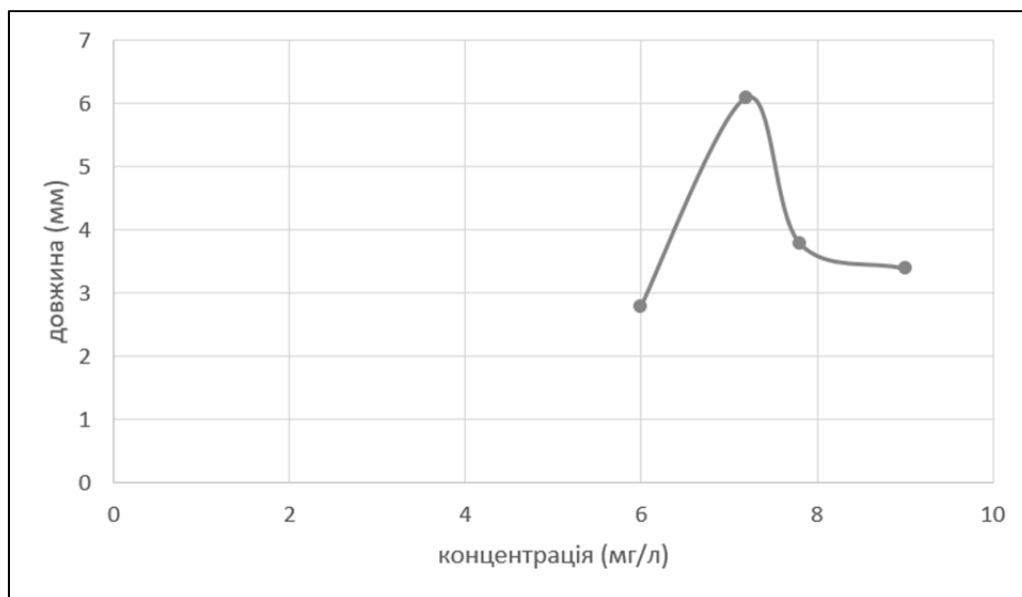


Рис. 2. Зміна середньої довжини первинного кореня із збільшенням концентрації йонів свинцю  $Pb^{2+}$

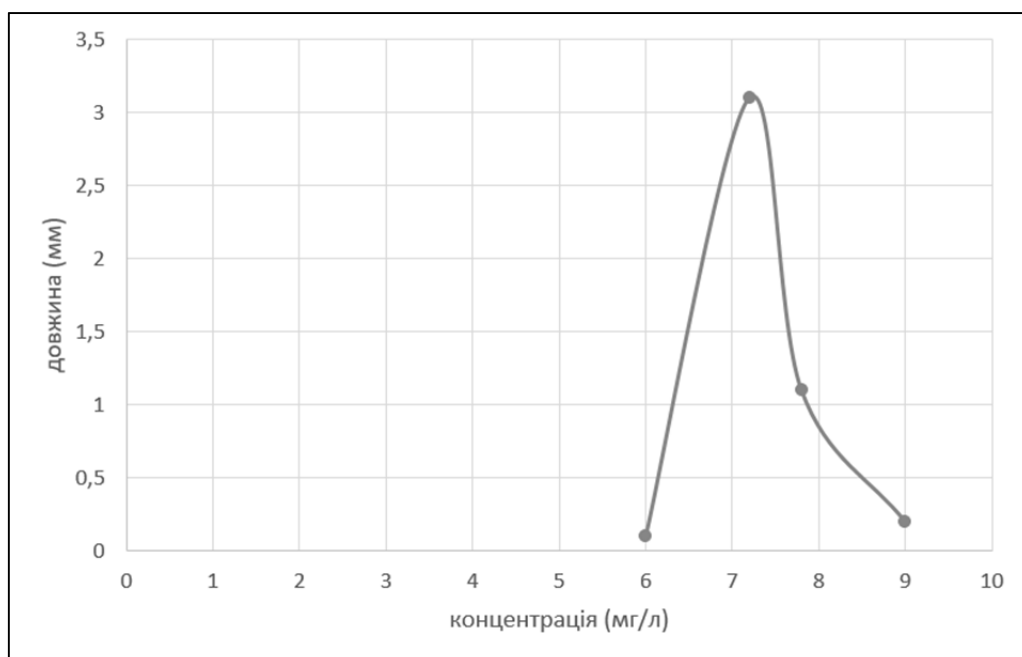


Рис. 3. Зміна мінімальної довжини первинного кореня із збільшенням концентрації йонів свинцю  $Pb^{2+}$

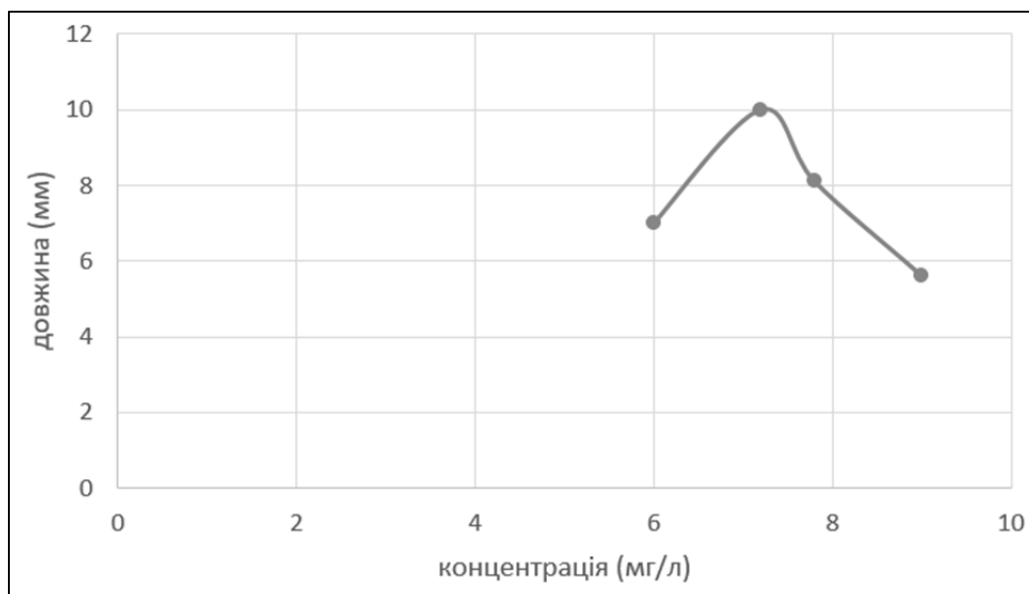


Рис. 4. Зміна максимальної довжини первинного кореня із збільшенням концентрації іонів свинцю  $Pb^{2+}$

не співпадають із правим песимумом для насіння та молодих паростків пшениці.

Щодо первинного паростка, то його довжина виходить за межі моделі нормального розподілу, який описується типовою кривою Гауса (див. рис. 5–7). У ході експерименту було зафіксовано помітне зменшення довжини паростка, середнє значення його довжини знижується до 2,1 мм. Так, при дії на насінини розчинів з концентрацією іонів  $Pb^{2+}$  7,2 мг/л його довжина стано-

вила 5,2 мм, а з концентрацією 9 мг/л – 5,5 мм (див. рис. 5). Мінімальне значення довжини первинного паростка виходить за межі моделі нормального розподілу більш м'яко. Також було відмічено помітне пікове зростання довжини паростка – від 2,2 мм при концентрації 7,2 мг/л до 0,3 мм при концентрації 7,8 мг/л (див. рис. 6). Максимальне значення довжини первинного паростка знижується до 4,8 мм за концентрації 7,8 мг/л і 9,6 мм за концентрації

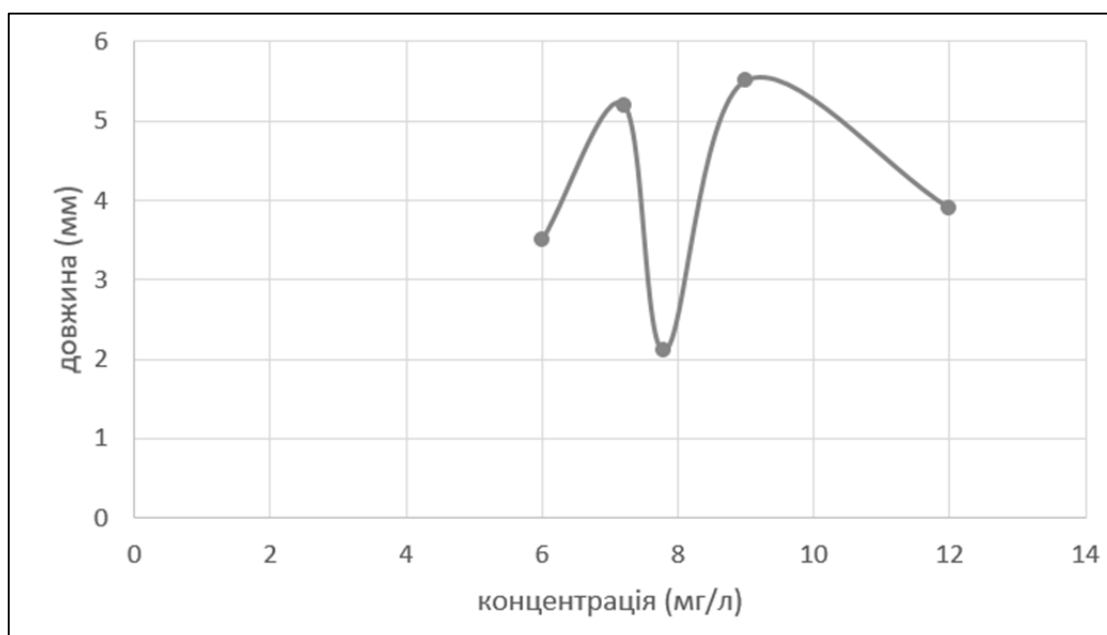


Рис. 5. Зміна максимальної довжини первинного пагона із збільшенням концентрації іонів свинцю  $Pb^{2+}$

7,2 мг/л та 9 мг/л (див. рис. 6). Можна припустити, що в поставленому експерименті з концентрацією 7,8 мг/л відбувся непрогнозований збій, що вплинув на особливості росту первинних паростків, але при цьому не вплинув на ріст первинного кореня.

#### Обговорення

Реакція насіння на різні екологічні фактори, в тому числі на концентрацію різних хімічних речовин, є добрим та зручним біо-

індикатором. Проростання насіння супроводжується великим числом ферментних та фітогормональних реакцій, розгортання яких знаходиться під впливом навколишнього середовища. Отже, процес проростання насіння буде основною для встановлення життєвості групи організмів в цілому (Хом'як і Орловська, 2009).

Можна припустити, що такі неоднозначні результати експерименту обумовлені низь-

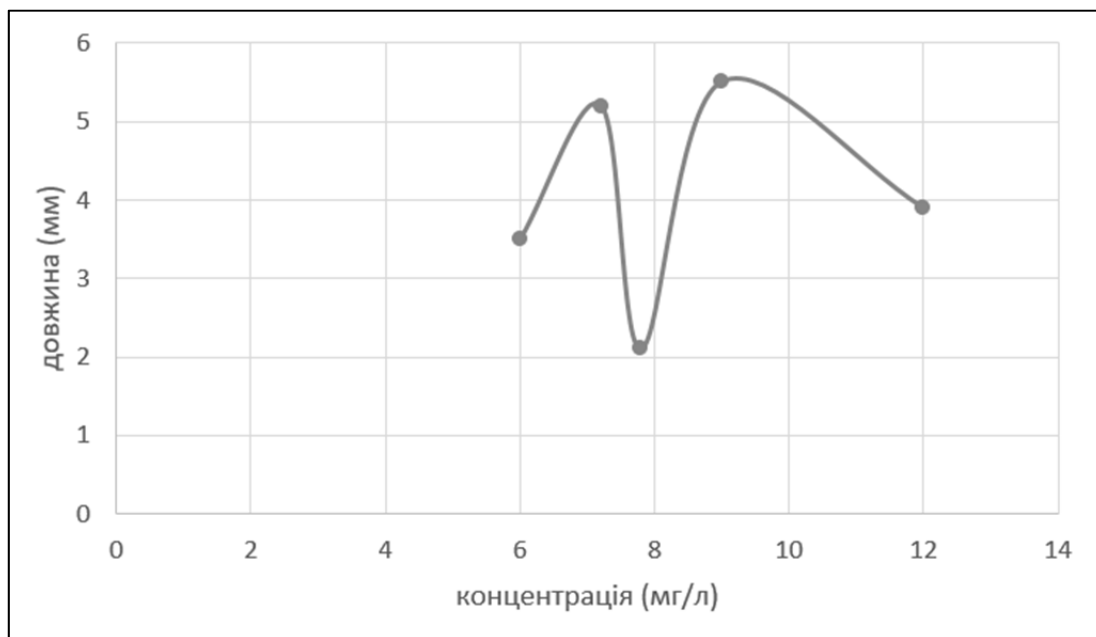


Рис. 6. Зміна максимальної довжини первинного пагона із збільшенням концентрації іонів свинцю  $Pb^{2+}$

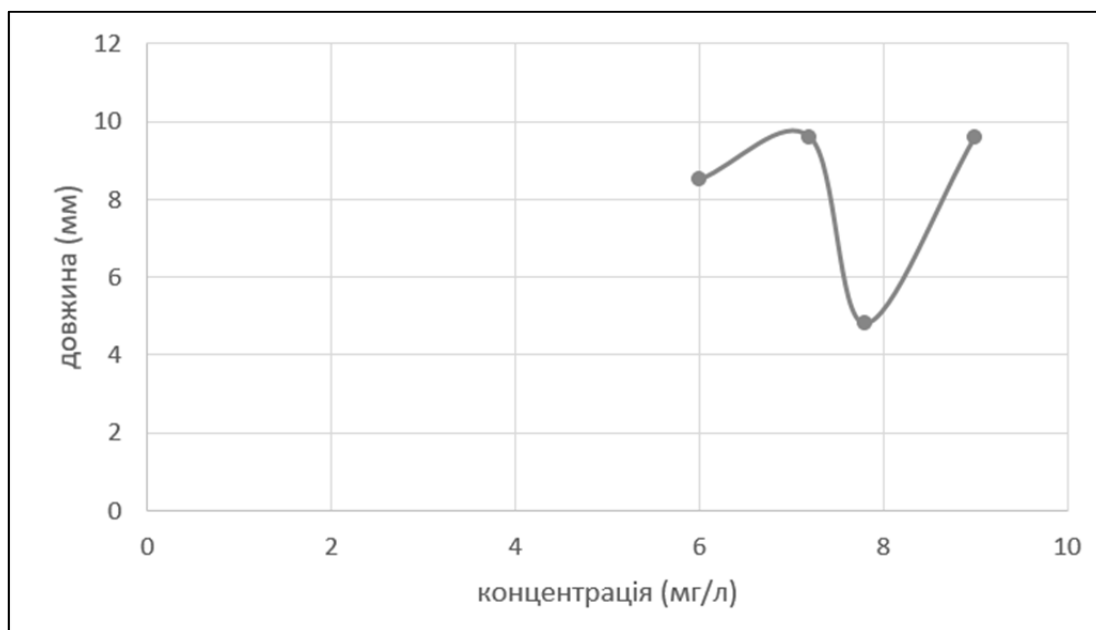


Рис. 7. Зміна максимальної довжини первинного пагона із збільшенням концентрації іонів свинцю  $Pb^{2+}$



кими концентраціями розчинів йонів  $Pb^{2+}$ . Це пояснюється тим, що загальноприйняті ГДК не співпадають із правим песимумом для насіння та молодих паростків пшениці. Значення ГДК розраховуються із позиції шкідливості для ефективності функціонування систем органів та здоров'я людини (споживача) в цілому, тоді як опосередкований вплив того чи іншого шкідливого фактора на інші живі організми, в тому числі ті, які вживаються та використовуються людиною, не враховується (Alpatova et al., 2022).

Дослідження впливу забруднення ґрунту важкими металами на посівні якості насіння мають бути продовжені із використанням як об'єктів інших культур та сортів, а також із іншими забруднюючими речовинами. Також перспективним є додавання в ґрунти чи корми тварин детергентів, які зв'язуватимуть йони важких металів. (Бурлака та ін., 2007; Давидов та ін., 2011; Бурлака та ін., 2013).

#### Висновки

Встановлено, що при дії на насіння озимої пшениці сорту «Ювілейна» розчинів із концентраціями йонів  $Pb^{2+}$  в діапазоні 6–12 мг/л не спостерігається критичного токсичного впливу на процеси проростання. Насіння цього сорту пшениці реагує на такі концентрації  $Pb^{2+}$  типовими

змінами, що стосуються тільки окремих фізіологічних функцій, які супроводжують його проростання.

Динаміка зміни довжини первинного кореня описується математичною моделлю, що наближена до кривої Гауса та відповідає закону оптимуму. Екологічний оптимум на стадії початку проростання насіння спостерігається при концентрації йонів  $Pb^{2+}$  7,2 мг/л. В зоні оптимуму середня довжина первинного кореня досягає 6,1 мм, мінімальна – 3,1 мм, а максимальна – 10 мм. Динаміка довжини первинного паростка не показує алогічної закономірності.

Загальноприйняті ГДК не відповідають правому песимуму для насіння та молодих перших паростків озимої пшениці сорту «Ювілейна». Це можна пояснити тим, що визначені законодавством гранично допустимі концентрації розраховано з точки зору безпеки для здоров'я споживача і не враховують вплив на організми їжі, яку споживають.

Отримані результати вказують на необхідність широкого спектру подальших досліджень впливу вищих концентрацій йонів  $Pb^{2+}$  на різноманітні фізіологічні процеси організмів, інтенсивність росту і розвитку різних сільськогосподарських культур на різних етапах їхнього онтогенезу.

#### Список використаної літератури

- Бурлака В.А., Хом'як І.В. та ін. Екологія детергентів. Житомир : Рута, 2007. 64 с.
- Бурлака В.А., Хом'як І.В., Туманов В.В. Отримання екологічно безпечної індукції з використанням природних детергентів. *Біологічні дослідження – 2013* : зб. наук. пр. Житомир, 2013. С. 86–89.
- Давидов Е.А., Бурлака В.А., Хом'як І.В. Санітарно-ветеринарні показники свинини при використанні детергентів *Молоді вчені у вирішенні проблем виробництва і переробки продукції тваринництва*. зб. наук. пр. Вінниця, 2011. С. 117–118.
- Набиванець Б.І., Сухан В.В., Калабіна Л.В. Аналітична хімія природного середовища : підручник. Київ : Либідь, 1996. 304 с.
- Пшениця Ювілейна 100 від Державна наукова установа Краснодарський науково-дослідний інститут сільського господарства ім. П.П. Лук'яненка. [Електронний ресурс]. URL: <https://superagronom.com/nasinnya-pshenicya-ozima/yuvileyna-100-id9783> (дата звернення 28.11.2023).
- Хом'як І.В. Історія екології : навчальний посібник. Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2023. 310 с.
- Хом'як І.В. Втрати екосистемних послуг і встановлення розміру збитків завданих війною. *Вплив воєнних дій на довкілля в Україні та його відновлення до природного стану*. Матеріали слухань у Комітеті Верховної Ради України з питань екологічної політики. Київ, 2023. С. 71–75.
- Хом'як І.В., Орловська О.А. Вплив алуїтів на процеси проростання насіння пшениці Сорту «Поліська 90». *Сучасні проблеми екології та геотехнологій*. зб. наук. пр. Житомир, 2009. С. 271–272.
- Циганенко-Дзюбенко І.Ю., Хом'як І.В., Кірейцева, Г.В. Моделювання динаміки водних і прибережно-водних рослинних угруповань у пост-мілітарних умовах. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2023. Вип. 2. С. 47–55.

Alpatova O., Maksymenko I., Patseva I., Khomiak I., Gandziura V. Hydrochemical state of the post-military operations water ecosystems of the Moschun. *Kyiv region. 16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment Monitoring – 2022*. Kyiv, 2022. P. 188342.

Anatoly V. Skalny, Michael Aschner, Igor P. Bobrovnitsky, Pan Chen, Aristidis Tsatsakis, Monica M.B. Paoliello, Aleksandra Buha Djordevic, Alexey A. Tinkov. Environmental and health hazards of military metal pollution. *Environmental Research*. 2021, Volume 201, P. 111568.

Atiyeh B.S., Gunn S.W., Hayek S.N. Military and Civilian Burn Injuries During Armed Conflicts. *Annals of Burns and Fire Disasters*. Vol. 20. № 4. P. 203–215.

Fernandez-Lopez C., Posada-Baquero R., & Ortega-Calv, J. J. Nature-based approaches to reducing the environmental risk of organic contaminants resulting from military activities. *Science of The Total Environment*. 2022. Vol. 843, P. 157007.

Malacea Ion Arch. Anthropogenic emissions of heavy metals to the hydrosphere. *Hydrobiol*. 2003 vol. 65. № 1, P. 79–92.

Putin could face new war crime case as evidence suggests starvation of Ukraine was pre-planned. *The Independent*. 16 November 2023. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.independent.co.uk/news/world/europe/putin-grain-theft-ukraine-russia-latest-b2447644.html> (access date 28.11.2023)

Yanovska E.S. Tertykh V.A. Kichkiruk O.Yu., Dadashev A.D. Adsorption and Complexing Properties of Silicas with Analytical Reagents Grafted via the Mannich Reaction., *Adsorption Science and Technology*. 2007. Vol. 25 №1 P. 81–87.

### References (translated & transliterated)

Burlaka, V.A., & Khomiak, I.V. (ed) (2007). *Ekolohiia deterhentiv* [Ecology of detergents]. Zhytomyr : Ruta [in Ukrainian].

Burlaka, V.A., Khomiak, I.V., & Tumanov, V.V. (2013). Otrymannia ekolohichno bezpechnoi indychatyny z vykorystanniam pryrodnykh deterhentiv. [Obtaining environmentally safe induction using natural detergents]. *Zbirnyk naukovykh prats "Biolohichni doslidzhennia – 2013"* [Collection of scientific works "Biological research – 2013"]. Zhytomyr, pp. 86-89 [in Ukrainian].

Davydov, E.A., Burlaka, V.A., & Khomiak, I.V. (2011). Sanitarno-veterynarni pokaznyky svynyny pry vykorystanni deterhentiv [Sanitary and veterinary indicators of pork when using detergents]. *Molodi vcheni u vyrishenni problem vyrobnytstva i pererobky produktsii tvarynnytstva* [Young scientists in solving problems of production and processing of livestock]. Vynnytsia, pp. 117–118 [in Ukrainian].

Nabyvanets, B.Y., Sukhan, V.V., & Kalabina, L.V. (1996). *Analychna khimiia pryrodnoho sere-dovyshcha: Pidruchnyk* [Analytical chemistry of the natural environment: Textbook]. Kyiv : Lybid, [Lybid] [in Ukrainian].

Pshenytsia Yuvileina 100 vid Derzhavna naukova ustanova Krasnodarskyi naukovy-doslidnyi instytut silskoho hospodarstva im. P.P. Lukianenka. [Whea Yuvileyna 100 from State Scientific Institution Krasnodar Research Institute of Agriculture named after P.P. Lukyanenko]. [Electronic resource] URL: <https://superagronom.com/nasinnya-pshenicya-ozima/yuvileyna-100-id9783> (access date 28.11.2023) [in Ukrainian].

Khomiak, I.V. (2023). *Istoriia ekolohii: navchalnyi posibnyk* [History of ecology: a study guide]. Zhytomyr : Vyd-vo ZhDU im. I. Franka, [Publishing house of the Ivan Franko State University] [in Ukrainian].

Khomiak, I.V. (2023). Vtraty ekosystemnykh posluh i vstanovlennia rozmiru zbytkiv zavdanykh viinoiu. [Losses of ecosystem services and determining the extent of damage caused by w]. *Materialy slukhan u Komiteti Verkhovnoi Rady Ukrainy z pytan ekolohichnoi polityky na temu: «Vplyv voienykh dii na dovkillia v Ukraini ta yoho vidnovlennia do pryrodnoho stanu»* [Materials of hearings in the Committee of the Verkhovna Rada of Ukraine on environmental policy on the topic: «The impact of military operations on the environment in Ukraine and its restoration to a natural state»]. Kyiv, pp. 71–75 [in Ukrainian].

Khomiak, I.V., & Orlovska, O.A. (2009). Vplyv alunitiv na protsesy prorostannia nasinnia pshe-nytsi Sortu «Poliska 90». [The influence of alunites on the processes of germination of wheat seeds of the «Poliska 90»]. *Suchasni problemy ekolohii ta heotekhnolohii* [Modern problems of ecology and geotechnology]. Zhytomyr, pp. 271–272 [in Ukrainian].

Tsyhanenko-Dziubenko, I.Yu., Khomiak, I.V., & Kireitseva, H.V. (2023) Modeliuvannia dynamiky vodnykh i pryberezhno-vodnykh roslynnykh uhrupovan u post-militarnykh umovakh. [Modeling the dynamics of aquatic and coastal aquatic plant communities in post-military conditions]. *Problemy khimiyi ta staloho rozvytku [Problems of chemistry and sustainable developmen]*, 2, 2, 47–55 <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-7> [in Ukrainian].

Alpatova, O., Maksymenko, I., Patseva, I., Khomiak, I., & Gandziura, V. (2022). Hydrochemical state of the post-military operations water ecosystems of the Moschun. *Kyiv region. 16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment Monitoring – 2022*. Kyiv, 188342 <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580145> [in English].

Anatoly V. Skalny, Michael Aschner, Igor P. Bobrovnitsky, Pan Chen, Aristidis Tsatsakis, Monica M.B. Paoliello, Aleksandra Buha Djordevic, Alexey A. Tinkov. (2021). Environmental and health hazards of military metal pollution. *Environmental Research*, 201, 111568 <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111568> [in English].

Atiyeh, B.S., Gunn, S.W., & Hayek, S.N. (2007). Military and Civilian Burn Injuries During Armed Conflicts. *Annals of Burns and Fire Disasters*, 20 (4), 203–215 [in English].

Fernandez-Lopez, C., Posada-Baquero, R., & Ortega-Calv, J.J. (2022). Nature-based approaches to reducing the environmental risk of organic contaminants resulting from military activities. *Science of The Total Environment*, 843, 157007. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157007> [in English].

Malacea Ion Arch (2003). Anthropogenic emissions of heavy metals to the hydrosphere. *Hydrobiol*, 65 (1), 79-92. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157007> [in English].

Putin could face new war crime case as evidence suggests starvation of Ukraine was pre-planned. [Electronic resource] URL: <https://www.independent.co.uk/news/world/europe/putin-grain-theft-ukraine-russia-latest-b2447644.html> (access date 28.11.2023) [in English].

Yanovska, E.S., Tertykh, V.A., Kichkiruk, O.Yu., & Dadashev, A.D. (2007). Adsorption and Complexing Properties of Silicas with Analytical Reagents Grafted via the Mannich Reaction., *Adsorption Science and Technology*, 25 (1), 81-87 <https://doi.org/10.1260/026361707781485726> [in English].

Отримано: 04.12.2023  
Прийнято: 15.12.2023