

## "GREEN" CHEMISTRY AND INNOVATIVE MATERIALS: SAFE AND ENVIRONMENTALLY CLEAN PRODUCTS

**S. Bashlai<sup>1\*</sup>**

ORCID ID: 0000-0002-2247-5440

**V. Reznichenko<sup>2</sup>**

ORCID ID: 0000-0001-5693-0942

<sup>1</sup>Sumy National Agrarian University, 160 Herasyma Kondratieva St., Sumy, 40021, Ukraine

<sup>2</sup>Central Ukrainian National Technical University, 8 Universytetskyi Av., Kropyvnytskyi, 25000, Ukraine

\*Corresponding author

E-mail: serhii.bashlai@snau.edu.ua

*The article examines the role of "green" chemistry (GC) in sustainable development, especially in the field of agriculture, in the context of global competition and resource limitations. The authors analyze how sustainability and sustainable development are becoming important requirements for modern business, focusing on the balance between environmental protection and safe production of products. Chemical engineering, based on the principles of creating products that are safer for the environment and people, is key in all areas of chemistry. It promotes zero risk by eliminating the production and use of hazardous materials, reducing the use of raw materials, waste, risks, energy and environmental impact. The article also examines the methodological basis of research based on the concept of sustainable development and the principles of sustainable development. The importance of "green" reactions that provide environmental improvement by minimizing exposure to harmful intermediates and the use of hazardous chemicals is discussed. Research results confirm that GC contributes to the development of safe and effective products and processes that minimize the use of hazardous chemicals. Green chemistry includes the*

*use of non-toxic materials, atom efficiency, safe solvent systems, the use of renewable resources, and the pursuit of environmentally sound processes and products. The principles of environmental protection are especially relevant in the production of agrochemicals, due to their impact on human health and the environment. Green chemistry addresses such challenges by inventing new reactions that will maximize desired products and minimize byproducts, developing new synthetic schemes and visions that will simplify agricultural operations, and seeking greener technologies that are ecologically and ecologically sound in nature. The application of the guiding principles can be found on both small and large scales: from the selection of ingredients for reactions that minimize waste and risk, to indicators that allow us to quantify waste and the efficiency of producing safe and environmentally friendly products.*

**Key words:** "green" chemistry, "green" synthesis, ecological agricultural activity, toxic substances, ecologically clean products, pesticide-free technology.

## **«ЗЕЛЕНА» ХІМІЯ ТА ІННОВАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ: БЕЗПЕЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТІ ПРОДУКТИ**

**С.В. Башлай<sup>1</sup>, В.П. Резніченко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

<sup>2</sup> Центральнотукаїнський національний технічний університет,  
м. Кропивницький, Україна

*Стаття розглядає роль «зеленої» хімії (ЗХ) у сталому розвитку, особливо у сфері сільського господарства, в контексті глобальної конкуренції та обмеження ресурсів. Автори аналізують, як стійкість і сталий розвиток перетворюються на важливі вимоги для сучасного господарювання, зосереджуючись на балансі між охороною навколишнього середовища і безпечним виробництвом продуктів. ЗХ, що базується на принципах безпечнішого для навколишнього середовища та людей створення продуктів, є*

ключовою у всіх галузях. Вона сприяє нульовому ризику через виключення виробництва та використання небезпечних матеріалів, зменшення використання сировини, відходів, ризиків, енергії та впливу на навколишнє середовище. Стаття також розглядає методологічну базу досліджень, засновану на концепції сталого розвитку та принципах ЗХ. Обговорюється важливість "зелених" реакцій, які забезпечують екологічне покращення, мінімізуючи вплив шкідливих проміжних продуктів та використання небезпечних хімікалій. Результати досліджень підтверджують, що ЗХ сприяє розробці безпечних та ефективних продуктів та процесів, які мінімізують використання небезпечних хімічних речовин. Зелена хімія включає в себе використання нетоксичних матеріалів, ефективність атомів, безпечні системи розчинників, використання відновлюваних ресурсів, та прагнення до екологічно безпечних процесів та продуктів. Особливо актуальними є принципи ЗХ у виробництві агрохімікатів, через їхній вплив на здоров'я людей та навколишнє середовище. Зелена хімія вирішує такі проблеми, винаходячи нові реакції, які дозволяють максимізувати бажані продукти та звести до мінімуму побічні продукти, розробляючи нові синтетичні схеми та бачення, які спростять операції у сільському господарстві, та шукаючи ті зелені технології, які за своєю природою економічні та екологічно нешкідливі. Застосування зазначених принципів можна знайти як у малих, так і у величезних масштабах: від вибору інгредієнтів для реакцій, які мінімізують відходи та ризики, до показників, що дозволяють кількісно визначати відходи та ефективність виробництва безпечних та екологічно чистих продуктів.

**Ключові слова:** «зелена» хімія, «зелений» синтез, екологічна сільськогосподарська діяльність, токсичні речовини, екологічно чисті продукти, безпестицидна технологія.

**Вступ.** Стійкість і сталий розвиток називають наступною промисловою революцією – вимогою для ведення господарства в умовах глобальної конкуренції та браку ресурсів. Сталий розвиток вимагає збалансування навколишнього

середовища та виробництва безпечних та екологічно чистих продуктів в сфері сільського господарства. Агропромислові виробники більше не можуть дотримуватися екологічних норм, вважаючи, що вони будуть економічно безпечними [12]. Вони повинні розробити стійкий погляд на бізнес-бачення та поведінку, які охоплюють концепції саме «зеленої» хімії, життєвого циклу мислення та оцінки ризиків. Сьогодні саме «зелена» хімія (ЗХ) базується на ряді принципів, які можна використовувати для формування продуктів, реакцій і методів, які є більш безпечними для навколишнього середовища та людей. ЗХ розроблено в усіх галузях хімії, таких як органічна, біохімічна, неорганічна, фізична, токсикологічна, полімерна, екологічна тощо. Якщо не використовуються або не виробляються небезпечні матеріали, тоді ризик дорівнює нулю, і немає необхідності турбуватися про усунення шкідливих сполук із навколишнього середовища. ЗХ також стосується скорочення сировини, відходів, ризиків, енергії, впливу на навколишнє середовище та витрат [6, 12]. Питання сталого розвитку та навколишнього середовища швидко стають найважливішими темами для виробництва та розробки продуктів [1, 15, 17]. Виконання ЗХ є одним із заходів, які можна підготувати для відновлення якості навколишнього середовища. Майбутні виклики у сфері ресурсів, економіки, навколишнього середовища та стійкості вимагають більш кваліфікованих, організованих технологій, пов'язаних із хімікатами та виробництвом. ЗХ подолала ці виклики, відкривши різноманітні можливості для максимізації бажаних речовин і зменшення побічних продуктів, обладнання, що використовується для утворення екологічно чистих хімічних речовин, які за своєю суттю є екологічними [2, 3, 6]. Дослідження, пов'язані з ЗХ, були зосереджені на зменшенні або виключенні використання або виробництва токсичних речовин для навколишнього середовища та здоров'я [8, 13, 16].

**Матеріали та методи досліджень.** Методологічна база дослідження базується на концепції стійкого розвитку і на принципах «зеленої» хімії. Використано метод балансування. Так «зелених порцій» має бути три в «зеленій»

реакції: розчинник, реагент/каталізатор, і енергії витрат. «Зелена» хімія несе екологічне покращення, це тягне за собою мінімізацію впливу шкідливих проміжних продуктів і усунення використання небезпечних хімікалій в процедурах хімічного синтезу. Використано метод контролю, так довжина хімічних речовин дуже велика, тому вони можуть бути «зеленими»: 1) характеристики сполук, які відповідають критеріям екологічності; 2) підготовка з поновлюваних або легкодоступних ресурсів і екологічно дружніх процесів; 3) низька тенденція до появи раптових, жорстоких, непередбачуваних реакцій, такий як екс-вибухи що може спричинити пошкодження або спричинити витік хімікатів і побічних продуктів у навколишнє середовище; 4) низький рівень токсичності; 5) відсутність токсичних або екологічно небезпечних компонентів, особливо важких металів; 6) швидкість розпаду, особливо біорозпад в умовах навколишнього середовища; 7) низька тенденція до біонакопичення в харчовому ланцюзі.

**Результати досліджень та їх обговорення.** «Зелена» хімія передбачає проектування та розробку продуктів і процесів, які мінімізують або виключають використання та утворення хімічних речовин, небезпечних для навколишнього середовища та здоров'я людини. Принципи «зеленої» хімії передбачають розробку зелених каталізаторів і використання нетоксичних інноваційних матеріалів. «Зелена» хімія наголошує на застосуванні реакцій, що покращують ефективність атомів, використанні системи розчинників без розчинників або безпечних для навколишнього середовища вторинної переробки та використанні відновлюваних ресурсів. На шляху до безпечних для навколишнього середовища процесів і продуктів, була організована конференція, під час якої ряд хіміків обговорили вплив сільськогосподарської та промислової діяльності на хімічний склад атмосфери. Вони порадили «дизайн для навколишнього середовища»: рамки для роботи зі споживачами та забезпечення безпеки харчових продуктів і культур, розроблених екологічними методами для екологічної сільськогосподарської практики [1, 2].

Сьогодні «зелена» хімія відіграє нову парадигму в галузі сільського господарства. В останні кілька років для сталого виробництва в сільському господарстві збільшується використання відновлюваних ресурсів, біомаси для виробництва харчових продуктів на біологічній основі з низькими витратами, нульовими відходами, значними соціальними цінностями та мінімізацією впливу на навколишнє середовище:

- застосування зелених принципів у сільському господарстві;
- вибір нетоксичної сировини;
- розробка безпечних та енергоефективних синтетичних процедур;
- максимальна інтеграція всіх матеріалів у продукт, усунення допоміжних, коли це можливо;
- створення довговічних, нетоксичних продуктів із збереженою функціональністю;
- забезпечення природного розкладання всіх продуктів і побічних продуктів наприкінці терміну служби.

У 1998 р. Настас П. і Уорнер Дж. розробили 12 принципів «зеленої» хімії. Зелена хімія починається з молекулярного рівня та в кінцевому підсумку вказує на найважливіші екологічно безпечні процеси та продукти [1]. Принципи «зеленої» хімії стосуються зменшення або видалення шкідливих речовин із синтезу. Таким чином, зменшується або виключається використання токсичних речовин для здоров'я людини та навколишнього середовища. Принципи «зеленої» хімії особливо актуальні для виробництва агрохімікатів через їх прямий вплив на здоров'я людей і навколишнє середовище. Однак поточна сільськогосподарська практика все ще базується на інтенсивних методах виробництва з використанням нестійких технологій, розроблених під час «зеленої революції» (рис. 1.).

Стійкість сільського господарства є основною сферою, яка потребує стратегій «зеленої» хімії в агрохімічній галузі для впровадження розумного використання пестицидів і добрив. За останні кілька років виробництво синтетичних пестицидів зросло, а сучасні методи ведення сільського господарства

спричинили викиди значних парникових газів, наприклад, щорічні викиди 83% закису азоту ( $\text{N}_2\text{O}$ ) у всьому світі.

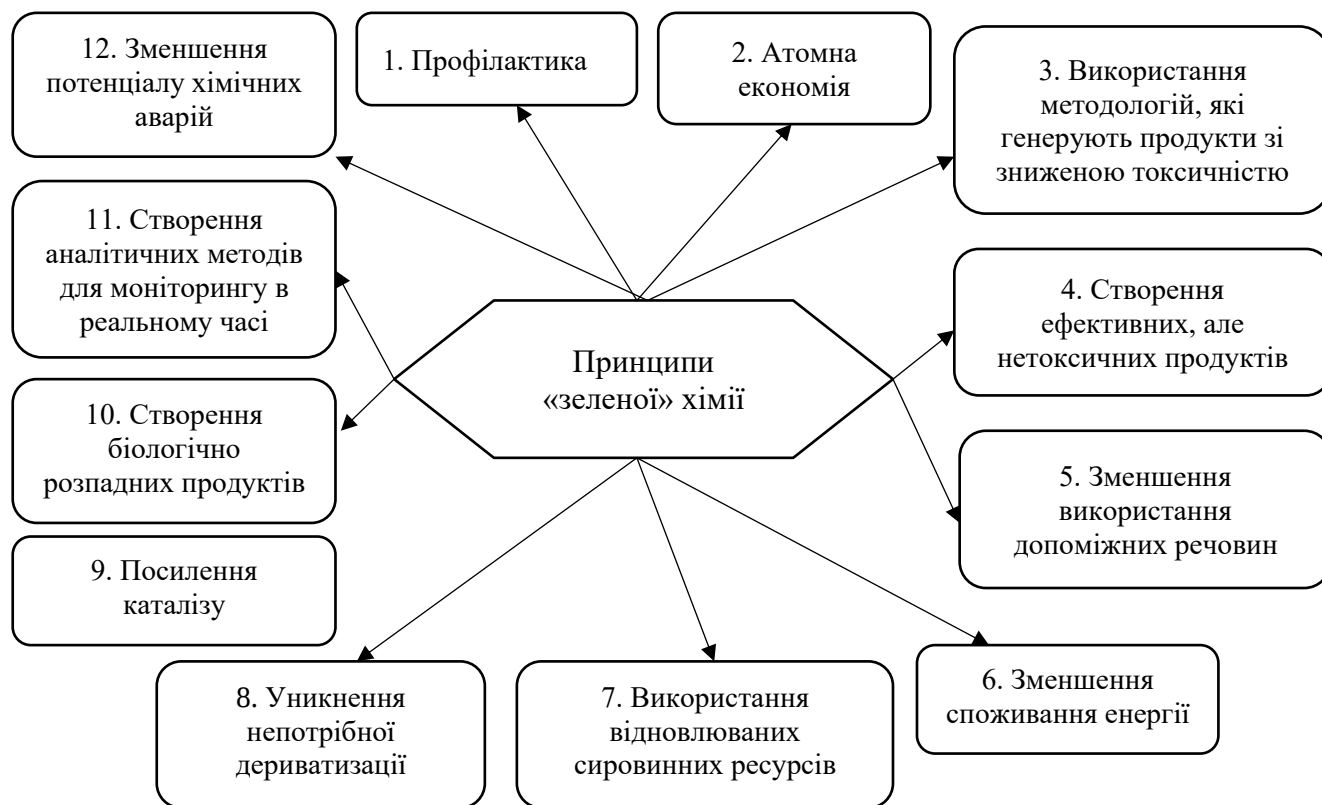


Рис. 1. Модель використання 12 принципів «Зеленої» хімії [17]

Несприятливий вплив забруднення агрохімічних полів через непрямий або прямий вплив неправильного використання пестицидів впливає на тварин і здоров'я людини. До пестицидів належать усі хімічні речовини, які використовуються для контролю або знищення шкідників, але ці пестициди в харчовому ланцюзі разом із біозбільшенням і біонакопиченням мають негативний вплив на тварин і життя людини [4]. Щоб мінімізувати ці шкідливі наслідки, слід збільшити використання органічного землеробства замість синтетичних пестицидів. Ці пестициди також спричиняють забруднення ґрунтових вод і призводять до евтрофікації річкових і озерних вод і переміщення токсичних хімікатів з навколишнього середовища в організм. Існують деякі

пестициди, наприклад ДДТ, які розчиняються та накопичуються в жирових тканинах і викликають біозбільшення в харчовому ланцюзі [5].

Нова аграрна технологія характеризується широким використанням високоврожайних сортів сільськогосподарських культур, хімічних добрив, пестицидів та зрошення. У міру того як увага споживачів зміщується в бік створення сталого та безпечного постачання продовольства, агрохімічна промисловість потребуватиме другої «зеленої революції» з використанням принципів «зеленої» хімії, щоб впроваджувати продукцію, відповідну новим аграрним технологіям. Самі біопестициди мають масштабовану та екологічну технологію, яка має безпосередній вплив на стале сільське господарство для широкого асортименту виробництва. Інноваційна робота, використана для підготовки процесів біокаталізу з використанням редуктаз, трансаміни, оксидази, гідролази тощо. В даний час інноваційні ферменти використовуються для синтезу біокаталізаторів, які пропонують економічні переваги у фармацевтиці та сільському господарстві.

Сьогодні виробник наголошує на заміні звичайних розчинників на екологічно безпечні розчинники для безпеки працівників у хімічній галузі та захисту навколишнього середовища. Вибір правильних розчинників завжди збільшував користь для навколишнього середовища, ставав безпечнішим для користувача та покращував обізнаність. Наразі «зелені» розчинники становлять близько 10% ринку. В останні кілька років лабораторний синтез і виробництво в промисловості замінили на реакції без каталізатора на воді та у воді.

Нещодавно органічні розчинники з високою летючістю та внутрішньою токсичністю були замінені іонними рідинами (IP). Іонні рідини – це органічні солі, які зазвичай плавляться при температурі нижче 1000C<sup>0</sup>, мають високу термічну стабільність, майже нелетючі за нормальних умов, розчиняють неполярні та полярні органічні та неорганічні сполуки. З цієї причини іонні рідини називаються «дизайнерські розчинники» [6].

Відновлювані джерела енергії, такі як сонячна, вітрова, гідроелектростанція, біомаса, біопереробні заводи, геотермальна та океанська енергія, є важливими

ресурсами для майбутнього сталого розвитку, тому вони замінять джерела, що містять вуглець і зменшать викиди, що в свою чергу зменшить глобальне потепління. В останні роки біопаливо третього покоління (високопродуктивна сировина з низьким споживанням) отримано з відновлюваної сировини.

Існує список із семи дуже або надзвичайно небезпечних пестицидів, які продовжують використовуватися. Пестициди, такі як монокротофос і оксидетон-метил, вважаються ВООЗ пестицидами класу I. «Оскільки пестициди класу I можуть бути смертельними в дуже низьких дозах, багато з них заборонені в ряді країн», але дозволено продавати в Індії та все ще використовуються ці пестициди в деяких країнах, що спричиняє смерть фермерів. За допомогою «зеленої» хімії тепер можливо перетворити легкодоступні похідні фурану в різноманітні синтетично цінні поліоксигеновані молекули, які часто присутні в природних матеріалах [7] (рис. 2.).

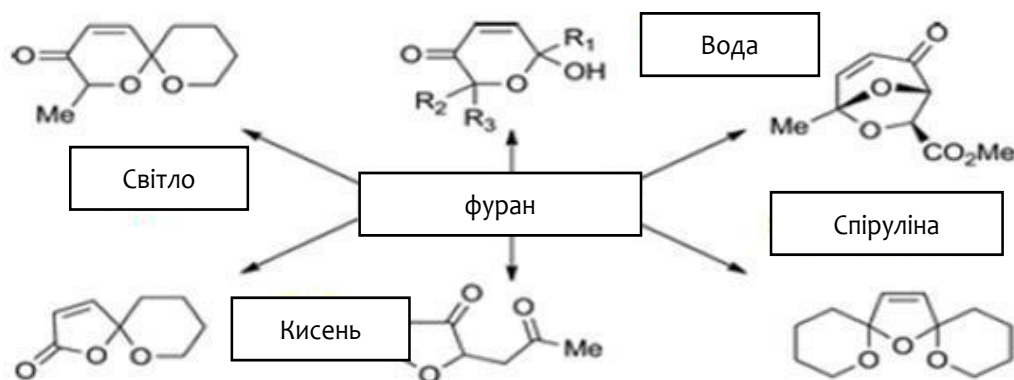


Рис. 2. «Зелена» хімічна реакція отримання поліоксигенованих молекул в природних матеріалах (розроблено авторами)

Як ми бачимо, деякі хімічні речовини, які все ще традиційно використовуються в сільському господарстві, пов'язані з несприятливим впливом на навколишнє середовище та здоров'я людини. Зростає занепокоєння щодо того, як ми ведемо сільське господарство для сталого сільського господарства, які ресурси будемо для нього забезпечувати, які технології застосовувати. «Зелена» хімія переведе сільське господарство в бік сталого

розвитку [1]. Так приклади використання принципів «зеленої» хімії у сільському господарстві для вирощування безпечних та екологічно чистих продуктів наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Обрані приклади впровадження 12 принципів «зеленої» хімії у використанні інноваційні матеріалів, отримання безпечних та екологічно чистих продуктів (побудовано авторами на основі [8, 9, 10])

| №   | Принцип                                                                | Приклад та інноваційні матеріали                                                                       |
|-----|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | Профілактика                                                           | Використання методу підготовки проб без розчинників                                                    |
| 2.  | Атомна економіка                                                       | Гідрування карбонової кислоти до альдегіду за допомогою твердої речовини (каталізатор)                 |
| 3.  | Менш небезпечний хімічний синтез                                       | Синтез адипінової кислоти шляхом окислення циклогексену за допомогою перекису водню                    |
| 4.  | Розробка безпечніших хімікатів                                         | Новий, менш небезпечний сільськогосподарський пестицид (наприклад, Спіносад)                           |
| 5.  | Безпечні розчинники та допоміжні речовини                              | Екстракція надкритичної рідини, синтез в іонній рідині                                                 |
| 6.  | Дизайн для енергоефективності                                          | Поліолефени полімери, альтернативні PWC (полімеризація може перевозити з меншим енергоспоживанням)     |
| 7.  | Використання відновлюваної сировини                                    | Виробництво ПАР                                                                                        |
| 8.  | Зменшити похідні                                                       | Дериватизація на волокні проти дериватизації в розчині в зразку (підготовка)                           |
| 9.  | Каталіз                                                                | Ефективний Au (III) каталізований синтез б-енамінів з 1,3-дикарбонільні сполуки та аміни               |
| 10. | Дизайн для деградації                                                  | Синтез біорозкладаних                                                                                  |
| 11. | Аналіз забруднення в реальному часі. Профілактика                      | Використання лінійних аналізаторів для моніторингу водовідходів                                        |
| 12. | За своєю сутністю безпечніша хімія для нещасних випадків. Профілактика | Di-Me carbonate (DMC) є екологічно чистим замінник галогенідів ди-Ме сульфату Ме в реакції метилювання |

Перший принцип наочно ілюструється численними прикладами процесів і виробництв, особливо органічного синтезу, у яких шкідливі реагенти все частіше замінюються на менш шкідливі, ефективніші, які дають менше побічних продуктів, чи такі побічні продукти, які легше утилізуються (рис. 3.).

Методи «зеленого» синтезу треба вибирати таким чином, щоб усі матеріали, використані в процесі, були максимально переведені в кінцевий продукт [11].

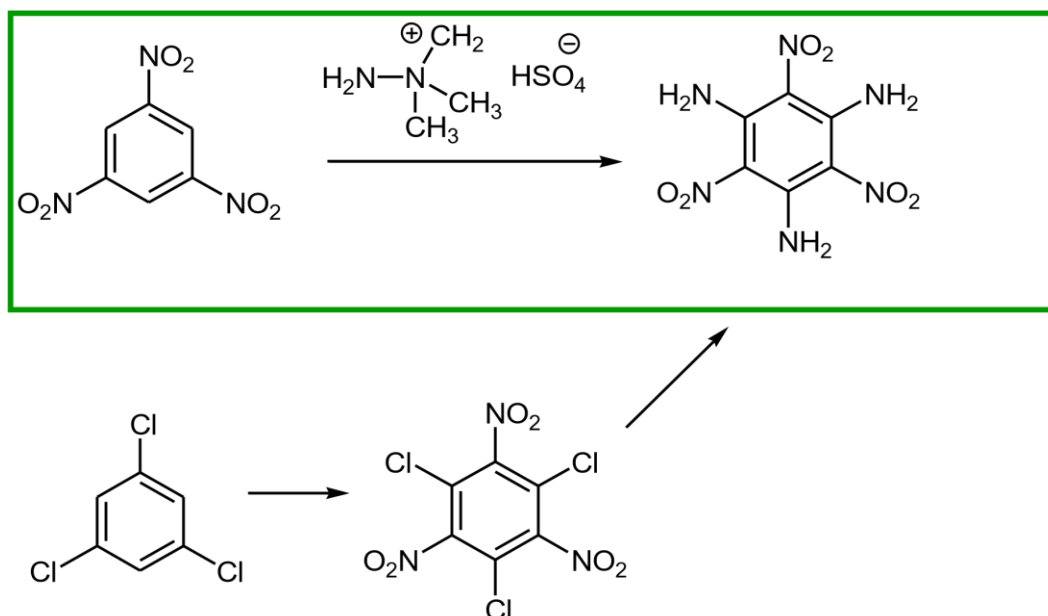


Рис. 3. Приклад «зеленого» органічного синтезу (розроблено авторами)

Методи «зеленого» синтезу по можливості слід вибирати так, щоб використовувані синтезовані речовини були якнайменш шкідливими для людини та навколишнього середовища (рис. 4.).

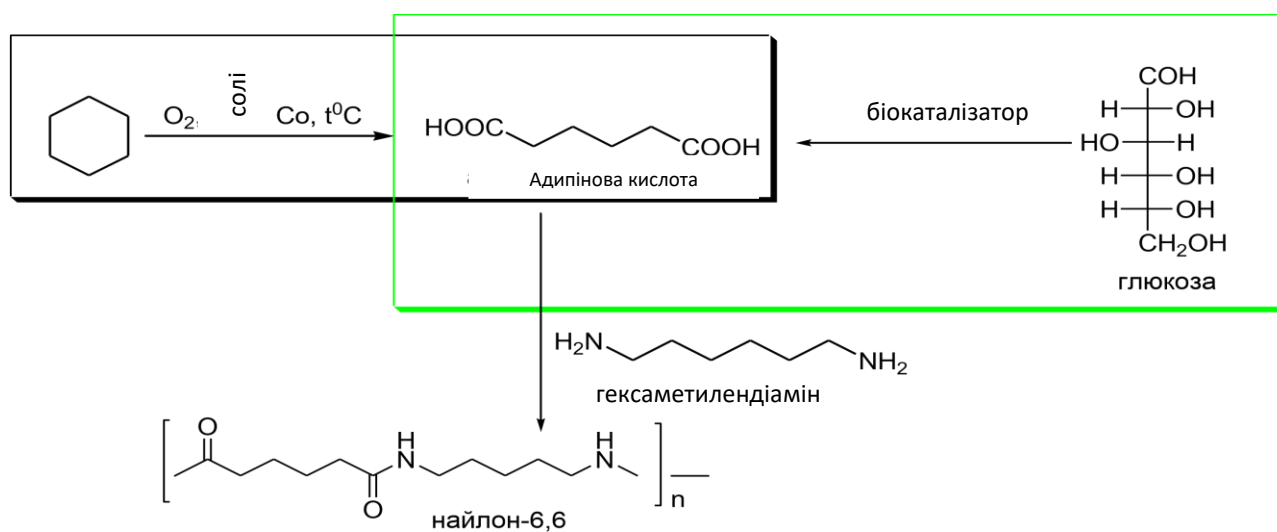


Рис. 4. Отримання безпечних синтезованих речовин в умовах «зеленої» хімії (розроблено авторами)

Конверсія кетону в лактон зазвичай протікає під дією М-хлорпербензойної кислоти. Було запропоновано новий спосіб проведення цього процесу з використанням хлібопекарських дріжджів як біокатализатору кисню повітря як

окислювач. Цей приклад містить відразу два «зелені» компоненти – каталізатор і повітря (замість вибухонебезпечного та неекономічного окислювача) (рис. 5.).

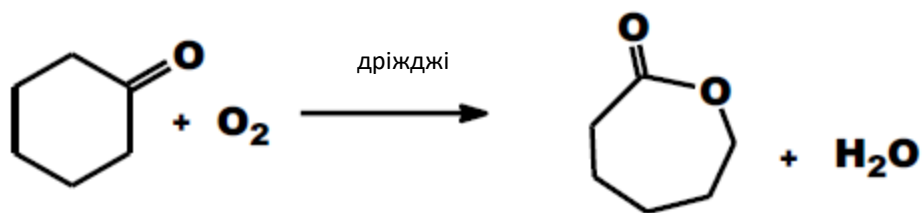


Рис. 5. Хлібопекарські дріжджі, як біокаталізатор («зелені» компоненти) [10]

Слід зазначити, що застосування біокаталізаторів – екологічно більш прийнятний підхід у порівнянні зі звичайними каталізаторами, оскільки дозволяє використовувати відновлювану природну сировину (дріжджі).

Нещодавно випадки отруєнь фермерів пестицидами, що спричинили летальні наслідки, стали актуальною проблемою. У Індії продовжують використовувати ряд високотоксичних пестицидів, які вже заборонені у багатьох країнах світу. Такі пестициди, як Монокротофос та Оксидеметон-метил, класифікуються Всесвітньою організацією охорони здоров'я як пестициди класу I, що є надзвичайно небезпечними, і навіть невеликі дози можуть призвести до смерті. Частина цих хімічних речовин, які все ще широко використовуються у сільському господарстві, пов'язані з негативними наслідками для навколишнього середовища та здоров'я людей.

«Зелена» хімія, спрямована на досягнення прибутку сільського господарства та харчової промисловості, процвітання громади та покращення якості ґрунту шляхом зменшення залежності від використання невідновлюваних ресурсів, наприклад синтетичних добрив і пестицидів, мінімізації негативного впливу на якість води, дику природу та безпеку [2]. Існують різні альтернативи хімічного землеробства, такі як біологічне сільське господарство, органічне землеробство, природне землеробство, біодинамічне сільське господарство, екологічне сільське господарство. Біопестициди є органічними за своєю природою, тому їх можна використовувати в сільському господарстві для боротьби зі шкідниками, комахами, бур'янами, а також для фізіології та продуктивності рослин. Ці

біопестициди біологічно розкладаються в навколишньому середовищі. Тому для сталого розвитку сільськогосподарського землеробства необхідно перевести на процеси виробництва «зеленої» аграрної продукції, використання засобів захисту рослин і виробництва, а також розробляти екологічні агрохімікати (рис. 6.).



Рис. 6. Зміст «зеленого дизайну» в сільському господарстві і харчовій промисловості (побудовано авторами)

Ми визначаємо систематичне зростання світового попиту на екологічно чисті продукти харчування. Так, проведене Євробарометром соціологічне опитування у Франції свідчить про те, що якщо у 2015 р. біопродукти купували 37% опитаних, то у 2022 р. вже 47% – купують не рідше 1 разу на місяць, 27% – за першої нагоди [4]. «Зелене» сільське господарство стає вигідним, насамперед, завдяки його властивості знижувати економічні ризики та нарощувати економічну та фінансову стійкість господарства. Основою цього є [12, 13]:

- незалежність від закупівлі засобів виробництва (добрив, засобів захисту рослин);
- відмова від використання генетично модифікованих організмів (ГМО) на всіх стадіях виробництва;

- зниження собівартості продукції за рахунок скорочення витрат (відмови від закупівлі мінеральних добрив, синтетичних засобів захисту рослин та кормів; менших (на 35-50%) доз внесення до ґрунту азоту, фосфору та інших поживних речовин, вартості місцевих трудових ресурсів);

- внаслідок зниження собівартості продукції та дії нецінових факторів попиту органічні продукти агропідприємств стають конкурентоспроможними порівняно з аналогічними продуктами, виробленими за традиційною технологією;

- свобода від нецивілізованої конкуренції: висока якість продукції сприяє розвитку власного ринку екологічно чистої агропродукції.

Сьогодні в суспільстві поширена думка, що екологічно чисту продукцію досить «просто зробити звичайним способом». Під «звичайним способом» виробництва розуміється виробництво сільськогосподарської продукції умовах дефіциту фінансових коштів, тобто без внесення мінеральних добрив, пестицидів та інших засобів захисту. Тим часом, виробництво екологічно чистої продукції передбачає застосування складніших, а отже, і більш витратних технологій, навіть у порівнянні з інтенсивними технологіями. Крім застосування органічних добрив, необхідно використовувати натуральні засоби захисту рослин, а також підтримувати на необхідному рівні родючість ґрунту [14].

Для інформування споживачів потрібно вказувати місце, де виробляються органічні продукти харчування, зокрема імпортна продукція, що має логотип Європейського Союзу. Органічний логотип дозволяється використовувати лише за умови, якщо 95% інгредієнтів продовольства є органічними. Неорганічна продукція може містити вказівку на органічне походження окремих компонентів та їх переліку. Під час виробництва біопродуктів категорично забороняється використання генетично модифікованих організмів (ГМО). Розвиток виробництва екологічної продукції там відбувається як на фермах органічними технологіями так і в системі аграрних холдингів. Активну участь у цьому беруть вчені-аграрники, економісти, екологи, які проводять широкі наукові дослідження, присвячені спеціальним аспектам ведення органічного сільського господарства [15].

Згідно з приватними екологічними стандартами групи «С», господарювання можна вести двома різними способами. Це означає, що частина полів можна обробляти за правилами екологічного виробництва, іншу – звичайними методами, тобто із застосуванням мінеральних добрив та пестицидів. Проте, за деякими винятками, ту саму культуру не можна вирощувати екологічним і звичайним способами. Крім того, в даному випадку саме виробництво, як і сертифікація виробленої агропродукції, ускладнюються через безліч додаткових вимог чіткого поділу звичайного та екологічного агровиробництва (полів, машин, знарядь, складів, обладнання тощо).

Безпестицидна технологія не вимагає застосування отрутохімікатів та органічних добрив. Для підвищення конкурентоспроможності культурних рослин організовують більш ретельну передпосівну обробку ґрунту, збільшують норми висіву, проводять підживлення рослин азотними добривами. Так ми можемо навести приклад в сфері вирощування картоплі, коли понад 10% зібраної картоплі згодують тваринам через те, що виробництво перевищує потреби (табл. 2.).

Таблиця 2

Відходи картоплі та потенціал їхньої «зеленої» переробки [16]

| Сільськогосподарське виробництво (%) | Оптовики (%)          | Роздрібні торговці (%) | Домогосподарство (%) |
|--------------------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| 15–24                                | 12–24                 | 1–3                    | 15                   |
| Втрата поля (%)                      | Втрата сортування (%) | Втрата зберігання (%)  | Роздрібні торговці   |
| 1–2                                  | 3–13                  | 3–5                    | 1,5–3                |

Картопля є багатим джерелом крохмалю. Приблизно 18% картоплі за вагою становить крохмаль, і крохмаль використовується для різноманітних промислових цілей, включаючи виробництво паперу, як харчову добавку та в корм для домашніх тварин. «Зелена» хімія в переробці картоплі для одержання крохмалю потребує багато води, і хоча методологію вилучення крохмалю було оптимізовано, все ще є потенціал для вдосконалення. Наприклад, «стічна» вода, що утворюється під час екстракції крохмалю, багата білками. Приблизно 2% від

маси бульб картоплі становлять білок, і під час процесу шліфування/миття 85% цього білка екстрагується в картопляний сік (PFJ), тобто екстракція білка відбувається випадково в процесі рафінування крохмалю.

Картопляний білок можна відносно легко відновити за допомогою ряду методів осадження залежно від бажаних властивостей кінцевого білка, ці методи осадження варіюються від використання простого кислотного нагріву до використання сульфату амонію, який зазвичай використовується як добриво, що дозволяє повторно використовувати воду для зрошення полів, для вирощування картоплі. Картопляний білок вважається дуже високоякісним у порівнянні з білками, отриманими з інших рослинних джерел, завдяки відносно високій концентрації незамінної амінокислоти лізину, який зазвичай міститься в низькій концентрації в інших рослинних білках. Подібні продукти поповнюють список екологічно чистих продуктів (ЕЧП). Сьогодні ЕЧП стають більш популярними, причиною цього служить шкода, що завдається людині, від вживання продуктів, що містять консерванти і хімічні речовини. Внаслідок цього цільова аудиторія ЕЧП значно розширилася, у містах стали з'являтися органічні магазини, малі фермерські господарства, що спеціалізуються на вирощуванні ЕЧП, розширилися та перетворилися на великі компанії [17]. На наш погляд, до ЕЧП слід відносити продукти без барвників та консервантів, виготовлені у природних умовах без застосування хімічних добрив чи пестицидів, виробництво яких не завдає шкоди довкіллю.

Ми вважаємо, що серед ключових критеріїв віднесення продукту до категорії екологічно чистих потрібно враховувати вміст у продукції барвників, консервантів, хімічних речовин та добрив, а також шкоду, яка завдається природі під час виробництва харчових продуктів. До цих факторів слід додати використання технологій з мінімальною кількістю відходів, розширення асортименту смакових якостей екологічно чистих продуктів та оптимальне використання вторинної сировини у їхньому виробництві. Окрім цього, потрібно підкреслити необхідність розробки та впровадження інноваційних «зелених» технологій у хімічній індустрії та патентування нових розробок у цій галузі.

Таким чином, сталий розвиток сільського господарства та застосування «зеленої» хімії є взаємопов'язаними та революційними напрямками. Екологічним хімікам важливо співпрацювати з фермерами для використання екологічно безпечних технологій у сталому сільському господарстві, а фермерам необхідні надійні та екологічно чисті ресурси для своєї діяльності. Використання біокаталізаторів у сферах агрохімії, фармацевтики та харчової промисловості дедалі більше набуває популярності, оскільки вони допомагають зменшувати обсяги відходів і покращувати ефективність виробництва.

Зараз населення світу становить 7 млрд, а до 2050 р зросте до 9,3 млрд. чол. Це вимагатиме збільшення виробництва продуктів харчування на 70%, щоб задовольнити попит. Таким чином, необхідно підвищити продуктивність сільськогосподарських культур, зменшити втрати врожаю до збирання та втрати врожаю після нападу шкідників шляхом використання біохімічних процесів із методами «зеленої» хімії.

**Висновки.** Ми виділяємо три аспекти, за якими «зелена» хімія пов'язана зі сталим сільським господарством. По-перше, принцип «зеленої» хімії рекомендує використання біоматеріалів або сировини, які є відновлюваними, наприклад, відходи сільського господарства. Хіміки повинні наголошувати на роботі з розробки біопестицидів, біодобрив і біокаталізаторів для перетворення сільськогосподарських матеріалів у високоцінні продукти, а також покращення їх виробництва та захисту.

По-друге, використання «зеленої» хімії у рекультивації території шляхом взаємодії з сільським господарством. У традиційному сільському господарстві фермери не знають, як поводитися з цінним інструментом, залишаючи небажані хімікати, які забруднювали навколишнє середовище (у ґрунті, повітрі та воді). Зелені каталізатори безпечно видаляють з води певні хімічні речовини, включаючи пестициди. Таким чином, екологічні хіміки допомагають фермерам боротися із забрудненням, видаляти забруднюючі речовини, небажані хімікати та керувати використанням переробленої води.

Інтелектуальне відновлення ресурсів із немінучих відходів ланцюга постачання харчових продуктів для отримання біохімічних речовин, матеріалів і біоенергії має першорядне значення та відповідає потребам сталого 21 століття. Як глобальна нація, ми маємо нестійкі моделі виробництва та споживання, прикладом чого є 1,3 мільярда тон харчових відходів, що утворюються щорічно, що негативно впливає на взаємозв'язок вода→енергія→їжа.

Застосування ефективних, зелених та стійких хімічних технологій для переробки немінучих ланцюгів постачання їжі у високоцінні молекули для (повторного) харчування (наприклад, білки, антиоксиданти, пектини тощо) максимізує внутрішній хімічний потенціал, структура і функція, передбачена Природою. Наприклад, сучасні зелені технології, такі як екстракція рідиною під тиском, екстракція рідиною в надкритичному стані, екстракція за допомогою ультразвуку та екстракція за допомогою мікрохвиль, можна використовувати для вилучення цінних хімічних речовин із харчових відходів.

Крім того, концепція відповідальних і конвергентних інновацій (яка враховує вплив технологічних інновацій на навколишнє середовище, економіку та здоров'я) стає обов'язковою для промислового сектора, особливо для харчової промисловості, яка неминуче повинна буде адаптувати свої процеси до більш ефективних а також перейти від виробництва досить глобальних, чистих і рафінованих інгредієнтів до більш складних і спеціалізованих функціональних харчових фракцій, що містять змішаний склад з високою біофункціональною цінністю.

## References

1. Kharissova, Q. V., Kharisov, B. I., González, C. M. O., Méndez, Y. P., López, I. (2019). Greener synthesis of chemical compounds and materials. Royal Society Open Science, 6(11), 191378. <https://doi.org/10.1098/rsos.191378>.
2. Krishna, N. Ganesh, Deqing, Zhang, Scott, J. Miller, Kai, Rossen, Paul J. Chirik, Marisa C. Kozlowski, Julie, B. Zimmerman, Bryan, W. Brooks, Phillip, E. Savage, David, T. Allen, and Adelina, M. Voutchkova-Kostal. (2021). Green Chemistry: A

Framework for a Sustainable Future Environmental Science & Technology, 55 (13), 8459-8463. DOI: 10.1021/acs.est.1c03762

3. Gao, X., Liu, J., Zuo, X., Feng, X., Gao, Y. (2020). Recent advances in synthesis of benzothiazole compounds related to green chemistry. *Molecules*, 25(7), 1675.

4. Adam, D. H., Supriadi, Y. N., Ende, Siregar, Z. M. E. (2020). Green Manufacturing, Green Chemistry And Environmental Sustainability: A Review. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 9(04), 2209-2211.

5. Kraus, N. M., Kraus, K. M., Osetskyi, V. L. (2021). Green business in blue economy: quality management and development of innovative products. *Lecture Notes in Mechanical Engineering: Advances in Thermal Engineering, Manufacturing, and Production Management (ICTEMA 2020)*. Springer, Singapore (27- 28 June 2021, Jalpaiguri, India), Vol. 1. 383–394.

6. Medina, Valderrama C. J., Morales, Huamán H. I., Valencia-Arias, A., Vasquez, Coronado, M. H., Cardona-Acevedo, S., Delgado-Caramutti, J. (2023). Trends in Green Chemistry Research between 2012 and 2022: Current Trends and Research Agenda. *Sustainability*, 15(18), 13946. <https://doi.org/10.3390/su151813946>.

7. Makedon, V., Dzeveluk, A., Khaustova, Y., Bieliakova, O., Nazarenko, I. (2021). Enterprise multi-level energy efficiency management system development. *International Journal of Energy, Environment, and Economics*. Volume 29. Issue 1. pp. 73-91.

8. Santi, M., Sancineto, L., Nascimento, V., Azeredo, J. B., Orozco, E. V. M., Andrade, L. H., Gröger, H., Santi, C. (2021). Flow Biocatalysis: A Challenging Alternative for the Synthesis of APIs and Natural Compounds. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(3), 990. <https://doi.org/10.3390/ijms22030990> , PMID:33498198 PMCID:PMC7863935

9. Makedon, V., Mykhailenko, O., & Krasnikov, P. (2023). Upravlinnia rozrobkoiu ta realizatsiieiu natsionalnykh i mizhnarodnykh proektiv u sferi vidnovliuvalnoi enerhetyky. *Pidpriemnytstvo ta innovatsii*. (26), 5-13. <https://doi.org/10.32782/2415-3583/26.1> [in Ukrainian].

10. Asif, Mohammad. (2021). Green synthesis, green chemistry, and environmental sustainability: an overview on recent and future perspectives of green chemistry in pharmaceuticals. *Green Chemistry & Technology Letters*, 7, 18-27. 10.18510/gctl.2021.713.
11. Lasker, G. A., Mellor, K. E., Simcox, N. J. (2019). Green chemistry & chemical stewardship certificate program: a novel, interdisciplinary approach to green chemistry and environmental health education. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 12(2), 178–186. doi: 10.1080/17518253.2019.1609601.
12. Orsini, S., Padel, S., Lampkin, N. Labour. (2018). Use on Organic Farms: a Review of Research since 2000. *Organic Farming*. Vol. 4, Is. 1. P. 7–15. <https://doi.org/10.12924/of2018.04010007>.
13. Ivashura, A. A. (2022). Suchasni tendentsii rozvytku zelenoi ekonomiky v umovakh hlobalizatsii ta minimalistychnoho rukhu [Elektronnyi resurs]: monohrafiia / A. A. Ivashura. Kharkiv : KhNEU im. S. Kuznetsia, 113 p. [in Ukrainian].
14. de Marco, B. A., Rechelo, B. S, Tótolí, E. G., Kogawa, A. C., Salgado, H. R. N. (2019). Evolution of green chemistry and its multi dimensional impacts: A review. *The Saudi Pharmaceutical Journal*, 27(1), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2018.07.011>.
15. Ubuoh, E. (2016). Green Chemistry: A Panacea for Environmental Sustainability Agriculture in Global Perspective. *Global Journal of Pure and Applied Chemistry Research*, 4(1), 21-29.
16. FiBL & IFOAM – Organics International. The World of Organic Agriculture. Statistics & emerging trends (2022). Available at: <https://www.fibl.org/fileadmin/documents/shop/1344-organic-world-2022.pdf>.
17. Vasylenko, I. A., Chuprinov, E. V., Ivanchenko, A. V., Skyba, M. I., Vorobyova, V. I., Galish, V. V. (2019). Zeleni tekhnolohii u promyslovosti: Monohrafiia / I. A. Vasylenko, Ye. V. Chuprynov, A. V. Ivanchenko ta in. – Dnipro: Aktsent PP 366 p. [in Ukrainian].

## Бібліографія

1. Kharissova Q. V., Kharisov B. I., González C. M. O., Méndez Y. P., López I. Greener synthesis of chemical compounds and materials. Royal Society Open Science. 2019. 6(11). pp. 191378. <https://doi.org/10.1098/rsos.191378>
2. Krishna N. Ganesh, Deqing Zhang, Scott J. Miller Kai, Rossen Paul J. Chirik Marisa C. Kozlowski Julie B. Zimmerman Bryan, W. Brooks, Phillip E. Savage, David T. Allen, and Adelina M. Voutchkova-Kostal. Green Chemistry: A Framework for a Sustainable Future Environmental Science & Technology. 2021. 55 (13). pp. 8459-8463. DOI: 10.1021/acs.est.1c03762
3. Gao X., Liu J., Zuo X., Feng X., Gao Y. Recent advances in synthesis of benzothiazole compounds related to green chemistry. Molecules. 2020. 25(7). pp. 1675.
4. Adam D. H., Supriadi Y. N., Ende Siregar Z. M. E. Green Manufacturing, Green Chemistry And Environmental Sustainability: A Review. International Journal of Scientific & Technology Research. 2020. №9(04). pp. 2209-2211.
5. Kraus N. M., Kraus K. M., Osetskyi V. L. Green business in blue economy: quality management and development of innovative products. Lecture Notes in Mechanical Engineering: Advances in Thermal Engineering, Manufacturing, and Production Management (ICTEMA 2020). Springer, Singapore (27-28 June 2021, Jalpaiguri, India). 2021. Vol. 1. pp. 383–394.
6. Medina Valderrama C. J., Morales Huamán H. I., Valencia-Arias A., Vasquez Coronado M. H., Cardona-Acevedo S., Delgado-Caramutti, J. Trends in Green Chemistry Research between 2012 and 2022: Current Trends and Research Agenda. Sustainability. 2023. 15(18). pp. 13946. <https://doi.org/10.3390/su151813946>.
7. Makedon V., Dzeveluk A., Khaustova Y., Bieliakova O., Nazarenko I. Enterprise multi-level energy efficiency management system development. International Journal of Energy, Environment, and Economics. 2021. Volume 29. Issue 1. pp. 73-91.

8. Santi M., Sancineto L., Nascimento V., Azeredo J. B., Orozco E. V. M., Andrade L. H., Gröger H., Santi C. Flow Biocatalysis: A Challenging Alternative for the Synthesis of APIs and Natural Compounds. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021. 22(3). pp. 990. <https://doi.org/10.3390/ijms22030990>, PMid:33498198 PMCID:PMC7863935
9. Македон В., Михайленко О., Красніков П. Управління розробкою та реалізацією національних і міжнародних проектів у сфері відновлювальної енергетики. Підприємництво та інновації. 2023. №(26). с. 5-13. <https://doi.org/10.32782/2415-3583/26.1>
10. Asif, Mohammad. Green synthesis, green chemistry, and environmental sustainability: an overview on recent and future perspectives of green chemistry in pharmaceuticals. *Green Chemistry & Technology Letters*. 2021. №7. pp. 18-27. 10.18510/gctl.2021.713.
11. Lasker G. A., Mellor K. E., Simcox N. J. Green chemistry & chemical stewardship certificate program: a novel, interdisciplinary approach to green chemistry and environmental health education. *Green Chemistry Letters and Reviews*. 2019. 12(2). pp. 178–186. doi: 10.1080/17518253.2019.1609601
12. Orsini, S., Padel, S., Lampkin, N. Labour .Use on Organic Farms: a Review of Research since 2000. *Organic Farming*. 2018. Vol. 4. Is.1. pp. 7–15. <https://doi.org/10.12924/of2018.04010007>
13. Івашура А. А. Сучасні тенденції розвитку зеленої економіки в умовах глобалізації та мінімалістичного руху [Електронний ресурс]: монографія / А. А. Івашура. Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2022.113 с.
14. de Marco B. A., Rechelo B. S, Tótolí E. G., Kogawa A. C., Salgado H. R. N. Evolution of green chemistry and its multi dimensional impacts: A review. *The Saudi Pharmaceutical Journal*. 2019. №27(1). pp. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2018.07.011>
15. Ubuoh E. Green Chemistry : A Panacea for Environmental Sustainability Agriculture in Global Perspective. *Global Journal of Pure and Applied Chemistry Research*. 2016. 4(1). pp. 21-29.

16. FiBL & IFOAM – Organics International. The World of Organic Agriculture. Statistics & emerging trends 2022. URL: <https://www.fibl.org/fileadmin/documents/shop/1344-organic-world-2022.pdf>

17. Василенко І. А., Чупринов Є. В., Іванченко А. В., Скиба М. І., Воробйова В. І., Галиш В. В. Зелені технології у промисловості: Монографія / І. А. Василенко, Є. В. Чупринов, А. В. Іванченко та ін. – Дніпро: Акцент ПП, 2019. 366 с.