



СОЛОМЕНКО Людмила,
кандидат біологічних наук, доцент,
старший науковий співробітник відділу
науково-методичної роботи та реферування
Національної наукової сільськогосподарської
бібліотеки НААН (м. Київ, Україна)
solomenkoludmila8@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8224-3548>

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ЕВОЛЮЦІЇ НАУКОВИХ ПОГЛЯДІВ ПРО КСЕНОБІОТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ У XX СТ.

У статті простежено еволюцію наукових поглядів на ксенобіотичні дослідження з розвитком і становленням сучасної екології протягом ХХ ст. Проведено історичний аналіз взаємовідносин суспільства та природи, який свідчить про те, що інтенсифікація антропогенних трансформацій у біосфері була пов'язана не стільки з ростом народонаселення, скільки з його технічним оснащенням і суспільною організацією праці. З розвитком суспільства, з утворенням великих суспільних об'єднань (племен, союзів племен, держав) ці процеси безперервно посилювалися. Тому етапи взаємодії суспільства і природи відповідають не лише етапам вдосконалення засобів виробництва, якими люди безпосередньо впливали на природу, але й етапам розвитку виробничих відносин, етапам розвитку самого людського суспільства. Показано, що наприкінці ХХ ст. на третій стадії взаємодії суспільства і природи, коли вже утворилася функціонально замкнена глобальна соціоекосистема, виникла потреба в наукових знаннях, на яких базуватимуться правила й оцінка безпеки синтетичних хімічних речовин і ліків, що стало важливою мотивацією для вивчення ксенобіотиків. Активно розвиваються прикладні галузі сучасної екології, які досліджують ксенобіотичні властивості синтетичних речовин та їхнього впливу на довкілля. Встановлено, що в цей час було створено Міжнародне товариство з вивчення ксенобіотиків (ISSX), яке стало головною науковою організацією для дослідників, які цікавляться метаболізмом і розподілом чужорідних для живого речовин. У кінці ХХ ст. вітчизняні вчені активно починають вивчати гігієну застосування пестицидів, досліджуючи їхні ксенобіотичні властивості. Важливо, щоб науковці, які працюють у таких різноманітних галузях, як клінічна та фундаментальна фармакологія, біохімія, токсикологія, екотоксикологія та онкологія, були залучені до вивчення

метаболізму синтетичних речовин як в університетах, науково-дослідних інститутах, так і у фармацевтичній, хімічній, агрохімічній, захисту рослин, харчовій, тютюновій та косметичній промисловості.

Ключові слова: еволюція, наукові погляди, ксенобіотики, ксенобіотичні дослідження, етапи взаємодії суспільства та природи, екологія.

THEORETICAL AND METHODOLOGICAL BASIS OF THE EVOLUTION OF SCIENTIFIC VIEWS ON XENOBIOTIC RESEARCH 20TH CENTURY

The article traces the evolution of scientific views on xenobiotic research with the development and formation of modern ecology during the 20th century. A historical analysis of the relationship between society and nature was conducted, which shows that the intensification of anthropogenic transformations in the biosphere was not so much related to the growth of the population as to its technical equipment and social organization of work. With the development of society, with the formation of large social associations (tribes, tribal unions, states), these processes continuously intensified. Therefore, the stages of interaction between society and nature correspond not only to the stages of improvement of the means of production, with which people directly influenced nature, but also to the stages of the development of industrial relations, to the stages of the development of human society itself. It is shown that at the end of the 20th century, at the third stage of the interaction between society and nature, when a functionally closed global socio-ecosystem had already formed, there was a need for scientific knowledge on which the rules and safety assessment of synthetic chemicals and drugs would be based, which became an important motivation for the study of xenobiotics. Actively developing applied branches of modern ecology, which investigate the xenobiotic properties of synthetic substances and their impact on the environment. Research has shown that the International Society for the Study of Xenobiotics (ISSX) was founded at this time and became the main scientific organization for researchers interested in the metabolism and distribution of foreign substances. At the end of the 20th century, domestic scientists actively began to study the hygiene of the use of pesticides, investigating their xenobiotic properties. It has become necessary that scientists working in such diverse fields as clinical and fundamental pharmacology, biochemistry, toxicology, ecotoxicology and oncology are involved in the study of the metabolism of synthetic substances both in universities and research institutes, as well as in pharmaceutical, chemical, agrochemical, plant protection, food, tobacco and cosmetic industries.

Keywords: evolution, scientific views, xenobiotics, xenobiotic research, stages of interaction between society and nature, ecology.

Постановка проблеми. Розвиток промисловості нерозривно пов'язаний з розширенням кола використаних хімічних речовин. Так, збільшення об'ємів використання пестицидів, добрив та інших хімікатів є характерною рисою

сучасного сільського господарства та лісоводства. Ще декілька десятків років тому хімічні відходи виробництва просто скидали в навколишнє середовище, а пестициди і добрива практично безконтрольно, виходячи з утилітарних міркувань, розпилювали над величезними територіями. При цьому вважалося, що газоподібні речовини повинні швидко розсіюватися в атмосфері, а котрі надходять у розчинному стані – переноситися далеко від місць викиду. І хоча тверді продукти значною мірою накопичувалися в регіонах, потенційна небезпека промислових викидів розглядалася як низька. Економічний ефект від використання пестицидів та добрив у багато разів перевищував шкоду природному середовищу [3, с. 18].

Щороку у світі синтезуються тисячі нових сполук, окремі з яких залучаються до кругообігу речовин у біосфері. Підраховано, що в навколишньому середовищі є близько 6 млн. хімічних сполук, 90 % з яких – синтетичного походження. Переважна більшість з них є ксенобіотиками [6]. Ксенобіотики – це чужорідні хімічні речовини, які надходять в організм з навколишнього середовища, але не беруть участі у пластичному чи енергетичному обміні, довгий час залишаючись у незмінному стані. До них належать лікарські препарати, пестициди, солі важких металів, радіонукліди, промислові отрути, відходи підприємств, харчові добавки, косметичні засоби тощо [2]. Проте автори у наукових працях часто надають різного змісту терміну «ксенобіотики». Саме тому **метою статті** визначаємо вивчення еволюції наукових поглядів про ксенобіотичні дослідження з розвитком сучасної екології. В сучасній літературі надзвичайно мало місця відводиться вивченню цього питання, тому наукова новизна й актуальність запропонованої статті очевидні.

Результати дослідження. З розвитком суспільства зростає антропогенний тиск на навколишнє середовище. У цьому процесі доцільно розрізняти три стадії, які по суті є різними етапами розвитку на нашій планеті глобальної соціоекосистеми. На відміну від інших організмів людина – особливий біологічний вид, який впливає на природу не лише своїми

метаболическими процесами, тобто біологічним обміном речовин, а й трудовою діяльністю.

З табл. 1 бачимо, що історичний аналіз взаємовідносин суспільства та природи свідчить про інтенсифікацію антропогенних трансформацій у біосфері, пов'язану не стільки з ростом народонаселення, скільки з його технічним оснащенням і суспільною організацією праці. За допомогою кам'яних знарядь первісні люди почали перетворювати об'єкти і процеси природи з їх натурального стану на штучний.

Таблиця 1.

Еволюція взаємовідносин суспільства та природи
(складено автором на підставі праць С. М. Стойко (1987),
М. Ф. Реймерс (1990), Г. О. Бачинський (1991, 1995))

Період	Суть взаємовідносин «суспільство-природа»	Наслідки
Перша стадія взаємодії суспільства та природи тривала близько 2-3 млн. років від появи на Землі перших людей примітивного виду <i>Homo habilis</i> до виникнення близько 40 тис. років тому сучасного людського виду <i>Homo sapiens</i> (людина розумна), тобто до початку пізньопалеолітичної доби.	Взаємодія людини з природою обмежувалась біологічним обміном речовин. У людини, що є біосоціальною істотою, ще переважала її біологічна сутність. Нечисленні первісні стада людей, озброєні недосконалими кам'яними знаряддями, органічно «вписувались» як складові елементи у природні екосистеми, не порушуючи своєю діяльністю їхньої динамічної рівноваги.	Функціонально незамкнена глобальна соціоекосистема. Слабкі антропогенні впливи не могли викликати помітних змін у навколишньому середовищі.
Друга стадія взаємодії суспільства та природи тривала від початку пізнього палеоліту до кінця Другої світової війни, тобто до середини ХХ ст.	Людство вже відчутно впливало на навколишнє середовище. Антропогенний тиск на природу неухильно зростав разом із розвитком людського суспільства, з удосконаленням виробничих відносин та знарядь праці. Спостерігалось вимирання багатьох видів тварин і рослин, що викликало деградацію природних екосистем на значних площах. Але ще не було порушено природного кругообігу речовин та енергетичних потоків на нашій планеті, тобто динамічна рівновага біосфери залишалась ще непорушною.	Частково функціонально замкнена глобальна соціоекосистема. Це вже створювало певні напруження у взаємовідносинах між людським суспільством і навколишнім середовищем.
Третя стадія взаємодії суспільства та природи почалася в середині ХХ ст.	Нераціональна господарська діяльність, багаторазово підсилена здобутками науково-технічного	Функціонально замкнена глобальна

<p>після закінчення Другої світової війни, яка стимулювала різкий стрибок у розвитку науки й техніки, започаткувавши нову науково-технічну революцію.</p>	<p>прогресу, призвела до пошкодження і вичерпання природних ресурсів.</p> <p>Відбулося пошкодження регенераційних механізмів біосфери, деформації складеного протягом багатьох мільйонів років природного кругообігу речовин та енергетичних потоків на планеті. Порушення динамічної рівноваги глобальної земної соціоекосистеми привело до руйнування біосфери Землі, що загрожує стати незворотним і непридатним для подальшого існування людства.</p>	<p>соціоекосистема.</p> <p>Будь-який, навіть порівняно незначний антропогенний вплив на той чи інший природний компонент охоплює всю соціоекосистему в цілому і викликає непередбачені, часто далекосяжні негативні наслідки.</p>
---	---	--

З розвитком суспільства й утворенням великих суспільних об'єднань (племен, союзів племен, держав) ці процеси безперервно посилювалися. Тому стадії взаємодії суспільства і природи відповідають не лише етапам вдосконалення засобів виробництва, якими люди безпосередньо впливали на природу, але й етапам розвитку виробничих відносин і самого людського суспільства. З розвитком науково-технічної революції взаємовідносини «суспільство – природа» вже в середині ХХ ст. загострюються настільки, що руйнування біосфери Землі набирає незворотних процесів, утворюючи функціонально замкнену глобальну соціоекосистему. Це означає, що будь-який негативний вплив на природне середовище викликає непередбачені, часто далекосяжні негативні наслідки. Так, стрімкий розвиток промислового виробництва та хімізація народного господарства ведуть до появи у навколишньому середовищі різних хімічних сполук, які забруднюють біосферу і згубно впливають на живу природу.

Застосування пестицидів стало важливою складовою технологій вирощування сільськогосподарських культур, адже використання цих хімічних речовин дозволяло значно скоротити втрати вирощеної продукції.

У 1962 р. з'явилася книга Рашель Карсон «Мовчазна весна», в якій автор описала випадки масової загибелі птахів та риб від безконтрольного використання пестицидів. Р. Карсон дійшла висновку, що ефекти полютантів, які проявляються на дикій природі, несуть небезпеку також і для людини.

Книга привернула суспільну увагу. З'явилися організації захисту навколишнього середовища, стали видаватися урядові законодавчі акти, що регламентували викиди небезпечних для довкілля речовин.

Проблема відвернення глобальної екологічної кризи поставила питання об'єднання всіх наукових знань і галузей практичної діяльності на єдиній науковій основі і, як зазначає М. М. Моїсеєв (1995 р.), «перед людством на весь зріст піднімається проблема виживання – центральна проблема сучасності. Наука, яка вивчає її, носить назву екологія» [7, с. 21].

В результаті екологія, за словами М. Ф. Реймерса, перетворилась на комплексну міждисциплінарну науку, структура якої включає близько 90 напрямів і піднапрямів, що сформувалися упродовж останніх десятиліть в усіх галузях людської діяльності, де йдуть процеси екологізації. Важливо зазначити, що кожен із прикладних екологічних напрямів має свою специфіку, своє коло екологічних питань, свої методи й масштаби досліджень. Але завдання в усіх одне: визначити характер і обсяги забруднень довкілля, пов'язаних з діяльністю людини, ступінь їх небезпечності й можливості нейтралізації, шляхи екологізації виробництва, економії та відтворення природних ресурсів. Саме в цей час можна відмітити початок розвитку нової галузі науки – екологічної токсикології (*ecotoxicology*).

У самостійну науку екологічну токсикологію (екотоксикологію) виділив Рене Траут, який уперше, в 1969 р., зв'язав воедино два абсолютно різних предмети: екологію та токсикологію [3, с. 18]. Термін «екологічна токсикологія» з'явився у вітчизняній та зарубіжній літературі у 1973 р. як напрямок профілактичної токсикології з вивчення пристосування (адаптації) живого до змін хімічного складу середовища його перебування в умовах цілісного комплексу абіотичних, біотичних та соціальних факторів.

Предметом вивчення екотоксикології стали медичні препарати, сільськогосподарські хімікати, промислові хімікати, забруднювачі

навколишнього середовища й інші екзогенні речовини, які штучно створила людина. Ці дослідження охоплювали введення, розподіл і транспортування, вплив на біологічні системи сполук під назвою «ксенобіотики». Цей термін походить від грецького слова «xenos» (чужий) і «bios» (живий або пов'язаний з ним). Ксенобіотики – чужорідні для організму речовини, які довгий час залишаються у незмінному стані, стійкі до впливу як біотичних, так і абіотичних факторів. Використання ксенобіотиків людиною походить із давнини, але інтерес до метаболізму чужорідних сполук виник лише з середини ХІХ ст., коли знання і методи органічної хімії вперше були застосовані для його вивчення. Протягом майже століття після того біотрансформацію зазвичай ототожнювали з «детоксикацією» або усуненням біологічної активності сполуки. Ця точка зору змінилася наприкінці 1930-х рр. з відкриттям факту про те, що антибактеріальні властивості синтетичного азотовмісного барвника Prontosil виявилися завдяки своєму метаболіту, сульфаніламіді. З 1950-х рр. було показано, що біологічні ефекти багатьох ксенобіотичних речовин зумовлені продуктами біотрансформації, а не вихідною сполукою. Важливість біотрансформації та інших аспектів взаємодії ксенобіотиків з живими системами не залишилася поза увагою вчених у всьому світі. Їхня потреба в наукових знаннях, на яких базуватимуться правила й оцінка безпеки хімічних речовин і ліків, стала важливою мотивацією для вивчення ксенобіотиків.

У 1981 р. невелика група вчених, згуртованих ще в 1970-х рр. під егідою дослідницьких конференцій Гордона з метаболізму ліків (Gordon Research Conferences on Drug Metabolism), зробила сміливий крок, запропонувавши організувати міжнародне товариство для сприяння взаємодії вчених, які займаються вивченням ксенобіотиків у живих системах [1]. Так було створено Міжнародне товариство з вивчення ксенобіотиків (ISSX). Сьогодні ця організація має потужну міжнародну базу, яка включає понад 2 250 членів із більш ніж 50 країн.

Надходження ксенобіотиків [5] пов'язане передусім з антропогенним навантаженням на екосистеми, тобто збільшенням об'ємів промислового

виробництва, застосуванням екологічно небезпечних технологій, накопиченням небезпечних токсичних відходів, хімізацією сільського господарства. У навколишньому середовищі ксенобіотики піддаються процесам міграції та подальшого перетворення. В результаті змінюються їхні фізико-хімічні властивості, міграційна здатність, токсичність для живих організмів.

Негативний вплив ксенобіотиків на живі організми може бути обумовлений як безпосередньою токсичною дією, так і акумуляцією їх на різних ланках трофічного ланцюга, внаслідок чого різко зростає концентрація небезпечних речовин у живих організмах [8]. Згідно правила екологічної піраміди, розмір біомаси в екологічних пірамідах закономірно знижується при переході на кожен новий трофічний рівень. Але ксенобіотики, залишаючись у незмінному стані, зберігатимуть свою масу при переході з рівня на рівень трофічної піраміди. Тому концентрація ксенобіотиків у розрахунку на одиницю біомаси буде зростати. Цей ефект називається законом концентрування речовин у трофічних ланцюгах. Це може відбуватися зі стійкими пестицидами, з радіоактивними речовинами та важкими металами. Наприклад, за даними Н. Гріна та ін. (США, 1990), усього за чотири ланки трофічного ланцюга концентрація ДДТ зросла в 1875 разів. Концентрація радіоактивного Cs^{137} , за даними Д. Н. Криволуцького та ін. (1989), при переході від однієї трофічної ланки до іншої збільшується в 1,5-8 разів. За даними М. Крауса (1989) у трофічному ланцюгу «рослини – комарі – хірономіди – ластівки» виявилось значне накопичення важких металів у тілі ластівок. У мозковій тканині й печінці накопичувався свинець, у м'язах, шкаралупі яєць і тканинах ембріонів – хром і нікель, а в пір'ї – мідь і свинець [7, с. 169].

У кінці ХХ ст. особливої актуальності набула проблема дослідження наслідків впливу стійких до розпаду пестицидів на природні екосистеми та здоров'я людей внаслідок їх застосування у сільському господарстві. У разі потрапляння до ґрунту пестициди забруднюють його токсичними сполуками,

пригнічують біологічну активність, породжують небезпеку для популяційного складу біоценозів, сприяють появі мутацій, що порушує генетичну чистоту високопродуктивних сортів та погіршує якість сільськогосподарської продукції, з'являється небезпека інтоксикації тварин і людини [4].

Саме проблема визначення граничної кількості токсиканту або групи токсикантів у природному та навколишньому середовищах, за якої не відбувається несприятливих змін у біологічних системах, стала основним питанням впливу ксенобіотиків на природні екосистеми. В основі досліджень ксенобіотичних властивостей речовин та їхнього впливу на довкілля застосовують екологічні закони принципу лімітуючих факторів (закон мінімуму Лібіха, закон оптимуму, закон взаємодії факторів, закон толерантності Шелфорда) та ін. За правилом В. Шелфорда для кожного організму існує певний діапазон толерантності (витривалості) до дії певного фактору, який обмежений мінімальними та максимальними значеннями, тобто критичними точками. Згідно закону Ю. Лібіха лімітуючим може виступати будь-який фактор, як нестача, так і надлишок хімічної речовини. Організми ж можуть мати широкий діапазон толерантності щодо одного фактору (еврибіонти) і вузький діапазон (стенобіонти) щодо іншого. Практичне застосування цих законів стало одним зі шляхів проведення екологічної оцінки ґрунтів, в основі якої може бути встановлення чутливих видів біоти, за реакцією яких доцільно визначати небезпечні для екосистеми концентрації ксенобіотиків у ґрунті.

У кінці ХХ ст. вітчизняні вчені також активно починають вивчати гігієну застосування пестицидів, досліджуючи їхні ксенобіотичні властивості. Так, вчені наукової школи академіка Л. І. Медвідя [8] сформулювали чотири особливості застосування пестицидів: 1) пестициди перебувають у навколишньому середовищі до повного розпаду; 2) пестициди призначені для знищення живого; 3) пестициди можуть бути небезпечними не тільки для шкідливих комах, збудників хвороб рослин, бур'янів, а й для корисної флори та фауни і здоров'я людини; 4) контакти великої маси населення з пестицидними препаратами у зв'язку з їхньою циркуляцією в навколишньому середовищі та

ймовірним попаданням у продукти харчування. Відомо, що пестициди піддаються біодеградації, якщо вони не набувають ксенобіотичних властивостей і тому не пригнічують активності ґрунтової біоти, не порушуючи її функцій.

Висновки. У кінці ХХ ст. на третій стадії взаємодії суспільства та природи, коли вже утворилась функціонально замкнена глобальна соціоекосистема, виникла потреба в наукових знаннях, на яких базуватимуться правила й оцінка безпеки синтетичних хімічних речовин і ліків, що стало важливою мотивацією для вивчення ксенобіотиків. Вкрай важливим є те, щоб науковці, які працюють у таких різних галузях, як клінічна та фундаментальна фармакологія, біохімія, токсикологія, екотоксикологія та онкологія, були залучені до вивчення метаболізму як в університетах, науково-дослідних інститутах, так і у фармацевтичній, хімічній, агрохімічній, захисту рослин, харчовій, тютюновій та косметичній промисловості. Активно розвиваються прикладні галузі сучасної екології, які досліджують ксенобіотичні властивості синтетичних речовин та їхнього впливу на довкілля. Створено Міжнародне товариство з вивчення ксенобіотиків (ISSX), яке стало головною науковою організацією для дослідників, які цікавляться метаболізмом і розподілом чужорідних для живого речовин.

Список використаних джерел та літератури

1. The International Society for the Study of Xenobiotics (ISSX). URL: <https://www.issx.org/page/History>.
2. Головенко Н. Я. Механизмы реакций метаболизма ксенобиотиков в биологических мембранах. Киев: Вид-во «Наукова думка», 1981. 219 с.
3. Григор'єва Л. І., Томлін Ю. А. Екологічна токсикологія та екотоксикологічний контроль: навчальний посібник. Миколаїв: Вид-во ЧДУ імені Петра Могили. Миколаїв, 2015. 240 с.
4. Екологічна біохімія / Ісаєнко В. М., Войціцький В. М., Хижняк С. В., Бабенюк Ю. Д., Ільїн В. М., Олійник С. А. Київ: Книжкове видавництво НАУ, 2005. 440 с.
5. Майстренко В. Н., Хамитов Р. З., Будников Г. К. Эколого-аналитический мониторинг суперэкоотоксикантов. Москва: Химия, 1996. 320 с.

6. Саловарова В. П., Приставка А. А., Берсенева О. А. Введение в биохимическую экологию. Иркутск: Изд-во Иркутского государственного университета, 2007. 160 с.
7. Соломенко Л. І., Боголюбова В. М., Волох А. М. Загальна екологія: підручник [3-є видання, випр. і доп.]. Херсон: Олді-плюс, 2020. 346 с.
8. Тинсли И. Поведение химических загрязнителей в окружающей среде. Москва: Мир, 1982. 350 с.

References

1. The International Society for the Study of Xenobiotics (ISSX). (n.d.). *issx.org*. Retrieved from <https://www.issx.org/page/History>.
2. Holovenko, N. Ya. (1981). Механізми реакції метаболізму ксенобіотиків в біологічних мембранах [Mechanisms of xenobiotics metastasis reactions in biological membranes]. Kyiv: Vyd-vo «Naukova dumka» [in Ukrainian].
3. Hryhor'ieva, L. I. & Tomilin, Yu. A. (2015). Ekologichna toksykologhiia ta ekotoksykologichnyi kontrol [Environmental toxicology and ecotoxicological control]. Mykolaiv: Vyd-vo ChDU imeni Petra Mohyly [in Ukrainian].
4. Maistrenko, V. N. Khamytov, R. Z., & Budnykov, H. K. (1996). Ekologo-analytycheskyi monytorynh superekotoksykantov [Environmental and analytic monitoring of supercotoxants]. Moskva: Khymyia [in Russian].
5. Isaenko, V. M., Voitsitskiy, V. M., Babenyuk, Yu. D., Khyzhnyak, S. V., Il'yn, V. M., & Oliynik, S. A. (2005). Ekologichna biokhimija [Ecological biochemistry]. Kyiv: Knyzhkove vydavnytvo NAU [in Ukrainian].
6. Salovarova, V. P., Prystavka, A. A., & Berseneva, O. A. (2007). Vvedeniye v byokhymycheskuiu ekologiyu [Introduction to biochemical ecology]. Yrkutsk: Yzd-vo Yrkutskoho hosudarstvennoho un-ta [in Russian].
7. Solomenko, L. I, Boholiubov, V. M., & Volokh, A. M. (2020). Zahalna ekologhiia: pidruchnyk. 3 vydannia, vypr. i dop. [General Ecology]. Kherson: Oldi-plus [in Ukrainian].
8. Tynsly, Y. (1982). Povedeniye khymycheskykh zahriaznytelei v okruzhaiushchei srede [Chemical contaminants behaviour in the environment]. Moskva: Myr [in Russian].

Рецензенти:

Н. І. Коцур, д. і. н., проф.;

С. А. Радозуз, к. і. н.

Надійшла до редакції: 16.09.2022 р.