



**В. В. Снітинський,
П. Р. Хірівський,
П. С. Гнатів,
Ю. Я. Корінець,
Н. Є. Панас**

ЕКОТОКСИКОЛОГІЯ



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЕКОТОКСИКОЛОГІЯ

Навчальний посібник

для бакалаврів
за спеціальністю 101 «Екологія»

ОЛДІПІНОВ
2019

НАЦІОНАЛЬНА 3
НАУКОВА МЕДИЧНА
БІБЛІОТЕКА УКРАЇНИ
01633, м.Київ, вул.Л.Толстого, 7

633.205

УДК 615.9/504.054/574.2-3
Е45

Рекомендовано до друку Вченою радою
Львівського національного аграрного університету
(протокол № 2 від 4.10.2016 р.).

Колектив авторів:

Снітинський Володимир Васильович,
Хірівський Петро Романович, Гнатів Петро Степанович,
Корінець Юрій Ярославович, Панас Наталя Євгеніївна

Рецензенти:

І. Я. Капрусь, професор, доктор біологічних наук, завідувач відділу біосистематики та еволюції Державного природознавчого музею НАН України;

М. С. Мальований, професор, доктор технічних наук, завідувач кафедри екології та охорони навколишнього середовища Національного університету «Львівська політехніка»;

Н. З. Огородник, професор, доктор ветеринарних наук, завідувач кафедри тваринництва та кормовиробництва Львівського національного аграрного університету.

Екотоксикологія : навчальний посібник / В. В. Снітинський, Е45 П. Р. Хірівський, П. С. Гнатів, Ю. Я. Корінець, Н. Є. Панас / 2-ге вид., доп. і перероб. – Херсон : Олді-плюс, 2019. – 396 с.

ISBN 978-966-289-164-5

У другому виданні навчального посібника отримали подальший розвиток основи екотоксикології, її понятійний апарат і загальні підходи до вивчення екотоксикантів. Докладно висвітлені біогенні токсини, їхнє значення для популяцій і функціональна роль у підтриманні стабільності природних екосистем, а також потреба збереження біорізноманіття, зокрема й отруйних видів. Викладені сучасні дані стосовно походження, поведження у довкіллі та небезпеки для людини техногенних екотоксикантів: хімічних елементів, отруйних сполук, стійких органічних забруднювачів, особливо шкідливих штучних хімічних канцерогенів.

Навчальний посібник підготовлений для екологів. Він буде корисний аспірантам, науковцям і фахівцям сфери моніторингу й екоменеджменту, у контролі за якістю довкілля, а також в організації екобезпечного виробництва і природокористування.

УДК 615.9/504.054/574.2-3

ISBN 978-966-289-164-5

© В. В. Снітинський, П. Р. Хірівський,
П. С. Гнатів, Ю. Я. Корінець, Н. Є. Панас, 2019
© ОЛДІ-ПЛЮС, 2019

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	6
------------------------	----------

ЧАСТИНА I НАУКОВІ ЗАСАДИ ЕКОТОКСИКОЛОГІЇ

1. ТОКСИКОЛОГІЯ ТА ЕКОТОКСИКОЛОГІЯ	11
1.1. Токсикологія – об’єкт, предмет і завдання	11
1.2. Історія становлення токсикології та екотоксикології	14
1.3. Екотоксикологія – об’єкт, предмет і завдання	22
1.4. Фундаментальні поняття екотоксикології	26
2. ВСТУП ДО ЕКОТОКСИКОЛОГІЇ	34
2.1. Організми, екосистеми й екотоксиканти	34
2.2. Класифікація екотоксикантів	42
2.3. Критерії визначення шкодочинності екотоксиканта	53
2.4. Класифікація отруень організмів	61
3. ТОКСИКОКІНЕТИКА Й ТОКСИКОДИНАМІКА	64
3.1. Загальні уявлення про токсикокінетику та екотоксикокінетику	64
3.2. Шляхи проникнення отрут в організм	69
3.3. Проникнення отрут у клітини та їхня взаємодія з рецепторами	72
3.4. Розподіл і зв’язування ксенобіотиків в організмі	76
3.5. Виведення отрут із організму	79
3.6. Фактори, що впливають на токсичність речовин	81
3.7. Метаболізм і кон’югація чужорідних сполук	83
3.8. Абіотична нейтралізація ксенбіотиків у природному довкіллі	88
3.9. Загальні уявлення про токсикодинаміку й екотоксикодинаміку	91

ЧАСТИНА II

БІОГЕННІ ТОКСИНИ ТА ЇХНЯ РОЛЬ В ЕКОСИСТЕМАХ

4. ТОКСИНИ МІКРОБІОТИ І ГРИБІВ	105
4.1. Природні біогенні токсини та їх класифікація	105
4.2. Токсини водоростей (альготоксини)	106
4.3. Токсини мікроорганізмів	107
4.4. Токсини грибів (мікотоксини)	109
5. ТОКСИНИ СУДИННИХ РОСЛИН	114
5.1. Поняття про фітотоксини та їх класифікація	114
5.2. Групи отруйності лікарських рослин	121
5.3. Основні групи біоактивних речовин, які містять вищі рослини	124
5.4. Ботанічні ознаки отруйних рослин	131
6. ТОКСИНИ НАЙПРОСТІШИХ, ГУБОК І КИШКОВОПОРОЖНИННИХ	144
6.1. Отруйні найпростіші (<i>Protozoa</i>)	144
6.2. Отруйні губки (<i>Spongia</i>)	146
6.3. Отруйні медузи та поліпи (<i>Medusozoa</i>)	148
6.4. Отруйні коралові поліпи (<i>Anthozoa</i>)	151
6.5. Отруйні черви (<i>Vermes</i>) і молюски (<i>Mollusca</i>)	153
7. ТОКСИНИ ПАВУКОПОДІБНИХ, КОМАХ І БАГАТОНІЖОК	162
7.1. Отруйні павукоподібні (<i>Arachnida</i>)	162
7.2. Отруйні комахи (<i>Insecta</i>) й багатоніжки (<i>Myriapoda</i>)	173
8. ТОКСИНИ ГОЛКОШКІРИХ, РИБ І КРУГЛОРОТИХ	191
8.1. Отруйні голкошкірі (<i>Echidermata</i>)	191
8.2. Отруйні риби (<i>Pisces</i>) і круглороти (<i>Cyclostomata</i>)	196

9. ТОКСИНИ АМФІБІЙ, РЕПТИЛІЙ І ССАВЦІВ	209
9.1. Отруйні амфібії (<i>Amphibia</i>)	209
9.2. Отруйні рептилії (<i>Reptilia</i>)	216
9.3. Отруйні ящірки (<i>Sauria</i>) та ссавці (<i>Mammalia</i>)	238

ЧАСТИНА III ЕКОТОКСИЧНІ КСЕНОБІОТИКИ

10. ХІМІЧНІ ЕЛЕМЕНТИ ТА РАДІОНУКЛІДИ	249
10.1. Забруднення довкілля та екотоксиканти	249
10.2. Хімічні елементи першого класу токсичності	258
10.3. Хімічні елементи другого класу токсичності	280
10.4. Хімічні елементи третього класу токсичності	292
10.5. Токсичні сполуки сірки й азоту	300
11. СТІЙКІ ОРГАНІЧНІ ЗАБРУДНЮВАЧІ	312
11.1. Пестициди – екотоксиканти	313
11.2. Екологічні аспекти використання пестицидів	318
11.3. Поліхлоровані біфеніли	324
11.4. Діоксини і діоксиноподібні сполуки	326
12. ХІМІЧНІ КАНЦЕРОГЕНИ	336
12.1. Екотоксиканти – канцерогени	336
12.2. небезпечні мінеральні волокна	343
12.3. Поліциклічні ароматичні вуглеводні	346
12.4. Бензол	352
ОСНОВНА Й ДОДАТКОВА ЛІТЕРАТУРА	362
ПОКАЖЧИК ТЕРМІНІВ	378
ДОДАТКИ	386

Міграція хімічних елементів на земній поверхні й у біосфері загалом здійснюється або за безпосередньої участі живої речовини, або ж вона відбувається в середовищі, геохімічні особливості якого зумовлені живою речовиною, як тією, що нині заповнила біосферу, так і тією, яка діяла на Землі упродовж усієї геологічної історії.

В. Вернадський

П Е Р Е Д М О В А

Промислова революція, що вибухнула від початку XIX ст., супроводжується забрудненнями, яких раніше не було у природі ні за кількісними, ні за якісними ознаками. У нашу добу до старих проблем зростання потужностей промисловості й транспорту додалися нові. З'явилися хімічні неприродні – штучні рукотворні сполуки, елементи й радіоізотопи, до яких ні біотичні системи, ні людська популяція ніяким чином адаптуватися не можуть. Упродовж останніх трьох-чотирьох десятиліть були синтезовані мільйони нових хімічних сполук, а щорічно промисловість виробляє декілька десятків тисяч видів нових речовин – ксенобіотиків. Виникла гостра потреба вивчення їх поведження у довкіллі, необхідність оцінки їх з точки зору небезпеки для живих організмів, популяцій і біоценозів, цілісних екосистем.

Екотоксикологія – нова галузь науки про довкілля людини, що виникла в епоху суспільного усвідомлення необхідності формування чітких практичних знань щодо впливів екотоксинів і ксенобіотиків на біосферу, коливання і зміни стану середовища в наземних і водних екосистемах під дією токсичних продуктів людської діяльності, а також способи уникнення негативних

ефектів чужоріжних для біоти і людини та непередбачуваних щодо своєї поведінки речовин.

Екотоксикологія – наука, яка безпосередньо пов'язана з екологією і токсикологією, належить до природничих галузей, ґрунтується на використанні сучасних медико-біологічних знань, технологічних дисциплін, інших сфер, корисних для профілактики та протидії шкідливому впливу токсичних речовин на людину й екосистеми.

Пропонований посібник містить три частини. Перша частина охоплює теоретичні основи екотоксикології, друга подає відомості про біогенні токсини та їх роль в екосистемах, третя описує основні найпоширеніші та найнебезпечніші токсичні техногенні речовини.

Метою вивчення дисципліни є набуття студентами знань і вмій, які необхідні фахівцю для організації науково-обґрунтованих заходів щодо профілактики забруднень токсичними речовинами навколишнього середовища, професійних інтоксикацій, для запобігання отруєнь людей і тварин, для надання невідкладної допомоги у випадках впливу на них певних екологічно небезпечних токсичних чинників.

Завданнями екотоксикології є з'ясування екологічних властивостей токсикантів, дослідження показників гострої і хронічної дії, розроблення першочергових заходів запобігання несприятливому розвитку ураження біотичних компонентів в екосистемах, вироблення прогнозів впливу екотоксиканта, розрахунок ситуаційних наслідків застосування заходів ефективної протидії забрудненню навколишнього середовища, санації й технічної корекції, а в разі необхідності лікарської допомоги, попередження аналогічних ушкоджень в майбутньому.

Засвоївши знання з екотоксикології, яка охоплює питання біогенних, промислових, сільськогосподарських, харчових і кормових отрут, екотоксикокінетики й екотоксикодинаміки ксенобіотиків, студенти отримують необхідні навички для визначення екотоксикантів, його походження, конкретної токсикологічної ситуації на об'єктах промислового і сільськогосподарського виробництва, проведення екотоксикологічного моніторингу об'єктів і територій, здійснення профілактичних заходів із недопущення негативної дії екотоксикантів і контролю за використанням токсичних речовин.

З освоєнням курсу екотоксикології студент може дізнатися: основні поняття дисципліни; джерела виникнення і надходження біогенних та антропогенних токсикантів у навколишнє середовище, їх класифікацію; поняття екотоксикокінетики; механізми екотоксичного ураження, залежно від аплікації впливу відходів виробничої та побутової діяльності; професійні особливості розвитку екотоксичних процесів на виробництві; екотоксикологічні питання за надзвичайних ситуацій; критерії шкідливості екотоксичного впливу; засоби профілактики і знешкодження токсичних речовин.

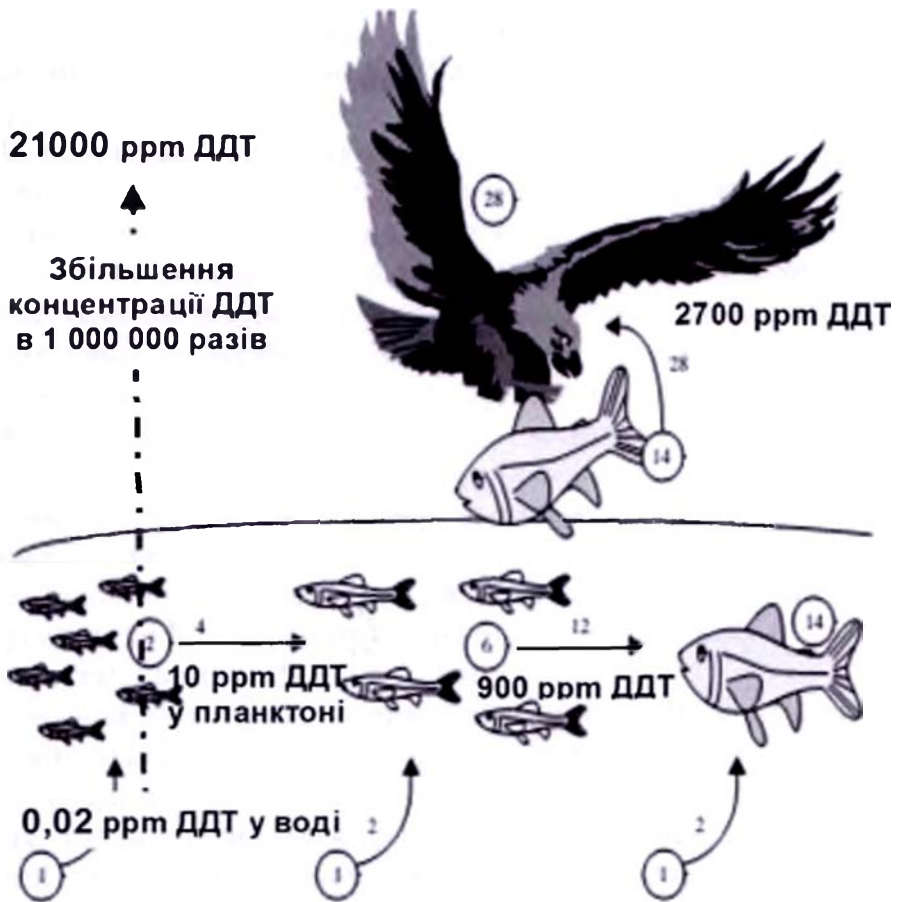
На основі вивчення матеріалу та виконання лабораторних і практичних робіт студент буде вміти: самостійно визначати джерела надходження екотоксикантів у навколишнє середовище, їх походження, поведінку в абіотичних і біотичних компонентах екосистеми; застосувати методи розрахунку та здійснити оцінку екотоксичної дії на основі нормування в екотоксикології; здійснити відбір проб повітря, води, ґрунту, біотичних об'єктів для хіміко-токсикологічного аналізу; застосовувати сучасні фізико-хімічні й біологічні методи визначення токсикантів в абіотичних і біотичних компонентах екосистем; визначити економічний, соціальний, медико-біологічний збиток впливу екотоксикантів на навколишнє середовище; планувати й реалізувати заходи щодо профілактики екотоксичних отруєнь як для певних біологічних об'єктів, так і для цілісних екосистем.

Освоєння екотоксикологічних знань ширшим колом екологів та фахівців інших галузей науки у майбутньому дозволить подолати труднощі становлення сучасної екотоксикології. Як самостійна галузь науки і навчальна дисципліна, вона до тепер немає строгої теоретичної основи, яка б об'єднувала накопичуваний польовий і експериментальний матеріал, і чітко його пояснювала. Неоднозначність початкових даних, що отримані в різних природних умовах і при різних діях, відсутність зв'язку між натурними спостереженнями й експериментом, відірваність теоретичних положень від конкретного вирішення практичних завдань – усе це ознаки новизни наукового напрямку екотоксикології, її перших кроків. Частина проблем становлення екотоксикології передається від не набагато “старшої” науки екології та захисту навколишнього середовища. Проте, якість довкілля на планеті та стан здоров'я

людей у нашу добу такі, що іншого вибору, як розвивати ці важливі новітні знання, не має.

Автори книги щиро вдячні усім, хто сприяв написанню й виданню цієї праці. Особлива подяка рецензентам – професорам І. Я. Капрусю, М. С. Мальованому, Н. З. Огородник за змістовні зауваження, які сприяли суттєвому поліпшенню якості посібника.

Частина I



**НАУКОВІ ЗАСАДИ
ЕКОТОКСИКОЛОГІЇ**



ТОКСИКОЛОГІЯ ТА ЕКОТОКСИКОЛОГІЯ

1.1. ТОКСИКОЛОГІЯ – ОБ’ЄКТ, ПРЕДМЕТ І ЗАВДАННЯ

Наука і навчальна дисципліна токсикологія має велику історію і глибокі гносеологічні корені.

У різних наукових і навчальних джерелах можна знайти низку роз’яснень токсикології. За спрощеним трактуванням, токсикологія – це наука про отрути. За змістом ця галузь фундаментальних знань сформувалася у медико-біологічній і хіміко-біологічній сферах. Тому, за визначенням “Енциклопедичного словника медичних термінів” (1982), **токсикологія** (від гр. *τοξικός* – отрута і *λόγος* – вчення) – це “... галузь медицини, що вивчає фізичні, хімічні властивості отрут (шкідливих і отруйних речовин), механізми їхньої дії на організм людини і розробляє методи діагностики, лікування та профілактики отруень”.

Предмет **медичної** токсикології – причини виникнення отруень і порушень здоров’я, зумовлених впливом на організм потенційно токсичних хімічних речовин, а також виявлення гострих і хронічних інтоксикацій, їхнє попередження та лікування.

Від своїх витоків токсикологія, як наука і прикладна галузь медицини, тісно пов’язана з хімією. На початку ХХ ст. Пауль Ерліх, ініціатор створення і винахідник нових антимікробних лікарських засобів, зазначав, що “... хімічний напрямок – це вісь, навколо якої обертаються найважливіші напрями сучасної медицини”. Останнє значною мірою стосується токсикології та фармакології.

Показово, що упродовж усього ХVІІІ ст. було виготовлено лише 10 нових лікарських засобів, за ХІХ – 15, а вже в ХХ ст. кількість створених препаратів обчислюють сотнями. Ці факти свідчать про те, що ХХ ст. знаменується не лише бурхливим розвитком промисловості, атомної енергетики і космічних досліджень,

а й хімії та хімічних технологій. Окрім того потрібно згадати період першої світової війни, коли була застосована синтетична хімічна речовина (іприт), як тактична зброя масового ураження у бойових діях на лінії фронту. Це стало вагомою передумовою підвищення уваги до токсикології, і не лише з благих намірів.

Від витоків першочерговими завданнями токсикології було розроблення заходів щодо попередження порушень здоров'я людини від дії отруйних і невідомих речовин. Теперішньої доби її стратегічною метою стала, здебільшого, профілактика й упередження токсичної дії усіх відомих і невідомих компонентів довкілля на людський організм і людську популяцію.

Тому, набули розвитку напрями промислової, аграрної, військової, комунальної й інших вузькоспеціальних токсикологій. Зокрема "Большой медицинский словарь" (<http://dic.academic.ru/>) містить визначення **військової** токсикології як розділу військової медицини і токсикології (загальної), що вивчає патогенез уражень отруйними речовинами, а також шкідливими речовинами і агресивними рідинами, використовуваними у військовій справі, розробляє методи діагностики, профілактики й лікування цих уражень. **Промислова** токсикологія визначена як розділ токсикології (загальної), що вивчає шкідливі речовини, котрі є початковими, проміжними, кінцевими або побічними продуктами промислового виробництва, і розробляє відповідні гігієнічні нормативи, профілактичні й лікувальні заходи. Відгалуженням її є токсикологія **авіаційно-космічна** – розділ токсикології (загальної), що вивчає вплив на організм шкідливих хімічних речовин, що забруднюють атмосферу кабін літальних апаратів, і розробляє відповідні гігієнічні нормативи і профілактичні заходи. **Судово-медична** токсикологія – це галузь судової медицини і токсикології, що вивчає отруєння з метою вбивства, самогубства або які виникають у результаті нещасних випадків на виробництві й у побуті. Токсикологія **комунальна** представляє розділ токсикології (загальної), який вивчає токсичні речовини, що діють на людину в умовах населених місць, і розробляє відповідні гігієнічні нормативи і профілактичні заходи. Важливою є сучасна **сільськогосподарська** токсикологія, яка вивчає шкідливі речовини, що використовують в аграрному секторі (рослинництві, овочівництві, тепличному господарстві, садівництві,

виноградарстві, у тваринництві й ветеринарії, а також у зберіганні й переробці с.-г. продукції), і розробляє відповідні гігієнічні нормативи, профілактичні і лікувальні заходи (рис. 1.1).

Отже, за стрімкого розширення знань і сфер застосування токсикології вона еволюціонувала у теоретичну й дослідно-експериментальну фундаментальну науку – **загальну токсикологію** та розподілилася на спеціальні – прикладні токсикології. Загальна токсикологія з'ясовує фундаментальні закони взаємодії організму й отрут, закономірності й шляхи їх надходження до нього, розподілу, метаболічного перетворення, займається розробленням принципів дослідження токсикологічних параметрів хімічних речовин.

В основу загальної токсикології покладено вчення про рух токсичних речовин в організмі, їх розподіл, метаболічне перетворення (біотрансформація) та виведення. Тому основними



Рис. 1.1. Структура токсикології

її **завданнями** є виявлення та опис властивостей хімічних речовин, які можуть зумовлювати виникнення в організмі патологічних змін, а також вивчення умов, за яких вони утворюються, найвиразніше проявляються та знешкоджуються. Іншими словами у фокусі зацікавлення токсикології є будь-яка речовина в нашому довкіллі як природного, так і техногенного походження, яка може за певних умов проявляти токсичність стосовно окремого організму чи цілісної екосистеми.

Взаємодію отрути з організмом вивчають у двох основних аспектах: 1) вплив речовини на організм (плин процесу – **токсикодинаміка**); 2) зміни, які відбуваються з речовинами в організмі (перетворення, нейтралізація тощо – **токсикокінетика**). Третім важливим аспектом і завданням токсикології є визначення параметрів дії отруйних речовин (**токсикометрія**).

Спеціальні або прикладні токсикології висвітлюють питання окремих галузей господарства чи діяльності людини.

1.2. ІСТОРІЯ СТАНОВЛЕННЯ ТОКСИКОЛОГІЇ ТА ЕКОТОКСИКОЛОГІЇ

Еволюція людських знань про згубну дію і цілющу силу різноманітних речовин завжди йшла поруч з уявленнями про значення довкілля у долі окремої людини і цілої спільноти. Від обожнювання сил природи до бажання керувати всією мережею тонких процесів регуляції екосистеми пролягла історична відстань у 2–3 тисячі років. Упродовж усього цього періоду в людини існувало підсвідоме розуміння залежності від навколишнього середовища. Однак бажання жити краще не завжди узгоджувалося з розумінням необхідності не шкодити довкіллю, а значить і самому собі.

Людство від давніх часів знайоме з токсикантами. Арсен, опій, беладона, чадний газ, живиця, рицина були відомі шумерам, ассірійцям, народам стародавніх Індії, Єгипту, Риму, Київської Русі. Свідчення про токсичні властивості речовин органічного й неорганічного походження накопичувалися емпірично. Вони були у вжитку в колі жерців, шаманів, знахарів, лікарів, представників влади. Спочатку знання про природу з фрагментами відомостей про отруйні й лікувальні властивості речовин були доступні вкрай

обмеженому колу осіб, а з розвитком цивілізації ставали у пригоді все більшій кількості людей з різних верств населення.

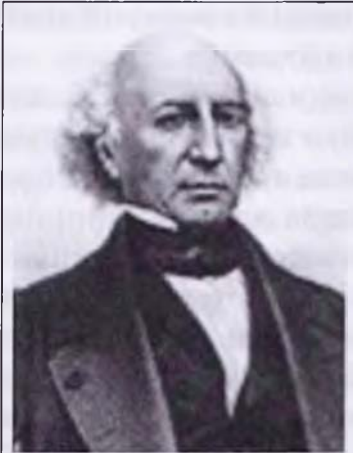
Біблійні історії, казки й легенди всіх народів містять багаті свідчення щодо первісних знань людства про токсичні речовини. Якщо звернутися до древніх літописів, можна впевнитись у тому, що людина використовувала отрути для стріл на полюванні й у війнах від давніх-давен. З цією метою часто застосовували зміїні й рослинні отрути, яким властиві різні напрямки токсичної дії. Так, в Азії найчастіше використовували отруйні речовини, що викликали задуху, в Африці – ті, що вражали серце, в Америці – речовини, які паралізували нервову систему. Згадки про отруйні стріли можна знайти в давньогрецьких міфах. У Гомера знаходимо, як Одисей посилав гінців у Єгипет, щоб привезли звідти отруту для стріл. За античною легендою, Геракл занурював свою зброю в отруту священної лернейської гідри. Зауважимо, що слова “отрута” і “стріла” у грецькій мові мають спільний корінь.

Смерть Ганнібала (II ст. до н. е.), Демосфена (IX ст. до н. е.), Сократа (V ст. до н. е.), Івана Грозного (1584 р.), Наполеона Бонапарта (1821 р.), багатьох інших відомих людей була спричинена отрутами. Упродовж цілих епох токсикологічні знання в руках правителів слугували засобом влади і залякування людей. Військова спрямованість токсикології сформульована у виразі “*Aris bella non venis geri*”.

Перші відомі праці з медицини переклав із грецьких джерел (Гіппократ і Асклепід) римський лікар Авл Корнелій Цельс у вигляді трактату із 8 книг (“*De medicina*”). Вони містили найповніші тодішні знання з дієтології й патологій, зокрема інформацію про отрути й отруєння. Усі відомі лікарі давнини залишили праці, присвячені токсикологічним дослідженням. У I ст. н. е. Педаній Діоскорид написав перші ґрунтовні роботи саме із токсикології – “*De materia medica*” та “*Alexipharmaca*”. Праці токсикологічного спрямування з тодішнім розумінням впливу отрут на тваринний і рослинний світ залишили Колумелла, Гален, Авіценна, Лі Ші-чжень та ін.



Авл Корнелій Цельс
(орієнт. 25 р. до н. е. –
50 р. н. е.)



Матьє Орфіла
(1787-1853)

Батьком токсикології як науки вважають Матьє Орфілу. Він дав перше офіційне тлумачення токсикології у своїй роботі "*Traite des poisons*" або "*Toxicologie generale*" (1813).

Успіхи у розвитку хімії без експериментального вивчення впливу токсикантів на людей, тварин, рослини були би неможливі. Вже від кінця XVIII і початку XIX ст. виникли умови для промислового виробництва великої кількості речовин, що могли призвести до масових отруєнь. Це зумовило потребу в експериментальних токсикологічних

вимірюваннях, що стимулювало запит на відповідні дослідження.

Від початку XX ст. починається стрімкий період зростання соціальних та економічних потреб широких верств населення Землі, необмеженого використання природних ресурсів та довкілля. Згодом перехід до постіндустріального періоду супроводжується наростанням кризових тенденцій у суспільстві та природокористуванні – повсюдне забруднення атмосфери, вод, ґрунтів ландшафтів пестицидами, техногенними викидами, радіонуклідами. На порядок денний постало питання загальнопланетного виживання людства в умовах зрослих потреб у задоволенні індивідуального попиту за одночасного розумінні обмеженості ресурсної бази довкілля.

Водночас, індустрія медичних препаратів, хімічної й бактеріологічної зброї досягли вагомих масштабів, а хіміко-фармацевтичні дослідження – фундаментальних глибин. Школи українських фармакологів і токсикологів (О. Черкес, С. Баженов, М. Луганський), як і фахівці Заходу (А. Albert, J. Rothscild, K. Lohs), стали на позиції щодо самостійності токсикології як окремої специфічної галузі знань. Процес визнання токсикології як самодостатньої науки, що відокремилася від фармакології чи гігієнічних дисциплін, закінчився на початку 70-их років XX ст.

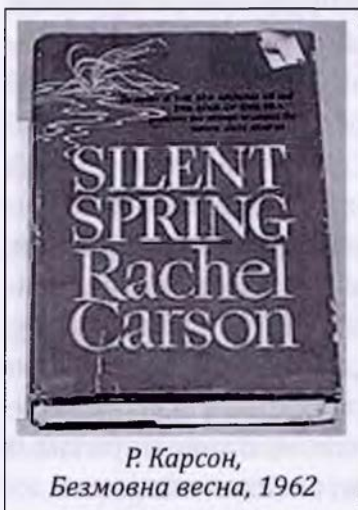
Потужний поштовх до розвитку нової гілки науки – екотоксикології, надала книга Р. Карсон "Безмовна весна", що вийшла в червні 1962 року. В ній авторка описує випадки масової загибелі птахів

і риб від безконтрольного використання отрутохімікатів. Революційним елементом в цій роботі були екстраполяції ефектів і наслідків для поодиноких організмів на цілу екосистему і баланс у природи загалом (Bazerman et al., 2006). Р. Карсон зробила висновок, що ефекти полютантів, що виявляються, на дику природу віщують біду, яка насувається і для людини.

У цей же час, 1965 року в Японії була виявлена суто екологічна "хвороба Мінамата", спричинена отруєннями ртуттю через харчування рибою, виловленою в бухті Мінамата. Окрім того, стрімке підвищення у світі врожайності сільськогосподарських культур і продуктивності свійських тварин, супроводжувалося значним підвищенням вкладу антропогенної енергії в агроекосистеми і забрудненням ґрунту, води й продукції хімічними добривами, пестицидами, зменшенням біотичної різноманітності й стійкості екосистем.



Рейчел Карсон
(1907-1964)



Р. Карсон,
Безмовна весна, 1962

На тлі загострення проблем довкілля видання Р. Карсон набули широкої популярності й зумовили велику громадську заклопотаність різними забрудненнями. Тому, цей період, 1960-1970 рр., увійшов до історії розвитку екологістичних рухів – численних громадських організацій і партії на захист довкілля, як перша "зелена революція". Згодом під тиском громадськості були прийняті урядові законодавчі акти, що регламентують викиди ксенобіотиків. Книга "Безмовна весна" сприяла забороні в США використання пестициду ДДТ від 1972 року.

Загалом праця Р. Карсон стала каталізатором відокремлення екоотоксикології (токсикології довкілля) від загальної токсикології.

Першим окрему науку із назвою "екотоксикологія" (*Ecotoxicology*) 1969 року обґрунтував Рене Траут (R. Traut, 1969; 1977). Він

пов'язав воєдино дві, до того часу цілком різні сфери знань: екологію і токсикологію. Вчений дав таке визначення, що "...екотоксикологія – це розділ токсикології, присвячений вивченню токсичних інтегральних впливів, зумовлених натуральними або синтетичними забруднюючими речовинами, на компоненти екосистеми, тварини, рослини і мікробіоту, а також на людину...".

Вже 1978 року Дж. Батлер (G. Butler, 1978) розглядав екотоксикологію як науку, що вивчає токсичні впливи хімічних агентів на живі організми, особливо на рівні популяційних і синекосистем. Згодом її вже визначили як науку, що прогнозує вплив хімічних речовин на екосистеми. І зрештою, 1994 року В. і Т. Форбси (V. Forbes, T. Forbes, 1994) у праці "*Ecotoxicology in Theory and Practice*" дали таке визначення: "...екотоксикологія – це галузь знань, яка з'ясовує екологічні й токсикологічні впливи хімічних полютантів на популяції, угруповання й екосистеми, простежуючи долю (транспорт, трансформацію і видалення) забруднень у довкіллі". Людина, поза сумнівом, є найвищим рангом у низці біологічних мішеней токсинів.

Пізніше (Уолкер та ін., 1996) у рамках екотоксикології стали виділяти, як окремий напрям, розділ під назвою "токсикологія довкілля" (*Environmental Toxicology*). Його пропонували використовувати тільки для досліджень прямої дії забруднювачів довкілля на людину. Це слід розглядати як наслідок активізації інвайронменталістичних настроїв і громадських рухів на захист довкілля планети. У цьому контексті останніми десятиліттями сильно зміцнилася спеціальна прикладна наука, яка на Заході має назву наука про довкілля, або українською середовищезнавство – інвайронментологія (*Environmental Science*). Проте, слід пам'ятати, що довкілля, або середовище життя людини на планеті, є внутрішнім середовищем глобальної екосистеми – біосфери (Гнатів і Хірівський, 2010). Відповідно, екотоксикологія й токсикологія довкілля (інвайронментальна токсикологія – *EnTox*), урешті-решт, мають один і той же стратегічний об'єкт і предмет своєї уваги – екосистему планети разом із людиною, і токсичні речовини й ефекти). Екотоксикологія із тим же успіхом, використовуючи традиційні методи й засоби, може досліджувати токсини, токсичні забруднення отруєння на рівні аутоекологічних, демекологічних, синекологічних чи ландшафтних екосистем різної, у т. ч. штучної природи. У процесі вивчення впливів хімічних речовин, присутніх в довкіллі, на людину і людські спільноти,

екотоксикологія оперує усталеними категоріями і поняттями загальної токсикології і застосовує, як правило, її традиційну експериментальну, клінічну, епідеміологічну методологію.

Окрім того, методологічні відмінності між екотоксикологією і токсикологією докільля повністю зникають, коли перед дослідником постає завдання оцінити опосередковану дію забруднювачів на людські популяції (наприклад зумовлену токсикогенною модифікацією біоти), або, навпаки, з'ясувати механізми дії хімікатів, що знаходяться у довкіллі, на представників того або іншого окремого виду живих істот. У зв'язку з цим, із теоретичних позицій, "токсикологія довкілля" як сектор знань може лише в окремих випадках претендувати на певні аспекти у сфері "екотоксикології", при цьому методологія, понятійний апарат і структура наук залишатимуться єдиними.

В Україні найвагомші наукові сили сконцентровані у таких потужних токсикологічних центрах, як Інститут фармакології та токсикології АМН України (Київ), Інститут екогігієни та токсикології МОЗ України (Київ), Український науковий гігієнічний центр МОЗ України (Київ), Державний інститут підвищення кваліфікації та перепідготовки кадрів Міністерства охорони навколишнього природного середовища України (Київ), Український НДІ промислової медицини (Кривий Ріг), Інститут агроєкології та біотехнології НААН України (Київ), Інститут захисту рослин НААН України (Київ), Інститут ботаніки ім. М. Г. Холодного, НДІ промислових технологій Держкоматом України (м. Жовті Води), Міжвідомчий екологічний центр НАН України та Мінекобезпеки України (Харків), Інститут харчової хімії і технології НАН України (Київ), Національний медичний університет та Національний університет біоресурсів і природокористування (Київ) та ін. Проблемами промислової і сільськогосподарської токсикології, екотоксикології в Україні активно займаються в Інституті медицини праці АМН України й Інституті екогігієни і токсикології ім. Л. І. Медведя МОЗ України.

В українській токсикології сформувалися декілька наукових шкіл. Академіки О. І. Черкес, О. О. Богомолець, Л. І. Медведь, Ю. С. Каган, професори І. М. Пейсахович, Ф. Т. Попов, П. В. Родіонов, М. І. Луганський, В. Й. Кондратюк, С. В. Баженов, Є. І. Спирну, І. О. Поваженко, В. В. Нікольський, Н. І. Каракчієв, Я. Б. Максимович, Г. О. Батрак, А. А. Гаврелюк, В. І. Мілько,