

ЕКОТОКСИНИ У ВЗАЄМВІДНОШЕННЯХ ПОПУЛЯЦІЙ І ЗБЕРЕЖЕННЯ ВИДОВОГО БІОРІЗНОМАНІТТЯ

П.С. Гнатів, П.Р. Хірівський, Ю.Я. Корінець

*Львівський національний аграрний університет, кафедра біології та екології,
e-mail: pshnativ@ukr.net*

Обґрунтована актуальність глибоких сучасних знань про екотоксини та ксенобіотики. Окреслені мета, завдання екотоксикології як новітньої науки. Показана необхідність застосування екотоксикологічних знань у збереженні видового біорізноманіття й охороні довкілля.

Ключові слова: екотоксини, ксенобіотики, популяції, біорізноманіття, природне середовище.

Hnativ P.S., Khirivsky P.R., Korinets Yu.Ya. Ecotoxins on mutual relations of population and protection of the species biodiversity. Actuality of modern knowledge about ecotoxins and xenobiotics have been proved. The purposes and tasks of ecotoxicology as newest science are outlined. Necessity of ecotoxicological knowledge application in maintenance of species biodiversity and environmental safety is shown.

Keywords: ecotoxins, xenobiotics, population, biodiversity, natural environment

Вступ

Визнання токсикології як самодостатньої науки, що відокремилася від фармакології та медико-гігієнічних дисциплін, датують початком 70-их років ХХ ст. 1962 року вийшла у світ книга Р. Карсон "Безмовна весна", яка дала потужний поштовх до розвитку нової гілки науки – екотоксикології. В ній авторка описує випадки масової загибелі птахів і риб від неконтрольного використання отрутохімікатів. Революційною парадигмою в цій роботі були екстраполяції ефектів і наслідків дії екотоксикантів для поодиноких організмів на популяції та екосистеми різного рангу, а згодом і на баланс у природі загалом [7]. Р. Карсон зробила висновок, що впливи поллютантів і ксенобіотиків, які виявляють на дику природу, віщують біду, котра з плином часу насувається і на людину.

G. Butler [8] розглядав екотоксикологію як науку, що вивчає токсичні впливи хімічних агентів на живі організми, особливо на рівні популяційних і синекологічних систем. І зрештою, 1994 року V. Forbes & T. Forbes [10] у праці "*Ecotoxicology in Theory and Practice*" дали таке визначення: "...екотоксикологія – це галузь знань, яка з'ясовує екологічні й токсикологічні впливи хімічних поллютантів 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 у рамках екотоксикології почали виділяти, як окремий напрям, розділ під назвою "токсикологія довкілля" (*Environmental Toxicology (EnTox)* – інвайронментальна токсикологія). Це слід розглядати як наслідок активізації інвайронменталістичних настроїв і громадських рухів на захист довкілля планети. Проте, довкілля, або середовище життя людини на планеті, є внутрішнім середовищем глобальної екосистеми – біосфери [5].

Сьогодні виробнича активність людини спричинює різнобічні зміни в природному довкіллі. Промислова революція початку ХІХ ст., супроводжувалася забрудненнями, яких раніше не було у природі ні за кількісними, ні за якісними ознаками. У нашу добу з'явилися хімічні неприродні, а виключно штучні – рукотворні сполуки, елементи й радіоізотопи, до яких ні біотичні системи, ні сама людина 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, переважна більшість яких ксенобіотики. Їх ще називають екотоксикантами і вони загрожують біорізноманіттю у природі й екобезпечному (сталому) розвитку багатьох регіонів планети. Мішенями екотоксинів є всі рівні організації біотичних систем – аутоекосистеми, демекосистеми, синекосистеми, екосистеми біогеоценозні, ландшафтні, і так далі та, зрештою, і біосфера або біогеосфера.

Водночас залишаються маловивченими популяційно-екологічні взаємовідношення, які здійснюються при використанні живими організмами природних токсинів. Вони, за сучасними уявленнями, відіграють роль екотоксинів та функціонально підтримують синекологічні системи у рівновазі, а значить і біосферу загалом.

Екологічні системи від ландшафтного до організмового рівня організації, зазвичай, є під впливом дії більше, ніж одного природного чи техногенного токсиканта [1; 2; 9; 11]. При цьому більшість природних і штучних сполук (що діють в істотних дозах) у такий спосіб змінюють внутрішній стан організмів чи популяцій, що наступні їхні контакти з іншими токсинами чи ксенобіотиками призводять до формування ефектів, котрі якісно та кількісно відрізняються від тих, які спричинені дією лише одного агента [2; 4; 9;

11]. На виробництві, в побуті або в природних умовах на людину, як правило, одночасно діє велика кількість хімічних речовин різної природи. У результаті людський організм, популяція стають полем прояву такого явища, як коєргізм. Суть його в тому, що практично ніколи ефект поєднаної дії екотоксикантів не є простою сумою ефектів, виявлених при експериментальній ізольованій дії кожного з агентів окремо.

Отже, в нашу добу виникла актуальна потреба вивчати екологічні функції природних токсинів та їх можливу корисність і для людини, а також поведження техногенних екотоксикантів у довкіллі. З'явилася необхідність оцінки ксенобіотиків з точки зору безпеки для живих організмів, популяцій і біоценозів, цілісних екосистем. Тому *метою* статті є обґрунтування актуальності глибокого вивчення різнобічних екофункцій природних і штучних токсинів, необхідних для збереження рослин, тварин і мікробіоти у їх природному довкіллі з його еволюційно усталеною збалансованістю.

Матеріали і методи.

Для досягнення поставленої мети у своїй роботі приймаємо визначення, що система – це цілісна множина природно або штучно взаємопов'язаних елементів, яка у взаємодії з середовищем свого існування поводить як особлива (емерджентна) єдність, є елементом у системі вищого порядку, а елементи системи своєю чергою є системами нижчого рівня [5]. Отже, популяційна екосистема, або демекосистема є сукупністю організмів певного виду, місцеселенням якої упродовж тривалого часу або періодично залишається певна частина суходолу чи водойми, і яка зберігає збалансовані взаємовідношення із середовищем свого існування та іншими популяціями, а також має еволюційно визначену життєздатність. Взаємовідношення між популяційними екосистемами сформувалися як найрізноманітніші екофункції – топічна, форична, фабрична, мутуалістична, протокоопераційна, коменсалістична, хижацька (поїдання), паразитична, аменсалістична, конкуренційна, нейтраліська й ін. Між популяціями поширені різноманітні зв'язки. Наприклад, відомі такі інтерспецифічні, як пробіоз (паройкія – підселення; епіойкія – використання поверхні тіла як місця поселення; синоійкія – квартиранство; ентоійкія – поселення в середині тіла господаря), і взаємовигідні (симбіотичні) відношення, форезія (для поширення організмів), парабіоз (харчова залежність), метабіоз (повна взаємозалежність). Слід акцентувати, що лише у людській популяції можемо говорити про взаємовідносини, адже така форма системних зв'язків будується на основі присутності свідомості як функції розуму, інтелекту.

Вагома роль у наведених різноманітних взаємовідношеннях між природними популяціями мають токсини, які, у випадку розгляду їх впливу на популяційні екосистеми, називаємо екзотоксинами [6]. Екотоксини, що спричинюють загибель або критичне зменшення життєздатності популяцій чи інших екосистем набувають статусу екотоксикантів.

Застосовуючи системний підхід у своїй роботі розглядаємо пригнічення або загибель популяції будь-якого виду від дії екотоксикантів, як загрозу існуванню синекосистем – еволюційно збалансованих біотичних комплексів у межах середовища їх існування, а значить і біосфери загалом [5]. Це неминуче призводить до втрати взаємозалежних популяцій, а з плином часу і біорізноманіття видів у суходільних і водних екосистемах планети. Логіка причинно-наслідкових зв'язків указує на загрозові наслідки дії екотоксикантів (полютантів, ксенобіотиків тощо) для довкілля людини, а значить і для самої людини як біотичної системи або консорційної екосистеми.

Результати й обговорення

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. Вона вивчає коливання і зміни стану середовища в наземних і водних екосистемах під дією токсичних продуктів людської діяльності, а також пропонує способи уникнення негативних ефектів чужорідних для біоти і людини та непередбачуваних щодо своєї поведінки речовин. Екотоксикологія безпосередньо пов'язана з екологією і токсикологією, належить до природничих галузей знань, ґрунтується на використанні сучасних медико-біологічних методів, технологічних дисциплін, інших відомостей, корисних для профілактики та протидії шкідливому впливу токсичних речовин на людину й екосистеми. Вона збирає й узагальнює відомості про біогенні токсини та їх роль в екосистемах, а також описує основні найпоширеніші та найнебезпечніші токсичні техногенні речовини та їх поведження в довкіллі [6; 7; 11].

Тому, пропонуємо вважати, що екотоксикологія (від гр. *οἶκος* – місце життя, житло, дім; *τοξικός* – отрута і *λογία* – вчення) – це прикладна наука, яка досліджує природні й техногенні компоненти, котрі за певних умов можуть бути токсичними для екологічних систем і безпосередньо людини, закономірності нагромадження та міграції токсикантів в екологічних ланцюгах і циклах, механізми їх природного й штучного знешкодження, а також способи запобігання забрудненню ними навколишнього середовища [6]. Висунення концепції сучасної екотоксикології стало необхідним у умовах браку глибоких знань і практичних навичок щодо запобігання загрози екотоксикантів у довкіллі.

Дивергенція відношення до природних токсинів та хімічної техногенної безпеки у науковому світі і більшій частині пересічного населення постійно росте. Прикладами такого роду "суперечок" є проблема

охорони отруйних тварин і рослин, відмова від використання азбесту у будівництві житлових приміщень (з'ясування канцерогенних властивостей), вимоги закрити і припинити будівництво атомних електростанцій тощо (рішення урядів Німеччини, Японії і Швейцарії припинити експлуатацію атомних електростанцій).

Роздвоєнню суспільства сприяють і помилки, що періодично виникають (і неминучі в процесі пізнання) в ході наукових досліджень щодо оцінки ризиків, різне відношення учених і населення до подібних помилок. Учені засуджують результати невідтворних, позбавлених ретельного контролю, виконаних нашвидкуруч експериментів, що демонструють наявність ефектів там, де їх немає (помилки першого типу). Громадськість заклопотана результатами досліджень, що констатують відсутність ефекту там, де він реально існує (помилки другого типу).

З давніх-давен відомо, що у природі є токсини різної сили як чинник взаємовідношень живих компонентів в екосистемах. Вони є одним із невід'ємних засобів підтримання стійкості, стабільності й гармонії у біосфері.

Отже, що таке біогенні токсини та яка їх роль в екосистемах?

До отрут біогенного походження належать: біоактивні метаболіти водоростей, речовини рослинного походження, мікробні метаболіти, токсини грибів (мікотоксини), отрути тваринного походження (зоотоксини). Отруйність біотичних компонентів – поширене природне явище у нативних екосистемах. Проте, отруйність організмів є властивістю відносною, як і ті речовини, що мають ефект ортути. Токсичність проявляється лише в дії, наприклад, за нападу отруйної тварини на іншу, або самозахисту носія отрути від нападника. Отруйні рослини діють лише на тих тварин чи мікробів, які їх поїдають чи пошкоджують тканини, проникаючи в них [1; 6].

У природі функцію отрути мають переважно хімічні засоби впливу на конкурентів, ворогів чи здобич. Тому їх умовно ділять [1; 6] на такі групи: 1) відлякувальні речовини; 2) речовини, що прикривають втечу (чорнильна рідина у головоногих); 3) супресори (антибіотики); 4) отрути; 5) індуктори (зумовлюють утворення галусів, вузликів тощо); 6) протиотрути; 7) приманки (приваблюють об'єктів зацікавлення).

Біогенні токсини надзвичайно різноманітні за своєю хімічною структурою. До них належать поліпептиди, білки і речовини небілкової природи (зокрема, афлатоксини, що є похідними кумаринів). Клітинні біологи й медики вважають токсинами речовини, здатні порушити нормальний стан і функції протоплазми, а також усіх, властивих клітинам каталітичних систем і фізіологічно активних сполук. Умовно біотоксини розділяють на дві групи – екзо- і ендотоксини. У природі поширені і вторинні екзотоксини. Вони відрізняються від істинних екзотоксинів тим, що потрапляють у зовнішнє середовище в процесі автолізу й мікробного розкладання залишків відмерлих організмів (тобто із посмертними – трупними виділеннями) [1; 6].

З усіх відомих біотоксинів наймасштабіше можуть впливати на середовище існування популяцій продукти життєдіяльності гідробіонтів – альготоксини, зокрема, синьо-зелених водоростей. Тому вони становлять найбільшу екотоксичну загрозу для аквакосистем. За сприятливих умов (достатку мінеральних макро- і мікроелементів) синьо-зелені водорості активно розвиваються (явище евтрофікації вод). За вегетаційний період (приблизно 70 діб) одна особина водорості може дати приблизно 1020 дочірніх клітин. Прижиттєві й посмертні виділення цих водоростей є найсильнішими токсинами, які поєднують загальною назвою ціанотоксини. Вони добре розчинні у воді, безбарвні, не мають запаху, доволі стійкі (не руйнуються кип'ятінням і автоклавуванням), що сприяє їхньому нагромадженню по харчових ланцюгах і потраплянню в організм тварин й людини.

Найчастішою причиною харчових отруєнь людей за кількістю інцидентів і потерпілих є токсини мікробного походження. Для виникнення токсикоінфекції обов'язковою умовою є потрапляння в екосистему шлунка і кишківника продуктів харчування із значною кількістю токсикотвірних мікробів, які своєю життєдіяльністю розбалансовують і блокують його «здоровий» мікробіоценоз. До функціональних блокаторів належать також антибіотики, які виробляють, головним чином, бактерії (переважно актиноміцети) – аміноглікозиди, антибіотики тетрациклінової групи, полієни, антибіотики із протипухлинною дією, і мікрогриби. З відомих 4 тис. антибіотиків 60 мають практичне застосування.

Мікотоксини – отрути складної хімічної будови, котрі продукують мікроскопічні гриби. За хімічною будовою це ароматичні поліциклічні сполуки із молекулярною масою в межах 200–400, у складі яких є вуглець, водень і кисень. Широке розповсюдження і швидке накопичення мікотоксинів у субстратах пояснюють тим, що вони утворюються у ланцюгу послідовних ферментних реакцій з відносно невеликого числа хімічно простих проміжних продуктів основного метаболізму, а саме ацетата, малоната, меквалата й амінокислот. Найтоксичнішою із отрут названих грибів є афлатоксин-В₁ і його похідний – афлатоксин-М₁, що утворюється в організмі жуйних тварин. Гриби *Claviceps purpurea* та *Claviceps paspali* (*Euscomycetes*) продукують нейротоксичні ерготоксини, а їх субстратами є різні зернові, дикорослі злаки. Токсини маткових ріжок мають психотропну, нейротоксичну дію, зумовлену збуджувальним, а потім пригнічувальним ефектом на центральну нервову систему, зокрема на α -адренорецептори з вираженим судинорозширювальним ефектом, що супроводжується зниженням артеріального тиску. Захворювання людей від них отримало назву ерготизм. У недалекому історичному минулому ерготоксини мали

масштабну згубну дію на людську популяцію. Гриби *Claviceps purpurea* паразитують здебільшого на житі. Використання в їжу борошна із зерна, зараженого цим грибом, призводило до епілептичних конвульсій і гангрени кінцівок та масових отруєнь людей із давніх-давен. Фітопатогенні гриби, зокрема *Phoma medicaginis*, синтезують фонову кислоту. Вона здатна інгібувати ферменти дегідрогенази в насінні льону, люцерни, ріпаку, салату і інших рослин. У результаті таке насіння не проростає. Аматоксин і мускарин – отрути блідої поганки і мухоморів, у край небезпечні для тварин і, зокрема, для людини.

Базидіоміцети (*Basidiomycota*) мають властивість кумулювати ксенобіотики. За здатністю до накопичення цезію-137 їстівні гриби ділять на 4 групи: 1) найменше накопичують глива, шампінйон, дощовик, опеньок; 2) середньо накопичують підберезовик, підосичник, лисичка звичайна, білий гриб; 3) сильно накопичують сиройжки, молочники; 4) акумулятори радіоактивного цезію – маслята, моховики, польський гриб. Радіоізотопи, важкі метали й інші ксенобіотики інтенсивніше проникають у гриби, які мають потужну грибницю. У шапках грибів концентрація радіонуклідів в 1,5–2 рази вища, ніж у ніжках, особливо це добре помітно у грибів із розвинутою ніжкою (білий гриб, підберезовик, підосичник, польський гриб). Велику небезпеку для людини представляють гриби, які схильні накопичувати кадмій у дуже високих концентраціях. Наприклад, лучні печериці *Agaricus campestris* у техногенно забруднених регіонах містили до 6 мг/кг Cd, в окремих випадках до 170 мг/кг. Цей вид гриба акумулює не лише кадмій, а й свинець і ртуть. Інші види шапкових грибів, наприклад, строката гриб-парасолька найбільше накопичує саме свинець і ртуть.

Отруйні рослини – це умовно виокремлена група видів рослин зі значним умістом рослинних токсинів – фітотоксинів, які, потрапивши в організм людини чи тварин, спричиняють отруєння. До тепер відомо понад 10 тис. видів отруйних рослин. Причому в тропіках і субтропіках їх кількість більша, а токсичність сильніша. На території країн СНД і Балтії росте понад 400 видів, що містять ті, чи інші отруйні речовини. Загальне групування лікарських видів передбачає три категорії небезпечної дії фітотоксинів на тваринний і людський організм. За цими категоріями рослини можуть бути дуже отруйні (найвищий ступінь токсичності), смертельно отруйні (середній ступінь), безумовно отруйні (низький ступінь токсичності).

Фітотоксини – це внутрішні метаболіти, призначені для самозахисту від травоядних тварин та інфекцій. У процесі еволюції рослини набули численних захисних пристосувань, зокрема таких, як гіркий чи кислий смак фітомаси, різкий неприємний запах, накопичення надмірної кількості репелентних, їдких, в'язких речовин, отруйного соку тощо. Рослини також нерідко використовують кінцеві продукти свого метаболізму для хімічного захисту від поїдання їх тваринами. Наприклад, представники родів щавлевих (*Rumex* L.), кислицевих (*Oxalis* L.) і ревеневих (*Rheum* L.) накопичують у листках до 1,3% щавлевої кислоти й оксалатів, які призводять до глибокого порушення обміну речовин в організмі травоядних.

Хімічна захищеність (як головне із пристосувань рослин) зумовлена утворенням таких природних сполук, як ефірні олії, глюкозиди, алкалоїди, глюкоалкалоїди, сапоніни, антибіотики, фітонциди, смоли, бальзами, деякі кислоти та їх солі, таніни тощо. Більшість із них у тих чи інших кількостях спричиняє різноманітні специфічні патологічні зміни у структурі й функціях клітин, тканин, органів людини і тварин. Накопичення рослинних токсинів в організмі тварин може зумовити токсичність м'яса, жиру, молока й інших продуктів. Крім того, фітотоксини (коліни) можуть впливати внаслідок алелопатії через ґрунтові чи повітряні виділення, при розкладанні опалого листя. Наприклад, у кореневих виділеннях сосни Веймутової наявні азотисті сполуки й органічні кислоти (щавлева, гліколева, малінова, яблучна, аконітова). Корені дуба, в'яза дрібнолистого, білої акації виділяють лейцин, валін, триптофан, лізин, аргінін. Отруйними стають ягоди лохини, на яких сконденсувалися токсичні ефірні виділення іншої рослини – багна звичайного.

Найдосконалішим механізмом самозахисту рослин вважається дистанційний (попереджувальний) «хімічний удар». Коли фітотоксини є у доквіллі, вони діють на попередження – до того, як рослині завдано пошкодження. Наприклад, може статися запалення шкіри травоядних ефірними виділеннями ясенців, токсинами сумаху їдконого, токсикодендрону, багна звичайного. Отруєння трапляються здебільшого теплої пори року, в спекотливі дні, після дощу. Місцева дія токсинів на шкіру й слизові оболонки спричиняється часто під час контакту з отруйними рослинами. Наприклад, капсаїциноїди плодів стручкового перцю сильно подразнюють слизові оболонки, жалкі волоски кропиви дводомної містять мурашину кислоту, уртицин, гістамін, які спричиняють дерматит.

Фітотоксини умовно поділяють на 2 групи сполук: 1) азотисті; 2) безазотисті. У число перших входять 7 груп речовин – небілкові амінокислоти, ціаногенні глікозиди, глікозинолати, ізобутиламіді аліфатичних кислот, алкалоїди, пептиди, білки [1; 6]. Всі вони належать до терпеноїдів і флавоноїдів. До фітотоксинів належать фітоалексини. Це особливі антибіотики, що утворюються тільки у вищих рослинах. Численні рідкісні популяції рослин дотепер збереглися в природі лише завдяки власним фітотоксинам.

Сильні природні токсини виявлені у найпростіших *Dinoflagellata* (підклас *Phytomastigina*). Ці панцирні джгутикові живуть у водах морів і за масового розмноження популяцій надають водам іржаво-червоного кольору. «Цвітіння» вод охоплює період від кінця весни до осені. Оскільки зоопланктон є початковою ланкою харчового ланцюжка гідробіонтів, його токсини здатні акумулюватися у наступних

ланках консументів – молюсках, крабах та ін. Для багатьох країн, де молюски й інші морепродукти є у традиційному меню населення, ця проблема набуває значної гостроти. Наприкінці 50-х років ХХ ст. з молюсків була виділена паралітична отрута саксітоксин. Згодом він був отриманий із дінофлагелят *Gonyaulax catenella* і таким чином було доведено причинний зв'язок між токсичністю молюсків і так званім «червоним припливом». Червоні припливи часто супроводжуються масовою загибеллю популяцій риб та інших морських організмів, а також масовими отруєннями мешканців узбережжя, що споживають морепродукти. Отрути у наслідок біоаккумуляції накопичуються в молюсках, рибах та інших морських організмах, що зумовлює їх біомагніфікацію – біопідсилення. Окрім дінофлагелят первинними продуцентами саксітоксину і його аналогів є синьо-зелені водорості *Aphanizomenon flos-aquae*. Із тварин, що акумулюють саксітоксин по харчовому ланцюгу, окрім молюсків, є краби, які живуть у коралових рифах. Найнебезпечніші з них *Zosimus aeneus*, *Atergatis floridis*, *Platypodia granulosa*, *Carcinoscorpius rotundicauda*.

Отруйні речовини, які виділяють губки, є їхнім захисним аутоеклогічним пристосуванням. Вони захищають їх не тільки від інвазії мікроорганізмів, але й відлякують багатьох хижаків. У коралових рифах, де губки є їжею для багатьох риб, отруйних видів набагато більше, ніж у високих широтах, де риби рідше харчуються ними. Біологічні речовини, виділені з губок, можна розділити на токсини цитостатики й антибіотики.

Особливою рисою кишковопорожнинних є наявність жалких клітин (нематоцитів), що виробляють отруйний секрет. У кишковопорожнинних уперше еволюційно виникли отрути білкової природи, серед яких є як токсичні поліпептиди, так і ферменти. Особливо небезпечним є ряд Кубомедузи, поширені у прибережних теплих водах Австралії, Індонезії та найбільшу небезпеку представляє *Chironex flecker* – морська оса.

У червів у процесі еволюції виробилися засоби хімічного захисту від ворогів, а також спеціальні структури, що забезпечують активне введення отруйних речовин у тіло жертви. Спектр цих хімічних речовин доволі широкий. Озброєні немертини мають найбільше вивчений токсин анабазеїн. Він володіє нікотинподібними властивостями й спричинює у крабів судому із наступним паралічем і смертю. Неозброєні немертини містять токсини гетеронемертин, що виділений зі слизового секрету *Cerebratulus lacteus*. Токсикологічні особливості типу Молюсків (*Mollusca*) непересічні. Серед них є і продуценти сильних токсинів (макулотоксин), і подвійно-отруйні молюски (інфіковані дінофлагелятами). Серед молюсків є типові форми отруйних тварин від активно-отруйних (конуси, головоногі (*Cephalopoda*)), до пасивно-отруйних (деякі черевоногі (*Gastropoda*) й більшість двостулкових (*Bivalvia*)).

Клас павукоподібних охоплює значну кількість отруйних видів, серед яких скорпіони (*Scorpiones*), павуки (*Aranei*) і кліщі (*Parasitiformes*). За специфікою отруйності токсини скорпіонів ділять на три групи. До першої групи належать токсини, що проявляють максимум активності в організмі ссавців. У другу групу зараховують токсини, що вибірково діють на комах – інсектотоксини. Третю групу становлять токсини, максимально активні стосовно ракоподібних. Отруйні для людини павуки належать до підрядів *Mygalomorphae* і *Araneomorphae*. Переважна більшість їх поширені у тропіках. У фауни України та Росії отруйні поодинокі види. З-поміж них – тарантул (*Lycosa singoriensis*), розповсюджений у пустельній, напівпустельній, степовій і лісостеповій зонах. Каракурт (*Latrodectus mactans tredecimguttatus*) – типовий представник пустельної й напівпустельної фауни, але часто трапляється й у степовій зоні (Середня Азія, степи Північного Кавказу й Криму). Отруйний також *Eresus niger* – великий представник родини *Eresidae*, що поширений в степовій і напівпустельній зонах, і *Chiracanthium punctorium* (*Clubionidae*). У вітчизняній літературі павуків *Latrodectus* зазвичай називають каракурт, в англійській – «чорна вдова» (*black widow*), підкреслюючи біологічну особливість самиці, що з'їдає самця після копуляції. Існує видоспецифічна чутливість до отрути каракурта. Чутливими є гризуни (тому каракурти «регулюють» їх поширення), а також коні, верблуди, велика рогата худоба.

До отруйних кліщів (*Parasitiformes*) належать декілька видів роду *Ixodes*, зокрема широко розповсюджений собачий кліщ. Він поширений у Західній Європі, Криму, на Кавказі та Північній Африці. Звичайні місця перебування іксодових кліщів – листяні й змішані ліси, чагарники, пасовища. Якщо личинки й німфи паразитують на дрібних ссавцях, птахам, ящіркам, то дорослі кліщі – на худобі, собаках, зайцях і нерідко нападають на людину.

Комахи – найчисельніший і високоорганізований клас членистоногих, що має унікальну екологічну функцію в природі. Отруйних комах поділяють на кілька груп. Перша охоплює тих, що використовують для введення отрути спеціалізований жалкий апарат (або яйцеклад у наїзників). Комахи другої групи вводять отруту в тіло жертви через ротовий апарат при укусі. Жалоносні комахи належать до ряду перетинчатокрылих (*Hymenoptera*), тоді як види з «травними» отрутами є серед двокрилих (*Diptera*), твердокрилих (*Hemiptera*). З-поміж лускокрылих (*Lepidoptera*) є форми з примітивним апаратом. Переважно це гусениці метеликів, не здатні активно ввести отруту в тіло жертви. Імаго лускокрылих, як правило, пасивно-отруйні, причому серед них є як первинно-отруйні види, так і вторинно-отруйні. Останні акумулюють у своєму організмі екзогенні отрути. У жуків (*Coleoptera*) є як пасивно-отруйні види, так і ті, що містять екзогенні отруйні речовини, але позбавлені жалкого апарату. Отруйні перетинчатокрылі

(Hymenoptera) належать до підряду стеблових (Apocrita), що охоплює багато надродин, у т.ч. наїзників, ос, бджіл, мурах. Більшість наїзників (Ichneumonoidea) паразитують на інших безхребетних, в основному комах, відкладаючи в них свої яйця (ендопаразитизм). Рідше наїзники є ектопаразитами, що відкладають яйця на поверхні тіла господаря. Перед відкладанням яєць наїзник паралізує свою жертву, уводячи в неї отруту за допомогою свого яйцекладу. Одна із родин наїзників *Braconidae*, паразитує на личинках комах із повним перетворенням, віддаючи помітну перевагу гусеницям лускокрилих. Хижі оси вигодовують своє потомство паралізованими (рідше вбитими) комахами й павуками. Родина бджолині (*Apoidea*) використовує отрути, вироблювані робочими особинами (*Apis mellifera*) для самозахисту. Жалоносні мурахи (*Formicoidea*) мають сильну отруту й у деяких регіонах планети зумовлюють вагому епідеміологічну проблему, у т.ч. роди *Solenopsis*, *Pogonomirax*, *Myrmecia*. Із роду *Solenopsis* на півдні США, окрім трьох ендемічних видів *S. geminata*, *S. xyloni*, *S. aurea*, тепер велику увагу приділяють *S. invicta*, *S. richteri*, що поширені на узбережжях Мексиканської затоки. Із роду *Myrmecia* широко розповсюджений у Південній Австралії мураха-бульдог *M. pyriformis* здатний наносити жалення ще більш хворобливі, ніж бджоли. Токсичні речовини жуки використовують як засоби хімічного захисту від ворогів. У жуків відоме широке розмаїття форм застосування токсичних речовин, що належать до різних класів хімічних сполук. Багато жуків мають здатність до «кровообрискування» (наривники, сонечка) – виділення токсичної гемолімфи з отворів на ногах. Інші (деякі жукелиці, жуки-бомбардири) випорскують захисну рідину з анальних залоз. Водоплавні жуки виділяють із проторакальних і пидигіальних залоз секрет, отруйний для риби. Лускокрилі, як і решта не згаданих комах, використовують токсичні речовини як засоби хімічного захисту від хижаків. Отруйними можуть бути дорослі комахи, а також їхні личинки (гусінь).

Серед голкошкірих увагу з токсикологічної точки зору привертають морські їжаки (*Echinoidea*), морські зірки (*Asteroidea*) і голотурії (*Holothuroidea*). Проте, вони виробляють отрути виключно для підтримання життєздатності свої популяції і шкідливі для людини лише за необережного поводження у місцях їх оселення чи споживання морепродуктів.

Слизові залози, властиві для водних організмів – риби тощо, забезпечують не лише поліпшення гідродинамічних якостей тіла, але й виконують захисні функції. Захистом від хижаків служать також різні колючки й шипи, нерідко озброєні спеціалізованими отруйними залозами. В інших випадках уколи колючими променями плавців сприяють влученню в рану секрету слизових залоз, який володіє збуджуючою й токсичною дією. Відомо приблизно 200 видів активно-отруйних риби, які спричинюють ураження за допомогою отруйних колючок або шипів. Ці органи, як правило, мають отруйну залозу, а риби ведуть малорухомий спосіб життя, підстерігаючи свою здобич, а отруйні колючки є їхнім зняряддям самозахисту. Переважна більшість видів надкласу *Pisces*, які можуть спричинити отруєння людини, належать до пасивно-отруйних риби. Із родини голкочервоногі (*Tetraodontidae*) – це роди *Fugu*, *Sphaeroides*, *Tetraodon* та ін.

Серед земноводних немає активно-отруйних тварин, що володіють спеціальним апаратом для введення отрути в тіло жертви або ворога. Слинні залози амфібій виділяють секрет, взагалі позбавлений травних ферментів. Але у зв'язку зі специфічною функцією шкіри як органа дихання – у багатьох амфібій вагомим розвитком набули шкірні залози, секрет яких має у низки видів *Caudata* і *Anura* сильну токсичну дію. Крім того, секрет шкірних залоз має антимікробну дію й захищає вологу шкіру амфібій від заселення мікроорганізмами. Із представників роду безхвостих амфібій (*Anura*) найвідоміша отрута деяких жаб із родин *Bufo* і *Dendrobates*. З-поміж отруйних безхвостих амфібій відомі, розповсюджені в Центральній і Південній Америці, жаби – дендробати: деревозази *Dendrobates*, листолази *Phylllobates*, ателопи *Atelopus*. В отруйних хвостатих амфібій (*Caudata*) найбільше вивчена отрута деяких саламандр (*Salamandridae*). Вогненна або плямиста саламандра *Salamandra salamandra*, що поширена в Середземномор'ї, в Україні трапляється в передгірних і гірських лісах Карпат, частіше по берегах струмків і річок.

Найвідоміші своїми отруйними представниками рептилії належать до роду лускатих, який включає найбільшу видову розмаїтість сучасних плазунів. Порівняльно-морфологічні дані дозволяють чітко простежити еволюційні перетворення в отруйному апараті змії із різних родин, що відбиває основні особливості їхнього харчування. Природна отруйність слини окремих представників змії легко з'ясовна з погляду наявності в ній різних протеолітичних та інших ферментів. Ця властивість, безумовно, могла закріплюватися надалі, тому що вона істотно збільшувала ефективність полювання. Потім окремі залози: верхньогубі, скроневі – спеціалізувалися на виробленні отруйного секрету. Одночасно із цим, очевидно, відбувалося формування й удосконалювання апарату для введення отрути в тіло жертви. Окремі зуби, що є на передньому або задньому кінці верхньої щелепи, збільшувалися за розмірами, а на їхній передній поверхні з'являлася борозенка, якою стікає отрута. Родина отрутозубів (*Helodermatidae*) представлена двома видами: жилаць (*Heloderma suspectum*), і ескампіон, або мексиканський отрутозуб (*H. horridum*). Ці види населяють сухі кам'яністі передгір'я й напівпустелі Північної Америки від південно-заходу США до південно-заходу Мексики й Гватемали. Отрутозуби вбивають жертву шляхом укусу й введення в тіло отрути.

Для класу ссавців (*Mammalia*) отруйність загалом не властива, але притаманна лише деяким найпримітивнішим. Мабуть, це можна пояснити тим, що висока досконалість нервової системи в прогресивних родів ссавців, порівняно з усіма попередніми класами хребетних дозволило їм виробити доволі ефективні засоби захисту й способи нападу шляхом різних рефлекторних і поведінкових реакцій. Отруйними є представники яйцекладних ссавців (*Prototheria*). У єдиний рід підкласу входять лише 6 видів, поєднаних у 2 родини: качкодзьоби *Ornithorhynchidae* з одним видом *Ornithorhynchus anatinus* і єхидни *Tachyglossidae* – 2 роди з 5 видами. Поширення однопрохідних обмежене Австралією, Тасманією й Новою Гвінеєю. Трапляються вони в лісах, чагарниках і на відкритих просторах, піднімаються у гори до 2,5 тис. м над р.м. Ведуть при цьому або наземний (єхидни), або напівводний (качкодзьоб) спосіб життя. Тіло єхидних укрите щетиною і голками, а качкодзьоба – м'яким хутром. В єхидни і качкодзьоба отруйний апарат представлений стегною залозою, що протокою з'єднана зі шпорою, розташованою на зап'ястях задньої лапи із внутрішнього боку.

Із плацентарних до небезпечних належать лише деякі представники ряду комахоїдних (*Insectivora*). До отруйних належать дві родини: щілинозубів і землерійок. Родина щілинозубів (*Solenodontidae*) представлена двома видами: гаїтянський або парадоксальний щілинозуб *Solenodon paradoxus* і кубинський *S. cubanus*. Видові назви відображають їхнє поширення – відповідно з островів Гаїті й Куба. Щілинозуби поїдають в основному різних безхребетних й дрібних хребетних тварин, але вживають і рослинну їжу. Щілинозуби не мають імунітету до власної отрути. Тому неодноразово спостерігали загибель тварин під час бійок навіть при незначних пораненнях. У представників родини землерійок (*Soricidae*) щелепи, містять зуби, які діють на здобич як зазубрений пінцет, що дозволяє схоплювати й утримувати рухливу здобич – комах. Слина окремих видів комахоїдних володіє нейротоксичною дією на комах та амфібій, допомагає тваринам побороти рухливих і крупніших жертв.

Зауважимо, що природні токсини як чинник взаємовідношень живих компонентів в екосистемах, є одним із невід'ємних засобів підтримання стійкості, стабільності й гармонії у світі живої природи. Природа має величезну різноманітність прикладів біохімії отрут, їх токсичності, способів і місць утворення в тілі організму-продуцента, а також прийомів використання. Тому потрібні фахові знання, як формувати правила безпечного перебування у природному довкіллі, а з іншого боку дозволяє обережати біотичне різноманіття видів у нативних екосистемах.

Навмисне знищення популяцій рослин чи тварин, що використовують отрути для власного виживання, є не припустимим, як і будь-яких інших, що не мають особливого практичного значення для людини. Знижуючи чисельність того або іншого виду, або знищуючи популяцію загалом можна спричинити повне його зникнення. Це завжди призводить до незворотних змін в біоценозах і, врешті решт, небажаних наслідків для самої людини.

Прикладом є щорічні спалахи чисельності популяцій отруйних павуків каракутів на Півдні і Сході України та їх часті укуси людей. Головним природним ворогом каракурта є інша отруйна комаха – наїзник або опушена помпіла. Дістаючись до коконів, оса проколєє їх один за одним своїм тонким яйцекладом і в кожен підкидає приблизно до двадцяти яєчок. Личинки осі за рахунок поїдання каракутових яєць швидко ростуть і за літо встигають дати 3-4 покоління [6].

Проте, необережна людська активність, а саме масштабне застосування на Півдні України сільськогосподарських отрутохімікатів, інтенсивне технохімічне забруднення довкілля екотоксикантами, а останніми роками повсюдне випалювання сухої трави на полях і пустищах спричинили вагоме зменшення чисельності популяцій хижих ос – природних екологічних «регуляторів» поширення небезпечних каракуртів.

Теперішньої доби страх захворіти від дії хімічних речовин чи радіації істотно збільшив кількість звернень до лікарів, скарг і вимог компенсацій за спричинені страждання. Поза сумнівом, емоційний статус людини, спосіб громадського сприйняття проблеми такі ж реальні, як і наукові досліді. Але дотепер панує переконання, що перші менше обґрунтовані, ніж методи експериментальної оцінки екотоксичної небезпеки того або іншого чинника довкілля людини [9; 11].

Висновки

Поглиблення екотоксикологічних досліджень та освоєння точних знань ширшим колом екологів і фахівців інших галузей науки у майбутньому дозволить подолати певні труднощі становлення 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 екопопуляційні та синекологічні механізми екотоксичності.

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 новітньої – інвайроментології (середовищезнавства). Проте, біорізноманіття диких видів рослин, тварин і

мікробіоти, якість довкілля на планеті і стан здоров'я людей, як основні критерії екобезпечного (сталого) розвитку, в нашу добу такі, що іншого вибору, як розвивати ці важливі знання, не існує.

Література

1. Безручко Н. В. Основы токсикологии / Н. В. Безручко, Н. Ю. Келина, П. П. Кукин и др. – К.: Высшая школа, 2008. – 279 с.
2. Зербіно Д. Д. Екологічні катастрофи у світі та в Україні / Д. Д. Зербіно, М. Р. Гжегоцький. – Львів: БАК, 2005. – 280 с.
3. Гнатів П. С. Динаміка біотичної різноманітності та сучасні загрози довкіллю: Україна і світовий досвід // Наукові праці ЛАНУ. – 2008. – Вип. 6. – С. 125 - 128. [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.nbu.gov.ua/portal/Chem_Biol/Nplanu/2008_6/LAN_6_Hnativ.
4. Гнатів П. С. Генетичні ефекти трансформації довкілля / П. С. Гнатів, О. С. Нечай // Наук. вісн. Волинського нац. ун-ту ім. Лесі Українки. – Вип. 9. Біол. науки. – 2009. – С.204–212. [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/nvnu/biolog/2009_9/R5/Hnativ.pdf.
5. Гнатів П. С. Теорія систем і системний аналіз в екології: навч. пос. / П. С. Гнатів, П. Р. Хірівський – Львів: В-во Камула, 2010. – 204 с.
6. Снітинський В.В. Екотоксикологія : навч. посібн. / В.В. Снітинський, П. Р. Хірівський, П. С. Гнатів, Г. Л. Антоняк, Н. С. Панас, М. А. Петровська – Херсон: Олді-плюс. – 2011. – 330 с.
7. Bazerman Ch., René A. Measuring Incommensurability: Are toxicology and ecotoxicology blind to what the other sees? // Rhetoric and Incommensurability. – Parlor Press, 2005. – P.424–463.
8. Butler G. G. Development in Ecotoxicology // Ecol. Bull, 1986. – V. 36. – №1. – P.9–12.
9. Cockerham L. G., Shane B. S. (Ed.). Basic Environmental Toxicology. – Boca Raton, FL.: CRC Press, 1994. – 627 p.
10. Forbes V. E., Forbes T. L. Ecotoxicology in Theory and Practice: Ecotoxicology Series. – L.: Chapman and Hall, 1994. – 247 p.
11. Landis W. G., Yu M-H. Introduction to Environmental Toxicology. – Boca Raton, FL.: Lewis Publishers, 1995. – 328 p.

Стаття поступила до редакції 28.09.2012 р.; прийнята до друку 05.10.2012. р.