

## ТОКСИКОМЕТРИЯ І АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ГІГІЄНИЧНОГО РЕГЛАМЕНТУВАННЯ ХІМІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

### Екотоксикодинаміка.

**Екотоксичність** – це здатність ксенобіотичного профілю середовища викликати несприятливі ефекти у відповідному біоценозі. У тих випадках, коли порушення природного ксенобіотичного профілю пов'язано з накопиченням у середовищі одного поллютанта, можна говорити про екотоксичність цієї речовини. Екотоксичність визначається токсичністю екополлютантів для біоти, складової даного біоценозу. Як правило, екотоксичність характеризується лише якісно, через поняття «небезпека». У залежності від тривалості дії екополлютантів на екосистему (популяцію) можна говорити про гостру і хронічну екотоксичність.

**Гостра токсична дія** речовини в навколишньому середовищі може бути наслідком аварій і катастроф, що супроводжуються викидом великої кількості навіть відносно нестійкого токсиканту, або неправильного використання хімікатів.

Історії вже відомі такі події. Так, у 1984 р. в м. Бхопал (Індія) на заводі американської хімічної компанії з виробництва пестицидів «Юніон Карбайт» сталася аварія. В результаті аварії реактора в атмосферу потрапила велика кількість пульмонотропної речовини метилізоціанату. Будучи летючою рідиною, речовина сформувала нестійке вогнище зараження. Однак у результаті валового викиду і високої токсичності речовини отруєнню піддалося близько 200 тис. осіб, з них 3 тис. загинули. Основна причина смерті – гостро розвинувся набряк легенів.

Найбільшим екологічним лихом є використання високотоксичних хімічних речовин у військових цілях. У роки Першої світової війни воюючими країнами було використано на полях битв близько 120 тис. т отруйливих речовин. У результаті отруєння отримали понад 1,3 млн осіб.

Наслідки гострої екотоксичної дії не завжди пов'язані з миттєвою загибеллю або гострим захворюванням людей, що зазнали впливу ОР. Наприклад, однією з застосовуваних в Першу світову війну отруйних речовин був сірчистий іприт. Ця речовина, будучи канцерогеном (відноситься до групи I за класифікацією МАІР), через декілька років стало причиною загибелі людей, які перенесли гостре ураження речовиною, від злоякісних новоутворень.

З **хронічною токсичністю речовин**, як правило, пов'язують порушення репродуктивних функцій, імунні зрушення, захворювання ендокринних органів, вади розвитку, алергізації і т.д. Однак тривалий неодноразовий вплив токсиканту на середовище може призводити і до смертельних випадків серед особин окремих видів. Це спостерігається при дії речовин з високою здатністю до біоаккумуляції. Необхідно враховувати, що багато речовин можуть викликати гострі токсичні ефекти, хронічна токсичність виявляється далеко не у кожній сполуки. Непрямим показником небезпеки речовини при її тривалій дії на організм є співвідношення концентрацій, що

викликають гострі та хронічні (поріг токсичної дії) ефекти. Якщо це співвідношення менше 10, то речовина розглядається як малонебезпечна при тривалому впливі.

У більшості випадків екотоксикологія стикається саме з випадками хронічної екотоксичності. По суті хронічний вплив екополлютантів – основна проблема екології.

Механізми взаємодії ксенобіотиків з біогеоценозом, за допомогою яких речовини можуть викликати несприятливі ефекти в біогеоценозах, численні, і, ймовірно, в кожному конкретному випадку - унікальні. Основними серед них є пряма і опосередкована дії.

**Пряма дія** – це безпосереднє ураження організмів певної популяції або декількох популяцій (біоценозу) екотоксикантом або сукупністю екополлютантів даного ксенобіотичного профілю середовища.

Пряма дія токсикантів виражається:

- В масовій загибелі представників чутливих видів організмів (наприклад, застосування ефективних пестицидів призводить до масової гибелі шкідників - комах або бур'янів, і на цьому токсичному ефекті будується стратегія використання хімікатів);

- Розвиток аллобіотичних станів і специфічних форм токсичного процесу (наприклад, в збільшенні числа новоутворень, зниженні репродуктивних можливостей у популяціях людей, що проживають у регіонах, забруднених екотоксикантами);

- Ембріотоксичну дію екополлютантів (наприклад, ДДТ, накопичуючись в тканинах птахів, призводить до витончення шкаралупи яєць, в результаті пташенята не можуть бути висиджені і гинуть).

**Опосередкована дія** – це дія ксенобіотичного профілю середовища на біотичні або абіотичні елементи середовища проживання популяції, в результаті якої умови і ресурси середовища перестають бути оптимальними для існування виду. Опосередкована дія ксенобіотичного профілю середовища на біотичні або абіотичні елементи середовища існування популяції може призводити:

- До скорочення харчових ресурсів середовища проживання (наприклад, для боротьби з шкідниками лісового господарства - гусеницями листовійки-брункоїда - був застосований фосфорорганічний пестицид, який швидко деградує в середовищі, але в результаті різкого зниження числа гусениць від голоду загинуло близько 12 млн. птахів);

- Вибуху чисельності популяції внаслідок знищення виду-конкурента (наприклад, вплив пестицидів для боротьби з шкідниками рослин призвело до інтенсивного розмноження нечисленних раніше кліщів-бавовноїдів).

Більшість токсикантів здатні надавати як пряму, так і опосередковану, тобто змішану дію. До речовин, що володіють змішаним механізмом дії, зокрема, відносяться гербіциди.

### **Екотоксикометрія.**

Всі види кількісних токсикологічних досліджень повною мірою використовуються для визначення екотоксичності ксенобіотиків. Гостра токсичність екополлютантів визначається експериментально на декількох видах організмів, які є

представниками різних рівнів трофічної організації в екосистемі (водорості, рослини, безхребетні, риби, птахи, ссавці).

Для оцінки та контролю вмісту токсичних речовин в об'єктах водного середовища використовують два методи: диференціальний і комплексний. **Диференціальний контроль** токсичних речовин включає використання критеріїв ГДК для обмеження концентрацій конкретних токсикантів. **Комплексний метод** спирається на використання біотестування. Такі методи застосовують для аналізу водних екосистем, а в останні роки - і для ґрунтових. Найбільш часто методи біотестування з використанням стандартних тест-організмів застосовують для оцінки токсичності стічних вод. Токсичність стічних вод кількісно виражається через летальну концентрацію ЛК50 або ступінь розбавлення стічної води, при якій гине 50% особин тест-організмів. Вимірювання ступеня токсичності як параметра стічних вод можна використовувати для лімітування стоку. Параметр токсичності не відображає вмісту у воді окремих токсичних компонентів водного середовища, а служить інтегральною характеристикою стічних вод. При використанні біотестів необхідно враховувати, що різні види організмів проявляють різну чутливість до токсикантів. Найчастіше між видами, що піддаються впливу одного і того ж токсиканту, спостерігається значна різниця за величиною ефекту. Діапазон відмінностей сильно залежить і від природи токсиканту.

Агентство з захисту навколишнього середовища США вимагає при оцінці критеріїв якості води, що містить деякий токсикант, визначення його токсичності принаймні на восьми різних видах прісноводних і морських організмів (16 тестів). Неодноразово робилися спроби ранжирувати види живих істот по їх чутливості до ксенобіотиків. Однак для різних токсикантів чутливість до них живих істот різна. Більш того, використання в екотоксикології «стандартних видів» представників певних рівнів екологічної організації для визначення екотоксичності ксенобіотиків, з наукової точки зору, не коректно, оскільки чутливість тварин навіть близьких видів деколи істотно різниться. При оцінці хронічної екотоксичності речовини необхідно враховувати наступні обставини.

1. Визначення коефіцієнта небезпеки є лише першою ланкою в дослідженні екотоксичного потенціалу речовини. У лабораторних умовах порогові концентрації хронічної дії токсикантів визначають, оцінюючи показники летальності, зростання, репродуктивних здібностей групи. Вивчення інших наслідків хронічної дії речовин часом призводить до інших числових характеристик.

2. Дослідження токсичності проводять на тваринах, придатних для утримання в лабораторних умовах. Отримані при цьому результати не можна розглядати як абсолютні. Токсиканти можуть викликати хронічні ефекти в одних видів і не викликати в інших.

3. Взаємодія токсиканту з біотичними і абіотичними елементами навколишнього середовища може істотно позначитися на його токсичності в природних умовах. Однак експериментальне вивчення таких процесів в умовах лабораторії практично неможливо.

Специфічним методом екотоксикометрії є *оцінка екологічного ризику*. Забруднення середовища як складний багатофакторний процес проявляється в різних формах порушення здоров'я людей. Загально визнано, що здоров'я людини - чільний системоутворюючий фактор при вивченні відгуку біологічних систем на техногенний вплив.

Оцінюючи екологічну обстановку, необхідно визначити ймовірність несприятливого впливу на здоров'я людини шкідливих речовин, що забруднюють середовище проживання або виробниче середовище. Це направлення досліджень називають оцінкою ризику.

**Ризик** – кількісний еквівалент однією з причин будь-якого несприятливого явища (ефекту). Екологічний ризик пов'язаний з будь-якою техногенною діяльністю. При цьому традиційно виділяють два види екологічного ризику: *аварійний і кумулятивний*. Перший є результатом раптових відхилень від нормального режиму функціонування технічних систем. Як правило, наслідки цього виду ризику при його реалізації носять переважно локальний характер, але можуть проявлятися і в широкому масштабі. Другий вид ризику пов'язаний з наслідками, що приводять до локальних, регіональних і, навіть, глобальних ефектів – таким, наприклад, як зміна клімату, виснаження озонового шару атмосфери та ін., але які є результатом накопичення (акумулювання) ряду несприятливих процесів у навколишньому середовищі при «нормальному» функціонуванні технічних систем.

Кількісна оцінка екологічного ризику пов'язана з певними труднощами, обумовленими складністю екосистем, недостатністю вивчення характеристик екотоксикологічної небезпеки, різноманіттям і великою кількістю ксенобіотиків, використовуваних в господарській діяльності.

На першому етапі оцінки екологічного ризику здійснюється виявлення проблем, зумовлених забрудненням навколишнього середовища. При цьому формується банк даних про стан здоров'я населення за результатами контролю служби охорони здоров'я (блок параметрів стану здоров'я населення) і вмісті забруднюючих речовин у навколишньому середовищі за даними метеорологічних служб (блок параметрів стану навколишнього середовища).

На другому етапі формуються дані по управлінню ризиком. Управління ризиком починається з встановлення стандартів якості навколишнього середовища і виражається в нормуванні концентрації ксенобіотиків у повітрі, воді та ґрунті в зоні проживання людей. Оцінка ризику може бути використана при підготовці та прийнятті законодавчих та політичних рішень, пов'язаних з відшкодуванням шкоди, завданої здоров'ю громадян. Таким чином, при з'ясуванні причинно-наслідкових зв'язків між здоров'ям населення та забрудненням навколишнього середовища необхідно володіти двома блоками відповідної інформації: з одного боку – показниками здоров'я людей, з іншого – даними про стан навколишнього середовища.

До основних факторів стану навколишнього середовища, що враховуються при оцінці екологічного ризику відносяться:

- 1) забруднення атмосферного повітря;

- 2) забруднення води і ґрунту;
- 3) побутові та дорожньо-транспортні умови;
- 4) надзвичайні ситуації техногенного характеру.

#### **Екологічне нормування.**

**Повітряне середовище.** При санітарній оцінці екотоксичність полютантів використовується декілька видів гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин, у тому числі ГДК робочої зони (ГДКр.з.), максимально разова (ГДКмакс.), середньодобова (ГДКсер.) (докладно ці концентрації розглянуті в розділі 4).

Для запобігання забруднення атмосфери запроваджено нормативи на викидання окремими джерелами забруднення шкідливих речовин - гранично допустимий викид (ГДВ). ГДВ - це кількість шкідливих сполук, що викидається в одиницю часу, який в сумі з викидами з інших джерел не створює у приземному шарі повітря концентрацію, яка перевищує ГДК. ГДВ розраховують за методиками, розробленими Держкомгідрометом. При цьому для кожного підприємства враховуються перспектива розвитку виробництва і кліматичні умови місцевості.

Якщо в повітрі населених пунктів концентрація шкідливих речовин перевищує ГДК, а викиди не можуть бути зменшені з об'єктивних причин, то на певний термін встановлюються тимчасово узгоджені викиди (ТУВ).

**Поверхневі води.** Нормативи якості введені для поверхневих вод різних категорій використання: господарсько-питного, культурно-побутового, рибогосподарського. Для перших двох основних категорій є санітарно-гігієнічні нормативи .

**Ґрунт.** ГДК забруднюючих речовин визначаються особливостями відновлення ґрунтів, хімічним складом токсикантів та їх токсичністю. Забруднюючі речовини надходять в ґрунт з атмосферного повітря, з поливними водами, в якості твердих відходів, при внесенні різних добрив і пестицидів.

Відновлення біологічної продуктивності ґрунтів, забруднених важкими металами, - одна з важливих і складних проблем збереження агроценозів. **Проблеми екологічного нормування.** При вирішенні завдань екологічної токсикології доводиться виходити з визнання неможливості повного запобігання забруднення природного середовища навіть при умовах вдосконалення виробництва.

Було б неправильно вважати, що питання регламентації антропогенного впливу виникло лише в останні роки. У широкому практичному плані перед людиною завжди стояла проблема: що, де і скільки можна дозволити собі при взаємодії з природою. Було потрібно підбирати для землеробства відповідні культури, дотримуватися правильного вибору агротехніки, термінів і норм сівби, регулювати інтенсивність поливу, пасовищних навантажень і т.д. Додамо до цього багату практику лісівництва, зокрема використання розрахункових лісосік.

В даний час нормування забруднюючих речовин в природних біоценозах базується на санітарно-гігієнічних принципах і нормах, тобто на пріоритетності захисту, передусім людини. З цих принципів виходять токсикологи і гігієністи при встановленні ГДК різних речовин у воді, повітрі, ґрунтах і продуктах харчування.

Разом з тим сучасні гігієнічні нормативи вмісту шкідливих речовин у навколишньому середовищі (повітря, вода, ґрунт, продукти харчування), орієнтовані на захист від прямого токсичного впливу перш за все системи організменного і суборганізменного рівнів, що не може гарантувати збереження природного середовища. Свідченням недостатності класичних токсикологічних підходів є збільшення площ деградованих токсичним забрудненням наземних і водних екосистем, окремі компоненти яких більш чутливі до токсикантів, ніж людина. Тому дотримання гігієнічних ГДК ще не гарантує захист природних комплексів (в основному за рахунок ефектів біотрансформації та акумуляції токсикантів).

Наприклад, при тривалому впливі сірчистого газу в концентраціях, що не перевищують санітарно-гігієнічні норми для повітря, серйозно уражаються хвойні ліси. Відомо також, що лишайники гинуть в міській атмосфері, яка за санітарно-гігієнічним стандартам вважається допустимою для людини. У багатьох країнах, у тому числі і в Росії, нерідкі випадки використання питної води, в якій можуть вижити далеко не всі прісноводні організми. При деяких забрудненнях ґрунту нафтою або важкими металами сильно страждає ґрунтова мезофауна, в той час як сільськогосподарська продукція з цих ділянок може відповідати санітарним нормам для продуктів харчування. Перерахування подібних прикладів можна продовжувати, але вже зрозуміло, що не всі об'єкти природних біоценозів можна «унормувати» по регламентам людини. Тут потрібні інші підходи, що враховують надорганізменний характер екологічної токсикології та її прикладних аспектів.

Визначальними в стратегії екологічного нормування повинні бути принципи збереження природних екосистем, а не заміна або пристосування їх до потреб людини.

Будь-які підходи до екологічного нормування засновані на понятті допустимого навантаження. У широкому сенсі під допустимим антропогенним впливом на природне середовище слід розуміти таке, яке не впливає на якість природного середовища або змінює її в допустимих межах, тобто не руйнує існуючі екосистеми і не викликає несприятливих наслідків у найважливіших популяціях, в першу чергу у людини.

Екологічне нормування на ландшафтно-географічному рівні може бути реалізовано через обґрунтований вибір обмеженого числа біогеоценозів, що підлягають регламентації. У рівній мірі нормування навантаження на окремі біоценози може бути здійснено через регламентації стану окремих популяцій або їх співтовариств, віднесених до критичних ланок відповідних біоценозів.

Розробка екологічних нормативів можлива лише на основі кількісної оцінки обмеженого числа параметрів, що характеризують стан регламентованого об'єкта. Це передбачає необхідність серйозної формалізації та спрощення реальних процесів функціонування природних популяцій та їх взаємини з компонентами біоценозу. Виділені показники повинні відображати неспецифічні відповіді систем на різноманітні види токсичного впливу, що дозволить розглядати їх як характеристик поєднаної дії багатьох токсичних факторів та оцінити їх вплив інтегральними показниками.

Тільки єдина система екологічного та санітарного нормування в змозі сьогодні забезпечити добробут людини і природного середовища та їх захист від зростаючого пресу промисловості та сільського господарства. Таким чином, в екологічній токсикології при нормуванні повинні бути представлені три напрямки:

- 1) польові дослідження конкретних територій, схильних до токсичного впливу;
- 2) експериментальне вивчення механізмів токсичності;
- 3) теоретичні розробки концепції стійкості природних систем.

В сучасних умовах забезпечення збереження природних екосистем і благополуччя людства можливе лише на шляху повної взаємної інтеграції цих напрямів.