

# ECOTOXICOLOGIA CA RAMURĂ DE ȘTIINȚĂ

Elena Zubcov<sup>1,2</sup>, Natalia Zubcov<sup>1</sup>, Antoaneta Ene<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institutul de Zoologie, Str. Academiei nr.1, Chișinău, R. Moldova

<sup>2</sup> Universitatea Dunărea de Jos din Galați, Centrul de cercetare internațional interdisciplinar INPOLDE, Facultatea de Științe și Mediu, Str. Domnească nr.47, 800008 Galați, România

## 1.1. CONSIDERENTE GENERALE

Începutul dezvoltării unei noi ramuri a științei - ecotoxicologia l-a constituit cartea *Primăvara Tăcută (Silent Spring)*, scrisă de Rachel Carson și publicată în 1962, în care autoarea descrie cazurile de moarte în masă a păsărilor și a peștilor din cauza utilizării necontrolate a pesticidelor. R. Carson a concluzionat că efectele nefaste ale poluanților asupra vieții sălbatice prefigurează un dezastru iminent pentru oameni (Carson, 1962). Această carte a atras atenția pe scară largă, atât a publicului cât și a societăților de protecție a mediului, guvernărilor, ceea ce a intensificat elaborarea mai multor legislații guvernamentale care reglementează emisiile xenobiotice în mediul de trai.

Termenul „ecotoxicologie” ca ramură de știință a fost desemnat de Renne Truhaut în 1961 - „*Ecotoxicologia este o ramură de știință care studiază interacțiunile ce determină distribuția și abundența organismelor*” cu toxicologia „*știința care se ocupă cu studiul efectelor nefaste ale substanțelor asupra organismelor vii*”. Autorul a reunit două subiecte complet diferite: ecologia și toxicologia. De fapt, ecotoxicologia, pe lângă ecologie și toxicologie, include și elemente ale altor științe (Truhaut, 1977).

Pentru cercetările ecotoxicologice sunt necesare cunoștințe temeinice de chimie organică și anorganică, biochimie, chimie analitică, chimie fizică, toxicologie, ecologie, bio-

logie, medicină. De asemenea, este necesară cunoașterea unor metode de calcul statistic.

Definiția ecotoxicologiei a fost modificată de mai mulți cercetători.

Francois Ramade a publicat în 1977 un manual în care subliniază că: „*Ecotoxicologia studiază modalitățile de contaminare a mediului de către agenții poluanți naturali și artificiali produși de activitatea umană, mecanismele de acțiune și efectele asupra viețuitoarelor care populează biosfera*” (Ramade, 1977). Această definiție a fost clarificată mai târziu în cadrul conferinței SCOPE (Comitetul științific internațional pentru probleme de mediu) din 1978. Aici Butler G.C. a prezentat și apoi a publicat principalele obiective a ecotoxicologiei - „*Ecotoxicologia - este ramura toxicologiei care studiază efectele toxice ale substanțelor naturale sau artificiale asupra organismelor vii care constituie biosfera (animale, vegetale, terestre, acvatice), inclusiv interacțiunea substanțelor toxice cu mediul fizic în care organismele vii există*” (Butler, 1984).

Valery E. Forbes & Thomas L. Forbes în anul 1984 apoi în cartea *Ecotoxicology in theory and practice* editată în 1995, au afirmat că „*Ecotoxicologia este domeniul de studiu care integrează efectele ecologice și toxicologice ale poluanților chimici asupra populațiilor, comunităților ecosistemelor cu „soarta” acestora în mediu (transport, dezintegrare)*” (Forbes & Forbes, 1984,1995).

P. Calow, în 1998, prin realizarea mai multor investigații și editarea manualelor privind ecotoxicologia și protecția ecosistemelor, încearcă să unească aceste două direcții - „*Ecotoxicologia este ramura științei care se ocupă cu protejarea sistemelor ecologice față de efectele adverse ale substanțelor chimice sintetice*”. (Calow, 1998).

C.H. Walker, R.M. Sibly, S.P. Hopkin & D.B. Peakall, în lucrarea *Principles of Ecotoxicology* din 1998, au scris că: „*Ecotoxicologia este știința care studiază efectele daunătoare ale substanțelor chimice asupra ecosistemelor*” (Walker et al., 1998).

Odată cu dezvoltarea conceptului „*ecotoxicologie*”, acesta a suferit o anumită evoluție. Walker et al. (2001) din nou au constatat că „*Ecotoxicologia este o știință care studiază efectele toxice ale agenților chimici asupra organismelor vii, în special la nivelul populațiilor și comunităților, în anumite ecosisteme*”.

Subiectul ecotoxicologiei este reprezentat de organisme și sisteme biologice de diferit nivel (comunitate, populație, ecosistem, etc.), supuse poluării antropice. Prin urmare, principiile fundamentale ale funcționării și structurii sistemelor naturale de populație și rangului biocenotic, dezvoltate activ de ecologia teoretică modernă, servesc drept bază teoretică pentru ecotoxicologie.

### ***Domenii de cercetare interdisciplinară legate de ecotoxicologie***

Expansiunea și aprofundarea conceptului de „ecologie” a dus la apariția unor noi domenii științifice independente. Aceste direcții sunt în contact între ele: au o metodologie comună, un aparat conceptual, obiecte de cercetare, folosesc aceleași rezultate științifice pentru a-și rezolva propriile probleme specifice.

Ca exemplu, *ecologia chimică* (Bogdanovsk, 1994; Egorov, 2009) studiază modificările chimice sub influența factorilor de mediu. Sarci-

na centrală este de a studia comportamentul substanțelor antropice: concentrația în mediu, procesele de acumulare în mediu. Sfera de interese include procesele chimice din mediu datorită schimbărilor provocate de activitatea umană. Legătura strânsă dintre chimia ecologică (Korte, 1997) și ecotoxicologie este exprimată prin faptul că ambele domenii folosesc metode și tehnici de analize chimice și fizico-chimice.

Subiectul cercetării ecotoxicologice este stabilirea legăturilor între dinamica substanțelor chimice și dezvoltarea comunităților de organisme vii în ecosisteme. Spre deosebire de chimia ecologică, obiectele cercetării ecotoxicologice nu se referă numai la substanțe antropogene, ci și la substanțe naturale, prin care are loc interacțiunea lor asupra comunităților vii, și la descifrarea rolului și importanței organismelor în procesele de transport, circuitul și diminuarea sau sporirea toxicității substanțelor chimice.

O trăsătură comună a toxicologiei și ecotoxicologiei este aceea că ambele domenii de cercetare utilizează metodologia, aparatul conceptual toxicologic și bazele fundamentale privind toxicitatea (*Ecological Bulletins No. 36, 1984*).

Toxicologia în majoritate sa este un compartiment al medicinei care studiază proprietățile fizice, chimice ale otrăvurilor (substanțe daunătoare și toxice), mecanismele acțiunii lor asupra corpului uman și dezvoltă metode de diagnosticare, tratament și prevenire a intoxicațiilor (Golikov, 1972).

Toxicologia este studiul toxicității și al procesului toxic. Toxicitatea și procesul toxic sunt două concepte de bază ale toxicologiei moderne. Toxicitatea este o proprietate (capacitate) a substanțelor chimice, care acționează asupra sistemelor biologice și provoacă daune (disfuncții) sau deces. Astfel, toxicitatea este capacitatea de a provoca o întrerupere, boală sau deces. Produsele chimice care, în anumite condiții, pot prezenta

această proprietate, sunt denumite **toxice** (substanțe toxice) (Kutsenko, 2006; Lysenko & Dogadina, 2015; Oprea, 2007).

Acțiunea unei substanțe, care duce la perturbarea funcțiilor sistemelor biologice, se numește **efect toxic**. Baza efectelor toxice este interacțiunea unei substanțe cu un obiect biologic la nivel molecular.

Chimia interacțiunii unui agent toxic și a unui obiect biologic (la nivel molecular) se numește **mecanismul acțiunii toxice**. **Toxicant** = otravă = substanță otrăvitoare, dăunătoare sau periculoasă (Kutsenko, 2006).

Ecotoxicologia și toxicologia, atunci când se iau în considerare toxicitatea și procesele toxice, utilizează un aparat, modele și metodologie conceptuale comune; acestea sunt trăsăturile lor comune. Cu toate acestea, toxicologia și ecotoxicologia studiază toxicitatea substanțelor și manifestarea procesului toxic la diferite niveluri de organizare a unui obiect biologic (Bazerman, Charles & René Agustin De los Santos, 2006).

Ecotoxicologia tratează un material toxic ca o componentă toxică în procesele ecologice a unui ecosystem sau comunități vii, iar toxicologia - la unui organ sau organism. Aceasta este diferența fundamentală dintre ecotoxicologie și toxicology (Relyea & Hoverman, 2006).

În toxicologie, aportul, metabolismul și eliminarea substanței toxice dintr-un obiect biologic și procesul toxic sunt studiate fără o perspectivă ecologică sau un context ecologic (fără a ține seama de comportamentul din ecosystem și de impactul asupra populațiilor și comunităților) (Lysenko & Dogadina, 2015; Oprea, 2007).

Ecotoxicologia studiază efectele toxice deasupra diferitor comunități de organisme până la nivel de ecosystem și astfel valoarea mediului devine factor activ în dezvoltare; în plus, o trăsătură specifică a ecotoxicologiei este evaluarea proceselor de migrație și a circuitului substanțelor toxice și a consecin-

țelor de mediu ale acțiunii combinate a factorilor antropici și naturali asupra sistemelor biologice.

Cele mai multe interferențe le are ecotoxicologia cu toxicologia generală și cu toxicologia mediului. Făcând o paralelă între aceste discipline și ecotoxicologie este necesar de evidențiat următoarele:

Toxicologia se ocupă cu preluarea, absorbția, difuziunea, excreția substanțelor toxice de către organismele individuale. Ecotoxicologia se ocupă cu cinetica poluanților în mediul abiotic (aer, apă, sol/sedimente) și mediul biotic (lanțul trofic), studiul transformărilor și biotransformărilor substanțelor chimice la nivel de comunități de organisme și ecosistem.

Toxicologia are ca scop protejarea omului/ animalelor (privite ca individ) față de expunerea la substanțe toxice. Ecotoxicologia are ca scop protejarea populațiilor și comunităților diferitelor specii precum și a ecosistemelor de efectele dăunătoare ale expunerii la substanțe toxice (Kutsenko, 2006).

O importanță majoră atât pentru toxicologie cât și pentru ecotoxicologie o prezintă relația dintre cantitatea de substanță chimică la care organismul este expus și natura, gradul efectelor nocive consecutive (relația doză/răspuns, care constituie baza pentru estimarea hazardului și riscului prezentat de substanțele chimice din mediu).

Ecotoxicologia (Straalen, 2002) a fost asimilată o perioadă cu toxicologia mediului. Toxicologia mediului abordează în mod limitat problemele de poluare și anume:

- modul prin care își exercită acțiunea fiziopatologică asupra organismelor țintă, în special nevertebrate, mamifere (om);
- mecanismul de acțiune pe plan celular și molecular.

În procesul de studiere a efectelor substanțelor chimice prezente în mediu, asupra oamenilor și a comunităților umane, toxicologia mediului acționează cu categorii și con-

cepte de toxicologie clasică stabilite și, de regulă, aplică metodologia tradițională experimentală, clinică și epidemiologică. Obiectivul cercetării în acest caz sunt mecanismele, dinamica dezvoltării, manifestarea efectelor adverse ale acțiunii substanțelor toxice și a produselor de transformare a acestora în mediu asupra oamenilor.

Ecotoxicologia, diferit de Toxicologia mediului (Robinson & Thorn, 2005; Frumin, 2013), în majoritatea sa abordează efectele poluării nemijlocit per ansamblu asupra populațiilor, ecosistemelor, cu scopul de a le proteja în totalitate și nu pe componente izolate.

Conceptul de bază al ecotoxicologiei, la fel, este **toxicitatea**, care în termeni generali poate fi definită ca o proprietate (capacitate) a substanțelor chimice, care acționează asupra sistemelor biologice provocând lezarea sau moartea lor sau capacitatea de a provoca degradarea biocenozei sau a întregului ecosistem.

Consecința efectului toxic al substanțelor asupra sistemelor biologice cât și reacția unui biosistem la acțiunea unui agent toxic care conduce la deteriorarea (adică afectarea funcțiilor sale, viabilitatea) sau moartea acestuia este numit **proces toxic**. Semnele externe, înregistrate de procese toxice (acțiunea toxică), reprezintă manifestarea sa (efectul toxic) (Forbes & Calow, 1999).

**Procesul toxic la nivel de populație se manifestă prin** (Bezel et al., 1994):

- moartea populației;
- creșterea morbidității, mortalității, numărului de defecte congenitale;
- scăderea potențialului de înmulțire;
- încălcarea caracteristicilor structurale (sex, vârstă, spațiu, dimensiune, structură de masa, etc.);
- scăderea posibilităților medii de viață și degradarea componenței populației.

**Procesul toxic la nivelul biocenozelor se manifestă prin:**

- modificări ale spectrului populațional al cenozei, până la dispariția anumitor specii și apariția unora noi, care nu sunt tipice acestei biocenoze (aceasta poate schimba speciile dominante și, de regulă, poate diminua biodiversitatea);
- încălcarea relațiilor interspecifice, productivitatea redusă a biocenozelor ca sistem întreg;
- posibila degradare și dispariție a acestui ecosistem.

Diferențele metodologice dintre ecotoxicologie și toxicologia mediului sunt șterse complet atunci când un cercetător este invitat să evalueze efectul indirect al poluanților asupra populațiilor umane (de exemplu, datorită modificării toxice a biotei) sau, dimpotrivă, să afle mecanismele de acțiune ale substanțelor chimice în mediu asupra reprezentanților unuia sau a celuilalt individ (Bezel et al., 1994).

În acest sens, din punct de vedere teoretic, “toxicologia mediului” ca știință este doar o problemă specială a “ecotoxicologiei”, în timp ce metodologia, aparatul conceptual și structura științelor sunt aceleași (Robinson & Thorn, 2005).

Dificultățile de a stabili ecotoxicologia ca direcție independentă sunt astăzi legate de absența unei baze teoretice suficient de stricte care să unească materialul experimental acumulat și să-l explice.

Ambiguitatea datelor inițiale obținute în diferite condiții naturale și sub diverse influențe, lipsa unei relații explicite între observațiile de teren și experiment, izolarea pozițiilor teoretice de la aplicarea lor specifică la rezolvarea problemelor practice sunt toate semnele unei noutăți și a primilor pași ai noii direcții științifice.

## OBIECTIVELE DE BAZĂ ALE ECOTOXICOLOGIEI

Conținutul disciplinei “Ecotoxicologie” este studiul ecotoxicității și principalelor caracteristici ale profilului habitatului xenobiotic, ecotoxicocinetica, ecotoxicodinamica și ecotoxicometria ecotoxicanților și xenobionților, evaluarea comunităților biologice de diferit rang supuse poluării mediului de trai.

Cele mai importante sarcini ale ecotoxicologiei includ: studiul privind fluctuațiile compoziției speciilor precum și relațiilor speciilor calitative la un nivel trofic. În ceea ce privește ecotoxicologia, factorul de reducere a diversității speciilor este deosebit de important (diversificare), deoarece o scădere a numărului de specii poate duce la dispariția în primul rând a organismelor indicatoare existente anterior. Schimbările parametrilor de creștere și a metabolismului organismelor aduce la modificarea structurală a comunităților de specii și provoacă perturbări în funcționarea întregului ecosystem (Forbes & Calow, 1999; Panin & Bezel, 2008).

Dacă se efectuează studii epidemiologice, pierderea sau reducerea numărului de specii principale de organisme necesită o analiză a tendințelor în dezvoltarea comunităților biologice. Astfel de studii sunt o altă sarcină a ecotoxicologiei, care pot ajuta la identificarea gradului de risc și la prevenirea fenomenelor periculoase (Kaplin, 2006).

Astfel, ecotoxicologia prezintă un studiu profund al ecosistemelor, iar cele mai importante părți ale acesteia ar trebui să fie problemele de conservare (pentru ecosisteme neperturbate) și restaurare (pentru sistemele deja afectate). Ambele obiective pot fi atinse doar în modul de modelare funcțională. Cu toate acestea, datorită faptului că nu există un model universal, dezvoltarea unor astfel de modele, precum și crearea modele de laborator și matematice sau studii similare în condiții naturale se realizează pe baza obiec-

tivului stabilit pentru rezolvarea unei probleme particulare (Walker et al., 2002; Robinson & Thorn, 2005).

Natura și amploarea influenței poluanților chimici asupra situației ecologice generale, biogeocenozelor și componentelor biosferei variază în diferite zone naturale și chiar în raport cu unele specii de animale și plante, iar ca rezultat al provocării unor situații periculoase toxico-ecologice se produc adesea perturbări de mediu locale (Katrin Franke Bader, 2012).

Ecosistemele naturale au capacitatea de a rezista atât fluctuațiilor factorilor naturali obișnuiți, cât și schimbărilor în condițiile existenței sub influența antropică. Prin urmare, valorificarea rațională și conservarea naturii, proprietățile care pot detecta schimbări de mediu negative sau potențial periculoase în primele etape devin esențiale. În consecință, sunt necesare și metode eficiente de detectare precoce a anumitor modificări (Israel, 1984).

Orice transformare a mediului ca rezultat al activității umane poate fi numită antropogenă (sau factor uman). Un impact antropogen care conduce la o schimbare în compoziția chimică a uneia sau a mai multor componente naturale ale mediului este geochimic, deoarece implică în mod inevitabil această schimbare a sistemelor naturale care interacționează unul cu altul cu viteză și intensitate diferită (Panin & Bezel V.S., 2008).

Lucrările mai multor cercetători (Truhaut, 1977; Forbes & Forbes, 1995; Schueuermann & Markert, 1997; Connell et al., 1999; Forbes & Calow, 1999; Walker et al., 1998, 2001) au devenit clasice în dezvoltarea ecotoxicologiei ca o ramură științifică în care sunt stipulate și argumentate principalele noțiuni, obiective, sarcini, direcții de cercetare ecotoxicologice, și care se referă la toate compartimentele acestui capitol, după cum urmează.

## **CELE TREI OBIECTIVE MAJORE ALE ECOTOXICOLOGIEI SUNT:**

1. Obținerea datelor ecologice și toxice pentru evaluarea riscului și a managementului mediului;
2. Cunoașterea și stabilirea legităților de dispersare în mediu a substanțelor chimice;
3. Elaborarea bazelor (empirice sau teoretice) pentru a îmbogăți și îmbunătăți cunoștințele referitoare la comportamentul privind efectele toxice ale substanțelor chimice în sistemul viu.

În cadrul obiectivelor de mai sus sunt abordate **următoarele aspecte principale:**

- distribuția poluanților în mediu, cu identificarea dispunerii substanțelor chimice în diferitele compartimente ale mediului înconjurător (în aer, apă, soluri, produse alimentare);
- cinetica poluanților (modalitățile de pătrundere, depozitarea în mediu, difuzarea, transformările acestora în mediu);
- efectele poluanților asupra organismelor vii, respectiv definirea tabloului efectelor nocive la nivel *individual (disrupții ale structurii și funcției biochimice, moleculare și fiziologice) precum și la nivel populațional (modificarea numărului de indivizi, modificarea frecvenței genelor, modificarea funcției întregului ecosistem)*.
- înregistrarea toxicității individuale a substanțelor toxice: doza, concentrații cu teste standard sau prin sisteme complexe;
- evaluarea hazardului sau riscului pentru un anumit toxic (pe baza datelor despre toxicitate);
- evaluarea potențialului general de tulburări (modificări) în ecosistem;
- elaborarea măsurilor de „terapie” (*redresare*); luarea de măsuri preventive față de risc și analiza acestora.

## **PROFILUL XENOBIOTIC**

Substanțele străine în mediu (apa, sol, aer și organisme vii), sub forma (starea de agregare) care să le permită să intre în interacțiuni fizico-chimice și chimice cu obiecte biologice a ecosistemelor constituie profilul xenobiotic a biocenozelor. În această listă de substanțe sunt incluse și materialele radioactive.

Profilul xenobiotic ar trebui considerat ca fiind unul dintre cei mai importanți factori de mediu (împreună cu temperatura, lumina, umiditatea, troficitatea, ș.a., caracteristicile calitative și cantitative) ([Katrin Franke Bader, 2012](#)).

Elementele importante ale profilului xenobiotic sunt și substanțele xenobionte în organele și țesuturile organismelor vii, pentru că toate sunt consumate de către alții, mai devreme sau mai târziu.

În schimb, produsele chimice care sunt fixate în solid, nedispersate în obiecte din aer și apă, insolubile (piatra, diferite solide, sticlă, plastic solid, etc.), nu pot fi considerate drept componente ale profilului xenobiotic.

Prezintă interes numai substanțele biodegradabile, care interacționează asupra organismelor vii în mod non-mecanic. Acestea sunt în stare gazoasă sau lichidă, sub formă de soluții apoase, adsorbite pe particule de sol, solide, și sub formă de praf fin dispersat (< 50 micrometri).

### **CELE MAI FRECVENTE COMPONENTE ALE PROFILULUI XENOBIOTIC ȘI ROLUL LOR**

➤ **Oxigenul** nu este practic un poluant în adevăratul sens al cuvântului, dar poate influența sănătatea prin scăderea concentrației lui în aer și prin scăderea presiunii atmosferice, efectul fiind determinat de scăderea presiunii parțiale la nivelul alveolei pulmonare, alterarea schimbului de gaze. **Oxigenul și bioxidul de carbon** ( $O_2$  și  $CO_2$ ) sunt determinante în procesul de oxigenare a sângelui. Fenomenele specifi-

ce care apar sunt fenomene de hipoxie sau anoxie, gravitatea lor fiind dependentă de gradul de scădere a presiunii parțiale.

- **Ozonul** se găsește în mod natural în componența atmosferei formând datorită concentrației crescute un adevărat strat în atmosfera înaltă a Pământului. Acest strat sau „**pătura de ozon**” are un important rol ecologic la nivel global datorită calității sale de a ecrana radiația din sectorul ultraviolet al spectrului luminii solare.

Concentrația ozonului în atmosfera respirabilă este în mod normal destul de redusă fiind variabilă în funcție de condițiile geografice care determină o incidență și o intensitate diferită a radiațiilor ultraviolete. Astfel, în zonele aride concentrația medie a ozonului este de aproximativ 15 părți per milion (ppm), în timp ce în zonele situate la altitudini mai mari poate ajunge la valori de peste 100 ppm.

Cercetări recente au demonstrat că expunerea organismului uman la concentrații crescute de ozon determină afectarea ochilor, căilor respiratorii și procesul de respirație în ansamblu. Efectele sunt mai puternic resimțite de organismele tinere.

- **Dioxidul de carbon** nu produce tulburări ale organismului uman, decât în situațiile în care este împiedicată trecerea gazului din sângele venos în alveola pulmonară și eliminarea lui prin aerul expirat. De fapt fenomenele toxice apar în momentul în care presiunea parțială a  $\text{CO}_2$  din aer crește atât de mult încât împiedică eliminarea acestuia.

Inițial apare o creștere a  $\text{CO}_2$  din sânge mai puțin datorită pătrunderii lui din aerul exterior, cât din cauza autointoxicării organismului. Pe măsură ce crește concentrația în aerul atmosferic, intervine și solubilizarea lui în plasma sanguină datorită presiunii parțiale crescute.

Primele tulburări apar în jurul concentrației de 3%, manifestate prin tulburări respi-

ratorii (accelerarea respirației, apare apoi cianoza, urmată de tulburări respiratorii și circulatorii).

- **Dioxidul de sulf ( $\text{SO}_2$ )** produce iritarea mucoaselor și dilatarea bronhiolelor. În contact cu sângele formează sulfhemoglobina care imprimă sângelui o culoare roșu-brună. De asemenea, dioxidul de sulf poate deregla activitatea de sinteză a acizilor nucleici rezultând aberații cromozomiale, scăderea ritmului de creștere. Efectele nocive care se produc asupra omului în legătură cu concentrația de  $\text{SO}_2$  din aerul atmosferic sunt bine cunoscute, privind afectarea procesului respiratoriu.

Dioxidul de sulf se află în mod natural în atmosferă în concentrații extrem de scăzute, de până la 0,2 ppm, activitatea vulcanică fiind principala sursă de dioxid de sulf. Principalele surse de poluare cu dioxid de sulf sunt dependente de activitatea umană și reprezentate mai ales de activitățile care presupun arderea combustibililor fosili. Estimările arată că emisiile de  $\text{SO}_2$  în atmosferă pot atinge cifra de 145 milioane tone anual, valoare care include cantitățile datorate arderii cărbunilor (70%) și a altor combustibili (16%), restul procentelor fiind asigurate de activități industriale metalurgice (prelucrarea a 1000 t zăcământ cuprifera înseamnă eliberarea a 600 t dioxid de sulf).

Concentrațiile  $\text{SO}_2$  în atmosfera orașelor industrializate variază de la caz la caz, având însă o valoare medie de 0,17 - 2 ppm, fapt ce trebuie să devină îngrijorător, deoarece expunerea pe termen lung a organismelor homeoterme, inclusiv a omului, la concentrații mai mari de 0,1 ppm de dioxid de sulf în aer poate induce afecțiuni grave.

- **Hidrogenul de sulfurat ( $\text{H}_2\text{S}$ )** intră în mod normal în componența atmosferei ca urmare a unor procese de fermentație produse în absența oxigenului (anaerobioza) în care sunt implicate microorganisme

specifice atât mediului terestru cât și celui acvatic.

Cantitatea de hidrogen sulfurat produsă în acest mod de către bacterii este estimată anual la valori de 68 milioane tone pentru mediul terestru și 30 milioane tone în mediul acvatic. Tot în mod natural, dar ca urmare a activității vulcanice, o cantitate importantă de H<sub>2</sub>S este eliminată permanent în atmosferă.

S-a estimat că în urma activităților industriale implicate în producerea derivaților sulfului sau prelucrarea unor minereuri cu conținut de sulf se eliberează anual în aer circa 3 milioane de tone echivalent sulf.

Se cunoaște faptul că în zonele geografice considerate nepoluate concentrația considerată normală a acestui gaz în atmosferă este de aproximativ 2 ppm. Eliminarea acestui poluant foarte toxic din atmosferă se produce în mod natural prin procese chimice complicate care determină oxidarea hidrogenului sulfurat prin producerea de dioxid de sulf.

Acest gaz pătrunde în organism pe căile respiratorii iar efectele sale se resimt atât la expunerea pe termen scurt cât și la expunerea pe termen mediu sau mai îndelungat, fiind legate de afectarea respirației.

Se observă o mare variabilitate a sensibilității indivizilor umani la acțiunea hidrogenului sulfurat dar, în principiu, în funcție de cantitatea inhalată, efectele sunt reprezentate de constricția bronhiilor, apariția bronșitelor și chiar a spasmului bronhic. Efectul este mai sever la organismele tinere.

➤ **Azotații și azotiții** pot provoca efecte nocive asupra omului prin intoxicație, fenomen care se produce prin intermediul alimentelor și a apei de băut. Conform normelor igienice din Republica Moldova, apa potabilă poate avea un conținut de azotați de cel mult 45 mg/litru și nu se admite prezența azotiților decât în mod excepțional în cantitate de 0,3 mg/litru în apele subterane până la 60 m adânci-

me. Apa devine suspectă la 50 mg azotați/litru și toxică la 1 g/litru. Calea cea mai frecventă de intoxicare a omului este cea digestivă. În tubul digestiv azotații suferă o serie de transformări succesive până la amoniac. Aceste transformări sunt efectuate sub influența florei bacteriene și a unor enzime.

Toxicitatea azotaților și a compușilor rezultați din metabolizarea acestora se manifestă la început chiar în tubul digestiv prin efecte iritante și congestive asupra mucoaselor digestive. Apoi, acțiunea iritantă se manifestă asupra rinichiului prin congestii și hemoragii.

După pătrunderea în circuitul sanguin, azotații și azotiții acționează paralizant asupra centrilor vasomotori și a venelor, îndeosebi asupra celor de calibru mic, provocând vasodilatație și hipotensiune.

Acești compuși ai azotului au influențe negative asupra glandelor endocrine, asupra hipofizei, dar mai ales asupra tiroidei. Azotații și metabolizii săi induc o stare de hipotiroidism.

➤ **Fosfații** pot provoca efecte poluante ce se manifestă direct asupra omului prin apariția intoxicațiilor. La creșterea gradului de toxicitate contribuie și unele "impurități" pe care le conțin superfosfații, dintre care cel mai important este fluorul. Fosforul împreună cu fluorul au un efect iritant asupra mucoasei tubului digestiv.

➤ **Pesticidele** - reprezintă cea mai mare grupă ale substanțelor xenobiotice (Rathore & Nollet, 2012; <http://npic.orst.edu/factsheets/ecotox.pdf>) care, după felul în care pătrund în organism și după caracterul acțiunii nocive, se împart în:

- *produse de ingestie* (pătrund în organism odată cu hrana),
- *produse de contact* (acționează prin atingere cu tegumentul),
- *produse de respirație* (care acționează prin intermediul aparatului respirator).



- **Insecticidele organofosforice** au în general acțiune de contact și ingestie și mai rar de respirație. Prezintă o acțiune toxică puternică a *sistemului nervos modificând transmiterea influxului nervos, apărând spasme, convulsii și moarte*.
- **Nematocidele și moluscocidele** sunt pesticide cu toxicitate ridicată care se aplică pe sol. Acționează prin ingestie și contact. Efectele cronice ale intoxicațiilor cu pesticide se observă cel mai adesea asupra ficatului și a sistemului nervos. Deoarece ficatul este organul cel mai important care metabolizează pesticidele, el este cel mai lezat (traumatizat, afectat).
- **Metale-macro și metale-urme** sunt cele mai conservative și persistente substanțe ecotoxice, rolul cărora este multilateral de la cele esențiale pentru viață- pînă la cele extrem de toxice. Influența macro- și micrometalelor este în dependență de proprietățile lor fizico-chimice, cantitatea, forma de migrație, factorii de mediu (temperatura, umiditatea, pH, procesele de oxido-reducere ș.a.) și nu în ultimul rând starea și procesele metabolice în organisme vii supuse influenței.

### MODIFICAREA PROFILULUI XENOBIOTIC

În ultimii ani, activitățile umane, au modificat deseori în mod semnificativ profilul xenobiotic natural în multe regiuni (în special urban și industrial).

Substanțele chimice care se acumulează în mediu, în cantități neobișnuite, contaminează profilul xenobiotic în care se concentrează așa numiții ecopoluanți și xenobiotici (Katrin Franke Bader, 2012).

Schimbarea profilului xenobiotic poate avea loc ca rezultat al acumulării excesive în mediu a unuia sau mai multor poluanți, însă nu întotdeauna acesta aduce la consecințe dezastruoase pentru viață.

Numai ecopoluanții acumulați într-o cantitate suficientă pentru a iniția un proces toxic în biocenoză (la orice nivel de organizare a materiei vii) pot fi desemnați ca ecotoxici (Harris et al., 2014).

**Una dintre cele mai mari probleme practice a ecotoxicologiei este determinarea parametrilor cantitativi pentru care ecopoluantul se transformă în ecotoxicant.**

### COMPONENTELE DE BAZĂ A PROFILULUI XENOBIOTIC

**Ecotoxiciții** - substanțe toxice stabili în condiții naturale care să acumulează în organisme până la cantități toxice sau sunt dăunătoare pentru viață (produsele petroliere, metale grele, biotoxine microbiene ș.a.).

**Xenobionții** - substanțe care nu există în natură și sunt sintetizate de oameni, care provoacă inhibarea proceselor vitale sau pot deveni cauza intoxicării organismelor vii și, în ultimă instanță, a omului (pesticide, produse farmaceutice, detergenți, coloranți și alte substanțe sintetice, inclusiv medicamentele obținute din plante și organisme).

### Poluanții principali

Există foarte multe clasificări ale poluanților în dependență de toxicitate, proveniență, componență chimică, etc. (Ciubotaru, 2003; Yufit, 2002).

Ciclurile biogeochimice includ acum o listă mare de compuși sintetici necunoscuți mediului natural virgin. Acestea includ, în special, un grup mare de substanțe unite de termenul general “pesticide”, “fenoli și derivații lor”, “freoni”, “dioxine”, “benzopireni”, etc.

Din pozițiile geochimice clasice, noțiunea de **poluare** înseamnă o modificare a proprietăților chimice ale mediului, care nu sunt asociate cu procesele naturale. Atunci când se utilizează acest termen, semnificația biomedicală se introduce cel mai adesea atunci când **poluarea** este luată în considerare din

punctul de vedere al afectării sănătății umane (Hoffman et al., 2003).

**În acest caz, poluarea înseamnă orice modificare a aerului, a apei, a solului și a produselor alimentare care are efecte nedorite asupra sănătății, supraviețuirii sau activității umane.**

**Severitatea (gradul) expunerii la poluanți este determinată de trei factori:**

**Primul** factor este natura poluanților toxică, adică cât de active și dăunătoare sunt substanțele testate pentru oameni, plante și animale;

**Al doilea** factor este concentrația poluanților, adică conținutul pe unitate de volum sau masă de aer, apă sau sol;

**Al treilea** factor este durabilitatea/persistența substanței, sau durata existenței în aer, apă și sol.

**Scara poluării este împărțită după locație:**

- conform *sursei de poluare* (în jurul întreprinderilor industriale, ferme zootehnice, depozite de petrol, etc.);
- în corespondență cu *regiunile geografice și statale* (în regiune, bazinul unei regiuni, republică, stat);
- în conformitate cu *spațiul* (în spațiul cosmic - de exemplu, nivelul de deșeuri de aeronave, etc.).

Sursele de poluare sunt împărțite în funcție de proveniența poluanților. Toate sursele de emisii industriale cât și deversarea apelor reziduale sunt *puncte focale* (surse punctiforme) de poluare, în timp ce *sursele difuze* sunt asociate cu agricultura, chimizarea, scurgerile de suprafață din zonele poluate, etc.

La evaluarea impactului poluării asupra mediului natural este necesar să se facă distincție între efectele *primare*, *secundare* și cele *indirecte* (de exemplu, impactul direct al emisiilor de la o instalație metalurgică sau chimică provoacă efectul primar al pierderii vegetației în imediata vecinătate, până

la distrugerea completă a solului (efect indirect)).

Prin natura formării, sursele de poluare sunt împărțite în *naturale și produse formate prin activitatea umană*. Poluarea naturală este cauzată de existența poluantului în roci și soluri nepoluate (de exemplu fluorul, seleniul în apele subterane sau mercurul, molibdenul în rocile din Asia Centrală). Aici se formează zonele endemice de concentrații sporite a unora sau altora dintre ecotoxiciți în mediul înconjurător.

În procesul de poluare naturală, într-un concept mai restrâns se includ și procesele naturale catastrofale - o puternică erupție vulcanică, alunecările de teren, etc., precum și poluarea geochimică, care a apărut în procesul de formare și dezvoltare a planetei noastre. Aceste procese pot fi atât pozitive, cât și negative. În primul caz, există un exces de element într-o anumită localitate, iar în al doilea, există o deficiență (ca exemplu - excesul de fluor, seleniu și deficitul de iod în apele subterane din Moldova).

#### ***Poluarea cauzată de activitățile umane, numită antropogenă***

Activitățile umane sunt împărțite în *industriale* (metalurgie, coxochimie, chimică, farmaceutică, alimentară, etc., cauzate de o singură întreprindere sau întreaga industrie), *agricole* (care rezultă din aplicarea îngrășămintelor, pesticidelor, erbicidelor și a altor substanțe toxice, deșeurile de animale și de producție agricolă) și *militare* (chimice, radioactive).

Prin natura lor, toate tipurile de poluare se reflectă prin efecte fizice (inclusiv mecanice, radioactive, magnetice), fizico-chimice, chimice și biologice (Panin & Bezel, 2008; Kaplin, 2006).

**Poluarea fizică** este asociată cu modificări ale factorilor fizici de mediu, cum ar fi: temperatura - poluarea termică; parametrii de undă - poluarea electromagnetică; zgomotul

- poluarea fonică; parametrii radiației - contaminarea radioactivă.

Singura formă de poluare **fizico-chimică** este poluarea cu aerosoli, adică poluarea aerului cu substanțe lichide fine și solide; un exemplu al acestei forme de poluare este smogul industrial sau doar fumul.

Pătrunderea în mediu a substanțelor chimice, care lipsesc inițial din acest mediu sau care modifică concentrația naturală la un nivel peste rata normal, este denumită **poluare chimică** (metale grele, pesticide, săruri, detergenți, policloruri, bifenili, benzopireni, dioxine, coloranți, substanțe farmaceutice etc.)

**Poluarea biologică** este asociată cu introducerea în mediu și reproducerea în acesta a unor organisme alogene, precum și cu substanțele eliminate de microorganisme (sunt cele mai toxice, cunoscute de mii de ani în urmă), de plante (în perioada înfloririi - substanțe alergene), produse de descompunere a organismelor vii, diferiți viruși și microorganisme patogene.

Printre sursele naturale de xenobiotice bi-disponibile, potrivit **OMS**, sunt incluse: particulele de praf purtate de vânt, sarea de mare, aerosolii, activitatea vulcanică, incendiile forestiere, particulele biogene ale nutrienților volatili (**WHO. Promotion of Chemical Safety Unit & International Programme on Chemical Safety, 1992**).

Majoritatea deșeurilor sunt generate în orașe, în care locuiește cea mai mare parte a populației lumii, și este concentrată cea mai mare parte a diverselor sectoare industriale. Fluxurile antropogene materiei formate în timpul activităților de producție ale populației urbane este extrem de diversă, conțin concentrații ridicate de gama mare de elemente chimice, inclusiv toxice (**Ballschmiter & Zell, 1980**).

Prin implicarea în cicluri de migrație naturală, fluxurile antropice conduc la răspândirea rapidă a poluanților în componentele peisajului urban, unde interacțiunea lor cu oamenii este inevitabilă (**Izrael, 1984**).

Un impact semnificativ asupra procesului de poluare a mediului îl au acțiunile militare. Ca urmare a celui de-al doilea război mondial, mii de tone de metale au fost stocate pe câmpurile de luptă. În 1999, în urma unei operațiuni militare a NATO (**ECETOC, 2021**) (<https://moldova.europalibera.org/a/dou%C4%83-de-cenii-de-la-decizia-nato-de-a-intervenii-militar-%C3%AEn-serbia/29508829.html>).

Astfel, la scară relativ mică în Iugoslavia, s-a constatat creșterea poluării aerului, apei și solului în Serbia atât prin consumul acestor elemente toxice - plumb (Pb), cadmiu (Cd), arsenic (As) și mercur (Hg) - dar și din cauza calității necorespunzătoare a produselor alimentare importate sau primite în scopuri umanitare. Potrivit efectului general al forțelor asupra mediului în timp de pace, acesta este comparabil cu efectul unei industrii de mărime medie (aproximativ 4% din totalul deversărilor apelor uzate, și 1,2% din emisii).

### ***Ecotoxicologia este divizată în trei compartimente:***

- **Ecotoxicocinetica** investighează soarta ecotoxicanților și substanțelor xenobiotice în mediul înconjurător (sursa/originea, distribuția în elementele abiotice și biotice ale mediului, transformarea și eliminarea din mediul înconjurător);
- **Ecotoxicodinamica** examinează mecanismele specifice de dezvoltare și formele de manifestare a procesului toxic cauzate de acțiunea ecotoxicanților și substanțelor xenobiotice asupra biocenozelor și / sau a populației, precum și asupra componentelor acesteia;
- **Ecotoxicometria** analizează tehnicile metodologice de evaluare a ecotoxicității poluanților.

## 1.2. ECOTOXICINETICA

Ecotoxicinetica este o direcție de bază a ecotoxicologiei care cercetează procesele care determină difuzarea xenobioticelor și ecopoluantilor în mediul ambiant, și anume:

- sursele de apariție a acestora;
- distribuirea în elementele de mediu abiotice și biotice;
- conversia/transformarea xenobioticelor în mediu;
- eliminarea acestora din mediu.

Dintre **sursele ecotoxicanților** biodisponibili, potrivit OMS (WHO, 1992) sunt: *particule de praf, săruri de mare aduse de vânt, activitatea vulcanică, incendii forestiere, particule biogene, substanțe volatile biogene*. Însă, cea mai **periculoasă sursă de xenobiotice în mediu**, a cărei magnitudine este în continuă creștere, este activitatea umană.

Printre substanțele persistente în mediu sunt incluși ecotoxicanții, dintre care metalele grele și elementele urmă - aflate în concentrații la nivel de părți per milion (ppm) - formează una din cele mai numeroase grupe de ecotoxicanți (plumb, cupru, zinc, nichel, cadmiu, cobalt, antimoniu, mercur, arsenic, crom, vanadiu, molibden, seleniu, strontiu, bor, bismut, beriliu ș.a.), și substanțele xenobiotice - hidrocarburi policiclice, dioxine și benzofurani, bifenili policlorurați, pesticide - în special clororganice (DDT, hexaclor, aldrin, lindan etc.), produse farmaceutice, detergenți, coloranți, și multe alte substanțe.

Substanțele obținute prin sinteză chimică, care de regulă sunt destul de rezistente la distrugere, fiind persistente în mediu, sunt cele mai periculoase substanțe (Tabelul 1.1).

Eliberarea în mediu a poluanților persistenti duce la acumularea lor, fiind partea cea mai vulnerabilă (sensibilă) a ecosistemelor. După încetarea eliberării toxicelor persistente, acestea rămân în mediu pentru o perioadă lungă de timp. Astfel, în apele lacului Ontario, s-au determinat în anii 1990 concentrații ridi-

cate ale pesticidului Mirex, a cărui utilizare a fost întreruptă la sfârșitul anilor 1970.

Tabelul 1.1. Perioada de de înjumătățire al unor xenobiotice (Kutsenko, 2002)

Xenobionți	Timpul de înjumătățire	Substrat
DDT	10 ani	Sol
TCDD	9 ani	Sol
Atrazină	25 luni	Apă (pH 7,0)
Fenantren	138 zile	Sol
Carbofurani	45 zile	Apă (pH 7,0)
Fosfortiozoline	21 zile	Sol (t + 15°)
Iperită	7 zile	Sol (t + 15°)
Sarin	4 ore	Sol (t + 15°)

În ecosistemele acvatice de testare în Florida, în perioada 1962-1964 a fost pulverizat în scopuri de cercetare Agentul Orange, care timp de 10 ani a fost observat în cantități de 10-35 ng/kg (CLA în SUA fiind de 0,1 pg/kg) (Lysenko & Dogadina, 2015).

### PROCESELE DE ELIMINARE A POLUANȚILOR PRIN PROCESELE NEDISTRUCTIVE

**Procesele de evaporare și diluare.** Unele procese care apar în mediul înconjurător contribuie la eliminarea xenobioticelor din regiune, schimbând distribuția acestora în componentele de mediu. Un poluant cu o presiune ridicată a vaporilor se poate evapora cu ușurință din apă și din sol și apoi poate migra în alte regiuni sub acțiunea curenților de aer. Acest fenomen subliniază distribuția omniprezentă a insecticidelor organoclorinate relativ volatile, cum ar fi lindanul și hexaclorbenzenul (Katrin Franke Bader, 2012; Panin & Bezel, 2008).

**Eliminarea sub influența vântului și a curenților atmosferici.** Antrenarea de către vânt și curenții atmosferici a particulelor toxice sau de sol pe care sunt adsorbite substanțele este, de asemenea, o modalitate importantă de redistribuire a poluanților în mediu.

În acest sens, este caracteristic exemplul hidrocarburilor aromatice policiclice (benzopiren, dibenzopiren, benzantracen, dibenzantracen, etc.). Benzopirenul și compușii înrudiți, atât de origine naturală (preponderent vulcanică), cât și antropică (emisiile din industria metalurgică, industria de rafinare a petrolului, termocentrale etc.), sunt implicați activ în circulația biosferică a substanțelor, trecând de la un mediu la altul. În acest caz, de regulă, aceștia sunt asociați cu particule solide de praf atmosferic.

Praful (1-10  $\mu\text{m}$ ) este conservat pe termen lung în aer iar particulele de praf mai mari se depun suficient de repede pe sol și în apa de la locul de formare. Mai mult, cu cât este mai intensă emisia, cu atât poluanții sunt mai dispersați.

**Absorbția substanțelor** pe particule în suspensie în apă, urmată de precipitare, duce la eliminarea lor din straturile apei însă crește acumularea sau nivelul lor în sedimente.

**Redistribuirea** substanțelor solubile în apă depinde de caracterul ploilor și circulația apelor subterane. De exemplu, atrazina erbicidă, utilizată pentru a proteja plantele de pădure în fermele rurale și parcurile din Statele Unite, este detectată practic permanent în apele de suprafață. Potrivit unor investigații, până la 92% din corpurile de apă studiate din SUA conțin acest pesticid. Deoarece substanța este suficient de stabilă și ușor de solubilă în apă, aceasta migrează în apele subterane și se acumulează acolo.

## TRANSFORMAREA ȘI DESTRUGEREA ABIOTICĂ

Un număr mare de procese afectează persistența unor substanțe în mediul înconjurător. Principalele procese sunt fotoliza (distrugerea sub influența luminii), hidroliza (distrugerea sub influența apei) și oxidarea (distrugerea sub influența proceselor de oxidare-reducere) (Vergeichik, 2009).

**Fotoliza.** Lumina (în special razele ultraviolete) distruge legăturile chimice și, astfel, substanțele chimice se descompun. Fotoliza are loc în principal în atmosferă și pe suprafața solului și a apei. Rata fotolizei depinde de intensitatea luminii și de capacitatea substanței de a o absorbi. Compușii aromatici nesaturați, cum ar fi hidrocarburile aromatice policiclice (HAP), sunt cei mai sensibili la fotoliză, deoarece absorb energia luminoasă. Lumina accelerează alte procese de degradare a substanțelor - hidroliza și oxidarea. La rândul lor, prezența fotooxidanților în mediu, cum ar fi ozonul, oxizii de azot, formaldehida, acroleina, peroxizii organici, accelerează semnificativ procesul de fotoliză a altor poluanți.

**Hidroliza.** Apa, mai ales când este încălzită, distruge rapid multe substanțe. Legăturile esențiale, de exemplu în moleculele de compuși organofosforici, sunt foarte sensibile la acțiunea apei, ceea ce determină rezistența moderată a acestor compuși în mediu.

Rata de hidroliză este dependentă în mare măsură de valorile pH. Ca rezultat al transformării substanțelor chimice în mediul înconjurător, se formează noi substanțe. Cu toate acestea, toxicitatea acestora poate fi uneori mai mare decât cea a agentului inițial. Transformările fotochimice din mediul înconjurător al acidului 2,4,5-triclorfenoxiacetic, un erbicid bine cunoscut, pot conduce la formarea unui poluant și mai periculos - 2,3,7,8-tetraclorobibenzo-p-dioxină (TCDD).

Un alt exemplu bine cunoscut este **formarea compușilor nitrozo** (Vergeichik, 2009). Astfel, potrivit oamenilor de știință, în sol (într-un mediu acid), un număr de pesticide se asociază ușor cu nitriții. Printre aceștia se numără dialchiltiocarbamații, disulfurile de tiocarbamoil, sărurile acidului fenoxiacetic, etc. Compușii nitrozozii care rezultă sunt în prezent considerați ca fiind posibile substanțe carcinogene.

**Oxidarea.** Prezența fotooxidanților în mediu, cum ar fi ozonul, oxizii de azot, for-

maldehida, acroleina, peroxizii organici, accelerează semnificativ procesul de fotoliză. Descompunerea unor xenobiotice în procesul de oxidare diminuează toxicitatea lor în ecosistemele acvatic.

### TRANSFORMAREA BIOTICĂ

Distrușgerea abiotică a substanțelor chimice are loc, de obicei, la viteză mică. Xenobioticele se degradează semnificativ mai repede cu participarea biotei, în special a microorganismelor (în principal bacterii și ciuperci), care le utilizează ca substanțe nutritive.

Procesul de distrușgere biotică are loc cu participarea enzimelor. Transformările biologice ale substanțelor se bazează pe procesele de oxidare, hidroliză, dehalogenare, scindarea structurilor ciclice ale moleculei, scindarea radicalilor alchil (dealchilare) etc.

Degradarea unui compus poate fi completă cu distrușgerea completă, adică mineralizarea (formarea apei, a dioxidului de carbon și altor compuși simpli). Este de asemenea posibilă formarea de produse intermediare de biotransformare a substanțelor cu toxicitate uneori mai mare decât agentul original (Perminova et al., 2020).

Astfel, transformarea compușilor de mercur anorganici poate conduce la formarea compușilor de organo-mercur mai toxici, în special metilmercur. Un fenomen similar a avut loc în perioada 1950-1960 în Japonia, pe malul golfului Minamata, considerat ca unul dintre cele mai grave catastrofe ecologice având cauze umane.

### BIOACUMULAREA

Multe substanțe toxice se acumulează în corpul animalelor și plantelor, îndeosebi în organismele acvatice. Procesul prin care organismele acumulează toxine, eliminându-le din faza abiotică (apă, sol, aer) și din nutriție (prin lanțul trofic), se numește bioacumulare. Bioacumularea are consecințe negative atât

pentru organismul însuși (atingerea unei concentrații dăunătoare în țesuturile critice), cât și pentru organismele care folosesc această specie ca hrană.

Mediul acvatic oferă cele mai bune condiții pentru bioacumularea compușilor. Aici există miriade de organisme acvatice, care filtrează apa și acumulează o cantitate imensă de substanțe diluate în apă până la nivel toxic. Hidrobionții acumulează substanțe în concentrații uneori de mii de ori mai mari decât cele conținute în apă (Zubcov et al., 2012, 2013a,b).

Un exemplu de lanț trofic acvatic, în direcția măririi dimensiunilor corpului, este: substanțe dizolvate - fitoplancton - nevertebrate planctonice - nevertebrate bentonice - pește - păsări de pradă - animale poikiloterme care se hrănesc cu pește.

Dacă substanțele străine sunt consumate și dacă aceste substanțe nu pot fi "digerate" sau pur și simplu eliminate din organism, ele încep să se acumuleze de-a lungul lanțului trofic, mai ales dacă substanța are un timp biologic de înjumătățire lung.

Rata de acumulare a otrăvurilor care nu se descompun în majoritatea cazurilor este de aproximativ 10 pentru fiecare etapă a lanțului alimentar. În plus, acumularea substanțelor toxice în lanțurile trofice este adesea sporită datorită răspunsului mai lent și a mobilității limitate a animalelor care acumulează aceste substanțe, deoarece indivizii mai otrăviți devin pradă mai ușor pentru prădători decât toate celelalte componente ale lanțului trofic.

Ca urmare, în lanțul trofic al ecosistemului acvatic, cel mai mare conținut de substanțe toxice este deseori observat în peștii detritofagi și răpitori. Substanțele otrăvitoare din pești nimeresc în corpul păsărilor răpitoare, pinipedelor, precum și, nu în ultimul caz, prin produsele piscicole în corpul oamenilor.

### **Factorii care afectează bioacumularea**

Tendința bioacumulativă al ecotoxicanților depinde de o serie de factori. Prima este persistența xenobioticilor în mediul înconjurător. Gradul de acumulare a unei substanțe în organism este în cele din urmă determinat de conținutul său în mediu. Substanțele eliminate rapid, în general se acumulează insuficient în organism. O excepție sunt condițiile în care poluantul este introdus constant în mediul înconjurător (regiuni în apropierea industriilor etc.). Spre exemplu, acidul cianuric, care este un compus extrem de toxic, datorită volatilității sale ridicate nu este, în opinia multor experți, o substanță potențial periculoasă.

Cu toate acestea, până în prezent nu a fost posibilă excluderea totală a faptului că anumite tipuri de boli, tulburări de sarcină la femeile care locuiesc în apropierea întreprinderilor miniere de aur, unde cianurile sunt eliminate în cantități mari, nu sunt asociate cu acțiunea cronică a acestei substanțe. După ce substanțele intră în organism, soarta lor este determinată de procesele **toxicocinetice**. Substanțele solubile (lipofile), metabolice lent în organism, au cea mai mare capacitate de bioacumulare.

Țesutul adipos, ca regulă, este principalul loc de depunere pe termen lung a xenobioticilor. Astfel, la mulți ani după expunere, niveluri ridicate de Agentul Orange s-au găsit în țesutul adipos și plasma de sânge a veteranelor Armatei SUA și a participanților la războiul din Vietnam.

Multe substanțe lipofile sunt predispuse la sorbție pe suprafețele diferitelor particule precipitate din apă și aer, ceea ce le reduce biodisponibilitatea. De exemplu, sorbția benzopirinei cu acizi humici reduce capacitatea de a se bioacumula în țesuturi de pește și diminuează toxicitatea de trei ori. Peștii din iazuri cu un conținut redus de particule suspendate în apă acumulează mai mult DDT de-

cât peștii din iazurile eutrofice cu un conținut ridicat de substanțe în suspensie.

Substanțele care se metabolizează în organism se acumulează în cantități mai mici decât s-ar putea aștepta, pe baza proprietăților lor fizico-chimice. Diferențele inter-specifice în valorile factorilor de bioacumulare ale xenobioticilor sunt în mare măsură determinate de speciile particulare ale metabolismului lor.

**Importanța bioacumulării.** Bioacumularea poate sta la baza nu numai a efectelor toxice acute cronice, ci și întârziate. Astfel, pierderea rapidă de grăsime, în care se acumulează o cantitate mare de substanță, duce la eliberarea unui produs toxic în sânge. Mobilizarea țesutului adipos la animale este adesea observată în timpul sezonului de reproducere. În regiunile nefavorabile din punct de vedere ecologic, acest lucru poate fi însoțit de moartea în masă a animalelor atunci când ajung la maturitatea sexuală.

Poluanții persistenți acumulați pot fi, de asemenea, transmiși puilor, păsărilor - cu conținutul sacului de gălbenuș, peștilor - prin conținutul icrelor, și la mamifere - prin laptele matern. În acest caz, descendenții pot dezvolta efecte care nu se manifestă la părinți (Katagi, 2010).

### **BIOAMPLIFICAREA**

Produsele chimice pot circula prin lanțuri de la organisme victime la organisme de consum. Pentru substanțele cu grad ridicat de lipofilie, această migrație poate fi însoțită de o creștere a concentrației toxice din țesuturile fiecărui organism ulterior al lanțului trofic. Acest fenomen se numește **biomagnificare** sau **bioamplificare** (Gobas et al. 1999; Kutsenko, 2002).

Este cunoscut faptul că DDT a fost folosit pentru a ucide țânțarii pe unul dintre lacurile din California. După prelucrare, conținutul de pesticid în apă a fost de 0,02 ppm. După o anumită perioadă de timp în plancton, DDT a

fost determinat la o concentrație de 10 ppm, în țesuturile peștilor care consumă planctonul - 900 ppm, în peștii prădători - 2700 ppm, iar păsările care au consumat pește au acumulat 21000 ppm. Conținutul de DDT în țesuturile de păsări care nu au fost direct afectate de pesticide a fost de 1.000.000 de ori mai mare decât în apă și de 20 de ori mai mare decât în prima treaptă a lanțului trofic.

În cartea "Silent Spring", [Rachel Carson \(1962\)](#) oferă un astfel de exemplu. Pentru a combate purtătoarea "bolii olandeze" care afectează ulmii - gândacul European de scoarță de ulm *Scolytes multistriatus* - copacii au fost tratați cu DDT. O parte din pesticid a ajuns în sol, unde a fost absorbit de răme și s-a acumulat în țesuturi. Păsările migratoare, care mănâncă în cea mai mare parte răme, au acumulat acest pesticid. Unele dintre acestea au murit, la altele a fost afectată funcția de reproducere, ele depunând ouă sterile. Ca rezultat, lupta împotriva bolilor copacilor a condus la dispariția aproape completă a păsărilor în numeroase regiuni din SUA.

### 1.3. ECOTOXICODINAMICA

**Ecotoxicodinamica** este un compartiment al ecotoxicologiei axat pe descifrarea unor mecanisme specifice și procese toxice cauzate de acțiunea toxinelor asupra comunităților organismelor și/sau asupra biocenozelor. Mecanismele prin care substanțele pot provoca efecte adverse în biogeocenoză sunt numeroase dar unice în fiecare caz. Cu toate acestea, ele pot fi clasificate. Astfel, putem evidenția acțiunea directă, indirectă și mixtă a ecotoxicanților.

➤ **Acțiunea directă - este pierderea directă a organismelor uneia sau a mai multor populații din cauza unora sau mai multor ecotoxicanți sau xenobionți ai unui profil xenobiotic.**

*Mecanismul acțiunii directe a substanțelor toxice* conduce la moartea în masă a reprezentanților speciilor sensibile. Utilizarea pesticidelor eficiente conduce la moartea în masă a dăunătorilor: insecte (insecticide) sau buruieni (erbicide). Acest efect ecotoxic creează o strategie pentru utilizarea substanțelor chimice. Cu toate acestea, în unele cazuri există fenomene negative asociate. De exemplu, în Suedia, în anii 1950-1960, metil mercuriducyanamida a fost utilizată pe scară largă pentru tratarea culturilor de semințe. Concentrația de mercur din cereale a fost mai mare de 10 mg/kg. Păstrarea periodică a semințelor tratate de către păsări a dus la faptul că, după câțiva ani, s-a observat moartea masivă a fazanilor, porumbeilor, potârnicilor și a altor păsări care au mâncat semințe de cereale și s-au intoxicat cu mercur la nivel cronic.

La evaluarea situației de mediu, este necesar să se țină seama de legea fundamentală a ecotoxicologiei: ***sensibilitatea diferitelor tipuri de organisme vii la substanțele chimice este întotdeauna diferită***. Prin urmare, apariția poluantului în mediu, chiar și în cantități mici, poate fi în detrimentul reprezentanților speciilor celor mai sensibile. Ca exemplu, clorura de plumb ucide dafnia în timpul zilei când este conținută în apă într-o concentrație de aproximativ 0,01 mg/l, însă aceste cantități prezintă un risc scăzut pentru alte specii ([Kutsenko, 2002](#)).

➤ **Acțiunea indirectă - reprezintă situația în care profilul xenobiotic sau unele componente abiotice ale mediului nu mai sunt optime pentru existența populației, ca urmare ea nu se mai dezvoltă.**

*Acțiunea indirectă a xenobioticelor* conduce la dezvoltarea stărilor abiotice și a formelor speciale ale procesului toxic. La sfârșitul anilor 1980, aproximativ 18 mii de foci au murit în Marea Baltică, în Marea Nordului și în Irlanda ca urmare a infecțiilor vira-



le. În țesuturile animalelor moarte a fost găsit un conținut ridicat de bifenili policlorurați (PCB). Se știe că PCB-urile, ca și alți compuși care conțin clor, cum ar fi DDT, hexaclorbenzenul, dieldrinul, au un efect imunosupresiv asupra mamiferelor. Acumularea lor în organisme a condus la o scădere a rezistenței focilor la infecții. Astfel, fără a avea acțiune directă, cum ar fi moartea animalelor, poluantul a sporit semnificativ sensibilitatea lor la acțiunea altor factori de mediu nefavorabili (Kutsenko, 2002; Panin & Bezel, 2008).

Un exemplu clasic al acestei forme de efect ecotoxic este creșterea numărului de neoplasme și scăderea abilităților de reproducere în populațiile persoanelor care trăiesc în regiuni poluate de toxicanți (efectul dioxinelor în Vietnamul de Sud).

#### ➤ Acțiunea mixtă

Mai multe substanțe toxice în special xenobionte au un efect atât direct, cât și indirect, adică influența lor se reflectă prin **acțiune mixtă**. Un exemplu este acela al erbicidelor 2,4,5-T și 2,4-D care conțin ca impuritate o cantitate mică de 2,3,7,8-tetraclor-p-dioxină. Utilizarea pe scară largă a acestor substanțe de către armata americană în Vietnam a provocat daune directe privind distrugerea considerabilă a florei și faunei țării și, indirect, a afectat și sănătatea umană (Panin & Bezel, 2008).

#### ➤ Acțiunea substanțelor chimice depinde de capacitatea lor toxică și persistența lor

**Ecotoxicitatea** reprezintă capacitatea unui profil xenobiotic al mediului să provoace efecte adverse în biocenoza corespunzătoare. În cazurile în care profilul natural xenobiotic este asociat cu acumularea excesivă a unui singur poluant în mediu, este posibil să se vorbească în mod condiționat de ecotoxicitatea numai a acestei substanțe.

Conform Bezel et al. (1994), efectele ecotoxice adverse pot fi evaluate la diferite nivele:

- **la nivelul organismului** - se manifestă printr-o scădere a rezistenței la alți factori activi de mediu, o scădere a activității, incidența bolilor, moartea organismului, carcinogeneza, afectarea funcțiilor reproductive, etc.
- **la nivelul populației** - observăm pierderea vădită a populației, creșterea morbidității, mortalității, scăderea ratei natalității, o creștere a numărului de defecte congenitale, încălcarea caracteristicilor demografice (raport de vârstă, sex, etc.), modificări ale speranței de viață, degradarea culturală;
- **la nivelul biogeocenozei** - observăm modificări evidente a componenței populației până la dispariția anumitor specii și apariția unor noi, care nu sunt caracteristice acestei biocenoze, prin distrugerea relațiilor interspecifice.

În cazul evaluării ecotoxicității numai pentru o singură substanță în raport cu reprezentanții doar unei singure specii de comunități vii, se consideră caracteristicile complete calitative și cantitative, ca și în toxicologia clasică (*valoarea acută și subacută, toxicitatea cronică, doza și concentrația cauzatoare de efecte mutagene, cancerigene, teratogene, etc.*).

Cu toate acestea, în sistemele mai complexe, ecotoxicitatea nu este măsurată prin numere (*cantitativ*), și se caracterizează printr-un număr de indicatori *calitativi* sau semicantitativi, prin noțiunile de “*pericol*” sau “*risc de mediu*” (Hoffman et al., 2003). În funcție de durata acțiunii ecotoxicanților **asupra ecosistemului**, se poate vorbi de ecotoxicitate *acută și cronică*.

#### ➤ Ecotoxicitatea acută

Efectele toxice acute ale substanțelor asupra biocenozelor pot fi rezultatul accidentelor și catastrofelor, însoțite de eliberarea în mediu a unui număr mare de substanțe toxice relativ instabile sau de utilizare necorespunzătoare a substanțelor chimice.

Sunt deja bine cunoscute diferite evenimente. Astfel, în 1984, în orașul Bhopal (India), a avut loc un accident la fabrica companiei americane Union Carbide de produse chimice pentru producția de pesticide. Ca urmare, o cantitate mare de izocianat de metil pulmonotrop a ajuns în atmosferă. Fiind un lichid volatil, substanța a format o sursă instabilă de infecție. Cu toate acestea, aproximativ 200 de mii de oameni au fost otrăviți, 3 mii dintre aceștia au murit. Principala cauză a decesului este edemul pulmonar acut dezvoltat. Experții subliniază că în Bhopal s-au înregistrat neobișnuit de mulți copii născuți cu defecte sau care au deficiențe de dezvoltare, precum și diferite forme de cancer, diabet și alte boli cronice (Kutsenko, 2002).

Un alt caz cunoscut de dezastru toxicologic și ecologic acut a avut loc în Irak. Guvernul acestui stat a cumpărat un lot mare de semințe de cereale. Cerealele însăși înregistrate în scopul combaterii dăunătorilor au fost tratate cu un fungicid (metil mercur). Cu toate acestea, acest lot de cereale a intrat accidental în vânzare și a fost folosit pentru coacerea pâinii. Ca urmare a acestui dezastru ecologic, mai mult de 6,5 mii de persoane au fost otrăvite, dintre care aproximativ 500 au decedat. În anul 2000, în România, în una dintre companiile de extracție a metalelor prețioase, ca rezultat al accidentului, a existat o scurgere de acid cianhidric și produse cu conținut de cianură. Toxicanții în cantități mari au intrat în apele Dunării, otrăvind toate organismele vii pe sute de kilometri în aval (Kutsenko, 2002; Oprea, 2007).

Cel mai mare dezastru ecologic l-a constituit utilizarea de substanțe chimice foarte toxice în scopuri militare. În timpul primului război mondial, țările în conflict au folosit aproximativ 120 mii tone de substanțe otrăvitoare pe câmpurile de luptă. Drept urmare, mai mult de 1,3 milioane de oameni au fost otrăviți, ceea ce poate fi considerat unul

dintre cele mai mari dezastre ecologice din istoria omenirii.

Efectele ecotoxice acute nu duc întotdeauna la decesul sau bolile acute ale oamenilor sau ale altor specii afectate. Deci, printre substanțele otrăvitoare folosite în primul război mondial, au fost și substanțe cancerigene, care au cauzat moartea târzie datorată neoplasmelor formate (Kutsenko, 2002; Lysenko & Dogadina, 2015).

#### ➤ Ecotoxicitatea cronică

Afectarea cronică apare la expunerea prelungită la concentrații mici. Efectele subletale sunt de obicei asociate cu toxicitatea cronică a substanțelor. Adesea, aceasta implică o încălcare a funcțiilor de reproducere, modificări ale sistemului imunitar, patologie endocrină, malformații, alergii etc. Cu toate acestea, expunerea cronică la un agent toxic poate duce, de asemenea, la decese în rândul indivizilor în dependență de nivelul rezistenței individuale.

Efectul expunerii pe termen lung asupra dioxidului de sulf poate fi foarte vizibil. Studiile de vegetație în zona cuptoarelor metalurgice din Ontario (Canada) au arătat că la o distanță de 16 km de acestea, 25 de specii de plante au crescut într-o stare normală și, pe măsură ce se apropiau de cuptoare, numărul acestora a scăzut. La o distanță mai mică de 1,6 km nu a mai crescut nici o plantă (Lysenko & Dogadina, 2015).

#### ➤ Efectul embriotoxic

Este bine stabilit faptul că DDT, care se acumulează în țesuturile păsărilor, cum ar fi rața sălbatică, vulturul pescar, vulturul chel, etc., duce la o subțiere a coajei de ouă și, în consecință, la lovirea și/sau moartea puicutelelor. Acest lucru este însoțit de o scădere a numărului de păsări (Frumin, 2013).

Exemple de efecte toxice ale diferitelor xenobiotice (inclusiv medicamente) asupra embrionilor umani și de mamifere sunt bine cunoscute.

➤ **Acțiunea directă a produsului biotransformării poluanților cu un efect neobișnuit**

Observațiile pe teren ale peștilor din statul Florida au făcut posibilă identificarea populațiilor cu un număr mare de femele cu semne evidente de masculinizare (comportament ciudat, modificarea aripilor anale, etc.). Aceste populații au fost găsite într-un râu în aval de un effluent și s-a presupus că effluentul conține agenți de masculinizare.

Cu toate acestea, studiile au arătat că în emisii nu există astfel de substanțe: apa uzată nu a provocat masculinizarea. S-a constatat, de asemenea, că fitosteronul a fost conținut în apele reziduale (formate în timpul procesării materiilor prime), care, în apa râului, au fost expuse influenței bacteriilor care au transformat substanța dată în androgen, ceea ce a provocat un efect advers (Kutsenko, 2002).

Astfel, interacțiunea dintre xenobiotice și componenta biotică a mediului (microorganisme) poate determina efecte semnificative asupra populației în biocenoză.

**Acțiunea mediată prin reducerea resurselor alimentare ale habitatelor**

Într-una din regiunile canadiene, un pesticid organofosfat cu degradare rapidă în mediul înconjurător a fost utilizat pentru combaterea dăunătorilor (viermi de molid) din industria forestieră. Ca rezultat al unei scăderi accentuate a numărului de omizi, aproximativ 12 milioane de păsări au murit din cauza foametei.

Explozia dimensiunii populației poate avea loc datorită distrugerii unei specii concurente. În Statele Unite, după începerea utilizării pesticidelor sintetice pentru a controla anumite tipuri de dăunători ai plantelor, un număr mic de omida fluturelui de matasă au început să se înmulțească rapid, numărul lor crescând de la 6 la 16. Acest fenomen se explică prin faptul că, în lumea insectelor, există un sistem complex

de relații, iar numărul de specii într-o populație de insecte erbivore este deseori controlat de alte specii, care sunt pradatori acestor insecte. Efectele pesticidelor pot fi mai pronunțate asupra speciilor de pradă. Este ușor de observat că mecanismele acțiunii ecotoxice a substanțelor pe animale, în alte condiții, pot fi utilizate pentru estimarea impactului asupra omului (Kutsenko, 2002).

➤ **Mecanismele și căile uzuale de pătrundere a toxicelor în organisme**

**Absorbția toxicelor** reprezintă trecerea acestora din mediul extern în sânge sau limfa circulantă. Absorbția substanțelor toxice, cu toată varietatea structurală a acestora, se bazează pe legități comune care presupun transportul prin membrană. Absorbția substanțelor toxice se face diferențiat, în funcție de segmentul tubului digestiv. Substanțele care se absorb pe această cale (de exemplu, *cocaina*, *nicotina*, *cianura de potasiu*) evită bariera hepatică și detoxificarea lor este limitată. Absorbția se face prin difuziune simplă (transport pasiv) și transport activ (Robinson & Thorn, 2005).

**Transportul activ** se realizează împotriva gradientului de concentrație, cu consum de energie. În toxicologia clinică, transportul activ este prezent doar pentru un număr restrâns de toxice absorbabile pe cale digestivă și excepțional, pentru cele care pătrund transcutanat sau pe cale pulmonară. Prin transport activ se absorb: *fluorurile*, *clorurile*, *nitriții*, *nitrații*, *stibiul*, *plumbul*, *cuprul*, *cromul*.

**Difuziunea simplă** are la bază permeabilitatea selectivă a membranei și se produce, în general, fără consum de energie, reprezentând cel mai frecvent mecanism de transport prin membrane biologice (Katrin Franke Bader, 2012).

Dintre toxicele care se absorb prin mecanismul difuziunii simple se pot menționa: *halogenii*, *derivații gazoși ai sulfului*, *azotului*, *fosforului*, *arsenului*, *sulfura de carbon*, *al-*

coolul etilic, eterul etilic, fenolul, tetraclo-  
rura de carbon, etc.

➤ **Căile principale de pătrundere a toxice-  
lor în organisme**

- ❖ **CALEA DIGESTIVĂ:** consum de plante toxice, de apă cu conținut de substanțe toxice, de furaje contaminate cu toxice sau toxine;
- ❖ **CALEA RESPIRATORIE:** este caracteristică pentru toxicele volatile, toxicele gazoase sau toxicele sub formă de aerosoli (Katagi, 2010).

**Calea respiratorie** este o cale severă de intoxicație, deoarece absorbția toxicelor se face rapid, detoxificarea este diminuată, toxicele ocolind bariera hepatică. Excepție fac toxicele activate hepatic (ex. parationul). Pe cale respiratorie se absorb **toxicele volatile** (cloroformul, eterul), **toxicele gazoase** (oxidul de carbon, acidul cianhidric, bioxidul de sulf, hidrogenul sulfurat, amoniacul), produșii care sublimează, particulele fine de aerosoli (mai mici de 5 μ), pulberile metalice încărcate electric. **Mucoasele căilor respiratorii** anterioare (nazală, traheală, bronhică) au importanță redusă pentru absorbție. În general, toxicele sunt expulzate prin tuse, strănut. Totuși, contactul repetat poate duce la intoxicație (de exemplu, se pot absorbi sărurile alcaline ca iodura de sodiu, salicilatul de sodiu). **Sistemul pulmonar** are o mare capacitate de absorbție datorită suprafeței mari, structurii și vascularizației sale.

- ❖ **CALEA CUTANATĂ** și a mucoaselor aparente: tratamentul cutanat cu substanțe potențial toxice, contactul accidental (Gobas et al., 1999).

**Absorbția toxicelor prin pielea intactă** este dificilă datorită structurii acesteia și datorită stratului hidrolipidic. Pielea este considerată o barieră fiziologică față de particulele și moleculele chimice străine. Există, totuși, două posibilități pentru pătrunderea

toxicelor în capilarele din dermă și de aici în circulația generală și anume **transepidermic** (pentru substanțele liposolubile cu coeficient de partaj mare) și **transfolicular** (din sebum în glandele sebacee sau foliculul pilos și de aici în dermă). **Transcutanat** se pot absorbi substanțele gazoase și volatile (*hidrogenul sulfurat, oxidul de carbon, bioxidul de carbon, aldehida formică, acidul cianhidric*), o serie de substanțe organice (hidrocarburile alifatiche lichide de la C<sub>6</sub> la C<sub>10</sub>; *hidrocarburi aromatice, ciclice, terpenice; alcoolii, esterii: acetatii, butiratii; fenolii; solvenții clorurați; insecticidele organofosforice, insecticidele organoclorurate; alcaloizii lichizi: nicotina etc.*), substanțele minerale (direct sau după transformarea în contact cu acizii grași din sebum - *sărurile de taliu, unele săruri de mercur, plumb și bismut, iodurile alcaline*). În general, substanțele cu greutate moleculară mare traversează greu pielea, pe când toxicele cu greutate moleculară mică, liposolubile, neionice și nepolare, străbat pielea mai ușor. **Absorbția transcutanată** este favorizată de masaj (prin comprimarea foliculilor), de transpirație (prin dizolvarea toxicelor de pe tegument), de eroziuni (prin descoperirea circulației limfatice a corionului), de solvenții organici, substanțele keratolitice, detergenți.

- ❖ **CĂILE PARENTERALE** constituie căi mai rare de pătrundere a toxicelor. Pe aceste căi se pot produce intoxicații prin supradozarea medicamentelor, administrarea pe căi neuzuale sau injectarea frauduloasă (Hoffman et al., 2003). Majoritatea intoxicațiilor se datorează **pătrunderii pe căi multiple**.

**Calea intravenoasă** permite absorbția rapidă a toxicelor, substanțele evitând barierele gastrice și intestinale.

**Calea subcutanată.** Substanța fiind introdusă în țesutul hipodermic, prin difuziune, ajunge în circulație și își exercită efectul toxic.

Calea intramusculară asigură absorbția mai rapidă a substanțelor decât cea subcutanată. Din mușchi, datorită vascularizației bogate, substanțele ajung în circulație prin difuziune. **Cel mai rapid se absorb substanțele hidrosolubile.** Cantitatea de toxic legată depinde de concentrația toxicului, afinitatea pentru locurile de fixare, capacitatea de cuplare disponibilă a proteinelor plasmatiche. **S-a constatat o competitivitate** pentru locurile de cuplare între toxicele din același grup: acizii slabi între ei, bazele slabe între ele. Toxicele bazice dispun de mai multe locuri de cuplare decât cele acide.

## 1.4. ECOTOXICOMETRIE

**Ecotoxicometria** este un compartiment la ecotoxicologiei, în cadrul căruia sunt luate în considerare tehnicile metodologice care fac posibilă evaluarea prospectivă sau retrospectivă a ecotoxicității substanțelor toxice. Toate tipurile de studii toxicologice cantitative clasice sunt pe deplin utilizate pentru a determina ecotoxicitatea.

Toxicitatea acută a ecotoxicanților este determinată experimental pe mai multe specii reprezentând diferite niveluri de organizare trofică într-un ecosistem (alge, plante, nevertebrate, pești, păsări, mamifere).

Agenția americană pentru protecția mediului ([Agency of Environmental Protection of United States, 2011](#)) solicită determinarea toxicității sale în cel puțin 8 tipuri diferite de apă dulce și organisme marine (16 teste) în determinarea criteriilor pentru calitatea apei care conține un agent toxic ([EPA U.S., Clean Water Act Policy and Guidance Documents, 2018](#)).

Au fost realizate încercări repetate de a clasifica speciile de ființe vii prin sensibilitatea lor la substanțe toxice. Cu toate acestea, pentru diferite substanțe toxice, raportul

dintre sensibilitatea organismelor vii față de acestea este diferit. În plus, utilizarea ecotoxicologică a “speciei standard” a reprezentanților anumitor niveluri de organizare ecologică pentru a determina ecotoxicitatea din punct de vedere științific este incorectă deoarece sensibilitatea animalelor, chiar și a speciilor din aceeași familie, uneori diferă foarte semnificativ.

## TIPURI DE INTOXICAȚII

**Intoxicațiile accidentale** se pot produce în condiții naturale sau în condiții create de om.

**Intoxicațiile în condiții naturale** se produc cu toxice care se găsesc în mod obișnuit în natură, cum ar fi toxicele minerale din apa de băut (*fluorurile, nitrații, fierul*) sau acumulate în plante (*molibden, seleniu, cadmiu*), din plantele toxice (*mai ales în condiții de secetă, afectează animalele tinere la începutul pășunatului*), insectele veninoase (*bondari, viespi, păianjeni*) și șerpii veninoși.

**Intoxicațiile în condiții create de activitatea umană** sunt cele mai frecvente. Cauzele sunt: poluanții industriali, pesticidele, îngrășămintele chimice (azotate, fosfatice, potasice), medicamentele, aditivii furajeri, micotoxinele. Intoxicațiile provocate sunt cele făcute în scop criminal sau eutanasic.

**Factorii care influențează toxicitatea.** Factorii de toxicitate reprezintă totalitatea condițiilor de care depinde toxicitatea unei substanțe sau gradul său de nocivitate (condițiile climaterice, valorile temperaturii apei și a solurilor, procesele de oxido-reducere etc.).

Toxicitatea depinde atât de proprietățile fizico-chimice a factorului toxic cât și de organismele, populațiile sau ecosistemele supuse influenței acestora (specia, vârsta, greutatea corporală, sexul, gradul de plenitudine a tubului digestiv, regimul alimentar, starea de întreținere, starea de sănătate, predispoziția, sensibilitatea individuală, coraportul între diferite specii, genuri).

## PROPRIETĂȚILE FIZICO-CHIMICE, NATURA CHIMICĂ, STAREA DE AGREGARE ȘI MĂRIMEA PARTICULELOR

Starea lichidă favorizează absorbția și sporește gradul de toxicitate. Substanțele gazoase se absorb rapid și au un grad ridicat de toxicitate. Formele amorfe a toxicelor solide, fiind mai solubile, sunt mai ușor absorbabile și, ca urmare, mai toxice, având un grad crescut de toxicitate.

**Toxicele vegetale.** Toxicitatea acestora este influențată de factorii pedoclimaterici și meteorologici (în condiții de secetă, în regiunile de stepă, în unele plante se concentrează glicozizi cianogenetici), partea plantei (toxicele se concentrează în rădăcini, semințe, polen), stadiul vegetației (toxicele se găsesc în cantități mai mari în anumite faze ale vegetației, de exemplu glicosizii cianogenetici - în porumb, în faza de lapte); la unele plante cele mai frecvente cazuri se întâlnesc la polen și flori. Asocierile de substanțe pot modifica activitatea acestora în sensul creșterii sau reducerii toxicității. Asocierile pot fi sinergetice (cresc toxicitatea) sau antagonistice (reduc toxicitatea).

## ASOCIEREA PRIN ÎNSUMAREA EFECTELOR TOXICE

**Aditism ( $1+1=2$ )** (ex. cocaina și adrenalina): rezultatul reprezintă o sumă ale efectelor toxice mai multor toxicanți;

**Sinergism ( $1+1>2$ ):** sporirea efectelor toxice ale unui amestec de substanțe mai mult decât suma efectelor toxice ale acestora (Liess et al., 2016);

**Antagonism ( $1+1<2$ ):** diminuează toxicitatea prin efectele de ordin fizic, chimic sau farmacodinamic. Antagonismul poate fi reversibil sau ireversibil. Un caz particular îl constituie antidotismul. De exemplu: taninurile precipită alcaloizii; intoxicația cu cupru poate fi prevenită prin molibden și invers; cianura de potasiu în combinație cu glucoza este transformată în cianhidrină, produs netoxic.

## Clasificarea poluanților după acțiunea lor

✓ **POLUANȚII IRITANȚI** provoacă efecte iritative asupra mucoasei oculare și îndeosebi asupra aparatului respirator. În această grupă intră pulberile netoxice, precum și o sumă de gaze și vapori ca *dioxidul de sulf, dioxidul de azot, ozonul și substanțele oxidante, clorul, amoniacul etc.* (Katrin Franke Bader, 2012).

Poluarea iritantă constituie cea mai răspândită dintre tipurile de poluare, rezultând în primul rând din procesele de ardere a combustibilului, dar și din celelalte surse.

✓ **POLUANȚII FIBROZANȚI** produc modificări fibroase la nivelul aparatului respirator. Printre cei mai răspândiți sunt *dioxidul de siliciu, azbestul și oxizii de fier, compușii de cobalt, bariu etc.* Sunt mult mai agresivi în mediul industrial fiind determinante îmbolnăvirilor specifice. Poluarea intensă cu pulberi poate duce la modificări fibroase pulmonare (Katagi, 2010). **Pulberile** rezultate în special din industria materialelor de construcție (*ciment, azbest, gips, magnezit*) pot provoca organismului uman diferite simptome, având în general acțiune *iritantă, infectantă toxică, alergică și cancerigenă*. Modul de acțiune al pulberilor asupra organismului depinde de structura lor fizică și chimică. *Acțiunea iritantă* este consecința formei ascuțite sau a unei anumite durtăți a particulelor care declanșează o reacție de apărare din partea țesuturilor sau organelor expuse. Pulberile provoacă disconfort și boli specifice numite conioze. În organul sau țesutul afectat observăm diferite *dermo-, oftalmo-, entero-* sau *pneumopatologii*.

✓ **POLUANȚII ASFIXIANȚI** sunt cei care împiedică asigurarea cu oxigen a țesuturilor organismului. Dintre cele mai importante sunt *oxidul de carbon, nitrații, nitriții*, care formează cu hemoglobina un compus

relativ stabil (*carboxihemoglobina*) și derivați incapabili să transporte oxigenul și care împiedică astfel oxigenarea sângelui și transportul de oxigen către țesuturi (Gobas et al., 1999).

În funcție de concentrația din aer și timpul de expunere se realizează o anumită proporție de carboxihemoglobină care poate depăși 60% din hemoglobina totală, blocarea enzimelor respiratorii celulare (*cianurile*), lezarea organelor hematoformatoare (*substanțele radioactive*).

Intoxicația acută cu *oxidul de carbon* este relativ rară, apărând practic numai în spații închise în prezența unor surse importante de CO (în încăperi în care sistemele de încălzit funcționează defectuos, garaje, pasaje subterane pentru autovehicule, nemijlocit în autovehicule închise etc.)

✓ **POLUANȚII ALERGENICI** din atmosferă sunt cunoscuți de multă vreme. Putem menționa aici cazul **poluanților naturali** (*polen*) precum și a **prafului din casă**, responsabili de un număr foarte mare de alergii respiratorii sau cutanate (Hoffman et al., 2003).

Pe lângă acestea se adaugă poluanții proveniți din surse artificiale - în special industriale - care pot emite în atmosferă o sumă de alergeni compleți sau incompleți. Pe primul loc din acest punct de vedere, se găsește **industria chimică** (industria maselor plastice, industria farmaceutică, fabricile de insecticide etc.). Sunt semnalate și situații cu apariția unor fenomene alergice în masă, un exemplu poate fi cel produs la New Orleans în 1958 în care alergenul a fost *identificat în praful provenit de la deșeurile industriale* (Kutsenko, 2002).

Alergenii sunt substanțe care activează sistemul imunitar. Unii alergeni acționează direct ca antigeni, fiind recunoscuți ca substanțe străine de celulele albe din sistemul sangvin și stimulează producerea unor anti-

corpi specifici (proteine care recunosc și se leagă de celule sau substanțe chimice străine organismului). Alți alergeni acționează indirect prin legarea și modificarea chimică a substanțelor străine astfel încât ele devin antigeni și determină un răspuns imun.

✓ **SUBSTANȚELE TERATOGENE** sunt substanțe chimice sau factori care produc anomalii în timpul dezvoltării și creșterii embrionare. Unii compuși, care altfel nu sunt periculoși, pot cauza probleme tragice în această etapă sensibilă a vieții. Se consideră că cel mai răspândit teratogen din lume este alcoolul. Consumarea de alcool în timpul sarcinii poate duce la un sindrom care presupune apariția mai multor simptome: anomalii craniofaciale, întârziere mentală, probleme de comportament.

✓ **SUBSTANȚELE COROZIVE** acționează asupra zonelor de contact și asupra organelor de excreție (*toxicele minerale*);

✓ **SUBSTANȚELE TOXICE PROTOPLASMATICE ȘI PARENCHIMATOASE** provoacă degenerescența grasă a ficatului și tendința spre hemoragie (*tetraclorură de carbon, fosforul*).

✓ **SUBSTANȚELE CANCERIGENE** sunt substanțe care cauzează cancerul - celule invazive cu creștere necontrolată care duc la apariția de tumori maligne. Rata cancerului a crescut în majoritatea țărilor industrializate în secolul XX, în SUA fiind acum a doua cauză care duce la deces (Chapman, 2002). În anul 2000, de exemplu, au murit mai mult de jumătate de milion de oameni. Totuși, creșterea frecvenței cancerului îndeosebi în mediul urban, a impus luarea în considerare și a poluanților atmosferici ca agenți cauzali posibili, cu atât mai mult cu cât în zonele poluate au fost identificate în aer substanțe cancerigene.

Putem clasifica substanțele cancerigene prezente în substanțe *organice* și substanțe *anorganice*. Dintre poluanții cancerigeni anorganici menționăm *azbestul, arsenul, cromul, cobaltul, beriliul, nichelul și seleniul*. Dintre cei organici mai răspândiți sunt *hidrocarburile policiclice aromatice* ca *benzopiren, benzoantracen, benzofluoranten etc.* *Ultima* substanță cancerigenă este cunoscută de multă vreme, iar prezența în aer indică un risc crescut de cancer pulmonar.

Efecte cancerigene se atribuie și *insecticidelor organoclorurate precum* și unor *monomeri* folosiți la fabricarea maselor plastice.

✓ **SUBSTANȚELE NEUROTOXICE.** Neurotoxinele reprezintă o clasă specială de substanțe care atacă în mod specific celulele nervoase - neuronii. Sistemul nervos este atât de important în coordonarea și reglarea activității organelor încât **întreruperea acestor activități cauzează numeroase daune** (Katrin Franke Bader, 2012).

Modul de acțiune al neurotoxinelor poate diferi. Substanțele precum **plumbul și mercurul** omoară celulele nervoase și provoacă daune neurologice permanente.

Anestezicele (*eterul, cloroformul*) și pesticidele clorinate (*DDT, Dieldrin, Aldrin*) rup membrana celulei nervoase necesară pentru activitatea nervilor. Substanțele organofosforice (*malation, paration*) și carbamații (*carbaril, zeneb, maneb*) inhibă enzima acetilcolinesteraza care reglează transmiterea semnalului între celulele nevoase și țesuturi sau organe.

Majoritatea substanțelor neurotoxice prezintă toxicitate acută și foarte mare. În prezent mai mult de 850 de compuși sunt considerați neurotoxici.

Numărul de potențiali neurotoxici în mediul înconjurător este în continuă creștere și reprezintă un mare risc pentru oameni și mediu. Evaluarea neurotoxicității este în prezent efectuată în cea mai mare măsură pentru a

prezice și a preveni îmbolnăvirea populațiilor umane.

Cu toate acestea, cunoștințele privind potențialul neurotoxic al contaminanților de mediu din ecosisteme sunt foarte limitate, deoarece evaluarea neurotoxicității se concentrează în prezent în cea mai mare parte pe expunerea umană la substanțele chimice individuale.

Cunoscute compuși neurotoxici sau neuroactivi umani, cum ar fi pesticidele, produsele farmaceutice și metalele grele, apar în mediul înconjurător împreună cu mii de substanțe chimice cu potențial neurotoxic necunoscut pentru diferite specii și stadii de viață. S-a estimat că până la 30% din totalul substanțelor chimice utilizate în comerț (~30.000 de substanțe chimice) pot avea potențial neurotoxic.

În plus, în majoritatea ecosistemelor acvatice sunt înregistrate contaminanților organici din pesticide (*DDT, Dieldrin, Aldrin*), metale grele (Hg, Pb, Cd, As), ș.a. care se referă la cele neurotoxice, dar care pot fi determinate prin echipament și instrumente bioanalitice capabile să identifice aceste substanțe.

Cu regret nu cunoaștem niciun ghid de reglementare disponibil pentru identificarea riscurilor neurotoxice la vertebrate sau animale nevertebrate. În plus, până în prezent nu există un cadru de reglementare european pentru evaluarea eco-neurotoxicității.

În cadrul evaluării riscurilor și al gestionării riscurilor pentru substanțele eco-neurotoxice, pesticidele reprezintă o categorie de substanțe de interes special. Unele pesticideucid dăunătorii prin mecanisme neurotoxice.

Agenția Europeană pentru Siguranța Alimentară (EFSA) este responsabilă de înregistrarea pesticidelor și a tuturor altor substanțe care pot intra în contact sau apar în produsele alimentare și nu sunt evaluate în conformitate cu Legislația **REACH – Regulation for Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals No. 1907/2006**.



Directiva-cadru privind apa - Directiva Europeană Cadru a Apei ([Directive 2000/60/EC of the European Parliament and Council Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy; OJ:L327, Dec. 22, 2000](#)), vizează integrarea informațiilor biologice și chimice pentru a obține o imagine de ansamblu asupra calității corpurilor de apă individuale. Conform DCA, starea chimică a unui corp de apă este determinată prin analizarea concentrațiilor a 45 de substanțe prioritare.

O stare chimică bună este definită de concentrațiile tuturor acestor substanțe sub standardele medii și maxime admisibile de calitate a mediului, care sunt definite pentru a proteja mediul și sănătatea umană. Ca urmare, monitorizarea chimică regulată a calității apei se realizează aproape exclusiv prin analiza chimică țintită a unui set limitat de compuși (indicatori).

Cu toate acestea, există anumite limitări grave legate de utilizarea analizelor chimice țintă ale probelor de volum mare pentru monitorizarea stării chimice globale a unui corp de apă. În primul rând, deoarece se analizează doar un număr limitat de substanțe țintă, riscul altor substanțe necunoscute prezente în mediul acvatic rămâne neinvestigat. Mai mult, produsele de transformare a micropoluantilor formate în mediu sau prin metabolismul biologic nu sunt întotdeauna cunoscute sau înregistrate și pot fi mai toxice și mai persistente decât compușii de bază ([Katagi, 2010](#); [Katrin Franke Bader, 2012](#); [Vergeichik, 2009](#)).

Aceste limitări pot duce astfel la o evaluare incompletă a pericolelor și riscurilor chimice, solicitând explorarea unor abordări alternative. Există o necesitate urgentă de evaluări rapide ale substanțelor cu potențial toxicologic necunoscut pentru a preveni posibilele efecte negative asupra consumatorilor de către furnizorii de apă și departamentele de sănătate publică care supraveghează procesul.

## ELIMINAREA TOXICELOR DIN ORGANISM

Din organism se elimină produșii metabolizați și fracțiunile netransformate. În general, substanțele toxice prezintă selectivitate pentru o cale de eliminare, însă se pot elimina și simultan pe mai multe căi.

Nu se poate stabili o legătură între calea de pătrundere a toxicului și organul de eliminare (de exemplu, atropina administrată subcutanat poate fi găsită în stomac; mercurul aplicat pe piele se regăsește în intestin).

Viteza de eliminare a toxicelor depinde de calea de administrare, de proprietățile fizico-chimice, de fixarea pe proteinele plasmatice și tisulare, de metabolizările suferite, de calea de eliminare și de starea funcțională a căii de administrare ([Chapman, 2002](#)).

Eliminarea reprezintă îndepărtarea toxicelor și/sau a metabolizilor polari și ionizați din sânge, limfă, lichid interstițial, celule sau țesuturi. Calea, viteza, durata și gradul eliminării variază în funcție de o serie de factori fizico-chimici și biologici.

Nocivitatea unui toxic este cu atât mai mare cu cât eliminarea sa este mai lentă.

În general, eliminarea se realizează prin procesele metabolice ale mai multor organe, pe cale renală, digestivă, pulmonară și transcutanată.

Calea digestivă prezintă importanță redusă. Trebuie să se facă diferență între expulzarea prin vomă și fecale a substanțelor insolubile sau mai puțin solubile sau a celor care nu au fost absorbite, și eliminarea substanțelor care au pătruns în circulația generală.

Eliminarea se poate face prin: salivă (alcaloizi: chinina, stricnina; metale: mercurul, plumbul, bismutul; iodul), suc gastric (morfină, halogenii), bilă (numai produșii cu greutate moleculară peste 400 kDa, sărurile metalelor grele: plumb, mercur, crom, nichel; arsenul; alcaloizii).

Calea renală este calea majoră pentru majoritatea toxicelor. Pe această cale se elimină substanțele toxice cu greutate moleculară mai mică de 150 kDa. Eliminarea se realizează prin filtrare glomerulară, resorbție tubulară sau secreție tubulară.

**Filtrarea glomerulară** este un proces de ultrafiltrare pasivă a unei cantități de apă și substanțe solvite, cu greutate moleculară mică, polare, nelegate la proteine. Depinde de presiunea hidrostatică a sângelui și de presiunea proteinelor sanguine.

**Resorbția tubulară** reprezintă reîntoarcerea în tubii renali din circulație, prin proces pasiv, a unor cantități mari de apă, substanțe anorganice ionizate, unele substanțe neionizate liposolubile, acizi și baze slabe nedisociate.

**Secreția tubulară** constă din transportul activ din capilarele sangvine în tubi împotriva gradientului de concentrație. Prezintă specificitate și se face cu consum de energie.

Prin rinichi se elimină majoritatea sărurilor metalice, iodurile, nitrații, nitriții, alcaloizii, pesticidele. Determinarea concentrațiilor din urină are valoare de diagnostic pentru unele toxice.

Calea pulmonară este cea mai rapidă cale de eliminare. Eliminarea se face prin epiteliul alveolar, prin secreție bronhică sau nazală. Viteza de eliminare depinde de gradul de volatilitate. Pe această cale se elimină substanțele gazoase (hidrogenul sulfurat, oxidul de carbon), metaboliții gazoși, substanțele volatile (alcoolul, eterul, cloroformul, esențele vegetale).

**Pielea constituie o cale de eliminare** pentru toxicele gazoase, volatile și pentru unele substanțe solide. Astfel, pe această cale se elimină alcaloizii, compușii de arsen, metalele grele, iodurile, bromurile, camforul.

**Glanda mamară** reprezintă o cale de eliminare pentru compuși volatili (alcool, eter), baze organice (alcaloizi: cafeină, morfină, chinină, antipirină), acizi (acid acetic, salicilic, acid barbituric), pesticide, aflatoxine, ioni minerali (plumb, mercur, arsen, iod, brom), cloralhidrat.

Activitatea societății umane provoacă schimbări multilaterale în mediul înconjurător. Înainte de dezvoltarea civilizației industriale, înainte de începutul secolului al XIX-lea, poluarea a fost extrem de limitată în natură, cantitate și distribuție. Acum s-au adăugat noi probleme la problemele vechi - prezența în mediu a unor compuși chimici nefirești, la care sistemele biologice nu se pot adapta.

### ***Unele noțiuni terminologice privind examinarea și evaluarea toxicității***

**Toxicele** (otrăvurile) sunt substanțe organice sau anorganice cu puternică activitate nocivă asupra organismului, capabile să producă tulburări chiar în cantități mici. **Otrava mai poate fi definită ca fiind o substanță chimică care, introdusă sau formată în organism, produce tulburări sau aduce la moarte.**

**Toxic** - este un cuvânt cu etimologie controversată; derivă de la grecescul "toxon" (arc cu săgeți cu vârfuri otrăvite), sau din cuvântul egiptean "tako" (distrugere, prăpăd, moarte). Cuvântul toxic derivă din latinescul "toxicus" (veninos, otrăvitor) care derivă prin alterare de la "taxicus" care, la rândul său, derivă de la numele plantei *Taxus bacata* (tisa), care conține un alcaloid foarte toxic. **Otravă** - derivă din verbul slavon "otrăviți" (a se mâhni profund), cuvânt care se referă la fondul psihic. Se pot utiliza ambii termeni. Și în alte limbi se folosesc doi termeni pentru aceeași noțiune - astfel francezii folosesc *toxique* și *poison*; germanii, *toxin* și *gift*; englezii, *toxic* și *poison*.

**Intoxicația** prezintă o stare morbidă produsă sub acțiunea unei substanțe organice sau anorganice de origine vegetală, minerală sau sintetică, ce provoacă tulburări profunde ale metabolismului celular și care are drept rezultat îmbolnăvirea organismului.

**Toxinele** sunt substanțe organice cu structură proteică, produse de organismele vegetale sau animale, care provoacă fenomene de intoxicație.

**Toxicoza** este o stare morbidă produsă de toxine.

**Doza** este unul dintre cei mai importanți indicatori de toxicitate.

- **doza maximă tolerată (DMT)** - cantitatea cea mai mare de substanță care este suportată de organisme fără fenomene toxice;
- **doza letală (DL)** - cantitatea minimă de substanță care provoacă moartea unui animal adult;
- **doza letală zero (DL0)** - cantitatea de substanță care determină fenomene toxice grave, dar nu letale;
- **doza letală 50 (DL50)** - cantitatea de substanță care produce efecte letale la 50 din 100 animale de experiență în decurs de 24-48 ore;
- **doza letală 100 (DL100)** - cantitatea de substanță care produce efecte letale la toate animalele folosite în experimentul acut de toxicitate;
- **doza minimă letală (DML)** - cantitatea minimă de substanță care omoară un singur animal din lot;
- **doza letală certă (DLC)** - cantitatea de substanță care produce moarte animalelor în orice situație.

**Substanțele toxice care pătrund pe cale respiratorie sunt caracterizate prin:**

- concentrația letală a toxicului în atmosferă (CL) - corespunde aproximativ dozei letale și se exprimă în ppm ( $\text{mg}/\text{m}^3$ );
- concentrația letală 50 (CL50) - cantitatea de toxic ( $\text{mg}/\text{m}^3$  aer) care produce moartea a 50% din animalele de experiență în decurs de 4 ore;
- concentrația letală 100 (CL100) - cantitatea minimă de toxic ( $\text{mg}/\text{m}^3$  aer) din aerul respirat de animalele de experiență care provoacă 100% mortalitate

În cazul medicamentelor se raportează **doza letală DL50** la **doza terapeutică efectivă DE50** și se obține **indicele terapeutic (IT)**. Dacă indicele terapeutic este mai mare sau

egal cu **10**, medicamentul respectiv nu prezintă pericol la doze uzuale, iar dacă este mai mic de **10**, este necesar să fie folosit cu precauție.

Datorită diferențelor mari ale dozelor toxice, [Hodge & Sterner \(2005\)](#) au realizat o clasificare prin care toate substanțele sunt divizate în 6 categorii după valoarea DL50 (exprimată în  $\text{mg}/\text{kg}$ ), clasificare care este acceptată și în prezent:

- extrem de toxice (sub  $1 \text{ mg}/\text{kg}$ );
- foarte toxice ( $1-50 \text{ mg}/\text{kg}$ );
- moderat toxice ( $50-100 \text{ mg}/\text{kg}$ );
- puțin toxice ( $500-5000 \text{ mg}/\text{kg}$ );
- practic netoxice ( $5000-15000 \text{ mg}/\text{kg}$ );
- relativ lipsite de toxicitate (peste  $15000 \text{ mg}/\text{kg}$ ).

În toxicologie spectrele procesului toxic sunt fondate pe proprietățile produsului toxic; substanțele toxice, substanțele biologice, radiațiile și alți factori nocivi se consideră agenți dăunători ([ECETOC, 2021](#)). Deoarece efectele pot fi considerate pe baza unei varietăți de semne, pentru a indica cantitatea de substanță care acționează asupra unui obiect biologic este utilizată doza conceptuală (doza care afectează). Doza de efect poate fi măsurată direct folosind mijloace tehnice și exprimată în unități adecvate ( $\text{mg}/\text{kg}$ ,  $\text{mg}/\text{m}^3$ , Gray, celule/kg etc.).

**Relația doză-efect** în majoritatea cazurilor, se va înregistra printr-un model general: odată cu creșterea dozei crește gradul de deteriorare a sistemului. În ecotoxicology, în determinarea relației doză-efect, aspectul principal revine varietății intraspecifice a comunităților, organismelor și ecosistemelor. În această privință, doza unei substanțe particulare care provoacă daune, deseori diferă semnificativ ([Hughes, 1996](#)).

În consecință, relația doză-efect reflectă proprietățile nu numai ale substanței toxice, ci și a organismului pe care acționează. În practică, aceasta înseamnă că evaluarea cantitativă a toxicității, bazată pe studiul relației doză-efect, trebuie efectuată prin di-

ferite modelări cu diverse obiecte biologice și prin corectitudinea utilizării metodelor de prelucrare a datelor obținute. În general, graficul este o curbă în formă de S a distribuției log-normale, simetrică față de punctul central, utilizată în toxicologia experimentală. Problema estimării gamei de doze eficiente pentru sistemele biologice este complexă și legată inextricabil de conceptul de normă. Teoria normei cu privire la sistemele biologice nu este suficient dezvoltată în prezent. Cel mai caracteristic indicator al normei sistemelor biologice este abilitatea de a-și schimba astfel parametrii funcționali în schimbarea condițiilor de existență pentru a menține sistemul în condiții optime. Populația ca sistem de indivizi interconectați, datorită eterogenității inițiale a grupurilor sale individuale ecologic-funcționale, se caracterizează prin diversitatea răspunsului lor la orice influență externă (Ostroumov, 2004).

Pentru reglementarea ecotoxicologică este necesar să se optimizeze interacțiunea prin limitarea impactului antropic asupra capacităților mediului și vizează optimizarea utilizării resurselor regenerabile. Principala criteriu pentru determinarea sarcinii de mediu admisibile este absența unei scăderi a productivității, stabilității și diversității ecosistemului. Moartea unor organisme în acest caz nu este estimată ca și critică.

Pentru fiecare ecosistem, ar trebui să fie identificate propriile criterii de calitate a mediului, în funcție de potențialul ecologic al ecosistemului și de capacitățile ecologice ale regiunii. Baza dezvoltării standardelor de mediu este conceptul teoretic al unei abordări sistematice a reglementării calității mediului natural.

Yurie Israel (Israel, 1984) a dezvoltat idei despre capacitatea maximă admisibilă pentru mediu (CMA) pe acest ecosistem. Semnificația CMA se bazează pe conceptul durabilității ecosistemelor, deoarece funcționarea lor normală în condițiile presiunii antropice, este posibilă numai dacă CMA nu este depășită,

care este derivată ținând cont de acțiunea combinată și complexă a tuturor factorilor de impact asupra unui anumit ecosistem. Până în prezent principiile generale pentru justificarea reglementărilor de mediu sunt puse în aplicare prin dezvoltarea conceptului de capacitate asimilativă a ecosistemelor.

O abordare comună în definirea punctelor critice se bazează pe presupunerea că criteriul pentru starea normală a unui ecosistem este distribuția normală a variabilelor sale. În acest caz, valorile critice maxime și minime se găsesc în legătură funcțională de distribuție statistică normală.

O realizare a acestei abordări pentru evaluarea biogeochimică CAM ale elementelor chimice (în special a metalelor), care sunt microcomponente ale apelor de proveniență atât naturală cât și antropogenă. Fiecare dintre aceste componente ale mediului trebuie să fie în limitele celor biologic tolerante pentru organismele, comunitățile și populațiile acvatice cu o capacitate de a realiza funcțiile sale fiziologice optime.

Pentru stabilitate funcționării ecosistemelor acvatice principal criteriu este capacitatea de autoepurare și echilibrul între calitatea mediului acvatic și diversitatea hidrobionților. Într-adevăr, între structura biologică a ecosistemului și capacitatea sa de autoepurare, există o relație funcțională interdependentă.

Prin urmare, reglementarea calității apei ar trebui să fie făcută prin determinarea măsurii capacității de autoepurare, toleranței hidrobiocenozelor, ale cărei valori ar trebui să servească drept standarde de calitate a apei (Zubcov et al., 2015; Moiseenko, 2008 ). Autoepurarea este un proces integrat al funcționării a trei componente - coloana de apă, sedimentele subacvatice, organismele acvatice - legate în mod organic de ecosistemele corpurilor de apă, astfel încât reprezintă un indicator nu numai al poluării chimice ci și al modificărilor fizico-geografice (hidrologice, climaterice).

## 1.5. EVALUAREA RISCULUI DE MEDIU

Riscul este o caracteristică probabilistică a amenințării care apare în cauză pentru mediul înconjurător sub aspectul unor posibile influențe antropice sau a altor fenomene. Într-un sistem de evaluare a riscului pentru mediu, orice impact (fie că este vorba de un factor chimic sau de un câmp energetic) care provoacă modificări ale sistemelor biologice (atât pozitive cât și negative) se numește *stressor* (Hoffman et al., 2003). În acest sens, orice agent ecotoxic este, fără îndoială, un factor de stress (Liess et al., 2016).

Conceptul de evaluare a riscurilor include două elemente: evaluarea riscului și managementul riscului (Negrei & Palarie, 2013; Oprea, 2007).

**Evaluarea riscului** este o analiză științifică a originii sale, inclusiv identificarea acesteia, determinarea gradului de pericol într-o anumită situație. În ecotoxicologie, conceptul de risc este asociat cu sursele de pericol pentru sistemele și procesele ecologice care apar în ele (Calow, 1998). Indicatorii de mediu ai daunelor (risc de mediu) în acest caz includ: distrugerea biotei, efectele dăunătoare, uneori ireversibile asupra ecosistemelor, deteriorarea calității mediului datorită poluării, creșterea probabilității unor boli specifice, eroziunea terenurilor, pierderea pădurilor și a corpurilor de apă (de exemplu, Marea Aral), etc.

**Gestionarea riscului** este o analiză a situației riscului în sine, dezvoltarea și justificarea unei decizii de management, de obicei sub forma unui act de reglementare care vizează reducerea riscului, găsirea unor modalități de reducere a riscului.

**Dezvoltarea teoriei riscurilor** a condus la formarea consecventă a principiilor care caracterizează atitudinea societății față de asigurarea funcționării fără accident a obiectelor antropice - surse de pericol pentru mediu:

- principiul riscului *zero*, care reflectă încrederea că riscul nu va fi aplicat; este

principiul aproximării succesive a securității absolute, adică la risc zero, implicând studiul anumitor combinații de structuri, tehnologii alternative etc.;

- principiul riscului *minim*, conform căruia nivelul de pericol este stabilit la un nivel cât mai scăzut posibil, pe baza justificării eventualelor costuri pentru protecția unei persoane;
- principiul riscului *echilibrat*, conform căruia sunt luate în considerare diferitele riscuri naturale și impactul antropic, se studiază gradul de risc al fiecărui eveniment și condițiile în care oamenii sunt expuși riscului;
- principiul riscului *acceptabil*, pe baza analizei raportului “cost-risc”, “beneficiu-risc”, “cost-beneficiu”.

Conceptul de risc acceptabil presupune că eliminarea completă a riscului este practic imposibilă sau nu este viabilă din punct de vedere economic. În concordanță cu aceasta se stabilește o limită de siguranță rațională care optimizează costurile de prevenire a riscurilor și amplexarea daunelor în caz de urgență.

**Primul pas (etapă) de evaluare a riscurilor este identificarea pericolelor** - definirea unui pericol real pentru o persoană sau pentru mediu. Aici este atribuit un rol important cercetării științifice. Încercările de identificare a pericolului sunt reduse la căutarea semnalelor de pericol, selectarea unui astfel de semnal pe fondul existent.

Metodele de aprobare, selecție (de exemplu, diverse medicamente), modelarea comportamentului diferitelor substanțe în mediul înconjurător, monitorizarea și diagnosticarea (evaluarea simptomelor, efectele expunerii) sunt importante pentru identificarea pericolelor. De reținut că toate problemele de evaluare, diagnosticare și prognoză ar trebui să fie atribuite sistemului de monitorizare.

Diagnosticul începe cu observația abaterilor - pentru aceste deviații este necesar să se identifice corect “boala”. Aproape toate da-

tele obținute prin monitorizare necesită evaluări, mai ales cele de diagnosticare.

Atunci când se identifică un pericol, prima întrebare este despre ce anume reprezintă un pericol iar atunci când se calculează un risc, care este amploarea acestuia. Este necesar să se determine probabilitatea apariției acestui pericol și probabilitatea efectelor adverse. Perspectiva, intuiția și extrapolarea pot fi folosite pentru a determina calculul riscului (Calow, 1998).

În etapa de examinare a procedurii de evaluare a riscurilor, analiza este efectuată la un nivel calitativ.

*A doua etapă - evaluarea expunerii* - este o evaluare a modului și a mediului în care, la ce nivel cantitativ, la ce moment și pe ce perioadă de expunere are loc expunerea reală și cea așteptată; este, de asemenea, o estimare a dozelor primite, dacă acestea sunt disponibile, precum și o estimare a numărului de persoane care sunt expuse la o astfel de expunere și pentru care pare a fi probabilă.

Dimensiunea populației expuse este unul dintre cei mai importanți factori pentru a decide cu privire la prioritatea măsurilor de protecție care apar atunci când se utilizează rezultatele evaluării riscurilor în scopul “gestionării riscurilor”.

În mod ideal, evaluarea expunerii se bazează pe datele efective de monitorizare a poluării diferitelor componente de mediu (aer ambiental, aer de interior, sol, apă de suprafață, apă potabilă, alimente).

Cu toate acestea, această abordare este deseori imposibilă din cauza costurilor ridicate. În plus, nu este întotdeauna posibil să se evalueze relația dintre poluare și sursa acesteia și este insuficientă pentru a prezice expunerea viitoare. Prin urmare, în multe cazuri, diferite modele matematice sunt utilizate pentru a evalua dispersia emisiilor atmosferice, sedimentarea lor pe sol, difuzarea și diluarea poluanților în apele subterane și / sau în corpurile de apă deschise.

*A treia etapă - evaluarea relației doză-efect* - este căutarea unor modele cantitative care asociază doza primită a unei substanțe cu prevalența unui efect advers (pentru sănătate), adică cu probabilitatea dezvoltării sale.

Modele similare, ca regulă, sunt revelate în experimentele toxicologice. Cu toate acestea, extrapolarea lor dintr-un grup de animale la o populație umană este asociată cu prea multe incertitudini.

Întrucât procedura de evaluare a riscurilor este complexă și suferă în mare măsură de incertitudinea cunoscută, Agenția pentru Protecția Mediului a Statelor Unite (EPA U.S.) a elaborat și aprobat un plan pentru o astfel de activitate de standardizare a cercetării (Measurement Methods Standardization Strategy Document; Science Models and Research Tools (SMaRT) Search). Acestea conțin o descriere a secvenței de rezolvare a problemei, luând în considerare incertitudinile și ipotezele pentru a obține, într-o oarecare măsură, informații unificate, aproximative despre probabilitatea unor efecte adverse asupra mediului.

Conform acestui plan, evaluarea riscului de mediu include următorii pași:

1. Formularea problemei și elaborarea unui plan de analiză situației.
2. Analiza situației de mediu.
3. Prelucrarea datelor, formarea constatărilor și prezentarea materialelor către client.

De regulă, evaluarea riscului de mediu se realizează sub forma unei cercetări comandate, realizate pentru a obține informații de natură promițătoare sau retrospectivă și necesare pentru client (legislație, structuri de conducere etc.) pentru a lua decizii administrative.

Prin urmare, spre deosebire de studiile ecotoxicologice științifice, în care sunt luate în considerare regulile obiective ale reacțiilor biocenozelor la acțiunea unui factor de stres, atunci când se definește riscul ecoto-

xic, caracteristicile de mediu care trebuie studiate și “protejate” pot fi caracteristicile unui biosistem care are o valoare în opinia publică ca fiind foarte semnificative (Bezel et al., 1994).

Metodologia pentru evaluarea riscului de mediu nu este pe deplin dezvoltată. În majoritatea cazurilor, concluziile sale sunt calitative, descriptive. Încercările de a introduce metode de evaluare cantitative se confruntă cu dificultăți serioase.

Acest lucru se datorează complexității ecosistemelor, impactului complex al stresorilor asupra mediului (nu numai chimic, ci și fizic și biologic), cunoașterea insuficientă a caracteristicilor pericolului ecotoxic al unei cantități uriașe de xenobiotice utilizate de oameni etc. În acest sens, în opinia ecologiștilor înșiși, evaluarea riscurilor de mediu este în mare parte o artă care necesită o permanentă dezvoltare.

## Bibliografie

- Agency of Environmental Protection of United States (2011). “Office of Chemical Safety and Pollution Prevention.” 5 October 2011. U.S Environmental Protection Agency. 9 December 2011.
- Ballschmiter, K. and Zell, M. (1980) ‘Baseline studies of the global pollution’, *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. Taylor & Francis Group , 8(1), pp. 15-35. doi: 10.1080/03067318008071876.
- Bazerman, Charles and René Agustin De los Santos (2006). “Measuring Incommensurability: Are toxicology and ecotoxicology blind to what the other sees?” 9 January 2006.
- Bezel V.S., Bolshakov E.L., Vorobeychik E.L., (1994) Population ecotoxicology, M. B.C. Безель, Е.Л. Большаков, Е.Л. Воробейчик. Популяционная экотоксикология, М.: Наука, 1994. - 80 с.
- Bogdanovsky G.A. (1994) Chemical ecology: Textbook (in RU) -Богдановский Г.А.Химическая экология: Учебное пособие / Москва: Изд-во МГУ, 1994. 237с. с. Butler, G. C.(1978) Principles of Ecotoxicology; Wiley & Sons: New York, 1978.
- Butler G. C. (1984) Developments in Ecotoxicology.
- Calow Peter P. (Ed.) (1998) Handbook of Environmental Risk Assessment and Management, 600 p., 1998.
- Carson R. (1962) *Silent Spring Houghton Mifflin*. Houghton Mifflin Company.
- Chapman P. M. (2002). “Integrating toxicology and ecology: putting the “eco” into ecotoxicology”. *Marine Pollution Bulletin*. 44 (1): 7-15.
- Connell Des et al. (1999). *Introduction to Ecotoxicology*. Blackwell Science. ISBN 978-0-632-03852-7.
- Ciubotaru, V. (2003) *Inventarul național al Poluanților Organici Persistenți al Republicii Moldova*. Chișinău.
- Directive 2000/60/EC of the European Parliament and Council Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy; OJ:L327, Dec 22, 2000, 1–73.
- Ecological Bulletins No. 36 (1984), *Ecotoxicology: Proceedings of the Third Oikos Conference Held 30 November: 2 December, 1982, in Copenhagen, Denmark (1984)*, pp. 9-12
- ECETOC (2021), *Guidance on Dose Selection ECETOC TR No. 138*
- Brussels, March 2021 <https://moldova.europalibera.org/a/dou%C4%83-decenii-de-la-decizia-nato-de-a-intervenii-militar-%C3%AEn-serbia/29508829.html>
- Egorov V.V. (2009) *Environmental Chemistry: Textbook (in RU)*. Егоров В. В. Экологическая химия: Учебное пособие. – СПб.: «Лань», 2009. – 192 с.
- EPA U.S. Clean Water Act Policy and Guidance Documents. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-10/documents/quality-criteria-water>.
- Forbes V.E., Forbes T.L. (1984) *Ecotoxicology in Theory and Practice*, 247 p.
- Forbes V.E., Forbes T.L. (1995) *Ecotoxicology in Theory and Practice*, INRA Paris, 35 p.
- Forbes, V. E.; Calow, P. (1999) *Environ. Toxicol. Chem.* 1999, 18, 1544–1556.
- Frumin G.T. (2013) *Environmental toxicology (ecotoxicology)*. Lecture course (in RU)-Фрумин Г.Т. Экологическая токсикология (экоотоксикология). Курс лекций. РГГМУ, 2013. - 179 с.
- Golikov S.N. (1972), *Guide to the toxicology of toxic substances (Ru) - Голиков С.Н., Руководство по токсикологии отравляющих веществ – 1972* Москва. Медицина.470 с.
- Gobas F. A. P. C. et al. (1999), ‘Mechanism of biomagnification in fish under laboratory and field conditions’, *Environmental Science and Technology*. ACS, 33(1), pp. 133-141. doi: 10.1021/es980681m.
- Harris Catherine A., Alexander P. Scott, Andrew C. Johnson, Grace H. Panter, Dave Sheahan, Mike Roberts, John P. Sumpter (2014): *Principles of Sound Ecotoxicology*. Environ. Sci. Technol., Article ASAP, doi: 10.1021/es4047507
- Hughes W.W .(1996). *Essentials of Environmental Toxicology*, Taylor & Francis, Washington, Bristol, London, 1996.
- Hodge A, Sterner B (2005). *Toxicity Classes In: Canadian Centre for Occupational Health and safety*.
- Hoffman David J., Barnett A. Rattner, G. Allen Burton, Jr., and John Cairns, Jr. (2003) *Handbook of Ecotoxicology*, 1290 p.

- Izrael Yu. A. (1984) (Ecology and control of the state of the natural environment (inRU) Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды (рус.). – 2-е издание. – М.: Гидрометеиздат, 1984. – С. 560.
- Kaplin V.G. (2006) Fundamentals of ecotoxicology, textbook Каплин В.Г. Основы экотоксикологии, учебное пособие, Москва, Колос, 2006, 232 с.
- Katagi T. (2010) 'Bioconcentration, bioaccumulation, and metabolism of pesticides in aquatic organisms', *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. Springer, New York, NY, 204, pp. 1-132. doi: 10.1007/978-1-4419-1440-8\_1.
- Katrin Franke Bader (2012) List of Modules. Ecotoxicology (Master of Science) for the Master's Program at the University Koblenz-Landau, Campus Landau, 2012, 61 p.
- Korte F. (Ed.) (1997) Environmental Chemistry (in RU), Moscow: Mir, 1997, 96 p. Экологическая химия/ Под ред. Ф. КORTE. М.: Мир, 1997. 396 с.
- Kutsenko S.A. (2002) Fundamentals of Toxicology. St. Petersburg (inRU) Куценко С.А. Основы токсикологии. Санкт-Петербург, 2002 г. Том 4, 119 с.
- Liess Matthias; Foit Kaarina; Knillmann Saskia; Schäfer Ralf B.; Liess, Hans-Dieter (2016). «Predicting the synergy of multiple stress effects». *Scientific Reports*. 6 (1): 32965.
- Lysenko N.N., Dogadina M.A. (2015), Fundamentals of ecotoxicology: textbook Н.Н. Лысенко, М.А. Догадина Основы экотоксикологии: учебное пособие - Орел: Изд-во Орел ГАУ, 2015. - 460 с.
- Moiseenko T. I. (2008) Aquatic ecotoxicology: theoretical principles and practical application ( in RU) Т. И. Моисеенко Водная экотоксикология: теоретические принципы и практическое приложение ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ, 2008, том 35, № 5, с. 554-565.
- Negrei Costel, Palarie Teodora-Alexandra (2013), Evaluarea riscurilor poluarii. Suport al managementului ecosistemelor acvatice, ASE București, 2019.
- Oprea Lucian (2007) Ecotoxicologie Note de curs pentru studenții de la specializarea Ingineria și Protecția Mediului, UDJG, România, 2007.
- Hamir S. Rathore and Leo M.L. Nollet (2012) (Ed.), PESTICIDES, Evaluation of Environmental Pollution, 644 p.
- Ostroumov S.A. (2004), The biological mechanism of self-purification in natural reservoirs and watercourses: theory and applications. Advances in modern biology( in RU) - Остроумов С.А. Биологический механизм самоочищения в природных водоемах и водотоках: теория и приложения. Успехи современной биологии. 2004. т.124. №5. с.429-442.
- Panin M.S., Bezel V.S. (2008) Ecotoxicology, textbook for universities ( in RU) Панин М.С., Безель В.С. Экологическая химия, учебник для ВУЗов, Алматы, Паритет, 2008, 344 с.
- Perminova Irina V., Kirk Hatfield, Norbert Hertkorn (2020) Use of Humic Substances to Remediate Polluted Environments: From Theory to Practice. IV. Earth and Environmental Sciences - Vol. 52
- REACH – Regulation for Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals No 1907/2006
- Ramade François (1977), *Écotoxicologie*, Ed. Masson (1<sup>re</sup> édition).
- Relyea, Rick; Hoverman, Jason (2006). "Assessing the ecology in ecotoxicology: a review and synthesis in freshwater systems". *Ecology Letters*. 9 (10): 1157-1171.
- Robinson L, Thorn I. (2005). Toxicology and ecotoxicology in chemical safety assessment. Blackwell Publishing Ltd., Oxford, UK. 157 p.
- Schueuermann G, Markert B. (1997), Ecotoxicology, Wiley, NY, Chichester, Weinheim, Brisbane, Singapore, Toronto.
- Straalen, Nico M. Van (September 2003). "Peer Reviewed: Ecotoxicology Becomes Stress Ecology". *Environmental Science & Technology*. 37 (17): 324A-330A.
- Straalen, N. M. Van, Biodegradation 2002, 13, 41–52. Sci Finder Chemical Abstracts Service (August 2018).
- Truhaut, René (September 1977). „Ecotoxicology: Objectives, principles and perspectives”. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 1 (2): 151-173.
- Vergeichik T. Kh. (2009) Toxicological chemistry, textbook, (in RU)-Вергейчук Т.Х, Токсикологическая химия, учебник, Медпрессинформ, 2009, 400с.
- Walker C.H., Sibly RM, Hopkin SP and Peakall DB (1998) Principles of Ecotoxicology, 360 pages.
- Walker, C. H.; Hopkin, S. P.; Sibly, R. M.; Peakall, D. B. Principles of Ecotoxicology; 2nd ed.; Taylor & Francis: London, 2001.
- World Health Organization (1992). Promotion of Chemical Safety Unit & International Programme on Chemical Safety.
- Yufit S.S. (2002) Poisons around us. A challenge to humanity. M. (in RU): Classics Style, 2002.368 p Юфит С.С. Яды вокруг нас. Вызов человечеству. М.: Классикс Стиль, 2002. 368 с.
- Zubcov E.I.; Zubcov, N.N.; Ene, A.; Bilețchi, L. (2012), Assessment of copper and zinc levels in fish from freshwater ecosystems of Moldova. *Environmental Science and Pollution Research* 19(6), 2238-2247.
- Zubcov E., Bilețchi, L.; Zubcov, N.; Philipenko, E.; Borodin, N. (2013a)The metal accumulation in aquatic plants of Dubăsari and Cuciurgan reservoirs. *Muzeul Olteniei Craiova. Oltenia. Studii și comunicări. Științele Naturii*, 2013, 2, Том. 29, p. 216-219.
- Zubcov E.; Zubcov, N.; Bagrin, N.; Bilețchi, L. (2013b), Monitoring of trace metals in the Prut River. *Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics*, Fascicle II, Year V(XXXVI) 2013, 2, p. 232-236.
- Zubcov E.; Bilețchi, L.; Zubcov, N.; Bagrin, N. Evaluarea migrației metalelor și determinarea toleranței ecosistemelor acvatice prin cooperare transfrontalieră. *Akademos*, No.2, 2015, p. 42-48. <http://www.akademos.asm.md/taxonomy/term/81>.