

ЕКОТОКСИКОЛОГИЯ

Васил Симеонов

Резюме. Проблемите на замърсяването на околната среда изискват оценка не само на абсолютните стойности на контролираните химически замърсители, но и внимателна преценка на потенциалната им токсичност. Целта на тази статия е да даде идея за развитието на екологичната токсикология, като постави акцент върху връзката между токсичност и доза на приемане заедно с информацията за значимите по отношение на тяхната токсичност химически замърсители.

Keywords: toxicity, pollutants, xenobiotics, epidemiology

Повечето замърсители на околната среда и вредни отпадъци са обект на специално внимание поради токсичността си. *Отровата (токсично вещество)* е вещество, което уврежда живия организъм поради вредните ефекти върху тъкани, органи или нормални биологични процеси. *Токсикологията* е науката за отровите, а *екотоксикологията* – за токсичните вещества, замърсяващи околната среда. По принцип дали едно вещество е отрова или не, зависи от вида на изложения на действието му организъм, от количеството на действащото вещество и от начина на постъпване в организма. В случай че организъмът е човешкото тяло, степента на причинен вреден ефект от дадена отрова може да зависи силно от това, дали са били изложени на въздействие кожата, дихателните органи или храносмилателната система.

Отровите, които се срещат в околната среда или на работните места, могат да бъдат в няколко различни физични форми. Това може да се илюстрира с токсини, които се поемат с вдишване. Тук може да има *газообразни* токсични вещества, например въглероден моноксид във въздуха (газообразен при нормално налягане и температура на околната среда). *Парите* са вещество в газова фаза, което е изпарено от течност или сублимирало от твърдо тяло. *Прахът* се състои от твърди частици, получени от разпрашване на твърди материали, които могат да преминат през дихателния тракт, а *димът* представлява твърди частици, получени от кондензация на пари от метали или метални оксиди. *Мъглата* се състои от течни капки.

Много често токсичните вещества са в разтвор или са смесени с други вещества. Веществото, с което токсичният компонент е свързан (например с разтвора, в който

е разтворен, или твърдата фаза, в която е диспергиран), се нарича *матрица*. Тя може да окаже силен ефект върху токсичността на отровното вещество.

Има редица величини, които са свързани с начина, по който живият организъм е изложен на действието на токсични вещества. Много важни сред тях са дозата, концентрацията на токсичното вещество, продължителността на въздействие, честотата на излагане на въздействие, степента на експониране към токсичното въздействие, мястото и начинът на постъпване на отровата.

Напълно възможно е да се класифицира начинът на излагане на токсично въздействие на базата на това, дали то е акутно (еднократно, но остро отравяне) или хронично, дали е локално или систематично.

Начинът на постъпване на отровното вещество в организма зависи съществено от физичните или химичните свойства на отровата. Най-удобните „входове“ са през кожата, през белите дробове и през устата. По-малко важни са ректални, вагинални, интравенозни, мускулни места за проникване. Дихателната система поема най-често токсични газове или фини твърди или течни аерозоли. Твърдо отровно вещество може да постъпи в организма и през устата. Абсорбция върху кожата е вероятен вход за течности, разтвори и полутвърди вещества (например тиня).

Още с навлизането си в организма отровното вещество се среща с някои защитни бариери. Така например токсичният живак се абсорбира през алвеолите в белите дробове много по-лесно отколкото през кожата или храносмилателната система.

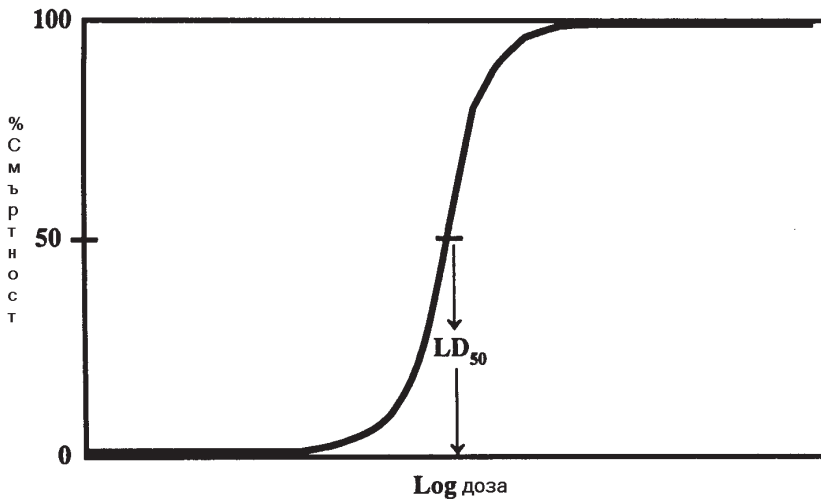
Организмите могат да служат като индикатори за различни видове замърсители. В такъв случай се говори за *биомонитори* или *биоиндикатори*. Например някои висши растения, гъби, лишей и мъхове могат да бъдат важни биоиндикатори за замърсяване на околната среда с тежки метали.

Биологичните ефекти от едновременното въздействие на две или повече токсични вещества могат да бъдат различни от тези на действието на веществата поотделно. Химическите взаимодействия между отделните вещества също могат да повлияят на тяхната токсичност. Когато две вещества оказват еднакво физиологично въздействие, техният общ ефект може да е просто *адитивен* или *синергичен* (общият ефект е по-голям от сумата на двата отделни ефекта). *Усилване* на ефекта може да се наблюдава, когато неактивно вещество повишава токсичния ефект на активно вещество, а *антагонизъм* се наблюдава, когато едно активно вещество намалява ефекта на друго, също така активно вещество.

Отровите имат широк спектър на въздействие върху организмите. В количествено отношение тук се включват минималното ниво, при което се наблюдава токсичен ефект, чувствителността на организма към малки увеличения на количеството отрова и нивата, при които се наблюдава краен ефект (обикновено смърт). Всички тези фактори се вземат предвид при отчитане на връзката между *дозата* и

реакцията на организма, която е ключовата концепция в токсикологията. *Дозата* е количеството от отровно вещество (обикновено за единица тегло), на което е изложен организъмът. *Реакцията* е ефектът върху организма, получен при излагане на отровно въздействие. За да се дефинира връзката между тях, е необходимо да се определи някаква специфична реакция (например смърт), както и условията, при които тя се получава (например времето от приемане на дозата до фаталния изход). Нека разгледаме специфичната реакция на една популация от един вид организми. При относително ниски дози никой от организмите не показва реакция (всички организми остават живи), докато при по-високи дози всички организми реагират (всички загиват). Между тези два крайни случая има поредица от дози, при които някои организми реагират, а други – не. Така може да се дефинира съответна крива за зависимостта доза/реакция. Тази зависимост е много различна за различните видове и щамове от организми, тъкани и клетъчни популации.

На фиг. 1 е показана една обобщена крива за връзката доза/реакция на организма.



Фиг. 1. Зависимост доза/реакция на организма

Крива от този вид може да се получи при внасяне на различни дози от отрова по един и същ начин към хомогенна популация от тестови животни и записване на акумулация се брой смъртни случаи като функция от логаритъма на количествения параметър на дозата. Дозата, съответстваща на инфлексната точка в S-образната крива, е статистическа оценка на дозата, която би убила 50 % от обектите, и се бележи с LD_{50} . Дози, за които биха загинали 5 % (LD_5) и 95 % (LD_{95}) от опитните

животни, могат да се оценят от графиката. Относително малка разлика между LD_5 и LD_{95} ще доведе до по-стръмна S-образна крива и обратно. Статистически разгледано, 68 % от всички стойности на кривата доза/реакция попадат в областта ± 1 стандартно отклонение от средната стойност LD_{50} и обхващат интервала от LD_{16} до LD_{84} .

Въведени са стандартни *оценки на токсичност*, които се използват за представяне на токсичността на различни вещества по отношение на човека. Когато има съществена разлика между LD_{50} стойностите за две различни токсични вещества, веществото с по-ниска стойност се определя като *по-ефективно* като отрова.

Досега отровното действие бе описвано предимно на базата на крайния ефект – загиване на живия организъм, наричан още *летален ефект*. Той очевидно е необратимо следствие от излагането на отровно въздействие. Но в редица случаи от по-голямо значение са *сублеталните и обратими* ефекти. Те са от особено значение при приемане например на лекарства, при които поемането на регистрирано лекарствено средство, водещо до смърт, е много рядко явление. Обикновено се наблюдават вредни или полезни странични ефекти. По своята същност лекарствата са в състояние да променят биопроцесите, така че потенциалната вреда от тях винаги присъства. Главното при определяне на дозата поемано лекарство е да се намери такава доза, която има адекватен лечебен ефект без нежелани странични реакции. За всяко лекарство може да се построи крива за зависимостта доза/реакция, която започва от неефективни нива, минава през ефективни (за лечението) нива, вредни нива и стига дори до летален изход. Ако тази крива е в малък наклон, това показва, че лекарството разполага с широк интервал от ефективни дози и голям *интервал от безопасни дози*. Последният термин се отнася и до други вещества, например пестициди, за които е желателно да показват големи разлики между дозата, която убива даден вид, и тази, която може само да повлияе на друг.

Сублеталните дози на повечето отровни вещества се отстраняват в крайна сметка от организма. Ако няма трайни ефекти от поемането на токсини, се говори за *обратимост*. Ако обаче ефектът е постоянен, тогава той се нарича *необратим*. Необратимите ефекти от поемането на токсини остават и след като токсичното вещество е отстранено от организма. За различните химически вещества и различните субекти на тяхното въздействие токсичните ефекти могат да варират от тотално обратими до тотално необратими.

Изследването на кривата доза/реакция показва, че някои обекти са много чувствителни на определени отрови (например онези, които загиват при доза, съответстваща на LD_5), докато други са твърде устойчиви към същите вещества (например устояват и на доза, съответстваща на LD_{95}). Тези два типа реакции илюстрират съответно *хиперчувствителността* и *хипочувствителността*. Обекти,

които попадат между тях, се дефинират като *нормални*. Тези вариации в реакцията създават проблеми в токсикологията, понеже не може да се гарантира доза, която да създава точно определена реакция дори в една хомогенна популация.

Ксенобиотиците са вещества, чужди на живия организъм, докато тези, които се срещат в биологичните системи, естествено се наричат *ендогенни*. Нивата от ендогенни вещества трябва да попадат в определен концентрационен интервал, за да осигуряват нормалното протичане на метаболитните процеси. По-ниски нива от нормалните създават реакция на дефицит или дори смърт. Същият ефект се реализира и при концентрации над нормалните нива. Примери за ендогенни вещества в организма са различните хормони, глюкоза (кръвна захар), някои необходими метални йони като калциеви, калиеви, натриеви. Оптималното ниво на калций в човешкия кръвен серум е в сравнително тесния интервал 9 – 9.5 милиграма за децилитър. Под тези стойности се наблюдава хипокалцемия, изразяваща се в мускулни спазми. При калциеви нива в серума над 10.5 милиграма за децилитър се стига до хиперкалцемия, която е свързана с бъбречни затруднения.

Темата за токсичното действие на веществата трябва задължително да се допълни с някои основни понятия от токсикохимията. Това е науката, която се занимава с химичната природа и взаимодействия на отровните вещества, включително техния произход, използване и съхраняване. Тук задължително се включват и елементи на екотоксикологията предвид вредното въздействие на много отпадни продукти и замърсители в околната среда.

Процесите, чрез които организмите метаболизират ксенобиотиците, са ензим-нокатализираните реакции, наречени *фаза I* и *фаза II*. В първия случай се метаболизират липофилни ксенобиотични вещества в тялото, които се превръщат във водоразтворими след катализиране от ензимната система цитохром Р-450, предимно в черния дроб на гръбначните. При втория тип взаимодействие става прикачване на ендогенно вещество към ксенобиотика с помощта на ензими.

Много важен момент при описание на токсичното действие на ксенобиотика е така наречената динамична фаза на неговото взаимодействие с клетките, тъканите или органите на тялото, при което се стига до токсични реакции на организма. Възможно е отровното вещество да участва в първични реакции в организма, водещи до формиране на токсични продукти. Втората група ефекти са биохимичните, които са свързани с блокиране на действието на важни ензими, изменения на клетъчните мембрани, възпрепятстване на метаболизма на въглехидрати и мазнини, спиране на биосинтеза на белтъчни вещества, нарушение на регулаторните процеси, провеждани чрез хормони и ензими. Третата група въздействия на токсините са свързани с непосредствено забележими ефекти на отравяне като висока температура, ускорен пулс, изпотяване, промени в кръвното налягане. Ня-

кои отрови могат да предизвикат необикновено оцветяване на кожата (отравяне с тетрахлорметан води до пожълтяване на кожата). Отрови или техни метаболитни продукти създават неестествен мирис на тялото (аромат на бадеми при цианидно отравяне). Наблюдават се промени в зеницата, сухота или излишна влага в устната кухина, болки в стомаха, повръщане, разстройство.

Отравяне на централната нервна система може да се прояви с конвулсии, парализа, халюцинации, липса на координация, възбуда, хиперактивност, дезориентация, делириум. Силни отрови като органофосфорни съединения или карбамати водят до кома.

Хроничните отравяния са свързани с мутации, рак, малформации при раждане, увреждане на имунната система. Проблемът в някои случаи е, че симптомите, макар и налице, не са особено добре изразени и могат да останат незабелязани. Така е при редица отравяния, свързани с промени в имунната система, хромозомни изменения, изменения на чернодробни ензими, забавяне на проводимостта на нервните импулси.

Заслужава да се споменат и някои важни за токсикологията термини, отнасящи се до типовете ксенобиотици и токсични вещества с особено вредни ефекти върху хората. Тук попадат: (а) *тератогените* – химически вещества, които причиняват малформации при раждане. Те са предизвикани от увреждане на ембрионалните клетки. Биохимичните механизми на действие на тератогените е различен: инхибиране на ензими от ксенобиотици, лишаване на зародиша от есенциални хранителни вещества (витамины), нарушаване на доставката на енергия, изменения в пропускливостта на мембраната на плацентата; (б) *мутагените* изменят ДНК при възпроизвеждане на наследствени черти. Макар че мутацията може да е и естествен процес, който се осъществява и в отсъствие на ксенобиотици, повечето от мутациите са вредни. Механизмът на мутагенно действие е подобен на този при канцерогенното, често предизвиква и дефекти при раждане. Затова мутагенните вредни вещества са в центъра на внимание на екотоксиколозите; (в) *карциногените* водят до ракови заболявания, които се характеризират с неконтролирано възпроизводство и нарастване на соматични (собствени на организма) клетки. Самите карциногенни вещества могат да се характеризират като: *химични агенти* – например нитрозамини или полициклични ароматни въглеводороди; *биологични агенти* – например вируси или ретровируси; *йонизационна радиация* – например рентгенови лъчи; *генетични фактори* – например селективно развъждане. В много случаи ракът е в резултат на действието на синтетични или естествено срещани химически съединения. Химическата карциногенеза е един от най-важните аспекти на екотоксикологията; (г) *реакциите на имунната система* са също свързани с токсични и вредни замърсители на околната среда. По принцип имунната система

действия като естествена защитна система на организма включително и от въздействието на ксенобиотици, вируси и бактерии, клетки, които могат да подпомогнат растежа на ракови тумори. Отровите могат предизвикат *имуносупресия*, т.е. потискане на естествените защитни механизми на организма. Друг вид реакция на имунната система спрямо ксенобиотици е *алергията* или *свръхчувствителността*. До такова състояние се стига, когато имунната система реагира много интензивно в присъствие на ксенобиотик или продукт на неговия метаболизъм, и то по един саморазрушителен начин. Сред различните ксенобиотици, които са в състояние да предизвикат алергични реакции, са много замърсители на околната среда като берилий, хром, никел, формалдехид, някои пестициди, смоли и пластификатори; (д) *естрогенните вещества* са група ксенобиотици, за които се предполага, че влияят на репродуктивната система на хората и животните, като наподобяват (миметично действие) или пречат на действието на естрогените. Опити с гризачи показват, че тези вещества, често наричани екзоестрогени, могат да предизвикат нарушаване на половата система, водещо до намаление на количеството сперма. Много синтетични вещества, включително фталати, алкилфеноли, органохлорни съединения и полициклени ароматни въглеводороди (всички те са сред вредните замърсители на околната среда) са екзоестрогени.

В последните години вниманието в токсикологията се измести от добре познати, обикновено тежки акутни заболявания, развивани за кратък период време от интензивно излагане на действието на отрови, към хронични, не толкова тежки заболявания, предизвиквани от дългосрочно въздействие на ниски концентрации от токсини. Макар че крайният ефект от последния вид заболявания е обикновено сериозен, тяхното проследяване, диагностициране и оценяване е много трудно поради дългия латентен период, несигурността при определяне на ниските нива на въздействие, късната поява на реално заболяване и т.н.

Критичен момент при оценяване на въздействието на токсичните вещества, например такива от вредните и опасни отпадъци, е определянето на възприемчивостта на организма към различните отрови. Много се знае за въздействието на тежки метали, радиоактивни вещества, някои минерали като азбест и за реакциите на организма към тях. В същото време много органични вещества са все още недостатъчно изучени по отношение на токсични ефекти и тяхната външна проява. Помощ в това отношение оказват така наречените *епидемиологични изследвания*, прилагани главно към замърсители на околната среда (например от вредните отпадни продукти и химикали). При тях се търси корелация между определен вид заболяване и вероятното излагане на населението (категория работници или служители и други хора, обединени по някакъв принцип) на вредно въздействие на ксенобиотици. Съществуват два основни подхода при подобен род изследва-

ния. Единият от тях предвижда търсенето на заболявания, за които се знае, че се причиняват от вещества, срещащи се в района на изследването – като емисии от вредни замърсители на околната среда. Вторият подход изисква търсенето на групи от ненормално висок брой случаи на определен вид заболяване в ограничен географски район и опит за локализиране на източниците на замърсяване с вредни вещества. Най-често наблюдаваните заболявания в подобни групи от пациенти са различни видове рак, спонтанен аборт и малформации при раждане.

Епидемиологичните изследвания се затрудняват от дългите латентни периоди от излагането на токсично действие до поява на симптоми; от липсата на специфична корелация между токсичната експозиция към даден вид замърсител и появата на заболяване; от липсата на достатъчна информация за фоновите нива за дадена болест при липса на въздействие на ксенобиотици, способни да причинят тази болест.

Важен момент в оценката на риска от определени здравни проблеми при въздействие на вредни замърсители е екстраполацията от експериментално получените резултати. Обикновено необходимият краен резултат е оценка, която показва кога има *малък брой* заболявания при хората, изложени на въздействието на *ниски нива* токсикант за *дълъг период* от време след *продължителен* латентен период до поява на симптоми. Получените данни са почти винаги от експерименти с опитни животни, изложени на високи нива от вредното вещество за относително кратък период от време. Екстраполацията става с използване на линейни или нелинейни зависимости, описващи експерименталните резултати. Тази екстраполация води за заключения обаче не за опитните животни, а за хората и съдържа голям процент несигурност и неопределеност.

Токсикологичните изследвания и заключения са много важни при оценка на потенциалната опасност от замърсителите и вредните вещества в околната среда. Едно от основните направления, където токсикологията се припокрива с темата за токсичните замърсители, е така наречената *оценка на здравния риск*. С нейна помощ може да се постигне управление на риска, да се създадат правила за регулиране, да се изпитат средства за елиминиране на замърсяването. Това налага познаване на всички особености на даден район, източниците на възможно замърсяване и токсикологичните свойства на отпадните продукти и замърсители.

Много важно е да се познават токсичните ефекти поне на някои основни замърсители на околната среда или вредни вещества, преминаващи в нея като отпадни продукти. Това означава, че е необходимо да се обърне внимание на токсичността на различните форми, в които съществуват замърсителите – елементна (тежки метали, някои халогенни елементи); неорганични съединения, много от които са резултат на промишлени процеси; органични вещества (например пестициди, бойни отровни вещества). Съществуват много източници на информация за

токсичността на различните химически вещества, като доста полезна информация се съдържа в така наречените „токсикологични профили на Агенцията за токсични вещества и регистър на болестите, накратко АТВРБ“ към Министерството на здравеопазването на САЩ (Department of Health and Human Services). Тук ще се представят някои основни токсични замърсители и техните ефекти върху човешкото здраве: (1) *Озон*. Той проявява няколко токсични ефекта. Въздухът, съдържащ 1 ppm (обемни части) озон, има характерен мирис. Вдишването на озон при това ниво предизвиква сериозно дразнене на дихателните пътища и очите, както и главоболие. Може да се стигне дори до фатален белодробен едем (натрупване на течност в белодробната тъкан). Наблюдавани са и хормонални увреждания. Озонът създава свободни радикали в тъканите. Те са много реактивоспособни частици и могат да предизвикат деструктивни окислителни процеси. Веществата, които предпазват организма от вредните ефекти на озона, са антиоксидантите; (2) *Бял фосфор*. Той може да постъпи в тялото чрез вдишване, при контакт с кожата или през устата. Той е отрова, която се пренася през тялото до орган, далеч от мястото на проникване на отровата в организма. Белият фосфор предизвиква анемия, разстройство на храносмилателната система, чупливост на костите, очни увреждания. Въздействието му може да предизвика състояние, при което челюстната кост се изкривява и чупи; (3) *Халогенни елементи*. *Флуорът* е силно реактивоспособен бледожълт газ, който е силен окислител. Той дразни и атакува кожата, очите, лигавиците на носа и дихателните пътища. *Хлорът* е газ, който дразни дихателната система. Дори краткотрайно вдишване на хлор при нива във въздуха 1000 ppm води до смърт. *Бромът* е летлива тъмночервена течност, която е токсична при вдишване или поглъщане. Както другите два халогена и той дразни лигавиците и предизвиква белодробен отток. Токсичното му действие е донякъде ограничено поради лесното му откриване в околната среда чрез характерния му дразнещ мирис. Твърдият *йод* дразни белите дробове. Относително ниското му парно налягане ограничава въздействието му чрез пари; (4) *Тежки метали*. Макар че не е типичен тежък метал, *берилият* е един от най-опасните токсични елементи. Най-сериозният токсичен ефект е берилиозата – състояние, характеризиращо се с фиброза на белите дробове и пневмония и което може да се прояви след латентен период от 5–20 години. Той предизвиква също така рани и язви по кожата. *Кадмият* въздейства неблагоприятно на функциите на някои ензими, предизвиква болезнено заболяване на костите, уврежда бъбреците. Вдишване на прах от кадмиев оксид води до белодробен едем и некроза на белите дробове. *Оловото* е широко разпространено като метал, неорганични и органооловни съединения. Причината е за множество токсични ефекти, включително инхибирането на синтез на хемоглобин. Оловото влияе негативно на централната и периферната нервна система

и бъбреците. *Арсенът* е металоид, който образува редица токсични съединения. Диарсеновият триоксид се абсорбира през белите дробове и червата. В биологично отношение ефектът на арсена се свежда до коагулиране на белтъците, до образуване комплекси с коензимите и така блокира действието им, до пречене на произвеждането на аденозин трифосфат при метаболитните процеси, включващи използване на енергия. Пари от *живак* могат да постъпят в организма чрез вдишване и могат да се отнесат от кръвния поток до мозъка. Там живакът прекъсва метаболитните процеси, с което предизвиква тремор и психопатологични симптоми като срамежливост, безсъние, депресия и обърканост. Двувалентният живак Hg^{2+} уврежда бъбреците, а органоживачните съединения (като диметилживак) са изключително отровни; (5) *Циановодородната киселина и цианидните соли* са бързодействащи отрови. Една доза само от 60–90 милиграма е достатъчна, за да убие човек. Цианидът свързва желязото от съдържащи желязо ензими, като по този начин пречи на процеса, по който тялото използва кислород. Клетките не получават кислород и метаболизмът се прекъсва; (6) *Въглероден моноксид*. Той е много честа причина за инцидентни отравяния. При нива от 10 ppm CO във въздуха настъпва увреждане на зрителното възприятие и способността за реална преценка на събитията. При нива от 100 ppm се наблюдава световъртеж, главоболие и слабост. Загуба на съзнание става при излагане на концентрации от 250 ppm, а вдишване на нива 1000 ppm причиняват бърза смърт. Хроничното дългосрочно въздействие при ниски нива предизвикват смущения в дихателната система и сърдечната дейност. При навлизане в тялото въглеродният моноксид се свързва с хемоглобина, превръщайки оксигемоглобина в карбоксигемоглобин. Последният е много по-стабилен от оксигемоглобина, така че с образуването си пречи на хемоглобина да пренася кислород до тъканите; (7) *Азотни оксиди*. Двата азотни оксида NO и NO_2 са типични замърсители в атмосферата и достатъчно токсични. Азотният диоксид е по-токсичен и може да предизвика сериозно увреждане и възпаление на белите дробове, водещо до белодробен едем. При сериозни отравяния с него се стига до смърт приблизително три седмици след поемането. Смърт може да настъпи и при кратки периоди на поемане, при вдишване на концентрации от 200–700 ppm NO_2 . В биологично отношение азотният диоксид разрушава някои ензимни системи, действайки подобно на озона. Диазотният оксид – другият токсичен оксид на азота, се използва в стоматологията като анестетик под емпричното название „райски газ“. Той потиска централната нервна система и може да предизвика задушаване; (8) *Халогеноводороди*. Както *флуороводородът* в газова форма, така и водният му разтвор като *флуороводородна киселина* са изключително опасни и предизвикват дълбоки кожни язви или разрушаване на горните дихателни пътища. Раните заздравяват трудно и може да се развие гангрена. Флуорид-

ният йон е токсичен под форма на разтворими флуоридни соли, като предизвиква флуороза – състояние, характеризиращо се с изменения в костите и омекване на зъбите. Домашните животни са особено уязвими към отравяне, ако замърсяване от флуорид попадне (например при валеж) върху пасището. Животните се парализират и умират. Обикновеният източник на замърсяване е промишленото производство. Интересно е, че ниски нива флуорид (около 1 ppm) се добавят понякога в питейна вода за предотвратяване на зъбен кариес. *Газообразният хлороводород* и водният му разтвор – *солна киселина*, са по-малко токсични от съответните флуорни субстанции. Солната киселина присъства като разреден разтвор в стомаха на хората и някои животни. Вдишването обаче на пари от хлороводород може да предизвика спазми на ларинкса, белодробен едем и дори смърт при високи нива; (9) *Халогенни оксиди и интерхалогени*. Съединения от вида ClF , $BrCl$, BrF_3 са изключително реактивоспособни и макар че трудно могат да постъпят в биологичните системи в изходното си състояние поради склонността си да взаимодействат лесно и бързо, все пак при работа с подобни опасни реактиви или отпадни продукти трябва да пазим от пряк контакт кожата, очите, устата, гърлото. *Халогенните оксиди* са обикновено нетрайни, силно реактивоспособни и токсични. В бита е добре позната белината – натриева сол на хипохлорната киселина, която лесно възплавява очите и лигавиците, кожата; (10) *Неорганични съединения на силиция*. *Силициевият диоксид* (пясък, кварц) е широко разпространен минерал. При вдишване на прах от силициев диоксид (от строителни материали, пясъчноструйно почистване и т.н.) се стига до силикоза, разглеждана като типично професионално заболяване. Пострадалите стават много податливи на пневмония и други белодробни заболявания. Силикозата се причинява от излагане на вредните отпадни продукти на промишлена дейност (в случая високо ниво на запрашаване) и може да доведе до смърт поради недостиг на кислород или сърдечна недостатъчност. *Силициевият тетрахлорид* ($SiCl_4$) и *трихлорсиланът* ($SiHCl_3$) се използват при производството на чист силиций за полупроводниковата промишленост. И двете съединения са димящи течности, които при взаимодействие с вода отделят пари от солна киселина, поради което причиняват възпаление на очите, носната кухина и белите дробове. Миризмата от тях води до повръщане; (11) *Неорганични фосфорни съединения*. *Фосфинът* (PH_3) е безцветен газ, който се samozапалва при $100^\circ C$ и е потенциален вреден замърсител при промишлени процеси и лабораторна работа. Симптоми на отравяне с фосфин са възпаление на белите дробове, потискане на централната нервна система, умора, повръщане и трудно, болезнено дишане. *Фосфорният пентахлорид* се използва като катализатор при промишлени синтетични процеси и като суровина при някои химически производства. Той реагира лесно с вода, при което се получават солна и фосфорна кисе-

лина. Поради възможността за такова взаимодействие фосфорният пентахлорид е токсичен, със силно възпалително действие върху кожата, очите и лигавиците; (12) *Неорганични съединения на сярата*. *Сероводородът* е безцветен газ с мирис на развалени яйца и е много токсичен. В някои случаи вдишването му убива по-бързо от действието на циановодород. Бърза смърт настъпва при нива около 1000 ppm поради парализа на дихателната система. По-ниски концентрации предизвикват главоболие, световъртеж и силна възбудимост, което е резултат от увреждане на централната нервна система. *Серният диоксид* е дразнител на очите, кожата, лигавиците и дихателните пътища. *Сярната киселина* е най-произвежданият синтетичен продукт. Тя е силно корозивна, има дехидриращо действие. Бързо прониква през кожата и предизвиква тъканна некроза, приличаща на тази от изгаряния. Парите на сярната киселина и мъгла от капчици във въздуха дразнят очите и дихателната система, а при постоянен контакт с тях се разрушават и зъбите; (13) *Органометални съединения*. Най-много сведения има за тетраетиловото – безцветна, плътна течност, която доскоро се използваше масово като добавка към бензина. Тетраетиловото показва силен афинитет към липиди и може да постъпи в организма чрез вдишване, чрез поглъщане или чрез абсорбция върху кожата. То засяга централната нервна система със симптоми като умора, слабост, конвулсии. Възстановяването от отравяне е много продължителен процес. При много високи нива на експозиция е възможно настъпване на смърт два дни след поемането на отровата. Силно токсичен е *трибутилкалейт*, използван масово в състава на фунгициди, инсектициди и бактерициди. Той бързо се абсорбира през кожата, атакува протеините и пречи на функциите на митохондриите; (14) *Органични токсични вещества*. Списъкът на АТВРБ е изключително дълъг, за да бъде обобщен накратко. Все пак има някои типични представители с директно отношение към проблемите с околната среда. *Газообразните мастни въглеводороди* (*метан, етан, пропан, бутан, етилен, ацетилен*) са типични асфиксанти (затрудняващи дишането вещества) – течните атакуват кожата, а представителите с разклонени въглеродни вериги действат върху централната нервна система. *Ароматните въглеводороди* са силно токсични. *Бензолът* уврежда костния мозък, предизвиква кожни възпаления, едеми и мехури. Концентрации на бензол от 7 грама за кубичен метър въздух водят до остро отравяне в рамките на един час поради наркотичното му действие върху централната нервна система, проявяващо се с възбудимост, депресивност, обилно потене, припадъци и смърт. Десет пъти по-висока концентрация на бензол води до фатален край за няколко минути. Друг представител на тази голяма група съединения е *нафталинът*, който предизвиква анемия и намаление на броя на червените кръвни телца, както и кожен дерматит. Високи нива от него водят до бъбречни

увреждания и смърт. Вече се спомена, че *полицикличните ароматни въглеводороди* са канцерогенни. Много добре познато и дори популярно сред всички хора е действието на някои *алкохоли*. *Метанолът* е предизвикал много смъртни случаи, когато е поеман вместо спиртната напитка етанол. Той се окислява метаболитно до формалдехид и мравчена киселина, предизвиква ацидоза, влияеща силно на централната нервна система и очния нерв. Остри отравяния с него водят до безсъзнание, сърдечна недостатъчност и смърт. В по-леките случаи обаче може да се стигне до ослепяване. *Етанолът* обикновено се приема чрез храносмилателната система, но може да се абсорбира от пари върху белодробните алвеоли. Етанолът се окислява метаболитно по-бързо от метанола – най-напред до ацеталдехид и след това до въглероден диоксид. Той бързо потиска дейността на централната нервна система – забавени реакции, отравяне, унес, и при повече от 0.5 % съдържание в кръвта – смърт. Хроничните ефекти от отравяне с етанол са алкохолизъм и чернодробна цироза. *Етиленгликолят* се използва широко като антифриз. Той има ниско парно налягане и поради това излагането на опасни експозиции от пари на етиленгликол не е често явление. Но вдишването на капки от него може да е много опасно. Попаднал в организма, етиленгликолят отначало стимулира централната нервна система, а после силно я потиска. При метаболизма му се образува гликолова киселина, на по-късен етап – оксалова киселина, чиито неразтворими калциеви соли запушват бъбреците. *Фенолът*, макар и използван като антисептик в медицината, е силна протоплазмена отрова. Острите отравяния с него въздействат на стомашночревния тракт, на бъбреците и белите дробове. От групата на *алдехидите* и *кетоните* най-широко разпространение и силно изразен токсичен ефект има *формалдехидът*. В чист вид той е безцветен газ с остра, задушлива миризма. Водният му разтвор се нарича *формалин*. Токсичното действие се дължи на метаболитния му продукт мравчена киселина. Може да предизвика ракови заболявания на белите дробове. *Диетиловият етер*, познат само като *етер*, е анестетик. В ниски дози причинява замъгляване на съзнанието, унес. В по-високи дози – безсъзнание и дори смърт. *Амините* са следваща група токсични съединения, като представителите на масните амини, попаднали в организма, предизвикват некроза на тъканите, особено на черния дроб и бъбреците. *Анилинът* (представител на ароматните амини) е широко използван промишлен реактив. Той може да проникне в тялото чрез вдишване, поглъщане и през кожата. При метаболитни процеси анилинът превръща двувалентното желязо от хемоглобина в тривалентно, което предизвиква състояние, наречено метемоглобинемия. Много силни отрови са *органохалогенидните*, *органосулфидните* и *органофосфорни* съединения, които са доста разпространени поради използването им като пестициди, суровини за

химическата промишленост, катализатори, странични продукти от изгаряне на битови отпадъци, бойни отрови, някои от които са използвани в политически военни конфликти.

ПРЕПОРЪЧИТЕЛНА ЛИТЕРАТУРА

Alexander, D.E. & Fairbridge, R.W. (1999). *Encyclopedia of environmental sciences*. Hingham: Kluwer.

Manahan, S.E. (1992). *Toxicological chemistry*. Boca Raton: CRC Press.

Stine, K.E. & Brown, T.M. (1996). *Principles of toxicology*. Boca Raton: CRC Press.

ECOTOXICOLOGY

Abstract. The serious problems of the environmental pollution require assessment not only of the absolute values of the controlled chemical pollutants, but careful consideration of the potential toxicity. The major goal of the paper is to present some basic idea of the development of the ecological toxicology, to stress on the relationship between toxicity and dose of acceptance and to inform on the substantial chemical pollutants with respect to their toxic effects.

✉ **Prof. Dr. Vasil Simeonov, DSc.**

Department of Analytical Chemistry,

University of Sofia,

1 James Bourchier Blvd.

1164 Sofia, BULGARIA

E-mail: VSimeonov@chem.uni-sofia.bg