

PERSISTENTNÍ, BIOAKUMULATIVNÍ A TOXICKÉ LÁTKY V PROSTŘEDÍ

PERSISTENT, BIOACCUMULATIVE AND TOXIC CHEMICALS IN THE ENVIRONMENT

HOLOUBEK I.

RECETOX (Research centre for Environmental Chemistry and EcoTOXicology), MASARYKOVA UNIVERZITA V BRNĚ

Souhrn: Organické látky, jež můžeme charakterizovat jako látky persistentní, s tendencí k bioakumulaci a vykazující různé toxické účinky pro člověka a další organismy jsou označovány jako PBTs (Persistent, Bioaccumulative, Toxic substances). V této souvislosti se může jednat o jednotlivou látku nebo směs látek vyznačujících se (a) podobnými vlastnostmi a tím, že jsou společně emitovány do prostředí, (b) vznikem směsi doprovázející určitý produkt. V závislosti na jejich pohyblivosti, mohou nabývat lokálního, regionálního nebo globálního významu. Podskupina PBL látek je označována jako POPs (Persistentní Organické Polutanty), je skupinou látek s významnou tendencí k dálkovému transportu. Globální rozšíření těchto látek vedlo k tomu, že byly detekovány v oblastech jako je Arktika, kde nikdy nebyly používány nebo vyráběny, a to v množstvích představujících toxické riziko pro volně žijící organismy a člověka.

Klíčová slova: Chemické látky v prostředí, persistence, bioakumulace, toxicita

Summary: Organic substances that are persistent, bioaccumulative and possess toxic characteristics likely to cause adverse human health or environmental effects are called PBTs (Persistent, Bioaccumulative, Toxic substances). In this context, "substance" means a single chemical species, or a number of chemical species which form a specific group by virtue of (a) having similar properties and being emitted together into the environment or (b) forming a mixture normally marketed as a single product. Depending on their mobility in the environment, PBTs could be of local, regional or global concern. Subclass of PBTs so called POPs (persistent organic pollutants) is group of compounds, which are prone to long-range atmospheric transport and deposition. The global extent of POP pollution became apparent with their detection in areas such as the Arctic, where they have never been used or produced, at levels posing risks to both wildlife and humans.

Key words: Environmental chemicals, persistence, bioaccumulation, toxicity

Úvod

Organické chemické látky dnes můžeme najít rozšířené prakticky po celé planetě a to i na místech tisíce kilometrů vzdálených od místa původního použití. Dostávají se do jednotlivých složek prostředí z různých zdrojů a to jak přírodních, tak i antropogenních. Ve většině případů dnes dominují vstupy z různých antropogenních technologií. Látky mohou být transportovány ve složkách, kam byly primárně emitovány, mohou přecházet přes mezifázové rozhraní do dalších složek prostředí, během tohoto svého transportu mohou být chemicky transformovány a vytvářet sekundární znečištění. Mohou se také díky svým vlastnostem kumulovat jak v abiotických složkách prostředí, tak v živých organismech. Po vstupu do živých organismů se mohou projevit jejich negativní, škodlivé vlastnosti (1-4).

ŠKODLIVÉ CHEMICKÉ LÁTKY V PROSTŘEDÍ

Můžeme si definovat tzv. environmentálně nebezpečné chemické látky - chemický prvek nebo sloučeninu, které mohou být nebezpečné přírodnímu prostředí již v malých koncentracích, protože jsou toxické, mohou být odolné vůči různým formám rozkladu, mají tendenci ke kumulaci v abiotických i biotických složkách prostředí.

Nejproblematictější vlastnosti z hlediska možného nebezpečí pro životní prostředí jsou:

- ! toxicita
- ! persistence
- ! schopnost kumulace a bioakumulace
- ! schopnost dálkového transportu
- ! produkce v určitém množství
- ! určitá environmentální hladina

Definujme si tyto základní pojmy (1, 2, 5-7, 8).

Persistence je definována jako schopnost látky zůstat v

prostředí po dlouhou dobu bez změny. Persistentní látky jsou odolné vůči chemickému, fotochemickému, termickému i biochemickému rozkladu. To umožňuje jejich koloběh v prostředí a kumulaci v půdách, sedimentech i živých organismech.

Bioakumulace (hromadění v živých organismech) je proces, během kterého živé organismy mohou zachytávat a koncentrovat chemické látky buď přímo z okolního prostředí, ve kterém žijí nebo nepřímo z jejich potravy.

Jako toxicita se definuje schopnost látky způsobovat poškození nebo smrt živých organismů. PBTs jsou toxické pro různé organismy. Některé z nich mohou způsobovat vznik rakoviny, jiné podporují její průběh, řada z nich způsobuje vznik imunologických, reprodukčních, vývojových a dalších poruch. Dálkový transport je to schopnost látky cestovat od původního zdroje do oblastí vzdálených stovky až tisíce kilometrů, kde se nikdy nevyráběly a nepoužívaly (například Arktidy a Antarktidy). Pohyb látek v prostředí, přechody mezi složkami v prostředí a reakce v prostředí označujeme jako osud chemických látek v prostředí. Zahnuje:

- ! vstup do jednotlivých složek prostředí během produkce a spotřeby
- ! transport danou složkou prostředí, event. kumulace v této složce
- ! přechod do jiné složky prostředí přes mezifázové rozhraní
- ! transport novou složkou a další přechody – koloběh prostředím
- ! chemické, biochemické, fotochemické, termické reakce v prostředí, vznik metabolitů a reakčních produktů vedoucích k sekundárnímu znečištění

Výsledkem je distribuce chemické látky v prostředí, její koloběh prostředím, možný globální výskyt a možné vlivy na organismy, jejich populace, společenstva a ekosystémy.

CHEMICKÉ LÁTKY V PROSTŘEDÍ A MEZINÁRODNÍ KONVENCE

Pravděpodobně nejpřírodnější skupinou organických sloučenin v prostředí jsou látky označované jako semivolatilní, persistentní organické polutanty (SPOPs). Jsou definovány jako skupina organických sloučenin, jejichž dominantními fyzikálně-chemickými a environmentálně-chemickými vlastnostmi jsou odolnost vůči různým degradačním procesům, malá rozpustnost ve vodě, lipofilní charakter, z toho plynoucí výrazná tendence k bioakumulaci a polotěkavost umožňující globální atmosférický transport. Termín POPs je dnes nejčastěji používán v rámci protokolu o persistentních organických polutantech v rámci úmluvy o dálkovém, přeshraničním transportu látek znečišťujících ovzduší (The Convention on Long-range Transboundary Air Pollution) (5). Tato konvence je v působnosti Evropské hospodářské komise OSN (UN ECE) a zahrnuje Evropu, USA a Kanadu. V současné době se připravuje další mezinárodní protokol zaměřený na tuto skupinu látek, v tomto případě globálního dosahu a to protokol UNEP/IFCS (United Nations Environmental Programme/International Forum on Chemical Safety) (6, 7). V současné době jsou tyto látky obecněji označovány jako persistentní látky s tendencí k bioakumulaci a toxickými vlastnostmi – tzv. PBTs (Persistent, Bioaccumulative, Toxic) nebo se můžeme také setkat s pojmem persistentní, toxické látky PTS (Persistent, Toxic Substances) (8).

OSUD CHEMICKÝCH LÁTEK V PROSTŘEDÍ

Vlastnosti PBT látek umožňují jejich cirkulaci mezi jednotlivými ekosystémy, přičemž ovzduší je hlavní složkou, v němž k přenosu dochází. Vzhledem k převládajícímu charakteru globálního atmosférického proudění, semivolatilitě a jejich sklonu k postupnému znovu-vypařování, dochází k systematické migraci těchto látek do chladnějších zeměpisných oblastí bez ohledu na umístění původních zdrojů. Atmosférická depozice je pak převládající cestou mnoha těchto polutantů do moří a oceánů (1, 2, 5, 6, 8). Rozsáhlá měření a data z modelů dálkového transportu a difuze ukazují, že PBTs jsou v globálním ekosystému všudypřítomné, podléhají dálkovému transportu ovzduším, řekami a oceánickými proudy a jsou trvale detekovány ve vzdálených oblastech, především v citlivých a zranitelných polárních ekosystémech (1, 2, 4, 5-7). Tedy na místech velmi vzdálených od místa původní produkce, užití či likvidace a na místech, kde se většinou nikdy nepoužívaly.

Jak již bylo řečeno, je atmosféra hlavním transportním médiem PBTs na planetě. PBTs se mohou v atmosféře vyskytovat v různých podobách:

- ! adsorbované na tuhých částicích,
- ! v plynné fázi,
- ! asociované s atmosférickými aerosoly.

V porovnání s celkovým množstvím PBTs je specifická část v atmosféře v daném okamžiku relativně malá. Větší část PBTs v plynné fázi se vyskytuje především:

- ! ve vzdálených oblastech (koncentrace atmosférických tuhých částic jsou nízké),
- ! v oblastech s vysokými atmosférickými teplotami.

Atmosférický transport těchto látek je řízen jejich:

- ! fyzikálně-chemickými vlastnostmi jako jsou tenze par, rozpustnost ve vodě,
- ! chemickou stabilitou za environmentálních podmínek (zejména resistencí k
- ! fotolytické, hydrolytické či oxidativní degradaci).

I když fotochemická oxidace může přispívat k degradaci PBTs, rychlosti degradace nejsou příliš známy. Doba zdržení PBTs v ovzduší je ovlivněna zejména mokrou atmosférickou depozicí, suchou atmosférickou depozicí na tuhých částicích

a výměnou plynů na rozhraní ovzduší - zemský povrch. Rychlost depozice na povrch a emise z povrchu se velmi liší pro plyny a pro částice.

PBTs mohou vstupovat do atmosféry:

- ! přímo:
 - rozprašováním,
 - průmyslovými emisemi,
 - ze spalovacích procesů,
- ! nepřímo:
 - vypařováním,
 - větrnou erozí,
 - jemnými částicemi.

Pohyb PBTs v atmosféře se děje jak ve vertikálním, tak i horizontálním směru. Vertikální mísení mezi atmosférickými vrstvami je relativně pomalý proces ve srovnání s horizontálním pohybem. Vstupy do atmosféry mají největší význam pro následnou distribuci v terestrických a akvatických ekosystémech.

Dálkový transport z místních a regionálních zdrojů je řízen prostorovým rozložením a strukturou atmosférických, globálních toků a je zodpovědný za pohyb PBTs ze zdrojů do vzdálených oblastí.

Významnou roli v distribuci a redistribuci PBTs hrají:

- ! hlavní směry atmosférické cirkulace vzdušných mas,
- ! koncentrace aerosolů a jejich složení,
- ! teplotní gradienty.

Pohyb vzdušných mas je velmi rychlý, rychlost větru může dosahovat až 500 km.hod⁻¹.

Globální atmosférická cirkulace má následující charakter:

- ! kompletní hemisférické mísení: ~ 1 měsíce (vzdušné masy ze střední Evropy mohou díky tomu během jednoho roku „oběhnou“ zeměkouli 8-10krát),
- ! výměna vzdušných mas mezi hemisférami: ~ 1 - 2 roky.

Hlavní roli v atmosférických transportních procesech mají oblasti nízkého a vysokého tlaku s jejich cyklonálními a anticyklonálními vzdušnými toky.

Dominantní globální pohyby vzdušných mas probíhají:

- ! ve středních zeměpisných šířkách (mezi 30 °N a 60 °N) - ze západu na východ,
- ! v rovníkových regionech:
 - ze severu na východ (severní hemisféra),
 - z jihu na východ (jižní hemisféra),
 - jako výsledek hlavních větrných proudů z východu na západ.

Troposférické vzdušné masy se mohou pohybovat dále na sever v letním období díky rozšíření jihovýchodních větrů přes rovník na sever. K tomu přistupují hlavní směry větrů ze severního Pacifiku a severního Atlantiku do Arktidy. V zimním období dochází k pohybu silných vzdušných mas z euroasijského kontinentu do Arktidy a přes ni potom do Severní Ameriky.

Doba setrvání PBTs v atmosféře závisí na rozdělení mezi plynnou fází a tuhé částice a na době zdržení tuhých částic. Doba zdržení chemické látky v atmosféře je řízena chemickými transformacemi, které vedou ke vzniku různých reakčních metabolitů a tím ke vzniku xenobiotik druhé a třetí generace. Lze rozlišit jednak transport vzdušným prouděním z oblastí městských a průmyslových aglomerací, jednak resuspendaci a transport kontaminovaných sedimentů ze znečištěných oblastí. PBTs primárně emitované do atmosféry z různých zdrojů podléhají v atmosféře transformačním reakcím a mohou být transportovány na značné vzdálenosti, především sorbované na tuhé částice. Z atmosféry jsou odstraňovány

suchou a mokrou atmosférickou depozicí, její pomocí se dostávají do vody a půdy. Oceány představují velké rezervoáry PBTs s jejich rovnovážnými koncentracemi v mořské vodě tisíckrát až desítkrát vyššími než jsou koncentrace v ovzduší. Teplotní závislost fyzikálně-chemického stavu PBTs podporuje jejich transport a kumulaci v oblastech s nižšími teplotami a v polárních oblastech. Oceány jako médium přímo spojené s vodními zdroji mohou být důležité v časovém měřítku jednoho až dvou let, avšak jsou pravděpodobně důležitější jako rezervoáry PBTs, jež do nich vstupují atmosférickou depozicí.

Vodním sloupcem se postupně dostávají do sedimentů. Atmosférickou depozicí, vodou či půdou se mohou dostat do živých organismů všech typů a v nich se významně kumulovat. Například bioakumulační faktor pro vodní organismy se pohybuje v rozmezí stovek až milionů. V řadě vodních i terestrických organismů může docházet k jejich biodegradaci. Půda je těmito látkami znečišťována především v důsledku aplikací pesticidů v zemědělství, dále pak suchou a mokrou depozicí z atmosféry. Dalším zdrojem znečištění půd mohou být i zavlažování a použití kalů z čistíren odpadních vod v zemědělství, dále úniky z úložišť popílku a skládek apod. PBTs se poměrně silně váží na půdní organickou hmotu a to tím více, čím je půda bohatší na humus. Proto se poměrně zřídka dostávají průsaky půdními vrstvami do podzemních vod. Výjimkou jsou pouze písčité půdy. Poločas života v půdě se v případě některých pesticidů pohybuje mezi roky až desítkami let. Odbourávání PBTs v půdách způsobují hlavně mikroorganismy, částečně jsou odnášeny větrem z povrchu, mohou se z půdy vypařovat, na povrchu půdy může docházet k rozkladu slunečním zářením, mohou být splachovány deštěovou vodou a v menší míře i přijímány vegetací.

Rostliny nejsou schopné ve významné míře koncentrovat PBTs nacházející se v půdách. Přenos do nadzemních částí kořenovou soustavou u většiny druhů není významný. Nadzemní části rostlin (listy, plody) však mohou být znečištěny půdou, depozicí z ovzduší, případně postřikovými přípravky obsahujícími PBTs. Protože plody a listy rostlin mají povrchovou voskovou vrstvu, PBTs z ovzduší se v ní rozpouštějí. Pokud se plody nacházejí v půdě, jejich povrchové části obsahují PBTs, většinou však toto znečištění není významně vyšší než jsou obsahy v půdách.

Kontaminace zvířat nastává konzumací znečištěného krmiva, případně vdechováním. Jateční zvířata přijímají PBTs převážně z rostlinných krmiv, konzumací rybí moučky ale také půdy, kterou s krmivem požírají při pastvě. Podobně vodní živočichové mohou ve svých organismech zakonzentrovávat PBTs přítomné ve vodě nebo sedimentech.

Významná je i postupně se zvyšující koncentrace těchto látek v potravních řetězcích. Dravci představující nejvyšší články těchto přírodních vztahů mezi organismy, obsahují ve svých tělech často významně vyšší hladiny PBTs než konzumované oběti.

Ovzduší je tedy často prvotní složkou vstupu PBTs do prostředí, odtud se mohou dostávat do dalších složek prostředí a kontaminovat potravní řetězec včetně potravních řetězců člověka. Tyto látky mají v prostředí ustálený koloběh, který vede k expozici různých živých organismů, včetně člověka. Transport a distribuce PBTs v prostředí jsou určeny řadou fyzikálně-chemických vlastností a to se odráží v hodnotách charakteristik, jako jsou rozpustnost ve vodě, tenze par, konstanta Henryho zákona, rozdělovací koeficient n-oktanol-voda (K_{OW}) nebo sorpční koeficient pro organickou složku půdy či sedimentu (K_{OC}).

HLAVNÍ SKUPINY PBT LÁTEK

Mezi persistentní organické látky patří řada organických sloučenin či lépe skupin organických sloučenin jako jsou polycyklické aromatické uhlovodíky (PAHs), řada chlorovaných pesticidů (OCPs), polychlorované bifenyls

(PCBs), naftalény (PCNs), terfenyls (PCTs), polychlorované dibenzo-p-dioxiny a dibenzofurany (PCDDs/Fs) (1, 2, 5, 6, 8). Vyskytují se jako jediná chemická látka nebo jako směs chemických látek, které tvoří specifickou skupinu tím, že:

- I mají podobné vlastnosti a dostávají se do životního prostředí společně,
- I tvoří směs, která je dostupná jako určitý technický přípravek.

TOXICKÉ ÚČINKY

Laboratorní i terénní experimenty publikované v odborné literatuře potvrzují fakt, že řada persistentních organických polutantů má škodlivé účinky na lidské zdraví (1, 8). Mnohé z nich mohou poškozovat vnitřní orgány (játra, ledviny, žaludek), mohou porušovat imunitní, nervový a dýchací systém, působí na hladiny jaterních enzymů, způsobují reprodukční poruchy (například poškození plodu, jeho sníženou hmotnost, spontánní potraty), narušují hormonální rovnováhu. Některé z nich také vyvolávaly u experimentálních zvířat vznik zhoubných nádorů.

Vysoké dávky dioxinů, furanů a PCBs (profesionální expozice, konzumace potravin náhodně kontaminovaných vysokými hladinami těchto látek) vedou ke vzniku znetvořujících, těžko léčitelných vyrážek, tzv. chlorakné.

Neexistují přímé důkazy o poškození zdraví běžné lidské populace při expozici obvyklými denními dávkami PBTs, i když existují předpoklady vycházející z dlouhodobých studií, že odpovědnost například za zvyšující se výskyt rakoviny prsu mohou mít látky jako jsou PCBs, DDT či jeho metabolit DDE.

VSTUPY PBTs DO LIDSKÉHO ORGANISMU

Množství PBTs, které se dostávají do lidského organismu dýcháním, požíváním potravy nebo kontaktem s pokožkou, nepředstavují okamžité ohrožení zdraví (akutní otravu) (8).

Je však nutné mít na zřeteli, že působení PBTs je dlouhodobé a v současné době nedokážeme předpovědět na základě obsahu těchto látek v lidském organismu, zda konkrétní člověk onemocní například rakovinou nebo ne. Je také nutné si uvědomit, že na organismus člověka i jiných druhů nepůsobí pouze PBTs, ale celá řada dalších faktorů. V lidském organismu se v současné době nacházejí i jiné, neméně škodlivé chemické látky, uplatňuje se vliv nesprávné výživy, stav imunitního systému organismu, dědičnosti i další faktory.

Hranice propuknutí některé tzv. „civilizační choroby“ je u každého jedince zcela individuální a nikdo ji v současné době nedovede jednoznačně určit. V případě některých škodlivin, včetně PBTs, je sice možné na základě údajů získaných hlavně z dlouhodobých pokusů na zvířatech a odhadnuté průměrné denní dávky určit lidské populace hodnotit riziko poškození zdraví této populace, tento údaj je však hrubým odhadem poskytujícím pouze všeobecnou informaci.

Dalším problémem je to, že dosud máme minimum informací o synergických účincích více různých PBTs přítomných v organismu vedle sebe, případně jejich spolupůsobení s dalšími chemickými látkami. Tyto látky však jsou v reálném prostředí nejčastěji přítomny v podobě komplikovaných směsí. Jisté však je - čím méně persistentních organických polutantů se nachází v našem těle, tím je menší pravděpodobnost ohrožení zdraví.

PBTs jsou v současné době všudypřítomné a expozici živých organismů těmito látkami se prakticky nemůžeme vyhnout. Je tedy nutné - nejrůznějšími cestami od mezinárodních dohod až po každodenní činnost každého občana - dosáhnout toho, aby množství, které se každodenně dostává do organismu, nepřekročilo jistou, ještě tolerovatelnou hranici.

Státní orgány musí zajistit vydání právních dokumentů, které určí nejvyšší přípustné množství nebo koncentrace (limity) těchto škodlivin v různých potravinách, emisích apod. Dodržování limitů je nutné důsledně kontrolovat tak, aby člověk, konzumující potraviny z běžné obchodní sítě, nebyl vystavený během celého života takovým dávkám PBTs látek,

kteřé by mohly zapříčinit ohrožení jeho zdraví.

Většina zahraničních studií potvrzuje skutečnost, že mezi prvotní a významné cesty vstupů PBTs do životního prostředí patří emise do ovzduší a transportním médiem je atmosféra. Proto je nezbytné přijmout taková opatření, jež povedou ke snížení emisí PBTs, zlepšení kvality ovzduší, následně ke snížení jejich obsahu v potravinách a konečném důsledku i v lidském organismu. Řada těchto opatření však je finančně velmi náročná.

ZÁVĚR

Persistentní organické látky jsou v současné době předmětem neuvěřitelného množství různých chemických, toxikologických, ekotoxikologických, lékařských studií. Jejich intenzivní výzkum vedl k rozvoji celé řady analytických a toxikologických metod a k poznání celé řady nových vlastností a účinků těchto látek. Stále však víme velmi málo o účincích reálných směsí těchto látek přítomných v prostředí a živých organismech, o účincích těchto spíše antropogenních směsí a přírodních toxinů. Před deseti lety jsme ve spojitosti s těmito látkami nehovořili o narušování hormonální rovnováhy (endokrinní disrupce) a před několika lety ještě nikdo nehovořil například o těchto látkách v souvislosti s narušováním chemické komunikace v přírodě. Proč? Protože jsme o tom nic nevěděli a neměli jsme metody jak tyto efekty studovat ve spojitosti s pikogramovými, femtogramovými, atogramovými či ještě menšími množstvími určitých chemických látek. Stejně tak jsme tvrdili před léty, že například všechny planární kongenery PCDDs/Fs jsou karcinogenní. Dnes už podle IRPC je takto hodnocen pouze jeden z planárních kongenerů a to ten, jenž je považován za nejtoxičtější synteticky vyrobenou látku vůbec – 2,3,7,8-tetrachlordibenzo-p-dioxin. Víme jak se na tyto problémy budeme dívat za pět let (1, 2, 8)?

Proto bych si poněkud závěrem dovolil polemizovat s tvrzením uvedeným v článku D. Hrubé v tomto čísle (9) a to,

že: „syntetické chemické látky kontaminující životním prostředím se podílejí na karcinogenezi asi 5% (13 - Doll.R., Peto,R.: The causes of cancer: quantitative estimates of a avoidable risk of cancer in the US today. JNCI, 66, 1981, s. 1191 – 1308). A to zvláště proto, je-li tento fakt podepřen citací literatury z roku 1981). Je otázkou, zda tato kvantifikace možných karcinogenních látek v prostředí je validní i v dnešní době, zvláště uvažíme-li, že o mnohých účincích chemických polutantů jsme před dvaceti léty věděli málo či vůbec nic. Už jenom proto, že jsme se jimi v té době vůbec nezabývali.

PBT látky představují dnes velice pestrou a komplexní směs látek všudypřítomných v prostředí. Pochopení jejich osudu a účinků vyžaduje zaměřit pozornost na studium vztahů mezi jejich výskytem v prostředí, jejich hladinami v prostředí a jejich biologickými účinky s respektováním vztahů v reálném prostředí (1-8).

Tyto cíle si klade za své také rozvíjející se spolupráce výzkumných center Masarykovy univerzity v Brně a to centra RECETOX (Research centre for Environmental Chemistry and EcoTOXicology) a ÚOC (Univerzitní Onkologické Centrum). Interdisciplinární přístup je v současné době jedině možným přístupem k řešení složitých otázek negativních účinků chemických látek v prostředí a neutěšeného množství výskytu zhoubných nádorů u české populace (8).

PODĚKOVÁNÍ:

Příspěvek vznikl na základě výsledků výzkumného záměru MŠMT ČR (Zevní prostředí – karcinogeneze – onkologie (CEZJ071400003) a výzkumných projektů TOCOEN (Toxic Organic Compounds in the ENvironment) a BETWEEN (The relationships BETWEEN environmental levels of pollutants and their biological effects).

Literatura

1. Walack H. W., Bakker D. J., Brandt I., Brostrom-Lundén E., Brouwer A., Bull K. R., Gough C., Guardans R., Holoubek I., Jansson B., Koch R., Kuylenstierna J., Lecloux A., Mackay D., McCutcheon P., Mocarelli P., Taalman R. D. F.: Controlling persistent organic pollutants – what next? Environ. Toxicol. Pharmacol. 6, 1998, s. 143-175.
2. Jones, K. C., de Voogt P.: Persistent organic pollutants (POPs): state of the science. Environ. Pollut. 100, 1999, s. 209-221.
3. Mulvad G., Pederson H. S., Hansen J. C., Dewailly E., Jul E., Pedersen M. B., Bjerregaard P., Malcom G. T., Deguchi Y., Middaugh J. P.: Exposure of Greenlandic Inuit to organochlorines and heavy metals through the marine food-chain: an international study. Sci. Total Environ. 186, 1996, s. 137-139
4. Muir, D. C. G., Wagemann, R., Hargrave, B. T., Thomas, D. J., Peakall, D.B., Norstrom, R. J.: Arctic Ecosystem contamination. Sci. Total Environ. 122, 1992, s. 75-134.
5. UN-ECE (1998): Draft Protocol to the Convention on Long-range Air Pollution on Persistent Organic Pollutants (EB.AIR/1998/2), The

- Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. United Nations Economic and Social Council, Economic Commission for Europe, 1998.
6. UNEP (1996): UNEP Survey on sources of POPs. A report prepared for an IFCS expert meeting on POPs. Manila, Philippines, 17-19 June 1996, UNEP, Geneva.
7. UNEP (1999): GEF PDF-B Regionally based assessment of persistent toxic substances. Draft Report 1st Scientific and technical evaluation Workshop on persistent manufactured chemicals produced for non-agricultural applications, persistent toxic and persistent unintentional by-products of industrial and combustion processes, Geneva, January 11-15, 1999.
8. Holoubek I., Kočan A., Holoubková I., Hilscherová K., Kohoutek J., Falandysz J. and Roots O. (2000): Persistent, Bioaccumulative and Toxic Chemicals in the Central and Eastern European Countries - State-of-the-Art Report. The 2nd version. TOCOEN REPORT No. 150a. RECETOX - TOCOEN & Associates, Brno, Czech Republic. Internet: .
9. Hrubá, D.: Životní prostředí a zhoubné bujení. Klinická onkologie, toto číslo.