

Bioindikátory radionuklidů v půdě

Problematice radioaktivního znečištění životního prostředí by se měla věnovat pozornost nejen v zemích postižených velkými jadernými haváriemi, jako byla černobylská r. 1986, ale i v ostatních zemích s jaderněenergetickými zařízeními. Při studiu vlivu provozu těchto zařízení na životní prostředí se stále více ukazuje potřeba komplexnějšího pohledu, kde by se braly v úvahu nejen vybrané typy potravních řetězců souvisejících s radiohygienickými normami, to znamená s limity dávek ionizujícího záření pro člověka.

Půdní živočichové jsou vhodnými objekty pro účely bioindikace stavu životního prostředí a ekologického monitoringu (Boháč, 1989). Mnohé druhy kumulují některé chemické látky (Pokarzhevsky a kol., 1987), a proto se využívají při studiu chemického složení prostředí. V poslední době se jako bioindikátory vlivu radionuklidů na ekosystémy uplatňují půdní bezobratlí živočichové. Určuje se obsah jednotlivých radionuklidů v jejich tělech a sleduje se význam půdních živočichů v transportu radionuklidů potravními řetězci. Zaznamenávají se také změny v druhovém složení jejich společenstev, v početnosti a struktuře jejich populací. Tyto výzkumy se uskutečňují jak v oblastech se zvýšeným radiačním pozadím (Krivolutsky, Martushov, Boháč, 1992), tak i v místech s radioaktivním znečištěním z jaderných havárií (Krivolutsky, Pokarzhevsky, 1992; Kolektiv, 1993). Jako bioindikátory obsahu radionuklidů v životním prostředí se používají půdní bezobratlí živočichové zejména proto, že jejich společenstva jsou značně druhově rozmanitá a spojena různorodými ekologickými vztahy s dalšími organismy v okolním prostředí. Mnohé druhy jsou také značně citlivé k působení radionuklidů. Velmi významné je i to, že půdní živočichové mají vysokou zoomasu (tvoří 60-95 % zoomasy v suchozemských ekosystémech) a jsou často důležitým mezičlánkem nebo konečným článkem potravních řetězců se značnou schopností kumulovat radionuklidy.

Mluvíme-li o biomonitorování radionuklidů, vyvstává otázka, proč na to používat živočichy a organismy vůbec, existují-li velmi citlivé instrumentální metody měření úrovně tohoto znečištění v různých neživých složkách přírody (ovzduší, vodě). Důvod je ten, že i velmi citlivé a přesné přístroje neumožňují převedení fyzikálních a chemických údajů na údaje biologické, které by ukázaly vhodnost prostředí pro život člověka.

Hlavní ekologické skupiny půdních živočichů a jejich citlivost k působení radionuklidů

V současné radioekologii existují 4 hlavníměry výzkumu:

- *Určení kvalitativního a kvantitativního obsahu radioaktivních proků v organismech;*

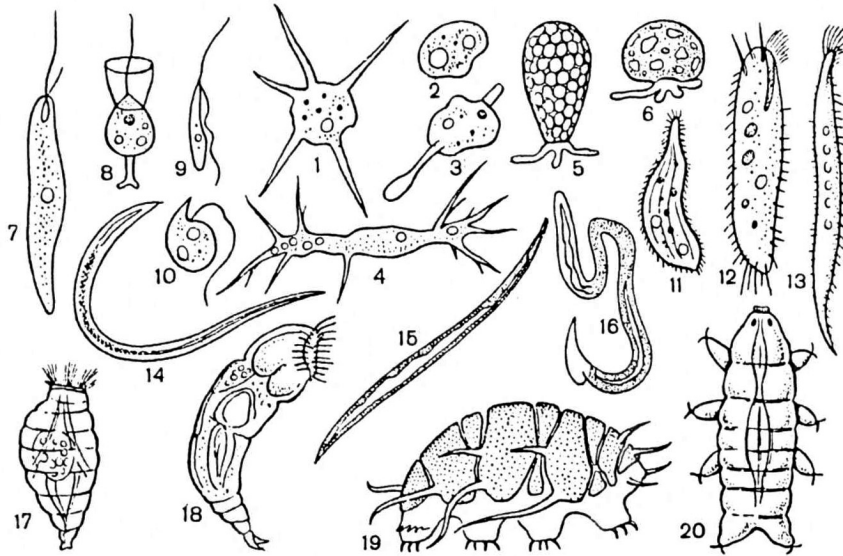
- *Studium transportu radionuklidů v ekosystémech;*
- *Určení biologického vlivu vnějšího a vnitřního (prostřednictvím inkorporovaných radionuklidů) ozáření na organismy;*
- *Studium zákonitostí změn struktury a dynamiky populací a společenstev organismů v podmínkách radiačního ozáření.*

Vliv radionuklidů na půdní faunu závisí na koncentraci radionuklidů, charakteru záření, poločas rozpadu, fyzikálním stavu a vlastnostech chemické sloučeniny se kterou se vážou, a také na schopnostech organismů kumulovat a vylučovat radionuklidy.

Schopnost vylučovat radionuklidy je závislá na velikosti půdních živočichů. Je známo, že uvnitř jednotlivých systematických skupin půdních živočichů (mnohonožky, hmyz, roztoči) se doba vylučování radionuklidů s velikostí těla prodlužuje (Reichle, 1969). Rozměr půdních živočichů ovlivňuje také způsob jejich života (zejména způsob kontaktu se znečištěnou půdou a potravní vztahy), a tím i jejich citlivost k ionizujícímu záření a schopnost kumulace radionuklidů. Půdní bezobratlé můžeme rozdělit podle velikosti na *mikrofaunu* (délka těla 0,001-0,1 mm), *mezofaunu* (0,1-2,0 mm) a *makrofaunu* (více než 2 mm). Hlavní zástupci těchto velikostních skupin jsou na obr. A, B a C.

Velikost těla významně ovlivňuje způsob života půdních organismů. Drobní zástupci mikrofauny žijí v půdě často ve vodním prostředí, protože se vyskytují v drobných půdních kapilárách a na povrchu půdních částic pokrytých vodou. Kumulace radionuklidů u těchto tzv. geohydrobiontů probíhá podobně jako u vodních bezobratlých. Mnozí půdní živočichové žijící v pórech zaplněných vzduchem nasyceným vodními parami (geotmobionti) mají tělní pokryv slabší než ty, které žijí na povrchu půdy nebo v rostlinném opadu, a proto se radionuklidy do jejich organismů snadněji dostávají přes povrch těla (Kolektiv, 1993).

Epiedafiční bezobratlí žijící na povrchu půdy mají častěji větší rozměry těla, jsou pohyblivější a mají většinou silnější tělní pokryv, zabraňující jejich vysychání. Z těchto důvodů je u nich možnost průniku radionuklidů přes povrch těla omezena a radionuklidy se dostávají do jejich organismů hlavně s potravou. Larvy těchto druhů, které mají většinou slabší tělní pokryv a jsou méně pohyblivé, kumulují radionuklidy více (Krivolutsky, Turchaninova, 1972).

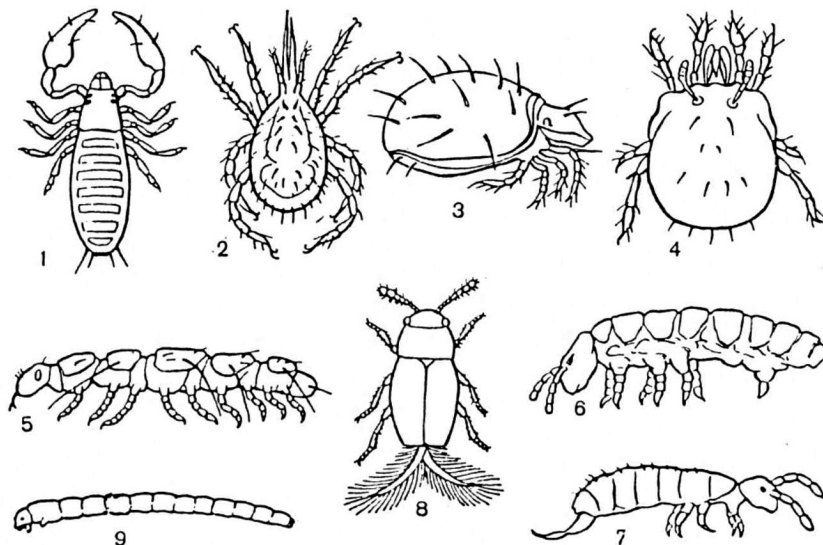


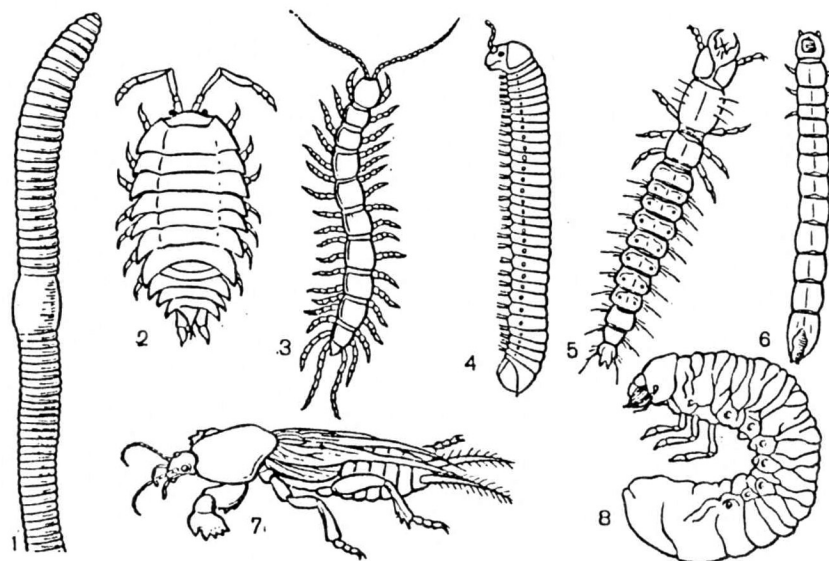
A - půdní mikrofauna: 1-4 - měňavky, 5-6 - krytenky, 7-10 - bičkovci, 11-13 - nálevníci, 14-16 - hlístice, 17-18 - vířníci, 19-20 - želvušky.

Druh potravy také ovlivňuje schopnost kumulace radionuklidů. Obecně platí, že kumulace je méně intenzivní u fytofágních druhů než u dravců (Krivolutsky, Pokarzhevsky, 1974). V závislosti na způsobu života jsou půdní živočichové v jednom místě v různě intenzivním kontaktu s radionuklidy - od živočichů kontaktujících náhodně, ob-

časně anebo stále. Avšak i při stálém kontaktu s radionuklidy na jednom místě je stupeň kontaktu různě intenzivní. Tak např. žížaly jako jediné mezi živočichy pohlcují půdu a do jejich těla se tak dostávají i některé radionuklidy, které kořenové systémy rostlin nepřijímají. Proto jsou silně ozařovány i zevnitř, což má velký význam zejména pro

B - půdní mezofauna: 1 - štírek, 2 - roztoč ze skupiny Acaridia, 3-4 - roztoč ze skupiny Oribatei (pancířník), 5 - drobnuška, 6-7 - chvosťoskok, 8 - brouk pírník, 9 - larva pakomára.





C - půdní makrofauna: 1 - žížala, 2 - stejnoonožec (beruška), 3 - stonožka, 4 - mnohoonožka, 5 - larva střevlíka, 6 - larva kovaříka, 7 - kr-tonožka, 8 - larva chrousta. (Podle Dungere, 1974.)

zářiče alfa. Z těchto příkladů je zřejmé, že objasnění následků vlivu radioaktivního znečištění je velmi závislé na znalosti ekologie jednotlivých druhů.

Význam půdních živočichů v migraci radionuklidů

Značná část umělých radionuklidů může být při jejich spadu na půdu vtažena do biologického koloběhu látek mimokořenovým příjmem rostlin nebo dýchací soustavou či pokožkou živočichů. Pro radionuklidy, které se dostaly do biogenního koloběhu, jsou potravní řetězce hlavním způsobem dalšího přenosu v suchozemských ekosystémech. Jako příklad můžeme uvést kumulaci ^{137}Cs živočichy v ekosystému lesostepi (tab. 1) a srovnat ji s kumulací ^{90}Sr (Boháč, Krivolutsky, Antonova, 1989). Obsah ^{137}Cs v tělech živočichů představuje asi 0,03 % celkového množství radioaktivního cesia v ekosystému lesostepi. Cesium je totiž silně absorbováno v půdě, především na jílovitých částicích a na částicích s velkým obsahem organického materiálu. Na druhé straně půdní živočichové kumulují ve svých tělech skoro 96 % ^{137}Cs obsaženého ve všech organismech v lesostepi. Tuto značnou kumulaci ^{137}Cs v půdních bezobratlých způsobily potravní vztahy. Velká část půdních bezobratlých se živí opadem a pohlcuje s ním i mikroorganismy a houby, které jsou pro živočichy důležitým zdrojem bílkovin. Radionuklidy kumulované mikroorganismy a houbami jsou pro vyšší rostliny nedostupné a dostávají se do potravního řetězce hlavně prostřednictvím půdních živočichů. Koncentrace ^{90}Sr v jednotlivých částech ekosystému lesostepi je podobná jako u ^{137}Cs . Liší se

hlavně v tom, že obsah ^{90}Sr je zřetelně vyšší v tělech obratlovců než bezobratlých. Je to způsobeno tím, že ^{90}Sr se silně kumuluje v kostech obratlovců.

Vliv radioaktivního znečištění prostředí z jaderných havárií na půdní faunu

Po černobylské havárii (26. 4. 1986) sledovala se tamní půdní fauna v období červenec-srpen 1986, v dubnu 1987 a v říjnu 1988 (Krivolutsky, Pokarzhovsky, 1992). Radioaktivní spad po havárii měl na ni silný vliv, zvláště na představitele půdní fauny žijící v dosahu 30 km od havárie (tab. 2).

Jako skupina velmi citlivá k radioaktivnímu znečištění se ukázali roztoči pancířníci. Nejvíce snížily svou početnost larvy pancířníků. Celkový počet druhů pancířníků v zasažené a kontrolní oblasti se nelišil tak významně jako jejich početnost. V bezprostředním okolí elektrárny bylo nalezeno 15 druhů, ve vzdálenosti 30 km 30 druhů. Velký rozdíl byl však v počtu druhů žijících v opadu. V blízkosti elektrárny to bylo jen 5 druhů, zatímco ve vzdálenosti 30 km žilo druhů 30. Vliv na druhy pancířníků žijící hlouběji v půdě nebyl tedy tak silný. Reakce půdní makrofauny na ozáření nebyla tak silná jako u mezofauny. Byla ovlivněna především vývojová stadia půdních živočichů - vajíčka a larvy. Například u žížal byl poměr nedospělých a dospělých jedinců v kontrolní ploše přibližně 1,0, zatímco v okolí elektrárny se pohyboval okolo 0,47. Již první rok po havárii se pozorovala obnova půdní fauny, především imigrací druhů z okolí. Po dvou a třech letech se nezjistily významné rozdíly mezi populacemi půdní fauny na kontaminovaných a kontrolních územích.

Tab. 1. Obsah ¹³⁷Cs v jednotlivých částech ekosystému lesostepi

Část ekosystému	Masa	¹³⁷ Cs
	kg suché váhy.ha ⁻¹	[ha ⁻¹]
Půda (0-5 cm)	2,5 · 10 ⁵	1,85 TBq
Rostliny	10,0 · 10 ⁴	55 GBq
Opad	6 · 10 ³	55 GBq
Bezobratlí:		
Prvoci	10	18,5 MBq
Hlístice	5	9,2 MBq
Roupice	2	3,7 MBq
Žížaly	12	18,5 MBq
Mezofauna	15	3,3 MBq
Hmyz	25	5,5 MBq
Ostatní skupiny	10	1,8 MBq
Obratlovci:		
Hlodavci	1,5	1,1 MBq
Sudokopytníci	0,35	0,4 MBq
Hmyzožravci	0,5	0,7 MBq
Šelmy	0,05	0,2 MBq
Ptáci	0,2	0,4 MBq
Obojživelníci, plazi	0,1	0,4 MBq
Celkem živočišné	81,7	63,7 MBq

Tab. 2. Početnost půdních živočichů (exemplářů.m⁻²) v psčítých půdách borového lesa v různé vzdálenosti od černobylské atomové elektrárny 18. 7. 1986

Skupina půdních živočichů	Vzdálenost od elektrárny		
	3 km	30 km	70 km
Mezofauna			
Pancáříníci dospělci	12	321	334
Pancáříníci larvy	1	33	105
Chvostoskoci	1	7	28
Roztoči	3	17	7
Makrofauna			
Dvoukřídlí-larvy	0,5	3	3
Mnohonožky	-	0,1	0,2
Drabčící dospělci	-	0,3	-
Drabčící larvy	-	0,1	0,1
Kovafčí larvy	-	1	1
Pavouci	-	0,2	0,2
Žížaly	-	0,2	0,2
Celkem makrofauna	0,5	4,9	4,7
Celkem půdní fauna	18,0	387,8	483,4

Půdní živočišné jsou citlivými bioindikátory radioaktivního znečištění. Jako významný členek potravních řetězců přispívají k migraci radionuklidů ekosystému. Z množství půdních živočichů jsou k radioaktivnímu znečištění nejcitlivější žížaly, mnohonožky, stonožky, hmyz s dlouhou periodou vývoje a zástupci roztočů žijící na povrchu půdy. U všech těchto živočichů jsou radioaktivním znečištěním nejvíce ohrožena jejich vývojová stadia.

Literatura

- Boháč, J., 1989: Půdní živočišné jako bioindikátory antropogenních změn prostředí. Život. Prostr., 23, p. 12-14.
- Boháč, J., Krivolutsky, D. A., Antonova, T. B., 1989: The role of fungi in the biogenous migration of elements and in the accumulation of radionuclides. Agriculture, Ecosystems and Environment, 28, p. 31-34.
- Kolektiv, 1993: Ecological after-effects of the radioactive contamination at south Ural. Nauka Publishing House, Moscow, 336 pp.
- Krivolutsky, D. A., Martushov, V. Z., Boháč, J., 1992: The soil fauna and transuranic (²³⁹Pu, ²⁴¹Am) elements. Proc. Vth Int. Conf. Bioindicators Deterioration Regionis, Institute of Landscape Ecology, CAS, České Budějovice, p. 478-485.
- Krivolutsky, D. A., Pokarzhevsky, A. D., 1974: The role of soil animals in the biogenous migration of Ca and ⁹⁰Sr. Zhurn. Obsch. Biol., 2, p. 263-269.
- Krivolutsky, D. A., Pokarzhevsky, A. D., 1992: After effect of radioactive fallouts on soil animal populations in the 30 km area of the Chernobyl atomic power station accident. Proc. Vth Int. Conf. Bioindicators Deterioration Regionis, Institute of Landscape Ecology CAS, České Budějovice, p. 486-495.
- Krivolutsky, D. A., Turchaninova, V. A., 1972: The accumulation of ⁹⁰Sr in soil animals and the seasonal changes of the number of soil fauna on the polluted plots. Problems of soil zoology, Moscow, Nauka Publ. House, p. 81-82.
- Pokarzhevsky, A. D., Boháč, J., Zhulidov, A. V., Kubizňáková, J., 1987: Invertebrates as geochemical monitoring objects. In: Geomon Intern. Workshop (Moldan B., Pačes T., eds), Praha, Czechoslovakia.
- Reichle, D. E., 1969: Measurement of elemental assimilation by animals from radioisotope retention patterns. Ecology, 50, p. 1102-1104.