

Výskyt toxických prvkov v oblasti Banskej Štiavnice

JOZEF FORGÁČ¹, VLADIMÍR STREŠKO² a LADISLAV ŠKVARKA

¹Katedra geochemie PFUK, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava

²Geologický ústav PFUK, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava

(Doručené 5.5.1994)

Occurrence of toxic elements in the Banská Štiavnica area (Central Slovakia)

In the surrounding of Banská Štiavnica and in the alluvial plain of Štiavnický potok brook, which had been influenced during centuries by intensive mining activities, the concentrations of As, Ag, Cd, Cu, Cr, Fe, Hg, Li, Mn, Pb and Zn were found in various sampling media (soils, stream sediments, water of wells, springs and reservoirs). The obtained results show that the soil and stream sediments are polluted by As, Cd, Pb, Cu, Zn and Ag. Weathering of old mine heaps and redeposited rock fragments, which are often rich in sulphides, led to the remobilisation of some metals to water. In this respect the content of Cd, Fe and Mn in water of some wells, springs and reservoirs may cross thresholds values for drinking water. Such concentrations may adversely effect the living organisms.

Úvod

Štiavnické vrchy sú budované vulkanickými horninami. Vulkanická činnosť prebiehala v miocéne až kvartéri a počas nej vznikla široká škála hornín, ako sú andezity, ryolity, bazalty, diority a granodiority. Vulkanickú činnosť sprevádzala i mohutná hydrotermálna činnosť s tvorbou Au-Ag a Pb-Zn zrudnenia. Rudné minerály sa v ekonomicky významných koncentráciách akumulovali do rudných štruktúr vo forme žíl a časť sa rozptýlila do širokého okolia v podobe impregnácií. Hydrotermálna činnosť okrem tvorby rudných žíl spôsobila rozsiahle hydrotermálne premeny hornín s rozptýlenou rudnou mineralizáciou s rozdielnou koncentráciou prvkov. Premeny spôsobené chloritizáciou, adularizáciou, pyritizáciou a i., sa prejavili na veľkej ploche a vo veľkom priestore. V štiavnických vrchoch vystupujú takto premenené horniny na povrch na ploche cca 150 km² (Forgáč, 1987).

Banická činnosť sa v štiavnických vrchoch začala pred niekoľkými storočiami. Písomné doklady o tom sa zachovali z 12. stor. a intenzívna ťažba bola v 16. až 19. stor. Počas baníckej činnosti bolo vyrazených niekoľko tisíc metrov podzemných chodieb a na povrch sa dopravili milióny m³ hlušiny. Perkolácia vody v mechanicky rozrušených horninách urýchlila geochemické procesy. Ak horniny obsahovali impregnácie sulfidov, nastávalo sýrnokyslé zvetrávanie. Na uplatnenie sa hypergénnych premien v hlbších častiach banských diel v Banskej Štiavnici poukázal Forgáč (1967). Sýrnokyslé zvetrávanie podrobnejšie opísali Čurlík a Forgáč (1983) z vulkanického komplexu Vtáčnika a poukázali aj na jeho hĺbkový dosah. Intenzívne prejavy tohto procesu sa zistili do hĺbky 500 - 600 m a v drvených zónach až do hĺbky vyše 1000 m. Vznikom argilitizácie hornín pôsobením kyslých descendenčných roztokov vo vulkanickom komplexe štiavnických vrchov v oblasti Dekýša sa

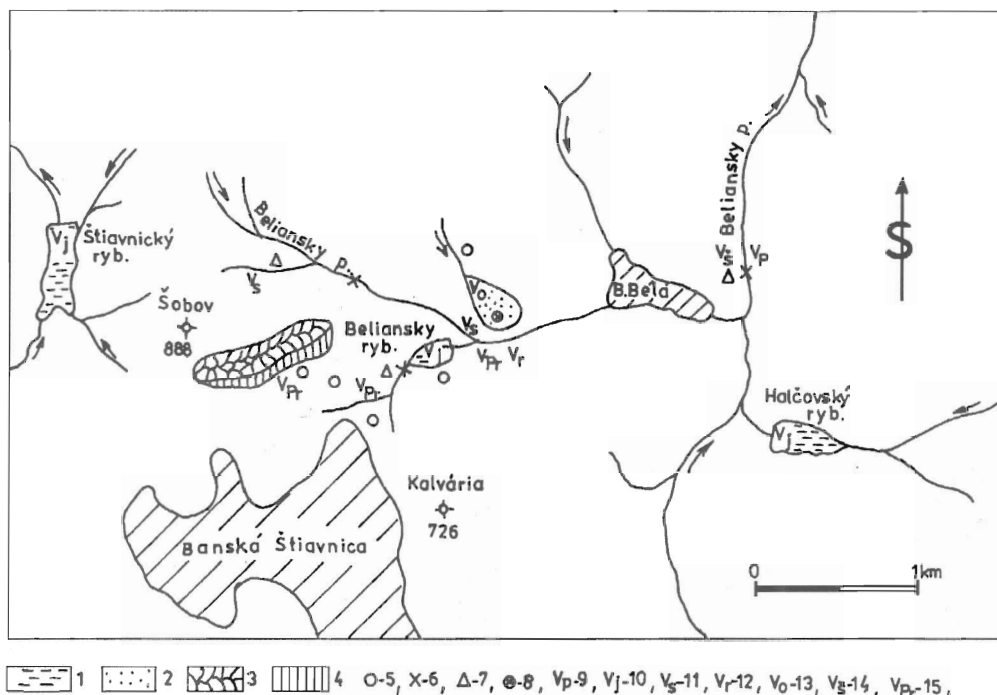
zaoberal Čurlík a Forgáč (1991). Výsledkom pôsobenia kyslých roztokov (H₂SO₄) je geochemická a minerálna zonálnosť.

Zo širšej oblasti Banskej Štiavnice je o kontaminácii pôdy, vody a dnových sedimentov potokov toxickými prvkami pomerne málo konkrétnych geochemických údajov. Zvýšenú koncentráciu Pb, Zn, Cu v pôde a v rastlinách z oblasti na J od Banskej Štiavnice zistil Holub a Banášová (1985). Na J od Šobova negatívny vplyv acidifikovanej pôdy na rastlinstvo sledoval Holub, Banášová a Krížani (1991). Títo autori uvádzajú, že sledovaná pôda je slabokyslá až kyslá (pH 5,2 až 3,6) a kontamináciu pôdy dávajú do súvislosti s povrchovou ťažbou šobovského kremeňa a s impregnáciou pyritu. V haldovom materiáli sa tvoria kyslé roztoky (H₂SO₄). Pri zvetrávaní hornín sa okrem chemických procesov pôsobením baktérií uplatňujú aj biochemické procesy. Krížani, Jeleň a Háber (1994) zistili prítomnosť tiónových baktérií, ktoré spôsobujú rozklad sulfidov, a *Bacillus circulans*, ktorý vyvoláva rozklad silikátov.

V tejto práci sa zameriavame na kontamináciu pôdy, vody a sedimentov v uvedenej oblasti. Získali sme nové poznatky, ktoré poukazujú na odlišné zdroje kontaminácie sledovanými toxickými prvkami.

Zameranie práce

Údaje o koncentrácii, akumulácii a distribúcii ťažkých kovov v pôde, vode a v sedimentoch z oblasti Banskej Štiavnice možno pokladať za nedostatočné. Vzhľadom na predpokladaný a v niektorých prípadoch aj dokázaný vyšší obsah ťažkých kovov a ich možnú vysokú toxicitu vznikla požiadavka na podrobnejší výskum tejto oblasti. Prvým predpokladom je zistenie obsahu sledovaných prvkov a ďalší výskum by mal identifikovať zdroje znečistenia a navrhnúť spôsoby na jeho zníženie.



Obr. 1. Schéma lokalizácie študovaných vzoriek na SV od Banskej Štiavnice. 1 - jazerá, 2 - odkalisko rudných baní z flotačnej úpravy, 3 - kameňolom šobovského kremenca, 4 - halda kameňolomu šobovského kremenca, 5 - 15 - lokalizácia vzoriek, 5 - pôdy, 6 - dnový sediment potoka, 7 - sediment z ústia štólne, 8 - sediment z odkaliska rudných baní, 9 - voda z potoka, 10 - voda z rybníka, 11 - voda zo studne, 12 - voda z rezervoára, 13 - voda z odkaliska, 14 - voda zo štólne, 15 - voda z prameňa.

Fig. 1. Schematic presentation of sampling sites NE from Banská Štiavnica. 1 - ponds, 2 - mine ores setting pit of flotation ore reworking, 3 - stone pit in the Šobov quartzites, 4 - Šobov quartzites pit heap, 5 - soils, 6 - stream sediments, 7 - mud from the mouth of mine adit, 8 - setting pit mud, 9 - stream water, 10 - pond water, 11 - well water, 12 - water from water reservoir, 13 - water from setting pit, 14 - water from the mouth of mine adits, 15 - spring water.

Pre veľkú rozlohu Štiavnických vrchov sme prácu orientovali na oblasť na SV od Banskej Štiavnice a na J smerom na Štiavnický potok. Zamerali sme sa na súčasný stav koncentrácie ťažkých kovov v pôde, v dnových sedimentoch potokov, v kaloch a vo vodách. Sledovali sme As, Ag, Cd, Co, Cu, Fe, Hg, Li, Mn, Pb a Zn. Lokality odberu vzoriek sú na obr. 1 a 2.

Cieľom tejto práce nie je komplexne opísať procesy vedúce ku kontaminácii, ale stručne poukázať na súčasný výskyt ťažkých kovov, ich akumuláciu, na stupeň ako aj zdroje a pôvod kontaminácie. Stupeň kontaminácie pôdy, dnových sedimentov a kalov toxickými prvkami spracúvame v zmysle smerníc Ministerstva pôdohospodárstva Slovenskej republiky číslo 531/1994-540 o najvyšších prípustných hodnotách škodlivých látok v pôde. Intenzitu kontaminácie členíme podľa obsahu toxických prvkov do troch skupín, a to A, B a C.

A je referenčná hodnota a znamená, že pôda nie je kontaminovaná, ak je koncentrácia prvku pod touto hodnotou (predstavuje fónovú hodnotu).

B je indikačná hodnota znamenajúca, že sa kontaminácia pôdy analyticky zistila. V takom prípade sa vyžaduje ďalšie štúdium a kontrola miesta znečistenia. Veľkosť a rozloha koncentrácie daného prvku môže negatívne vplyvať na ľudské zdravie alebo na iné zložky životného prostredia.

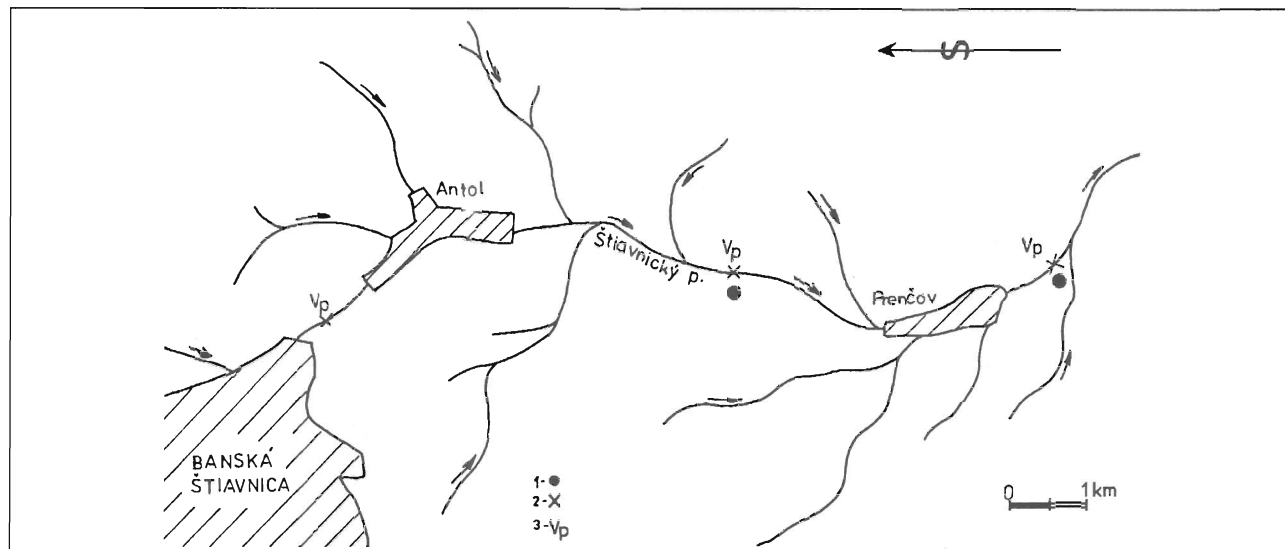
C je indikačná hodnota asanácie a znamená, že ak ju koncentrácia prvku dosahuje, je nevyhnutné okamžite definitívne analyticky zmapovať rozsah poškodenia príslušného miesta a rozhodnúť o spôsobe nápravy. Ak je hodnota koncentrácie prvkov v rozsahu skupiny B a C, treba postupovať podobne.

Stupne kontaminácie sú rozčlenené podľa koncentrácie sledovaných prvkov a vyznačené horizontálnymi priamkami na obr. 3 až 6 s označením stupňa kontaminácie písmenom A, B a C.

Obsah sledovaných prvkov vo vode je spracovaný podľa československej normy pre pitné vody (ČSN 75 7111). Najvyššie medzné hodnoty prvkov pre pitnú vodu sú vyznačené horizontálnymi priamkami na obr. 7 až 9 a označené písmenom A. Predložené výsledky by mali slúžiť ako podkladový materiál na urýchléné komplexné riešenie znečistenia životného prostredia nielen okolia Banskej Štiavnice a Štiavnických vrchov, ale aj ďalších oblastí stredoslovenských neovulkanitov.

Metodika práce

Pôdne vzorky sme odobrali odkopom z dvoch pôdnych horizontov v oblasti na SV od Banskej Štiavnice, a to z horizontu A z hĺbky 5 až 15 cm a z horizontu B z hĺbky 40 až 60 cm. V alúviu Štiavnického potoka sme odobrali



Obr. 2. Schéma lokalizácie študovaných vzoriek v údolí Štiavnického potoka. 1 - pôda, 2 - dnový sediment potoka, 3 - voda z potoka.

Fig. 2. Outline plan of location of studied samples in alluvial plain of Štiavnický potok brook. 1 - soil, 2 - stream sediment, 3 - stream water.

pôdne vzorky z hĺbky 5 až 15 cm (horizont A). Z dnových sedimentov potokov sme odobrali jemný kalový materiál. Kalový materiál sme odobrali aj z ústia štôlní, kde je iba občasný výtok vody v období dažďov a topenia sa snehu (štôlna Juraj) a z ústia štôlní s trvalým výtokom vody (Belianska štôlna, odvodňovacia, a štôlna nad Belianskym jazierom) a z odkaliska rudných baní z flotačnej úpravne. Vzorky vody sú z potokov (Beliansky potok, Štiavnický potok), jazier, studní, rezervoára a z odkaliska rudných baní z flotačnej úpravne Pb, Zn a Cu rudy. Lokality odberu vzoriek sú na obr. 1 a 2 a presnú lokalizáciu

obsahujú vysvetlivky k tab. 1 až 3 a k obr. 3 až 9. Vzorky sa odobrali 19. - 23. júla 1992 v suchom letnom období.

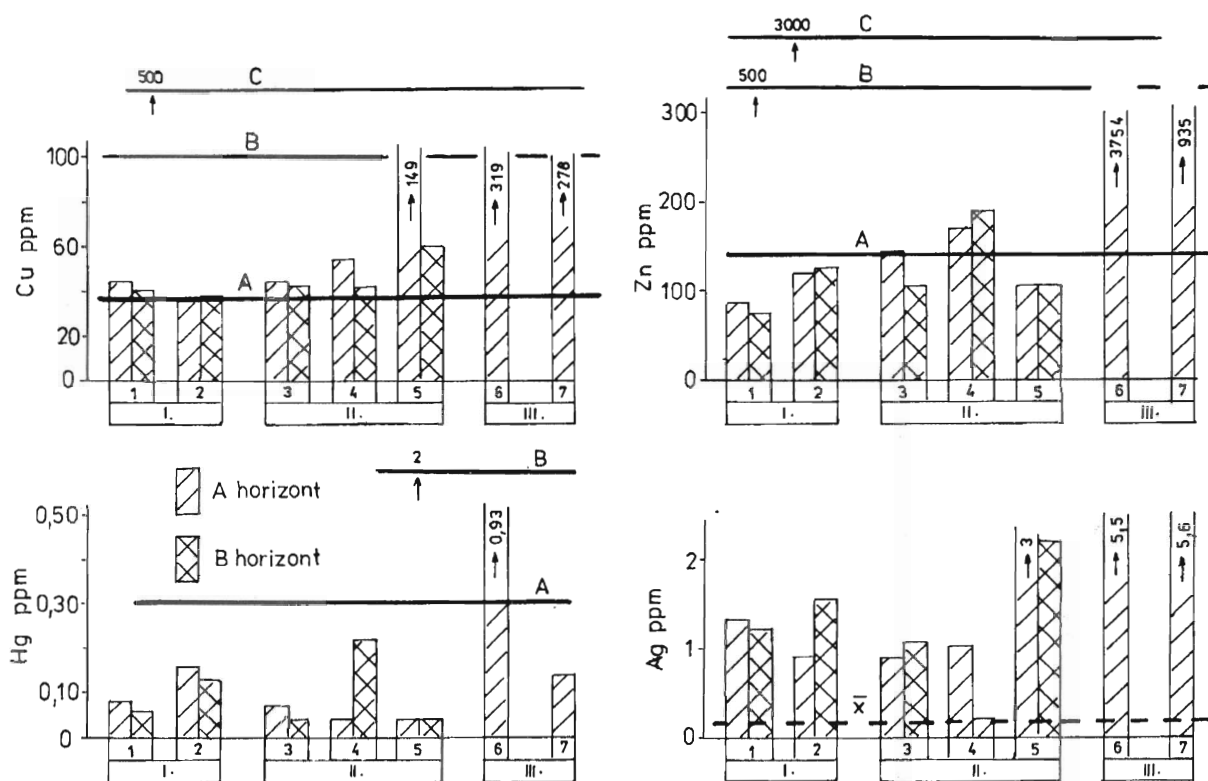
Vzorkový materiál z pôdy, dnových sedimentov potokov a z kalov sa po prinesení do laboratória vysušil, preosial a na zistenie ťažkých kovov sa použila frakcia pod 0,125 mm. Vzorky vody sme odobrali do 5-litrových PE nádob. Na mieste odberu sa stanovila koncentrácia vodíkových iónov (pH) a teplota. Vzorky vody boli okyslené koncentrovanou kyselinou dusičnou.

Na stanovenie obsahu prvkov sa použili nasledujúce analytické metódy: atómová absorpčná spektrometria

Tab. 1
Obsah ťažkých kovov v pôde (v ppm) z oblasti Banskej Štiavnice
Heavy metals concentration (in ppm) in spils from Banská Štiavnica area

Čís. vz.	Pôdne horiz.	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Zn	Ag
1	A	28,71	1,37	12,26	45,31	0,075	186,67	87,63	1,29
	B	28,34	1,49	14,78	40,81	0,059	119,58	73,66	1,24
2	A	16,00	2,05	13,77	37,24	0,162	230,03	124,87	0,92
	B	16,13	1,98	16,02	39,06	0,134	232,44	124,47	1,55
3	A	6,05	1,96	11,33	42,99	0,075	300,04	143,55	0,91
	B	1,49	2,12	11,45	40,99	0,035	178,83	109,59	1,09
4	A	10,86	2,33	11,62	54,29	0,224	377,41	172,71	1,05
	B	8,72	2,24	12,04	41,46	0,083	277,70	188,31	0,20
5	A	45,38	1,49	19,03	149,38	0,028	42,05	105,23	3,05
	B	31,66	2,13	24,18	62,16	0,035	38,35	106,51	2,22
6	A	27,22	22,58	23,53	319,40	0,930	1347,04	3754,74	5,52
7	A	33,82	11,54	12,81	277,93	0,140	1294,91	935,68	5,65

Lokality: 1 - 50 m na J od haldy šobovského kremenca, 2 - 200 m na J od haldy šobovského kremenca, 3 - východný okraj Banskej Štiavnice, lúka na severnom svahu od Kalvárie 300 m od križovatky ciest na Banskú Belú a Vyhne, 4 - južná strana Belianskeho jazera (svah od Kalvárie), 5 - 50 m nad štátnou cestou Banská Štiavnica - Teplá (nad odkaliskom rudných baní), 6 - alúvium Štiavnického potoka na J od Antola, 7 - alúvium Štiavnického potoka na J od Preňčova.



Obr. 3. Distribúcia Cu, Zn, Hg a Ag v pôde. I - svah na J od haldy šobovského kremenca, 1 - 50 m na J od haldy, 2 - 200 m na J od haldy, II - širšie okolie šobovských kremencov, ktoré nesúvisí so zvodnou oblasťou haldy šobovského kremenca, 3 - východný okraj Banskej Štiavnice, lúka na svahu na S od Kalvárie 300 m od križovatky ciest na Banskú Belú a Vyhne, 4 - južná strana Belianskeho jazera (svah od Kalvárie), 5 - 50 m nad štátnou cestou Banská Štiavnica - Teplá nad odkaliskom rudných baní. III - alúvium Štiavnického potoka, 6 - na J od Antola, 7 - na J od Prenčova, X - priemerný obsah Ag v pôde podľa Bowena (1979), A - limitné hodnoty rizikových (škodlivých) látok v pôde - referenčná hodnota, B - limitné hodnoty rizikových (škodlivých) látok v pôde - indikačná hodnota, C - limitné hodnoty rizikových (škodlivých) látok v pôde - indikačná hodnota asanácie pôdy.

Fig. 3. Distribution pattern of Cu, Zn, Hg, Ag in soil. I - slope south of the Šobov quartzites heap, 1 - 50 m south of the Šobov quartzites heap, 2 - 200 m south from the Šobov quartzites heap, II - the surrounding of the Šobov quartzites occurrence without closer relation to water catchment area of the Šobov quartzites heap, 3 - eastern margin of Banská Štiavnica, meadow on the slope of Kalvária hill about 300 m from crossing of roads to Banská Belá and Vyhne, 4 - southern side of Belianský pond (Kalvária slope), 5 - 50 m above the road Banská Štiavnica - Teplá, near setting pit of ore mines, III - alluvial plain of Štiavnický potok brook, 6 - alluvial deposits of the Štiavnický potok brook south of Antol, 7 - alluvial deposit of the Štiavnický potok brook south of Prenčov, X - mean concentration of Ag in soil according to Bowen (1979), A - reference value of the thresholds of the risk elements in soil, B - indication of the thresholds of the risk elements in soil where the pollution was analytically proved, C - indication value for soil assanation.

s plameňovou alebo elektrotermickou atomizáciou, resp. s hydridovou technikou. Kontrolné stanovenia niektorých vybraných prvkov sa vykonali za použitia atómovej emisnej spektrometrie s indukčne viazanou plazmou. Na uvedenie pevných vzoriek do roztoku sa použil úplný kyselinový rozklad vzorky (HF , HClO_4 , HNO_3).

Zhrnutie výsledkov

Zistené údaje zhŕňa tab. 1 až 3 a graficky sú spracované na obr. 3 až 9. Pretože grafické znázornenie je prehľadné, komentár je stručný. Rozdelenie sa vykonalo podľa typov sledovaných vzoriek.

Pôdy

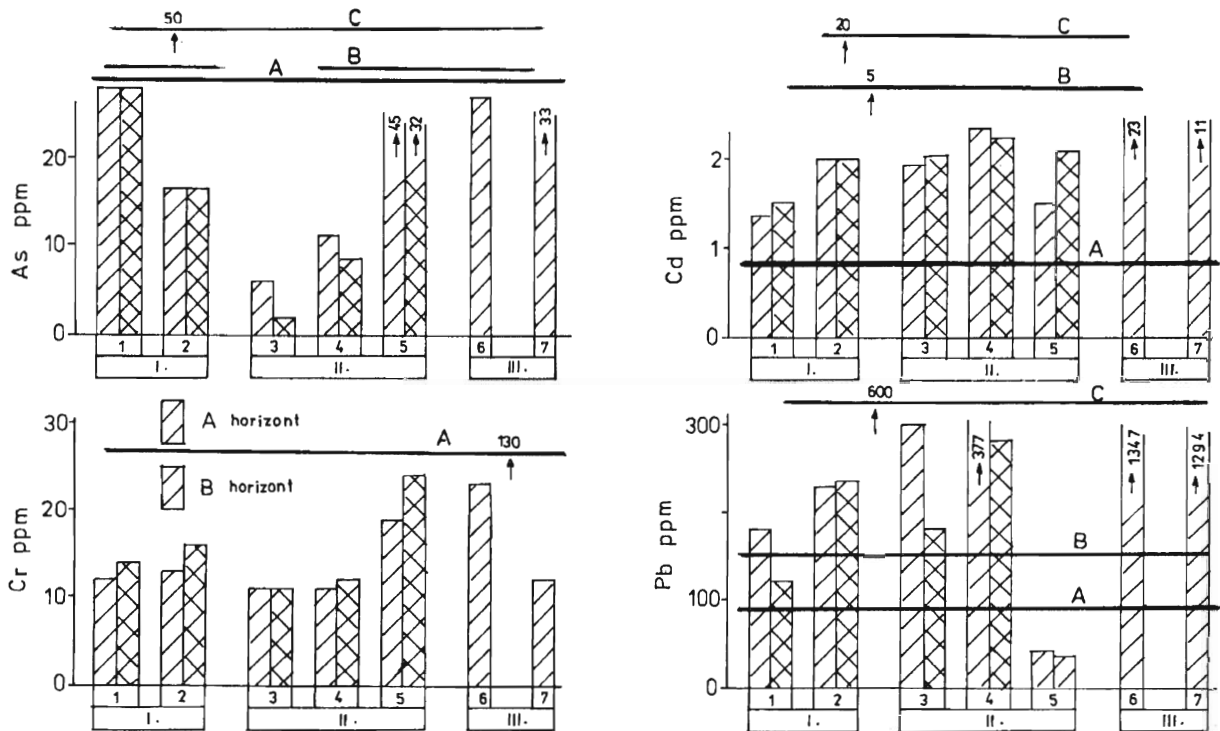
Pôdu sme študovali v oblasti na SV od Banskej Štiavnice a v oblasti Štiavnického potoka. Poznatky z kaž-

dej oblasti uvádzame samostatne. Stupeň kontaminácie pôdy porovnávame s limitnými hodnotami rizikových látok v pôde. Intenzitu kontaminácie rozlišujeme podľa obsahu toxických prvkov a členíme ju na tri skupiny, a to A, B a C.

Oblasť na SV od Banskej Štiavnice

Geochémiu pôdy tejto oblasti sme študovali v pôdnych profiloch piatich lokalít v horizonte A a B. Výskyt prvkov v pôdnom profile lokalít je pomerne pestrý, ich koncentrácia rozdielna a pohybuje sa v širokom rozsahu najmä pri As, Pb, Ag a Zn (tab. 1). Rozdiely v koncentrácii medzi horizontom A a B nie sú významné.

Takmer na všetkých lokalitách je najväčšie zistené znečistenie pôdy Pb. Koncentrácia Pb prevyšuje indikačnú hodnotu skupiny B, čo znamená, že sa kontaminácia zistila analyticky. Koncentrácia As a Cu



Obr. 4. Distribúcia As, Cr, Cd a Pb v pôde. I - svah na J od haldy šobovského kremenca, 1 - 50 m na J od haldy, 2 - 200 m na J od haldy, II - širšie okolie šobovských kremencov, ktoré nesúvisí so zvodnou oblasťou šobovských kremencov, 3 - východný okraj Banskej Štiavnice, lúka na svahu na S od Kalvárie, 300 m od križovatky ciest na Banskú Belú a Vyhne, 4 - južná strana Beljanského jazera (svah od Kalvárie), 5 - 50 m nad štátnou cestou Banská Štiavnica - Teplá nad odkaliskom rudných baní, III - alúvium Štiavnického potoka, 6 - na J od Antola, 7 - na J od Prenčova, A - limitné hodnoty rizikových (škodlivých) látok v pôde - referenčná hodnota, B - limitné hodnoty rizikových (škodlivých) látok v pôde - indikačná hodnota kontaminácie pôdy sa analyticky preukázala, C - limitné hodnoty rizikových (škodlivých) látok v pôde - indikačná hodnota asanácie pôdy.

Fig. 4. Distribution pattern of As, Cr, Cd, Pb in soil. I - slope south of the Šobov quartzites heap, 1 - 50 m south of the Šobov quartzites heap, 2 - 200 m south of the Šobov quartzites heap, II - the surrounding of the Šobov quartzites occurrence without closer relation to water catchment area of the Šobov quartzites heap, 3 - eastern margin of Banská Štiavnica, meadow on the slope of Kalvária hill about 300 m from crossing of roads to Banská Belá and Vyhne, 4 - southern slope of Beljanský pond (Kalvária slope), 5 - 50 m above the road Banská Štiavnica - Teplá, near setting pit of ore mines, III - alluvial plain of Štiavnický potok brook, 6 - alluvial deposit of the Štiavnický potok brook south of Antol, 7 - alluvial deposit of the Štiavnický potok brook south of Prenčov, A - reference value of the thresholds of the risk elements in soil, B - indication of the thresholds of the risk elements in soil where the pollution was analytically proved, C - indication value for soil assanation.

indikačnú hodnotu skupiny B prekračuje iba na jednej lokalite (na S od odkaliska rudných baní). Na ďalších lokalitách sa koncentrácia As a Cu pohybuje okolo referenčných hodnôt. V porovnaní s priemernou hodnotou v pôde (0,05 ppm) podľa Bowena (1979) je aj obsah Ag vysoký a v študovanej pôde túto hodnotu prekračuje 4 až 30-krát a na jednej lokalite (na S od odkaliska rudných baní) až 60-krát (obr. 3). Koncentrácia Cd a Zn nepoukazuje na kontamináciu pôdy a ich obsah sa pohybuje okolo referenčnej hodnoty. Nižší obsah, ako sú príslušné referenčné hodnoty, sa zistil pri Cr a Hg (obr. 3 a 4).

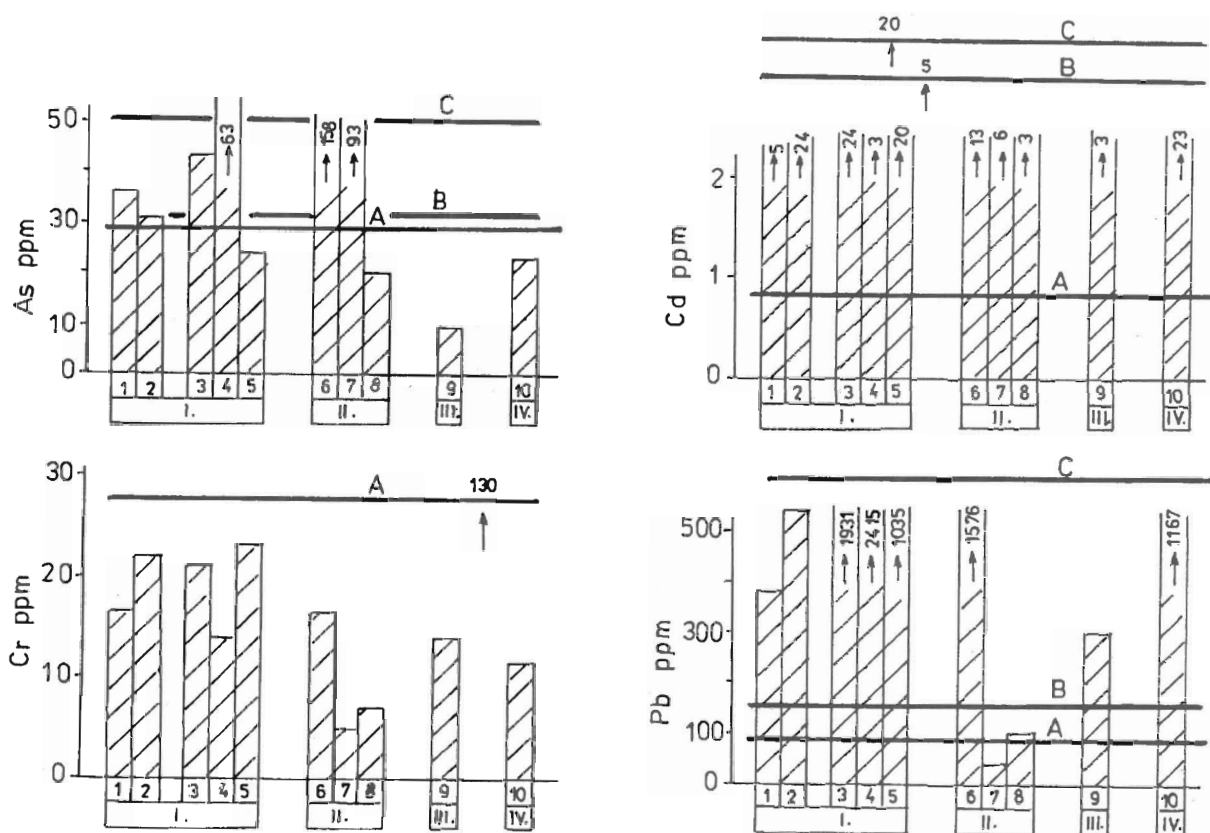
Oblasť Štiavnického potoka

Zo Štiavnického potoka sú dve vzorky, jedna sa odobrala 7,5 km na J a druhá 13 km od bývalej šachty František. Vo vzorkách pôdy na aluviálnych sedimentoch Štiavnického potoka sme zistili veľmi vysokú kontamináciu. Koncentrácia Ag, Cd, Pb a Zn prevyšuje

indikačné hodnoty asanácie pôdy (obr. 3 a 4) a najmarkantnejšia kontaminácia je pri Pb a Zn. Koncentrácia Pb v pôde je dvakrát vyššia ako indikačná hodnota asanácie pôdy (obr. 3 a 4, tab. 1, 6 a 7). As a Cu prekračujú indikačnú hodnotu kontaminácie pôdy len na jednej lokalite. Obsah Ag je 100-krát vyšší ako priemerný obsah v pôde uvádzaný Bowenom (1979). Pôda je najmenej znečistená Hg a Cr. Koncentrácia Hg sa pohybuje okolo referenčnej hodnoty a koncentrácia Cr je nižšia ako referenčná hodnota.

Dnové sedimenty potokov a kalý

Obsah ťažkých kovov v dnových sedimentoch potokov a v kaloch takmer vo všetkých prípadoch prevyšuje koncentráciu ťažkých kovov v pôde na aluviálnych sedimentoch. Na zistenie relatívneho stupňa kontaminácie dnových sedimentov a kalov sme použili rovnaké limitné hodnoty rizikových látok ako pri pôde, lebo predstavujú materiál z pôdy a z rozrušených hornín.



Obr. 5. Distribúcia As, Cr, Cd, Pb v dnových sedimentoch potokov a v kaloch. I - potoky, 1 - Beliansky potok pod štôľňou Juraj, 2 - Beliansky potok oproti Belianskej štôľni (odvodňovacej), 3 - Štiavnický potok, južný okraj Banskej Štiavnice, 4 - Štiavnický potok na J od Antola, 5 - Štiavnický potok na J od Preňčova, II - kaly z ústia štôľni, 6 - štôľňa Juraj, 7 - Belianska štôľňa (odvodňovacia), 8 - štôľňa nad Belianskym jazerom, III - jazero, 9 - sediment z okraja Belianskeho jazera, IV - odkalisko, 10 - sediment z odkaliska rúdnych baní, A - limitné hodnoty rizikových (škodlivých) látok v pôde - referenčná hodnota, B - limitné hodnoty rizikových látok v pôde - indikačná hodnota, kontaminácia pôdy sa analyticky preukázala, C - limitné hodnoty rizikových (škodlivých) látok v pôde - indikačná hodnota asanácie pôdy.

Fig. 5. Distribution pattern of As, Cr, Cd, Pb in stream sediments and muds. I - brooks, 1 - Beliansky potok brook below the Juraj mine adit, 2 - Beliansky potok brook opposite the Belianska mine adit (dewatering), 3 - Štiavnický potok brook, south margin of Banská Štiavnica, 4 - Štiavnický potok brook south of Antol, 5 - Štiavnický potok brook south of Preňčov, II - mud from the mouth of mine adit, 6 - Juraj mine adit, 7 - Belianska mine adit (dewatering), 8 - mine adit above the Beliansky pond, III - pond, 9 - bottom sediment from Beliansky pond, IV - setting pit, 10 - mud from the setting pit, A - reference value of the thresholds of the risk elements in soil, B - indication of the thresholds of the risk elements in the soils where pollution was analytically proved, C - indication value for soil assanation.

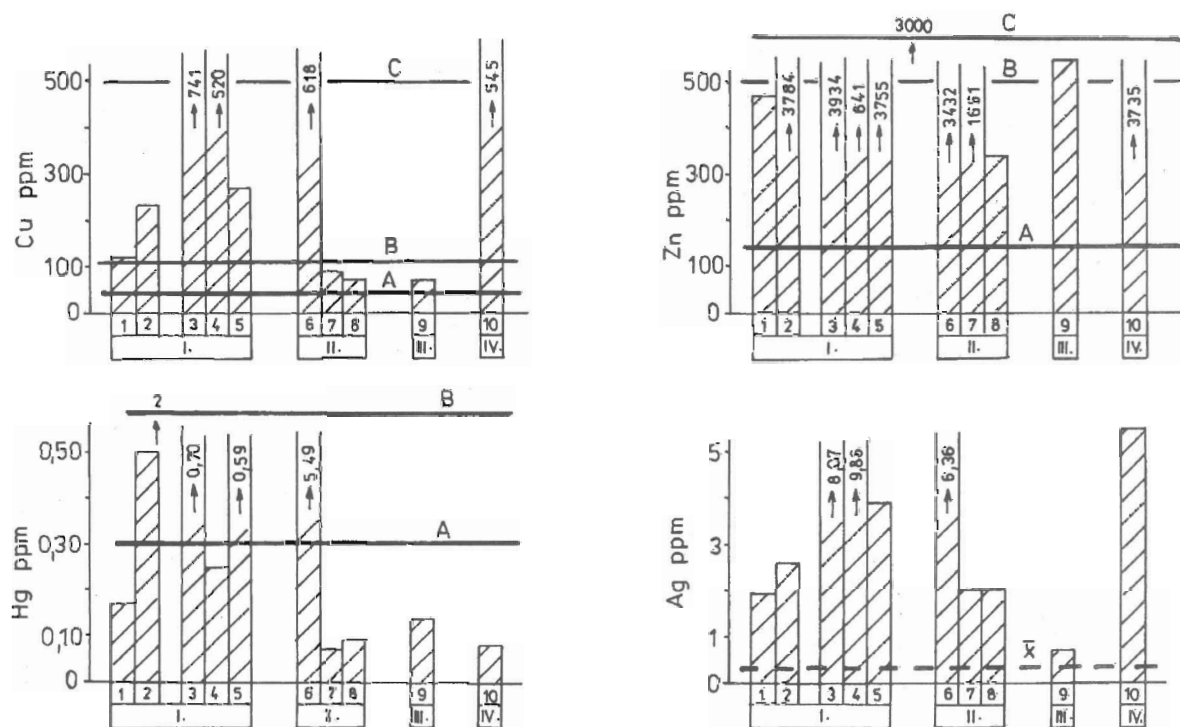
Dnové sedimenty potokov

V dnových sedimentoch potokov je Zn a Cd v koncentrácii, ktorá prevyšuje indikačné hodnoty asanácie pôdy. Pri Cu, Pb a As sú v koncentrácii výrazné rozdiely medzi vzorkami z jednotlivých potokov. Nižší obsah je v Belianskom potoku, kde je koncentrácia vyššia ako indikačná hodnota poukazujúca na kontamináciu. Podstatne vyššia koncentrácia je v Štiavnickom potoku, kde obsah Cu, Pb a As presahuje indikačnú hodnotu asanácie. Ag je v koncentrácii 1,88 až 9,86 ppm. V Belianskom potoku Ag dosahuje 50-násobok priemernej hodnoty v pôde a v Štiavnickom potoku prekračuje túto hodnotu stonásobne. V podstatne nižšej koncentrácii je Hg a Cr. Obsah Hg referenčnú hodnotu prekračuje a Cr je v nižšej koncentrácii, ako je referenčná hodnota (obr. 5 a 6).

Kaly z ústia štôľni a odkaliska

Ťažké kovy v kaloch z ústia štôľni sa vyskytujú v širokom koncentračnom rozmedzí. Najvyššia koncentrácia bola v kale z ústia štôľne Juraj, kde Pb, Zn, Cu a As prevyšujú indikačnú hodnotu asanácie pôdy (obr. 5 a 6). Nižšia koncentrácia sa zistila pri Hg a Cd, kým Cr nedosahuje ani referenčnú hodnotu. V kaloch z Belianskej štôľne (odvodňovacej) je len As v koncentrácii indikujúcej hodnotu asanácie, Hg a Cd prekračujú hodnotu poukazujúcu na kontamináciu a Cu, Hg, Cr a Pb sú v nižšej koncentrácii, ako je referenčná hodnota pre pôdu. Najnižší obsah sledovaných prvkov je v kaloch z ústia štôľne nad Belianskym jazerom, kde sa kontaminácia ťažkými kovmi nepreukázala. Najnižší obsah ťažkých kovov je v kaloch trvale premyvaných vodou vytekajúcou zo štôľni.

V kalovom materiáli z odkaliska rúdnych baní je vysoká



Obr. 6. Distribúcia Cu, Hg, Zn a Ag v dnových sedimentoch potokov a v kaloch. I - potoky, 1 - Belianský potok pod štôľňou Juraj, 2 - Belianský potok oproti Belianskej štôľni (odvodňovacej), 3 - Štiavnický potok, južný okraj Banskej Štiavnice, 4 - Štiavnický potok na J od Antola, 5 - Štiavnický potok na J od Prencova, II - kal z ústia štôľni, 6 - štôľňa Juraj, 7 - Belianska štôľňa (odvodňovacia), 8 - štôľňa nad Belianskym jazierom, III - jazero, 9 - sediment z okraja Belianskeho jazera, IV - odkalisko, 10 - sediment z odkaliska rudných baní X - priemerný obsah Ag v pôde podľa Bowena (1979), A - limitné hodnoty rizikových (škodlivých) látok v pôde - referenčná hodnota, B - limitné hodnoty nízkových (škodlivých) látok v pôde - indikačná hodnota kontaminácie pôdy sa analyticky preukázala, C - limitné hodnoty rizikových (škodlivých) látok v pôde - indikačná hodnota asanácie pôdy.

Fig. 6. Distribution pattern of Cu, Hg, Zn, Ag in stream sediments and muds. I - brooks, 1 - Belianský potok brook below the Juraj mine adit, 2 - Belianský potok brook opposite the Belianska mine adit (dewatering), 3 - Štiavnický potok brook, south margin of Banská Štiavnica, 4 - Štiavnický potok brook south of Antol, 5 - Štiavnický potok brook south of Prencov, II - mud from the mouth of mine adit, 6 - Juraj mine adit, 7 - Belianska mine adit (dewatering), 8 - mine adit above the Beliansky pond, III - pond, 9 - bottom sediment from Beliansky pond, IV - setting pit, 10 - mud from the setting pit, X - mean concentration of Ag in soil according to Bowen (1979), A - reference value of the thresholds of the risk elements in soil, B - indication of the thresholds of the risk elements in the soils where pollution was analytically proved, C - indication value for soil assanation.

koncentrácia Pb, Zn, Cu a Cd (tab. 2). Ich obsah je vyšší ako indikačná hodnota asanácie (obr. 5 a 6), kým Hg, As a Cr sú v nižšej koncentrácii, ako je referenčná hodnota pre pôdu.

Vody

Vysoká kontaminácia pôdy, dnových sedimentov potokov a kalov ťažkými kovmi nás viedli aspoň k orientačnému preskúmaniu vôd v danej oblasti vzhľadom na možnosť ich znečistenia. Koncentráciu ťažkých kovov vo vode porovnávame s najvyššími medznými hodnotami pre pitnú vodu, ako ich uvádza ČSN 75 7111. Koncentrácie prvkov vo vode sú v tab. 3 a stupne kontaminácie na obr. 7 až 9.

Voda v potokoch

Voda v Štiavnickom potoku a v Belianskom potoku obsahuje nadlimitnú koncentráciu Cd, Pb, Fe a Mn. Veľmi vysoký obsah Cd a Pb sa zistil v Štiavnickom potoku, kde

je ich koncentrácia skoro 2-krát vyššia, ako pripúšťa norma pre pitnú vodu. Hodnota pH sa pohybuje v rozpätí prípustnom pre pitnú vodu (7,3 až 7,8). As, Cu, Ag, Zn a Cr sú v koncentrácii nepoukazujucej na znečistenie vody.

Voda v jazierach

Obsah ťažkých kovov vo vode jazier je prevažne nižší ako medzné hodnoty a iba koncentrácia Pb je mierne vyššia v Štiavnickom jazere a Mn v Halčianskom jazere a v Belianskom jazere. V Belianskom jazere obsah Fe niekoľkonásobne prekračuje medznú hodnotu pre pitnú vodu. V Halčianskom jazere a v Belianskom jazere sa zistilo pH 9,1 a 9,5, čo prevyšuje medznú hodnotu pre pitnú vodu. Príčiny vysokých hodnôt pH môžu byť rôzne a treba ich študovať podrobnejšie.

Voda v prameňoch

V prameni pod haldou šobovského kremenca je veľmi nízke pH (2,0) a zároveň veľmi vysoká koncentrácia Cd,

Tab. 2
Obsah ťažkých kovov v dnových sedimentoch potokov a v kaloch v oblasti Banskej Štiavnice (v ppm)
Heavy metals concentration in the stream sediments and mids in the area of Banská Štiavnica (in ppm)

Č. vz.	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Zn	Ag
1	35,84	5,52	17,84	69,56	0,172	381,75	473,95	1,88
2	31,20	24,25	22,15	225,50	0,497	539,82	3783,69	2,60
3	43,42	24,43	21,79	741,28	0,705	1931,46	3934,23	8,07
4	63,93	3,89	14,22	520,95	0,251	2415,70	641,28	9,86
5	24,44	20,93	23,36	268,37	0,594	1035,50	3755,00	3,93
6	158,26	13,31	17,08	618,36	5,483	1576,73	3432,3	6,36
7	92,61	6,12	5,34	93,82	0,070	10,40	1661,10	1,99
8	20,46	3,22	7,24	65,62	0,089	104,15	342,00	1,95
9	9,28	3,29	14,33	68,54	0,136	298,00	546,34	0,58
10	23,08	22,86	12,77	545,10	0,081	1166,68	3735,05	5,61

Lokality: 1 - Beliansky potok pod štôlnou Juraj, 2 - Beliansky potok oproti Belianskej štôlni (odvodňovacej), 3 - Štiavnický potok, južný okraj Banskej Štiavnice, 4 - Štiavnický potok na J od Antola, 5 - Štiavnický potok na J od Prenčova, 6 - kal z ústia štôlne Juraj, 7 - kal z ústia Belianskej štôlne (odvodňovacej), 8 - kal zo štôlne nad Belianskym jazerom, 9 - sediment z okraja Belianskeho jazera, 10 - kal z odkaliska rudných baní.

Tab. 3
Obsah ťažkých kovov vo vzorkách vody, potokov, jazier prameňov, studní, rezervoárov a odkaliska z oblasti Banskej Štiavnice
Heavy metals concentration in water from streams, ponds, springs, wells, water reservoirs and setting pit in the Banská Štiavnica area

Č. vz.	Ag	Cd	As	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Zn	Co	Pb	pH
	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppm	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	
1	3,0	5,2	2,07	2,45	<1	0,40	2,9	0,18	363,6	25,00	<5	7,8
2	5,4	3,8	-	<1	26,0	2,21	5,91	0,94	699,5	<3	98,3	7,3
3	<1,0	8,2	-	<1	5,73	0,21	4,90	0,07	141,6	<3	40,0	7,7
4	1,4	9,9	-	<1	8,83	0,19	4,2	0,27	208,0	<3	108,0	7,6
5	<1	3,6	2,75	5,18	<1	0,32	1,1	0,15	3,28	<3	<5	9,5
6	12,8	3,2	1,55	2,4	10,00	3,19	5,3	0,17	38,70	<3	<5	9,1
7	<1	1,6	-	13,93	6,50	0,10	1,9	0,03	56,5	<3	58,0	7,1 - 7,7
8	16,3	2,9	1,45	4,1	29,0	6,09	20,5	0,36	240,9	<3	132,0	7,3
9	7,8	<1	1,10	3,73	7,45	0,05	1,2	0,10	231,6	21,0	<5	7,5
10	<1	<1	1,60	<1	<1	0,59	17,9	3,13	59,1	24,2	<5	7,4
11	152,7	152,6	3,31	593,64	16,19	1,05 %	2,3	139,00	19,1	3,4 ppm	<5	2,0
12	22,0	6,6	2,00	3,90	30,27	2,67	2,8	19,31	41,45	<3	20,0	7,5
13	<1	1,36	1,15	2,00	6,4	0,03	4,0	<1	300,0	10,0	10,0	-
14	6,2	10,5	1,82	12,10	17,2	0,18	15,2	1,39	242,8	<3	26,0	8,6
15	7,3	8,4	1,32	8,70	72,5	0,03	4,0	<1	15,6	<3	31,0	12,5

Lokality: 1 - Beliansky potok oproti Belianskej štôlni, 2 - Štiavnický potok, južný okraj Banskej Štiavnice, 3 - Štiavnický potok na J od Antola, 4 - Štiavnický potok na J od Prenčova, 5 - Halčianske jazero, 6 - Belianske jazero, 7 - Štiavnické jazero, 8 - prameň nad Belianskym jazerom, 9 - prameň na pravej strane Belianskeho potoka (oproti odkalisku rudných baní), 10 - voda vytekajúca z Belianskej štôlne, 11 - prameň pod haldou šobovského kremenca, 12 - studňa v alúviu potoka pri štôlni Juraj, 13 - studňa na dvore domu č. 3 v Banskej Belej, 14 - rezervoár na pravej strane Belianskeho potoka (oproti odkalisku rudných baní), 15 - voda z odkaliska rudných baní.

Cr, Ag, Fe a Mn (obr. 7 až 9). V prameni nad Belianskym jazerom je nadlimitný obsah Pb, Fe a Mn a vo vode vytekajúcej z Belianskej štôlne iba Fe a Mn. Najčistejšia voda je v prameni na pravej strane Belianskeho potoka (oproti odkalisku rudných baní), kde sa sledované prvky vyskytujú v nižšej koncentrácii, ako sú limitné hodnoty. Hodnota pH vody okrem prameňa pod haldou šobovského kremenca je v rozpätí hodnôt prípustných pre pitnú vodu.

Voda zo studní a rezervoára

Ťažké kovy a pH sme sledovali v dvoch studniach a v jednom rezervoári. Voda v studni na dvore domu č. 3 v Banskej Belej nemá nadlimitný obsah sledovaných prvkov, kým voda zo studne v alúviu potoka pri štôlni Juraj má nadlimitný obsah Cd, Fe a Mn. Voda z rezervoára na pravej strane Belianskeho potoka (oproti

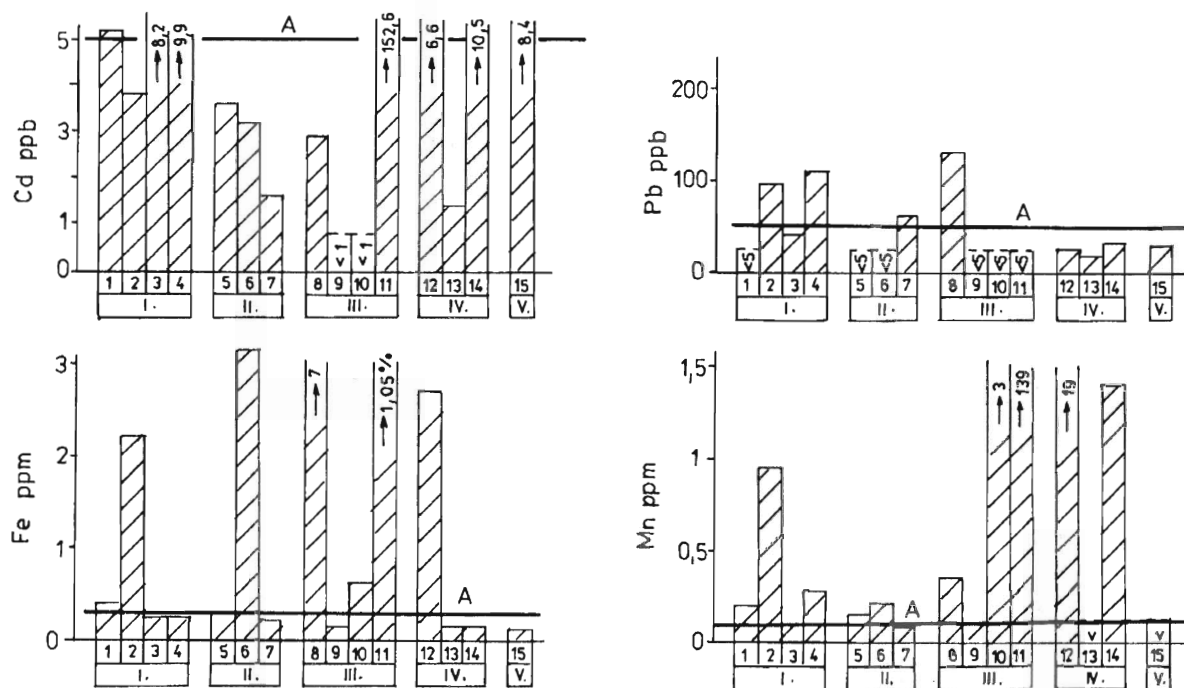
odkalisku rudných baní) obsahuje dvojnásobok Cd, ako pripúšťa norma pre pitné vody, a mnohonásobne viac Mn. Nadlimitná je aj hodnota pH vody (tab. 3, obr. 9).

Voda z odkaliska

Voda na odkalisku rudných baní po flotačnej úprave rudy má osobitné postavenie. Vyznačuje sa vysokou hodnotou pH (12,5) a koncentráciou Cd (8,4 ppb), ktorá je výrazne vyššia ako medzná hodnota pre pitnú vodu. Vysoké pH spôsobuje vyzrážanie väčšiny sledovaných prvkov.

Diskusia

Kontaminácia pôdy v oblasti na SV od Banskej Štiavnice je menšia ako na alúviu Štiavnického potoka.



Obr. 7. Distribúcia Cd, Pb, Fe a Mn vo vodách. I - potoky, 1 - Beliansky potok oproti Belianskej štólne (odvodňovacej), 2 - Štiavnický potok, južný okraj Banskej Štiavnice, 3 - Štiavnický potok na J od Antola, 4 - Štiavnický potok na J od Prečova, II - jazerá, 5 - Halčianske jazero, 6 - Belianske jazero, 7 - Štiavnické jazero, III - pramene, 8 - prameň nad Belianským jazerom, 9 - prameň na pravej strane Belianskeho potoka (oproti odkalisku rudných baní), 10 - voda vytekajúca z Belianskej štólne (odvodňovacej), 11 - prameň pod haldou šobovského kremenca, IV - studňa a rezervoár, 12 - studňa v alúviu pri štólne Juraj, 13 - studňa vo dvore domu číslo 3 v Banskej Belej, 14 - rezervoár na pravej strane Belianskeho potoka (oproti odkalisku rudných baní), V - odkalisko, 15 - voda z odkaliska rudných baní, A - najvyššie medzné hodnoty pre pitnú vodu.

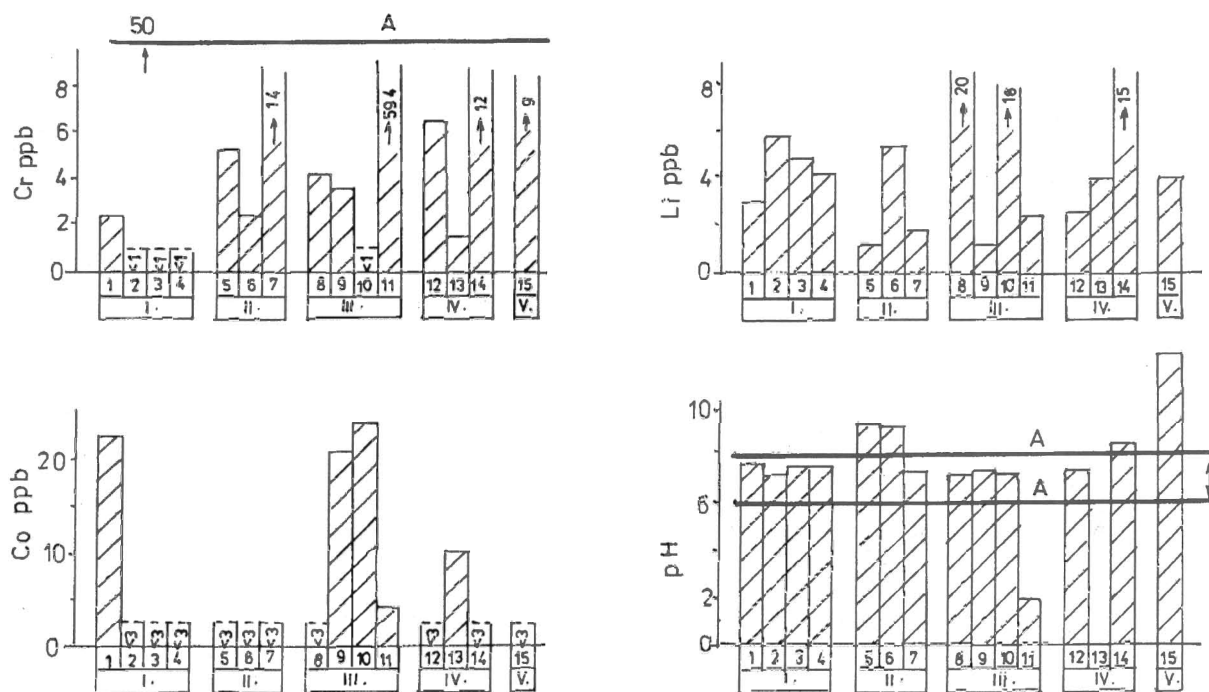
Fig. 7. Distribution pattern of Cd, Pb, Fe, Mn in waters. I - brooks, 1 - Beliansky potok brook opposite the Belianska mine adit (dewatering), 2 - Štiavnický potok brook, south margin of Banská Štiavnica, 3 - Štiavnický potok brook south of Antol, 4 - Štiavnický potok brook south of Prečov, II - ponds, 5 - Halčianske jazero pond, 6 - Belianske jazero pond, 7 - Štiavnické jazero pond, III - springs, 8 - spring above the Belianske jazero pond, 9 - spring on the right bank of Beliansky potok brook (opposite the ore mine setting pit), 10 - water streaming out of Belianska mine adit (dewatering), 11 - spring below the Šobov quartzite heap, IV - wells and reservoir, 12 - well in alluvial deposit near to the Juraj mine adit, 13 - well in the yard of the house No. 3 at Banská Belá, 14 - reservoir on the right bank of Beliansky potok brook (opposite the setting pit of ore mines), V - setting pit, 15 - water from setting pit ore mines, A - thresholds (limite) for drinking water.

Na SV od Banskej Štiavnice sa podľa limitných hodnôt rizikových (škodlivých) látok v pôde zistila kontaminácia, ale jej stupeň si asanáciu pôdy nevyžaduje. Holub, Banášová a Križani (1991) acidifikáciu pôdy pod haldou šobovského kremenca pokladajú za ekologickú haváriu a spájajú ju s ťažbou kremenca, v ktorom sú rozptýlené sulfidy. Je nesporné, že pri ťažbe kremenca a tvorbe haldy sa hornina mechanicky narušuje, čím sa zvyšuje perlokácia dažďovej vody a prístup vzdušného kyslíka. To urýchľuje rozpad sulfidov a tvorbu H_2SO_4 a môže kontaminovať pôdu v smere prenikania vody. Potvrzuje to aj vysoká koncentrácia vodíkových iónov ($pH = 2$) vo vode z prameňa pod haldou. Podľa nášho náhľadu halda šobovského kremenca s obsahom sulfidov kontamináciu pôdy v malom úseku zvyšuje, ale nie je hlavným znečisťovateľom v oblasti na SV od Banskej Štiavnice. Za hlavný zdroj kontaminácie väčšieho rozsahu pokladáme horniny s rozptýlenou rudnou mineralizáciou v okolí rudných žíl, ktoré do tejto oblasti zasahujú, ako aj pyritizované vulkanoklastiká pod šobovskými kremencami (Polák, 1960). Pyritizované horniny zaberajú veľkú plochu a predmetnú oblasť viacnásobne presahujú (Koděra

a Kováčik, 1968; Forgáč, 1987). Zvetrávaním týchto hornín, ktoré antropogénne neboli mechanicky narušené, sa uvoľňujú ťažké kovy za vzniku H_2SO_4 a dostávajú sa do vody, pôdy a do dnových sedimentov potokov. Svedčí o tom aj fakt, že takmer v rovnakej koncentrácii sú ťažké kovy vo vrchnej aj v hlbšej časti pôdných profilov pod haldou šobovského kremenca, ako aj vo vzdialenejších miestach, ktoré sú mimo dosahu prenikania vody spod haldy šobovského kremenca.

Na zvýšený obsah v rastlinách a pôde na J od Banskej Štiavnice poukázal Holub a Banášová (1985). Za zdroj znečistenia považujú plynné a pevné emisie, ktoré unikali z huty pri spracúvaní Cu-Pb rúd. Kontamináciu zaznamenali vo vzdialenosti 1,5 až 5 km od bývalej huty v smere prevládajúcich vetrov. Odbory vzoriek presne nelokalizujú, a preto sa nedá posúdiť, či materiál odobrali z údolia potoka, alebo zo širšieho okolia, čo sťažuje priamu nadväznosť na naše poznatky. Naš výskum zistil veľmi vysokú kontamináciu toxickými kovmi v pôde na aluviálnych a dnových sedimentoch Štiavnického potoka ešte aj vo vzdialenosti 13 km od bývalej huty.

Aj keď bola huta na spracúvanie rúd v prevádzke



Obr. 8. Distribúcia Cr, Co, Li a pH vo vodách. I - potoky, 1 - Beliansky potok oproti Belianskej štôlni (odvodňovacej), 2 - Štiavnický potok, južný okraj Banskej Štiavnice, 3 - Štiavnický potok na J od Antola, 4 - Štiavnický potok na J od Prečova, II - jazerá, 5 - Halčianske jazero, 6 - Belianske jazero, 7 - Štiavnické jazero, III - pramene, 8 - prameň nad Belianskym jazerom, 9 - prameň na pravej strane Belianskeho potoka (oproti odkalisku rudných baní), 10 - voda vytekajúca z Belianskej štôlni (odvodňovacej), 11 - prameň pod haldou šobovského kremenca, IV - studne a rezervoár, 12 - studňa v alúviu pri štôlni Juraj, 13 - studňa vo dvore domu číslo 3 v Banskej Belej, 14 - rezervoár na pravej strane Belianskeho potoka (oproti odkalisku rudných baní), V - odkalisko, 15 - voda z odkaliska rudných baní, A - najvyššie medzné hodnoty pre pitnú vodu.

Fig. 8. Distribution pattern of Cr, Co, Li and pH in waters. I - brooks, 1 - Beliansky potok brook opposite the Belianska mine adit (dewatering), 2 - Štiavnický potok brook, south margin of Banská Štiavnica, 3 - Štiavnický potok brook south of Antol, 4 - Štiavnický potok brook south of Prečov, II - ponds, 5 - Halčianske jazero pond, 6 - Belianske jazero pond, 7 - Štiavnické jazero pond, III - springs, 8 - spring above the Belianske jazero pond, 9 - spring on the right bank of Beliansky potok brook (opposite the ore mine setting pit), 10 - water streaming out of Belianska mine adit (dewatering), 11 - spring below the Šobov quartzite heap, IV - wells and reservoir, 12 - well in alluvial deposit near to the Juraj mine adit, 13 - well in the yard of the house No. 3 at Banská Belá, 14 - reservoir on the right bank of Beliansky potok brook (opposite the setting pit of ore mines), V - setting pit, 15 - water from setting ore mines, A - thresholds (limite) for drinking water.

desaťročia (1783 až 1969), plynné a pevné emisie nie sú hlavným zdrojom kontaminácie pôdy na aluviálnych sedimentoch Štiavnického potoka. V blízkosti huty bola mnoho desaťročí (až do roku 1975) v prevádzke šachta František a flotačná úpravná rudy. Hlušina dopravovaná šachtou sa haldovala blízko potoka, odpadový materiál z úpravne, ako aj haldový materiál sa splavovali do potoka, čo spôsobilo veľmi vysokú kontamináciu tohto alúvia. Koncentrácia Zn, Pb, Cd a Ag v pôde a v dnových sedimentoch potoka je taká vysoká ako v sedimente v odkalisku z flotačnej úpravne rudných baní nad Banskou Belou.

Chemické zloženie vody vo veľkej miere závisí od charakteru a zloženia hornín, cez ktoré prechádza. Ak horniny obsahujú impregnácie sulfidov, nastáva širokyslé zvetrávanie. Pri pôsobení kyslíkatej vody na takéto horniny sa oxidujú sulfidy, vzniká voľná H_2SO_4 a rozličné sírany, ktoré pôsobia ako významné faktory premeny hornín. Vytvára sa veľmi kyslé prostredie a pH lokálne klesá až na 2. Napríklad oxidácia pyritu prebieha podľa schémy



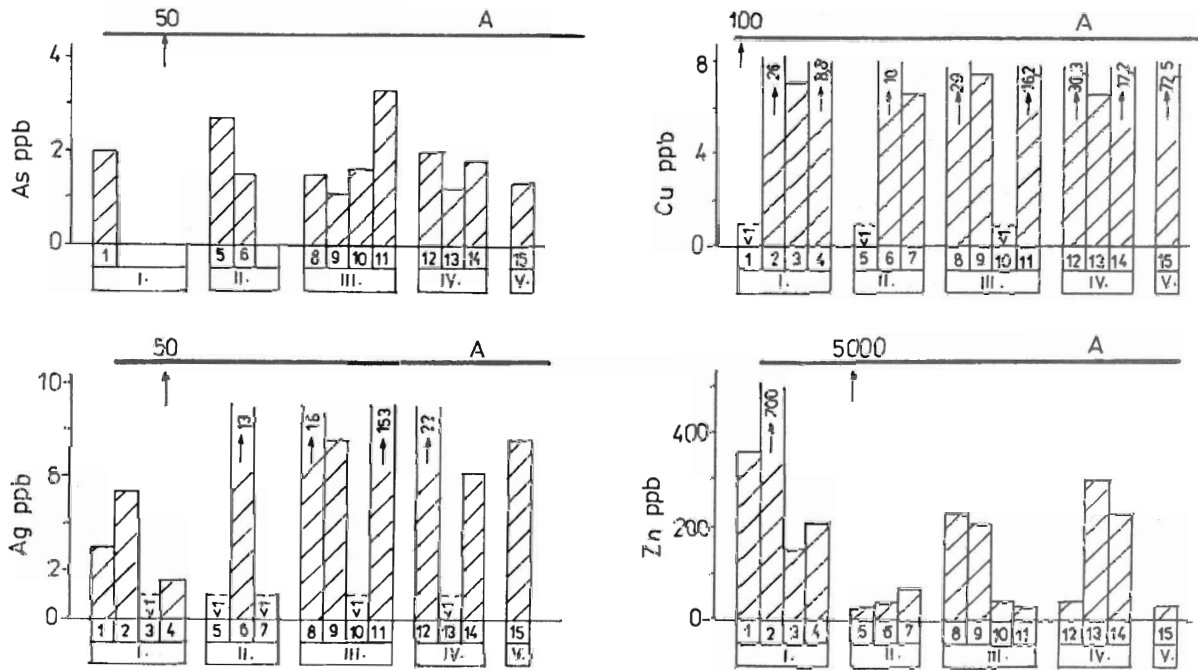
Za spolupôsobenia tiónových baktérií môže nastať ďalšia oxidácia síranov Fe



pričom vznikajúce sírany trojmocného Fe vplyvajú na rozklad sulfidov. Oxidáciou sulfidov sa uvoľňuje H_2SO_4 a spôsobuje vylúhovanie kovov z hornín. Kyslé a toxické roztoky sa dostávajú do povrchových vôd a spôsobujú kontamináciu rezervoárov podzemnej vody. Ako výsledok týchto procesov prešlo Cd, Fe, Mn a Pb do vôd, v ktorých sú tieto prvky v porovnaní s normou pre pitnú vodu v nadlimitnej koncentrácii.

Záver

V oblasti Banskej Štiavnice sa uplatnili dva typy kontaminácie. Prvý je antropogénny a spôsobila ho ťažba rúd a ich spracúvanie. Uplatnil sa na J od Banskej Štiavnice v pôde na alúviu Štiavnického potoka a v dnových sedimentoch potoka. Druhý typ sa uplatnil v oblasti na SV od Banskej Štiavnice pôsobením hypergénnych



Obr. 9. Distribúcia As, Ag, Cu, Zn vo vodách. I - potoky, 1 - Beliansky potok oproti Belianskej štólne (odvodňovacej), 2 - Štiavnický potok, južný okraj Banskej Štiavnice, 3 - Štiavnický potok na J od Antola, 4 - Štiavnický potok na J od Prečova, II - jazerá, 5 - Halčianske jazero, 6 - Belianske jazero, 7 - Štiavnické jazero, III - pramene, 8 - prameň nad Belianskym jazerom, 9 - prameň na pravej strane Belianskeho potoka (oproti odkalisku rudných baní), 10 - voda vytekajúca z Belianskej štólne (odvodňovacej), 11 - prameň pod haldou šobovského kremeňa. IV - studne a rezervoár, 12 - studňa v alúviu pri štólne Juraj, 13 - studňa na dvore domu č. 3 v Banskej Belej, 14 - rezervoár na pravej strane Belianskeho potoka (oproti odkalisku rudných baní), V - odkalisko, 15 - voda z odkaliska rudných baní, A - najvyššie medzné hodnoty pre pitnú vodu.

Fig. 9. Distribution pattern of As, Ag, Cu, Zn in waters. I - brooks, 1 - Beliansky potok brook opposite the Belianska mine adit (dewatering), 2 - Štiavnický potok brook, south margin of Banská Štiavnica, 3 - Štiavnický potok brook south of Antol, 4 - Štiavnický potok brook south of Prečova, II - ponds, 5 - Halčianske jazero pond, 6 - Belianske jazero pond, 7 - Štiavnické jazero pond, III - springs, 8 - spring above the Belianske jazero pond, 9 - spring on the right bank of Beliansky potok brook (opposite the ore mine setting pit), 10 - water streaming out of Belianska mine adit (dewatering), 11 - spring below the Šobov quartzite heap, IV - wells and reservoir, 12 - well in alluvial deposit close to the Juraj mine adit, 13 - well in the yard of the house No. 3 at Banská Belej, 14 - reservoir on the right bank of Beliansky potok brook (opposite the setting pit of ore mines), V - setting pit, 15 - water from setting pit ore mines, A - thresholds (limite) for drinking water.

procesov na hydrotermálne premenené horniny s rozptýlenou rudnou mineralizáciou. Antropogénna kontaminácia vyvolaná ťažbou šobovského kremeňa je nízka.

Kontamináciu pôdy a dnových sedimentov ťažkými kovmi v oblasti na SV od Banskej Štiavnice - v porovnaní s limitnými hodnotami rizikových látok v pôde - vo väčšine lokalít spôsobuje Pb a Ag a na jednej až dvoch lokalitách As, Cu a Zn. Koncentrácia ďalších prvkov sa pohybuje okolo referenčných hodnôt.

Veľmi intenzívna je kontaminácia pôdy na alúviu a dnových sedimentoch Štiavnického potoka. Koncentrácia As, Cd, Pb, Cu, Zn a Ag presahuje limitné hodnoty asanácie pôdy. Pb túto hodnotu prekračuje 2-krát až 4-krát a Ag 1100-krát, ako je priemerná hodnota pre pôdu. Obsah Hg a Cr sa pohybuje okolo referenčných hodnôt.

Nadlimitný obsah srne zisťujú aj vo vode z potokov, studní, prameňov a z rezervoára. Koncentrácia Cd, Pb, Fe a Mn je oveľa vyššia ako medzná hodnota týchto prvkov pre pitnú vodu. To vyžaduje pravidelný monitoring, podrobnejší výskum znečistenia vody toxickými prvkami a v prípade potreby aj nápravné opatrenia.

V území s takou vysokou kontamináciou pôdy a dno-

vých sedimentov, ktorá poukazuje na ich asanáciu, je nevyhnutné urýchlenie podrobnejšieho zmapovania rozsahu poškodeného územia a rozhodnutí o spôsobe nápravy. Taká silne kontaminovaná pôda nie je vhodná na pestovanie rastlín na konzumáciu, ani ako trávny porast na seno či ako potravu pre zvieratá. V týchto oblastiach by sa aj hygienická služba mala zamerať na kontrolu ťažkých kovov v rastlinách a v ich častiach, ktoré sa konzumujú, ako aj na sledovanie divorastúcich rastlín používaných ako krmivo pre domáce zvieratá.

Z výskumu vychádza, že kontamináciu ťažkými kovmi pôdy a vody nespôsobila len banská činnosť, ale aj zvetrávanie hydrotermálne premenených hornín s obsahom sulfidov. Z tohto hľadiska sa vyžaduje rozšíriť environmentálny výskum nielen na širšiu oblasť Banskej Štiavnice a Štiavnické vrchy, ale na celú stredoslovenskú oblasť, kde je hydrotermálne premenených hornín okolo 790 km³ (Forgáč, 1987). Takéto horniny sú na povrchu na ploche okolo 243 km² a môžu priamo znečisťovať pôdu a vodu. Rozšírenejšie sú pod povrchom (okolo 549 km²) a môžu zvyšovať obsah toxických kovov v spodnej vode, ktorá nimi prechádza. Pri silnejšom zvetrávaní, ktoré tu

prebieha, sa uvoľňujú toxické prvky a prechádzajú do vody (do hĺbky niekoľko 100 m a v porušených zónach až vyššie 1000 m; Čurlík a Forgáč, 1983). Rovnako pokladáme za potrebné popri koncentrácii toxických prvkov sledovať aj formy výskytu a ich väzbu v sledovaných vzorkách študovaného prostredia.

Literatúra

- Bowen, H. J. M. 1979: Environmental chemistry of the elements. *Academic Press London, New York, Toronto, Sydney, San Francisco*.
- Československá štátna norma pitná voda - ČSN 75 7111, schválená 5.1.1989.
- Čurlík, J. & Forgáč, J. 1983: Prejavý sírnokyslého zvetrávania a jeho hĺbkové zmeny vo vulkanických horninách pohoria Vtáčnik. *Geol. Práce, Spr.*, 79, 197 - 217.
- Čurlík, J., Forgáč, J., Harman, M. & Horváth, I. 1991: Argilitizácia vplyvom kyslých descendenčných roztokov v Dekýši (Štiavnické vrchy). *Mineralia slov.*, 23, 145 - 154.
- Forgáč, J. 1967: Die Entfärbung der Gesteine und deren Zerfall im Erzrevier von Banská Štiavnica. *Geol. Práce, Spr.*, 42, 103 - 118.
- Forgáč, J. 1987: Geochemia a genéza hydrotermálne premenených vulkanických hornín na strednom Slovensku. *Geol. Práce, Spr.*, 86, 39 - 72.
- Holub, Z. & Banášová, V. 1985: Prispôsobovanie rastlín v podmienkach intoxikácie pôdy ťažkými kovmi. *XXI. TOP, Počúvadlo*, 142 - 155.
- Holub, Z., Banášová, V. & Krížani, I. 1991: Vplyv acidifikácie pôdy na rastlinstvo v oblasti ťažby hydrokvarcitu (Šobov). *Geológia a životné prostredie. Zbor. prednášok GU SAV a STV Banská Bystrica*, 114 - 121.
- Koděra, M. & Kováčik, J. 1968: Bazálne súvrstvie III. andezitovej fázy v oblasti Banskej Štiavnice. *Acta geol. geogr. Univ. Comen., Geol.*, 13, 91 - 116.
- Polák, S. 1960: Záverečná správa a výpočet zásob Banská Štiavnica, Šobov - kremence. *Manuskript - Geofond Bratislava*.
- Smernice Ministerstva pôdohospodárstva Slovenskej republiky o najvyšších prípustných hodnotách škodlivých látok v pôde a o určení organizácií oprávnených zisťovať skutočné hodnoty týchto látok. *Vest. Min. pôdohosp.*, roč. XXVI, jan. 1994.
- Krížani, I., Jeleň, S. & Háber, M. 1994: Rezistentné a sekundárne minerály historických depónií v štiavnickom rudnom poli - environmentálne a technologické aspekty. *Mineralógia, geochemie a životné prostredie. Ostrava - Poruba* 28. - 30. června 1994) 99 - 100.

Occurrence of toxic elements in the Banská Štiavnica area (Central Slovakia)

Štiavnické vrchy Mts. and broader surrounding of Banská Štiavnica town are well known by many centuries running mining activities and ore reworking. These activities were accompanied by mechanical redistribution of heaps and tailing materials downwards their slopes but mostly to the alluvial plains. Weathering of this material caused deliberation of chemical elements and their mobilisation into water. As a consequence, increasing concentration of chemical elements in water, but due to sorption also in the bottom and stream sediments, have been found.

This contribution deals with the study of the chemical elements (As, Ag, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Li, Mn, Pb, and Zn) distribution in the different sampling media: soils, stream and bottom sediments, stream- well- and spring water and water in reservoirs.

The results show that soil and stream sediments are polluted by As, Cd, Pb, Cu, Zn and Ag (Tab. 3, Fig. 7 to 9). Due to weathering some chemical elements are leached to water. In several samples of surface water were found the high concentrations of Cd, Pb, Fe and Mn, level of which, has crossed thresholds values for drinking water (Tab. 3, Fig. 7 to 9).

The anomalous concentrations of elements are mostly anthropogenic in the nature and connected with the mining and ore reworking activities but also with the weathering of excavated materials with sulphidic content (for instance open pit quartzites exploited at Šobov, Fig. 1). Only locally occurring high concentrations (anomalous) of the elements of geochemical nature are connected with the dispersion halos around the ore structures or hydrothermally altered and pyritized rocks.