

Studie kontaminace půdy rtutí v oblasti
centrální Altaje

The study of soil contamination with
mercury in central Altai

Lukáš Hojgr

Diplomová práce
2005



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Vložit oficiální zadání diplomové/bakalářské práce

Na tomto místě bych chtěl poděkovat Prof. Ing. Janu Kupcovi CSc. a RNDr. Martinu Šťastnému za odborné vedení, cenné rady a trvalý zájem při vypracování této diplomové práce.

Prohlašuji, že jsem na celé diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně, 24. 05. 2005

jméno diplomanta

Abstrakt

Cílem této práce bylo zjistit vliv těžby nerostných surovin na dosud nepoškozenou krajinu oblasti centrální Altaje.

Byla zvolena dvě místa odběru vzorků a to Al-Aktaš a Krasna Gorka. U obou oblastí bylo provedeno stanovení rtuti. U oblasti Al-Aktaš byly naměřeny běžné koncentrace rtuti vyskytující se v půdách, u druhé oblasti koncentrace až 25 krát převyšující maximální hodnoty, což může být velmi nebezpečná skutečnost pro okolní život.

Dále byla provedena rentgenová difrakční analýza, která prokázala přítomnost křemene (tvoří převážnou část půd), cinnabaritu aj.

Poslední analýzou bylo zjištění obsahu karbonátů, který se pohybuje od 12 do 35%.

The aim of this study was to find out the influence of raw material extraction on up to the present time undamaged area of Central Altai.

Two areas of soil sampling were selected for this study - Al-Aktaš and Krasna Gorka. Both areas were tested for the determination of mercury. The usual concentration of mercury in soil was found in Al-Aktaš while in Krasna Gorka the concentration of mercury is up to 25 times higher than the maximum value, which can have very dangerous effects on the surrounding life itself.

Furthmore the radiographic diffractive analysis was also executed and it displayed the presence of silica which comprises a predominant part of soil, and cinnabar etc.

The last chemical analysis resulted in finding out the content of carbonates which ranges from 12 to 35%.

ÚVOD.....	7
1 LITERÁRNÍ PŘEHLED	8
1.1 CIZORODÉ LÁTKY V ŽIVOTNÍM PROSTŘEDÍ	8
1.2 RTUŤ	10
1.2.1 Globální cyklus rtuti	11
1.2.2 Emise rtuti ve vzduchu	14
1.2.3 Rtuť ve vodě.....	15
1.2.4 Rtuť v půdě a minerálních ložiscích	17
1.2.5 Vliv rtuti na zdraví populace.....	20
1.3 ZHODNOCENÍ LITERÁRNÍ STUDIE.....	21
2 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE.....	22
3 CHARAKTERISTIKA STUDOVANÉHO ÚZEMÍ.....	23
3.1 AL-AKTAŠ	24
3.2 KRASNA GORKA	26
4 ODBĚR VZORKŮ A JEJICH PŘÍPRAVA.....	31
5 POUŽITÁ METODIKA	32
5.1 RTUŤOVÝ ANALYZÁTOR AMA 254	32
5.2 RENTGENOVÁ DIFRAKCE	32
5.3 STANOVENÍ KARBONÁTŮ	32
6 VÝSLEDKY A DISKUSE	33
6.1 STANOVENÍ RTUTI	33
6.1.1 Al-Aktaš.....	33
6.1.2 Krasna Gorka	34
6.2 RENTGENOVÁ DIFRAKCE	35
6.3 OBSAH KARBONÁTŮ	36
7 ZÁVĚR.....	37

SOUHRN / SUMMARY	38
LITERATURA.....	39
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	41
TABULKOVÁ ČÁST	42

ÚVOD

Životní prostředí jako celek je v současné době velice často diskutovaným tématem a zvláště vliv člověka na všechny jeho části.

Stále zvyšující se obsahy škodlivin ať už v ve vzduchu, v půdě či v lidech samotných nás nutí čím dál více tento problém řešit. Nejpodstatnější vlivy na životní prostředí má industrializace, spalování méně kvalitních fosilních paliv či stále větší používání nebezpečných chemických látek v průmyslu, zemědělství a v běžném každodenním životě. Toto naše chování má za následky hromadění cizorodých látek v prostředí, kde se přirozeně nevyskytují nebo jsou obsaženy v minimálních koncentracích.

Je samozřejmé, že pokud se cizorodá látka vyskytuje v prostředí, kde žijí lidé, zvířata, rostliny a jiné živé organismy, že se dostane do celého potravního řetězce a má nespočet negativních vlivů na své okolí.

Pravděpodobně nejvýznamnější ekologický dopad má hromadění cizorodých či toxických látek v půdě, kterou lze označit za jedno z nejdůležitějších médií v biosféře, neboť má nejen výrobní funkci, ale také samočisticí funkci, na které je závislá kvalita vody, která je k veškerému životu tak nezbytná.

Možnosti vniku cizorodých látek do našeho prostředí bychom měli věnovat více pozornosti než doposud. I když je snaha tomuto zabránit, není dosahováno žádaných výsledků. K výrazně toxickým prvkům patří rtuť a její sloučeniny. Může tedy významně kontaminovat všechny fáze životního prostředí, zejména při manipulaci, těžbě, využívání v technologiích aj.

Ve své diplomové práci jsem se zaměřil na obsah rtuti v půdách oblasti centrální Altaje regionu (Al-Aktaš a Krasna Gorka), kde v minulém období bylo významné středisko její těžby. Cílem bylo zhodnotit, nakolik tato činnost sledovanou oblast poznamenala.

1 LITERÁRNÍ PŘEHLED

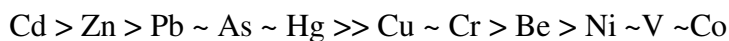
1.1 Cizorodé látky v životním prostředí

Směrnice č.69 MZ ČR z 1.7.1986 o cizorodých látkách v životním prostředí definuje cizorodé látky jako kontaminanty, které při výskytu v prostředí v množství přesahujícím nejvyšší přípustnou hodnotu stanovenou zákonem, mohou svým účinkem ohrozit zdraví lidí. Přitom není rozhodující, zda se vyskytují v čisté podobě, nebo jsou-li obsaženy ve sloučeninách (1).

Do této skupiny patří zejména látky anorganické, těžké kovy, dusičnany, dusitany, fluor, berylium, hliník, ale také některé prvky, které sice plní funkci biogenní, ale jejich vliv na živé organismy může vyvolat toxické nebo jiné nežádoucí účinky (např. mangan, selen, měď, zinek). Dále se jedná o organické látky, různé chlorované sloučeniny, alifatické i aromatické, zejména PCB, dioxiny aj (2).

Zejména skupina těžkých kovů se specifickou hmotností vyšší než 5 g.cm^{-3} , mezi které se řadí především měď, zinek, rtuť, olovo, chrom, kadmium, železo, mangan, nikl a polokovy arsen a selen, je velmi nebezpečná pro životní prostředí jako celek.

Jako nebezpečné pro rostliny a živočichy jsou uváděny v této sestupné řadě (3):



Působení škodlivých faktorů je nutno řádně omezit legislativně, zvýšit preventivní opatření a věnovat se samozřejmě i odstraňování již napáchaných škod.

Koncentrace cizorodých látek v půdách, ve vodách, v potravních řetězcích (tedy i v tělních tekutinách a ve tkáních organismů), se stále zvyšuje v důsledku neustálého přísunu těchto látek tvořených převážnou částí lidským faktorem.

V půdách se prvky vyskytují přirozeně. Jejich množství a forma jsou závislé na přirozeném mineralogickém složení půdy, intenzitě zvětrávacích procesů, obsahu jílových materiálů, obsahu organických látek, humusu atd..

Akumulace cizorodých látek a toxických prvků v půdách, a to zejména v povrchové vrstvě humusového horizontu, má poměrně značný dopad. V této vrstvě probíhá nejen intenzivní mikrobiální činnost a tím i určitá regulace rychlosti koloběhu prvků, ale i jejich vazba na zemědělské produkty, čímž se tyto látky dostávají do potravinového řetězce.

Zdroje cizorodých látek mají charakter primární a sekundární, čili přirozený a antropogenní.

Přirozené zdroje: řadíme mezi ně prachové bouře, sopečnou činnost aj. Zdroje znečištění z těchto přírodních pochodů jsou buďto sopečný prach a popel, který je zdrojem snadno rozpustných forem prvků, nebo různé druhy vyvěřelých hornin(kyselých), v nichž je největší zastoupení Li, As, W, U, Pb, Sb, Th. V půdách vzniklých z hornin bazických se nachází převážně Cu, Fe, Sr, Ta, Zn, V, Ni, Mn, Co,.

Antropogenní zdroje: tyto zdroje jsou představovány především těžebním a zpracovatelským odvětvím výroby kovů. Významný podíl těchto znečišťujících látek se dostává v okolí závodů do ovzduší, pitné vody a v neposlední řadě také do půdy.

Dalším zdrojem toxických kovů je popílek ze spaloven fosilních paliv, především uhlí a nafty. Popílek znečišťuje nejen ovzduší, ale také půdu a může být zdrojem znečištění pro pitnou vodu.

Nemalým podílem přispívá ke kontaminaci prostředí doprava. Jedním z hlavních zdrojů je olovo, které se používá na výrobu akumulátorů do vozidel a jejich potřeba stoupá s rostoucím počtem motorových vozidel. Do nedávné minulosti silně znečišťovalo prostředí olovo z výfukových plynů. V současnosti se tomu snažíme předejít formou katalyzátorů, které ovšem nejsou schopny zachytit všechny cizorodé látky (nečistoty v benzínu, těžké kovy z olejů a lubrikantů, mikroskopické oděry z motorů atd.), které se dostávají do ovzduší vesměs v nebezpečné jemně disperzní formě.

Dalším problémem je zemědělství jako zdroj vstupu cizorodých látek do ekosystému. Používáním některých druhů mořidel obilnin se dostávají do půdy Hg a Cu. Aplikací průmyslových hnojiv, především fosfátových, se dostávají do půdního prostředí Zn, Pb, Cu, Ni, As, Cd. V zemědělství ovšem těžké kovy netvoří hlavní typ polutantů a v posledních letech byly navíc u nás dávky pesticidů a hnojiv výrazně sníženy (4).

1.2 Rtut'

Má kovově šedou až cínově bílou barvu a silný kovový lesk. Často má příměs Ag. Hustota $13,6 \text{ g.cm}^{-3}$. Vyskytuje se ve formě drobných kapek, nejčastěji přímo na cinnabaritu (HgS). Vzniká kondenzací rtuťových par unikajících ze struktur minerálů Hg, hlavně cinnabaritu (5).

K výrobě rtuti se nejčastěji užívá přírodní rumělka, která se zpracovává žárovou cestou. Rtut' se uvolňuje v podobě par, které kondenzují (7).

Rtut' těká při každé teplotě. Koncentrace nasycených par kovové rtuti při 24°C dosahuje 18 mg.m^{-3} . Výpary obsahující rtut' jsou velmi jedovaté; při jejich dlouhodobém působení mohou vyvolat těžké poruchy zdraví a to i ve zcela nepatrných dávkách (5).

I přes své toxické účinky má rtut' široké využití, v současnosti zejména v chemickém průmyslu, např. při elektrolýze chloridu sodného, při organických syntézách, v polarografii, katalytických procesech při výrobě plastů, dále při výrobě elektrických kontaktů, zpracování rud. Rtut' je využívána také v zemědělství, kde její sloučeniny slouží k moření osiva. Je součástí některých fungicidů, které se využívají při výrobě celulózy a papíru.

Dalším oborem využívajícím vlastnosti rtuti je lékařství, (teploměry, zubní amalgámy aj). Rtuť se jako aktivní složka nachází i v různých antiseptikách, diuretikách a kožních léčivech. V poslední době se však pro svou toxicitu nahrazují preparáty rtuti méně toxickými léčivy.

Rtuť tvoří také základ některých speciálních barviv, především pro ochranné nátěry lodních trupů a dále tam, kde je potřeba, aby barva měla baktericidní a fungicidní účinky (6).

Červená rtuť

Co je to za zvláštní rtuť, když ta obyčejná je stříbřitá? Přesně se neví, ale má se za to, že jde o polymer na bázi železa obsahující antimon a rtuť. Své neobvyklé vlastnosti získá po několikadenním ozařování v jaderném reaktoru. Poprvé měla být tato látka připravena v Centru jaderných výzkumů v ruském Dubně. Mohla by být využita pro snadnou přípravu jaderné zbraně s velmi vysokým účinkem.

Třaskavá rtuť

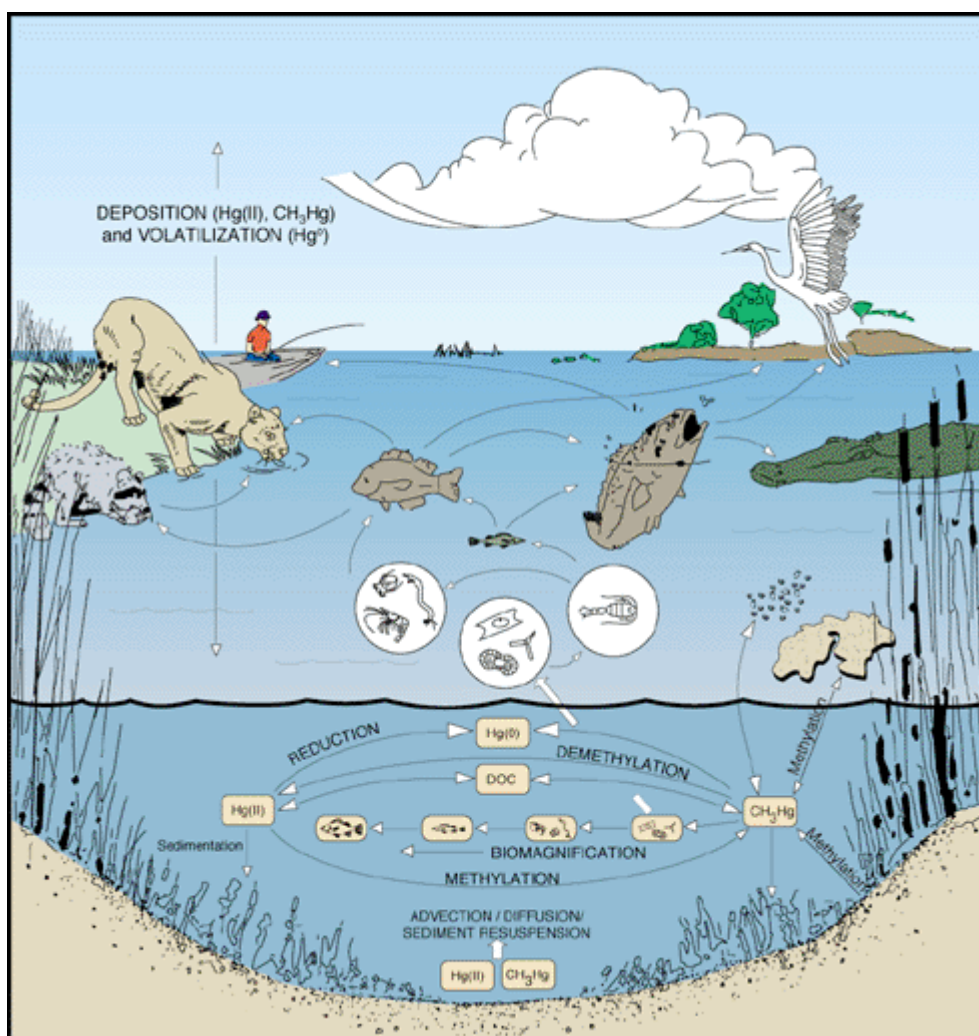
Jako třaskavá rtuť se označuje fulminát rtuťnatý, která se používá při výrobě průmyslových rozbušek. Výroba je nitrací rtuti kyselinou dusičnou ; bohužel se dá zvládnout bez problému i doma, o čemž svědčí znetvořené prsty mnoha „mladých chemiků” (13).

1.2.1 Globální cyklus rtuti

Rtuť koluje v životním prostředí jako výsledek přirozených jevů i lidské činnosti. Množství rtuti uvolněné do biosféry se zvyšuje od začátku průmyslové éry. Většina tohoto prvku v atmosféře je ve formě par, které cirkulují v atmosféře až jeden rok a tudíž mohou být rozptýleny a přeneseny tisíce kilometrů od místa emise. Většina rtuti ve vodě, půdě, sedimentech a rostlinách či zvířatech se vyskytuje ve formě anorganických

rtuťnatých solí a organických forem rtuti (např. methylrtuť). Anorganická forma rtuti, ať už je vázána v částech vzduchu, nebo ve formě plynu, se snadno odstraňuje z atmosféry srážením. Ukládání rtuti v přirozeném stavu je primární mechanismus při transportu rtuti z atmosféry do povrchových vod a na Zemi. I po uložení se rtuť může vyloučit zpět do atmosféry jako aerosol či páry. Při této cirkulaci mezi atmosférou, půdou a vodou prochází rtuť řadou komplexních chemických a fyzikálních přeměn, jejichž mechanismus zatím není detailně znám (obr.1).

Obr.1 Příklad mechanismu koloběhu rtuti v životním prostředí (8).



Rtuť se nejúčinněji hromadí v potravinových sítích ve vodním prostředí. Organismy predátorů na vrcholu této sítě mají vyšší koncentrace rtuti. Většina prvku, který se hromadí v tkáních ryb, je ve formě methylrtuti. Anorganická rtuť se hromadí méně snadno a lépe se eliminuje z těla než methylrtuť, protože nemá tendenci se „bioakumulovat“ (8).

Konzumace ryb převládá jako cesta methylrtuti do lidských organizmů a těl zvířat. Existují studie podporující přesvědčivé spojení mezi antropogenním uvolňováním rtuti z industriálních či spalovacích zdrojů a methylrtuti v rybách. Vyšší obsah methylrtuti v rybách také vyplývá z existujících koncentrací rtuti v prostředí (mohou se skládat ze rtuti z přirozených zdrojů a také rtuti, uvolňované antropogenní činností). Vzhledem k současnému stavu znalostí životního prostředí a přenosu tohoto prvku není možné stanovit, kolik methylrtuti v rybách konzumovaných v jedné zemi je „domácího“ původu a kolik z jiných zdrojů (přírodní zdroje a reemise z celosvětových ložisek). Nelze předpokládat, že změny celkových emisí rtuti budou v určitém definovaném vztahu ke změnám koncentrace methylrtuti v rybách (8).

Kritické faktory při odhadování působení methylrtuti a riziko z konzumace tvoří druhy konzumovaných ryb, koncentrace methylrtuti a množství a četnost konzumovaných ryb. Typický průměrný konzument v restauracích, z rybářen, není ohrožen stávající hladinou methylrtuti a není potřeba snižovat množství konzumovaných ryb. Hladina methylrtuti zjištěná v běžně konzumovaných komerčních druzích ryb je nízká. Nelze ji srovnávat s hladinou, která byla zjištěna u některých nekomerčních druhů sladkovodních ryb vyskytujících se ve vodách zasažených methylrtutí (8).

Zatímco většina konzumentů ryb se nemusí obávat intoxikace methylrtutí, některé okolnosti je třeba brát vážně. Ti, kteří pravidelně a často konzumují velké množství ryb nebo druhy, které mají typicky vyšší hladinu methylrtuti než ostatní plody moře, či sladkovodní ryby, jsou v daleko větším nebezpečí otravy.

Vyvíjející se plod může být nejcitlivější na účinky methylrtuti, těhotné ženy jsou považovány za tu část populace, které by měla být věnována největší pozornost. Analýza dietního průzkumu U.S. EPA vedla k závěru, že 1 až 3% plodných žen (tzn. ve věku od 15 do 44 v USA) konzumuje dostatečné množství rybího masa, které by mohlo způsobit riziko

vystavení methylrtuti. Proto by se měly ženy v těhotenství nadměrné konzumaci rybího masa vyvarovat (8).

1.2.2 Emise rtuti ve vzduchu

Rtuť se často vyskytuje jako zbytková toxická látka ve fosilních palivech a odpadových materiálech. Když se tyto materiály spálí, kombinace zvýšené teploty při procesu a prchavost rtuti a rtuťových sloučenin způsobuje, že se vylučuje při hoření ve formě kouře. Emise rtuti mají následujících sedm zdrojů spalovacích procesů (pevná paliva):

- Spalování uhlí
- Spalování ropy
- Spalování dřeva
- Spalování městského odpadu
- Likvidace odpadních kalů
- Spalování nebezpečných odpadů
- Likvidace zdravotního materiálu

Následující tab.1 podává přehled (kvantitativní odhad) emisí z uvedeného výčtu jejich zdrojů.

Tab.1 Kvantitativní odhad emitované rtuti z diskutovaných zdrojů

Kategorie		Emise Hg (t)
Spalování uhlí		67.8 (74.6)
Spalování ropy		7.4 (8.1)
Spalování dřeva		0.1 (0.1)
Spalování městského odpadu		26 (29)
Likvidace odpadních kalů		0.86 (0.94)
Spalování nebezpečných odpadů		6.3 (6.9)
Likvidace zdravotního materiálu		14.5 (16)

První tři kategorie se týkají spalování plynu na energii, páru a výrobu tepla, zbývající čtyři jsou procesy likvidace odpadů, i když i při těchto procesech se dá získat nějaká energie (8).

1.2.3 Rtuť ve vodě

Přirozený obsah rtuti v přírodních vodách se pohybuje v setinách $\mu\text{g/l}$, zvýšené koncentrace svědčí o umělém znečištění. Uměle se dostávají sloučeniny rtuti do vod z některých průmyslových odpadních vod. Rtuť se ve vodě vyskytuje ve volných formách Hg^{2+} , Hg_2^{2+} , v komplexech, ale i v elementární podobě Hg.

Rtuť je velmi toxická pro veškeré živé organismy. Jsou známy případy úmrtí na otravu sloučeninami rtuti v rybách. Vzrůst znečištěním rtuti vedl v některých státech k zákazu

používání určitých rtuťnatých přípravků, jako například přípravků k moření obilí proti klíčivosti. Rtuť se využívá v prostředcích k zamezení mikrobiálních pochoďů.

Obsah rtuti by neměl ve vodárenských tocích přestoupit hodnotu 0,1 $\mu\text{g/l}$, v ostatních tocích 5 $\mu\text{g/l}$ (14).

Ve vodním prostředí jsou rozpustné sloučeniny rtuti nejtoxičtější ze všech jejích forem.

Tyto sloučeniny mohou být anorganické, což je například chlorid rtuťnatý, známý jako prudce jedovatý sublimát, ale také organické, např. methylrtuť. Právě organické sloučeniny se snáze ukládají v tukové tkáni. Není pochyb o tom, že lidskou činností se rtuť dostává v různých podobách do přírodního prostředí, někdy dokonce s dramatickým efektem, jakým byla před lety nemoc minamata, která se objevila u obyvatel mořského zálivu v Japonsku, kam se dostávaly odpadní vody z papírny v nichž byly sloučeniny rtuti. Ovšem sloučeniny rtuti se dostávají i do vzduchu, odkud se mohou rozpouštět ve vodě, což se samozřejmě děje, a touto cestou dochází k ukládání rtuti v tělech mořských živočichů.

Jak se vlastně dostává rtuť do vody a do všech těl živočichů žijících v tomto prostředí? Lidé předpokládali, že vysoký obsah rtuti v rybách a tedy i ve vodě musí pocházet ze znečištění přírodního prostředí; druhý názor předpokládá, že rtuť pochází z přirozených zdrojů.

Vzhledem k neustálému vývoji jsou nejnovější poznatky takové, že rtuť obsažená ve světových oceánech a mořích je z přirozených zdrojů. Byla zkoumána koncentrace rtuti v mořských rybách mezi lety 1971 a 1998 kdy se koncentrace rtuti ve vzduchu téměř ztrojnásobila, ale koncentrace ve zkoumaných rybách zůstala téměř nezměněna.

Podle vědeckých týmů by možná mohly hrát nějakou roli některé bakterie žijící na oceánském dně v okolí horkých vývěřů. Tyto organismy by mohly mimo jiné produkovat i methylrtuť. Pokud je tato domněnka správná, pak by současné snahy o výrazné snížení množství rtuti, které se dostává do přírodního prostředí, nemělo z hlediska obsahu tohoto těžkého kovu valný vliv na oceánské ryby a na nás samotné.

Debata je zatím otevřena, přičemž shoda panuje v tom, že je nutno omezit množství rtuti, která se dostává do přírodního prostředí (15).

1.2.4 Rtuť v půdě a minerálních ložiscích

Půdu lze definovat jako samostatný přírodní útvar vzniklý působením půdotvorných faktorů z povrchových zvětralin zemské kůry a z organických zbytků. Mezi půdotvorné činitele patří zejména půdotvorná zemina, podnebí, půdní organismy, stáří půdy (čas) a reliéf území (orientace k světovým stranám). Půda je životním prostředím půdních organismů, může fungovat jako úložiště, ale i zdroj potenciálně rizikových látek.

Z fyzikálního hlediska je půda třífázový systém složený z tuhé (zvětralá hornina, rostliny, živočichové), kapalné (půdní voda) a plynné fáze (půdní vzduch). Z chemického hlediska půda obsahuje anorganický podíl (prvky a sloučeniny) a organický podíl (humínové látky).

Mikroorganismy v půdě jednak produkují metylrtuť a jednak redukují rtuťnaté sloučeniny na těkavou elementární rtuť. Na této činnosti se podílejí též kvasinky a některé houby. Při nízkém pH se rtuť sorbuje na humus, při vyšším na jílové minerály a oxidy Mn a Fe.

Největší ztráta rtuti z půdy je těkáním. V případě mikrobiální methylace Hg v půdách mají methylované sloučeniny vyšší tenzi par a jsou těkavější. Z atmosféry mohou být transportovány zpět do půdy srážkami. Rtuť je přednostně vázána na velké molekuly humusových sloučenin a humusové látky jsou zřejmě hlavním nosičem rtuti při jejím transportu z terestrických do vodních ekosystémů (16).

Nejdůležitější plošné zdroje rizikových látek v půdě u nás jsou imise způsobené spalováním fosilních paliv, aplikace kalů ČOV a používání hnojiv. Pro podmínky u nás byla kvantifikace těchto zdrojů provedena v roce 1998. Průměrné hodnoty vstupu rtuti do půdy

byly u hnojiv $0,004 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$, při aplikaci kalů ČOV $0,060 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ a prostřednictvím atmosferické depozice $0,200 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ (9).

Nejvyšší přípustné obsahy škodlivých látek v půdě jsou stanoveny vyhláškou MŽP č.13/1994 Sb. Pro lehké půdy je maximální přípustná hodnota rtuti $0,6 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ a pro ostatní půdy $0,8 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$.

Přirozený obsah rtuti v půdě se pohybuje $0,02 - 0,2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Vyskytuje se v půdách ve třech hlavních formách: 1. elementární

2. dvojmocná anorganická forma (Hg^{2+})

3. methylrtuť (CH_3Hg).

Elementární rtuť je charakteristická těkavostí a nízkou rozpustností ve vodě, dvojmocná forma se vyznačuje vysokou afinitou k organickým a anorganickým ligandům, speciálně obsahují-li sirné funkční skupiny, a methylrtuť představuje sloučeniny s vysokou perzistencí v prostředí.

Zastoupení jednotlivých forem rtuti v půdním prostředí závisí na půdní reakci a redox potenciálu.

K omezení negativního vlivu rtuti v půdě se doporučuje zabránění výskytu redukčních podmínek. Sorpce rtuti v půdě se s rostoucím pH zvyšuje. Obsah přijatelné rtuti se snižuje při vysokém obsahu humusu (10).

Porozumění mechanismů odpařování rtuti z půdy do atmosféry je nezbytné k sledování osudu rtuti v biologickém prostředí, k zhodnocení možných účinků na zdraví a vliv antropogenních rtuťových emisí na životní prostředí.

Abiologické a biologické tvoření $\text{Hg}(0)$ a nebo CH_3Hg v nejvyšších půdních vrstvách, jsou co se týče míry limitované procesy odpařování rtuti z půd v podkladových oblastí; míra odpaření v podložních oblastech je pravděpodobně silně ovlivněna rtuťí obsaženou ve vzduchu.

Míra odpařování rtuti z původních půd je obvykle $<0.27 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{ha}^{-1}$ a je významně nižší než z oblastí bohatých na ložiska rtuti (11).

Naleziště rtuti jsou celosvětově distribuována v 26 minerálních pásmech (12).

V těchto pásmech se nacházejí 3 typy nalezišť rtuti: křemenno-uhličitanové, horké prameny a almagánové. Rtuť je také vyráběna jako vedlejší produkt z několika druhů zlato-stříbrných a masivních sirných ložisek, což činí 5% světové produkce.

Další druhy minerálních ložisek mohou být obohaceny o rtuť a přítomné složky rtuti v závislosti na druhu ložiska. Během procesu zpracování rtuťové rudy se vytvářejí a shromažďují druhotné rtuťové složky v důlních odpadech. Složky jsou více rozpustné než rumělka (cinobr primární rudný nerost), a způsobují, že rtuťové složky pak mají větší vliv na životní prostředí než jiné druhy rudných ložisek obohacených o rtuť. Uvolnění a transport rtuti z důlních odpadů se primárně děje ve formě částicek obohacených o rtuť a koloidy.

Výroba z ložisek rtuti poklesla kvůli obavám o životní prostředí, ale výroba jako vedlejšího produktu z jiných ložisek bohatých na rtuť zůstává důležitá (12).

V našich půdách nejsou známy lokality s přirozeně vysokou požadovanou hodnotou. Veškeré nadlimitní obsahy jsou antropogenního původu. Do půd se Hg dostává z průmyslové činnosti. Pro rostliny je rtuť velmi špatně přijatelná a také fytotoxické účinky jsou nízké. Riziko vyplývá z přímého vstupu do organismu, případně ze vstupu do rostlin přes vegetační orgány (redepozice, volatilizace) (9).

1.2.5 Vliv rtuti na zdraví populace

Rtuť a její sloučeniny jsou nebezpečné chemikálie, které mohou způsobit vážné zdravotní problémy obzvláště u malých dětí. Nejvíce zranitelné jsou dosud nenarozené děti.

Existují poznatky o působení metalické rtuti, a to u dětí a teenagerů a lidí používajících určitou lidovou medicínu nebo účastnících se jistých etnických či náboženských praktik.

Je důležité, aby široká veřejnost věděla, že krátkodobé i dlouhodobé vystavení se působení rtuti může vést k vážným zdravotním problémům.

Člověk se vystavuje expozici rtuti primárně při dýchání kontaminovaného vzduchu. Další formy rtuti mohou být vstřebávány z kontaminované pitné vody, potravy (obvykle ryb obsahujících rtuť) a kontaktem kůží.

Ve vysokých dávkách může metalická rtuť působit na nervový systém. Jiné formy rtuti mohou poškodit i další orgány.

Metalická rtuť může způsobit zdravotní problémy i při nízkých dávkách a dokonce i před tím, než se objeví první příznaky. Jakmile se příznaky objeví, zdravotní problémy spojené s otravou metalickou rtutí mohou zahrnovat chvění, změny slyšení nebo vidění, nevolnost, slabost, potíže s pamětí, bolest hlavy, podrážděnost, bázlivost a nervozitu - zdravotní stav nazývaný acrodynie.

Těhotné ženy a jejich plody jsou obzvláště zranitelní při intoxikaci metalickou rtutí, protože snadno přechází z placenty na plod. Rtuť se totiž akumuluje ve vyšší koncentraci v nenarozeném dítěti než v matce. Malé děti, které si často hrají na podlaze, kde mohla být rtuť vylita, jsou zvláště ve velkém riziku poškození centrálního nervového systému. Výpary rtuti se snadno vstřebávají do krevního oběhu z plic a z centrálního nervového systému, který se ještě vyvíjí. V prvních letech života se tak může snadněji poškodit.

Účinky na zdraví mohou vyplynout buď z krátkodobého, nebo dlouhodobého vystavení působení rtuti. Tělo se jí zbavuje v moči a výkalech. Odstranění této látky z těla může trvat několik měsíců po vystavení. Příznaky acrodynie jsou svědění, otoky, zarudnutí, růžové dlaně a chodidla, nadměrné pocení. Vyrážky, podrážděnost, popudlivost, nespavost, sdružené bolesti a slabosti. Děti vystavené rtuti po delší dobu mohou mít potíže s učením ve škole. Když jsou dávky rtuti v těle příliš vysoké, je nutná terapie „chelatace“, zahrnující zavedení specifické chemikálie do krevního oběhu (8).

1.3 Zhodnocení literární studie

Nebezpečnost rtuti (kovové i jejích sloučenin) je všeobecně známa. Z předložené literární studie je ale zřejmé, že její koloběh a osud v biosféře není ještě zcela znám. Z pohledu analytických metod dovolujících stanovení velmi malých koncentrací rtuti je možno detailněji sledovat dekontaminaci nejen životního prostředí, ale i lidské populace. Pohyb rtuti ve všech třech základních fyzikálních fázích (vzduch, voda, půda) a je podle vybraných odhadů velmi důležitým ekotoxikologickým problémem. Je pochopitelné, že nejvíce jsou ohroženy oblasti těžby rtuťových rud a příslušný zlomek obyvatelstva, který se na těžbě podílí nebo podílel. Uvedené odkazy nejsou vyčerpávajícím výčtem citací, protože širší problému (a odpovídající pozornost odborníků) je zdrojem mnohem většího počtu odkazů.

V této diplomové práci se zaměřím na kontaminaci půdy rtutí v oblasti Krasna Gorka, kde se od roku 1933 do konce 40. let tento kov těžil, a na případné následky a dopady jak na okolní krajinu, tak i na zdroje vody v těsné blízkosti oblasti těžby. V neposlední řadě je nebezpečí intoxikace místních obyvatel, kteří v této oblasti žijí; mnozí z nich v dolech pracovali a tuto nebezpečnou látku těžili.

2 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem této diplomové práce je zjistit vliv těžby rtuti a jiných nerostných surovin na část oblasti centrální Altaje a posoudit nebezpečí kontaminace této krajiny na lidskou populaci a veškerý život v přilehlém okolí.

Dojde-li jednou ke kontaminaci půdy nebezpečnými látkami, je jejich odstranění mnohem složitější než u vody a vzduchu.

3 CHARAKTERISTIKA STUDOVANÉHO ÚZEMÍ

Geologické podloží lokality Krasna Gorka je charakterizováno širokou variabilitou vyvěřelých hornin a minerálů druhohorní až třetihorní orogeneze, které odráží složitou geologickou historii jihoaltajské oblasti. Současná topografická poloha indikuje neogenní erozi starších paleogenních vrstev a následovně překrytí kvarterními svahovými a glacigenními sedimenty. Lokalita se nachází v místech vyústění jezera přehrazeného ledovcem na konci poslední doby ledové, které následovným katastrofickým vyprázdněním po ústupu ledovcového splazu ze severočujského hřebene erodovalo do předkvarterního podloží velkou část údolí řeky Katuň. Cyklický proces sedimentace a eroze glaciolakustrinních sedimentů měla za následek formování vysokých říčních teras severně od Krasne Gorky.

Obr.2 : Mapa Asie ; žlutě zvýrazněná je oblast ve které jsme se pohybovali, v modrém rámečku oblast pohoří Atlaj



3.1 Al-aktaš

Oblast se nachází uprostřed Sibíře v dosud industriálně nezasažené krajině. Tato oblast byla vybrána po dohodě s vedoucím expedice a průvodci.

Vzhledem k přítomnosti kolegyně s navigačním přístrojem GPS uvádím přesnou polohu místa prvního odběru vzorků, která je N 49°43'087'' a E 087°06'541' ; nadmořská výška: 2023 m.

Ráz krajiny: Pod spodní linií odběru teče potok, v sedimentech nebylo možné provádět odběr z technických důvodů. Horní linie odběru byla v kopci, převýšení mohlo být 20-30 metrů (viz obr 3. a 4.).

Obr.3 Oblast Al-Aktaš - místo odběru

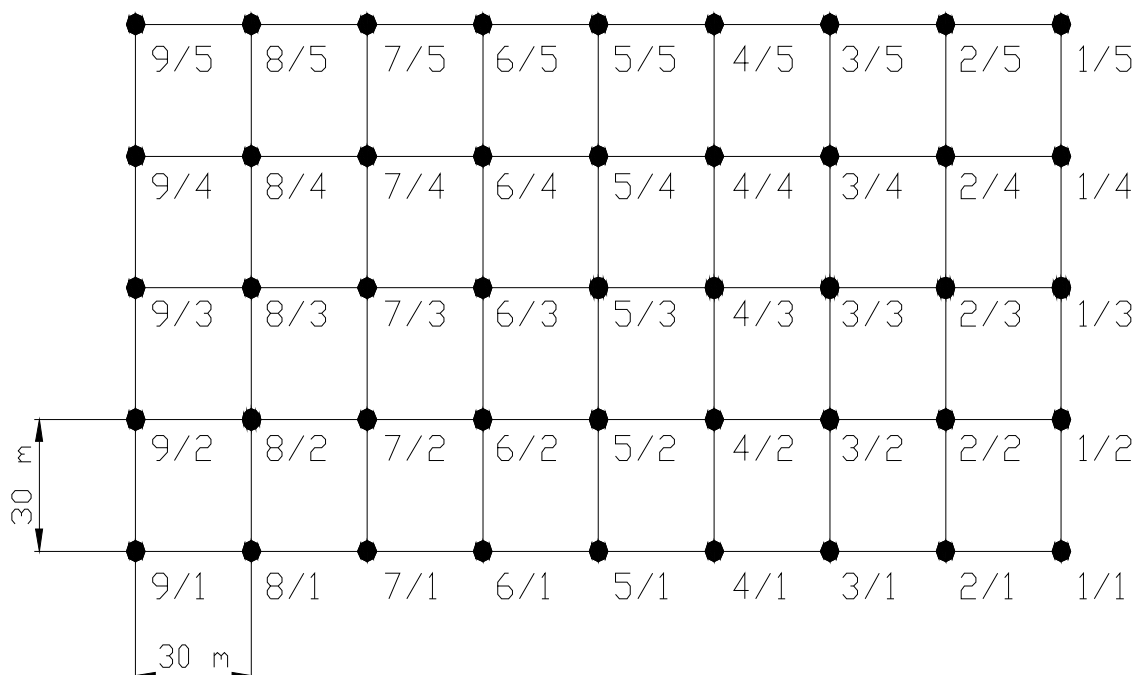


Obr.4 Oblast Al-Aktaš – místo odběru (2.pohled)



Vzorky byly odebírány dle schématu (viz obr.5). Každý bod ve schématu je jedno místo odběru) po třiceti metrech v oblasti 150*270 metrů. Odběr jsem prováděl lopatkou, odkryl jsem horní vrstvu zeminy a odebral vždy z hloubky zhruba 15-20 cm cca 100 gramů vzorku zeminy, které byly následně vysušeny, uloženy ve výše uvedených papírových sáčcích, řádně označeny a převezeny do ČR k následným analýzám.

Obr.5 Schema odběru vzorků oblasti Al-Aktaş



3.2 Krasna Gorka

Tato oblast byla vybrána vzhledem k těžbě rtuti, která zde začala r.1933 a tedy mohlo dojít k vysoké intoxikaci veškerého života v přilehlé oblasti. Celá oblast těžby se táhne z Calguty do Ukok plato.

Místo odběru se nachází asi 15 km od města Koš Agač v místě u řeky, která je místními obyvateli využívána jako zdroj pitné vody a ryb. V okolí se nachází 32 starých šachet cca 300 metrů hlubokých. Rtuť se zde vyskytuje vázaná na železo nebo údajně ve „volné“ formě. Nadmořská výška a pozice nebyla z technických důvodů stanovena.

Charakteristické rysy této oblasti jsou zachyceny na následujících obrázcích (obr.6- obr.13)

Obr.6 Celkový pohled na místo odběru a na linii za sebou jdoucích šachet



Obr.7 Ráz krajiny několik desítek metrů od místa odběru



Obr.8 Pozůstatek těžby - haldy hlíny vyhrabané z šachet



Obr.9. Druhý pohled na haldy před šachtami



Obr.10 Příklad možné kontaminace obyvatelstva



Obr.11 Tvar za sebou jdoucích šachet v místě odběru



Obr.12 Bližší pohled na jednu z šachet



Obr.13 Pohled do šachty

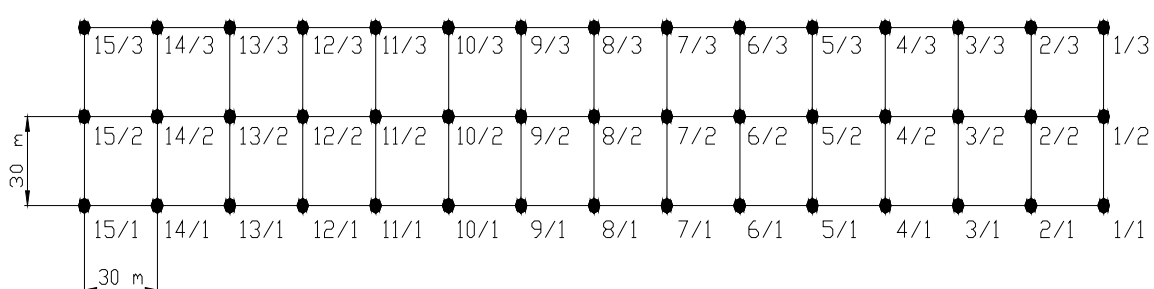


Po prozkoumání území a nalezení šachet uspořádaných v jedné rovině za sebou přesně po šedesáti metrech u míst odběru 1/2,3/2,5/2,7/2 a 13/2, mezi body 3/2 a 5/2 byl zřejmě pokusný vrt (průměr cca 1,5m) a mezi místy odběru 7/2 a 13/2 šachty nebyly. Od šachet 30 metrů na každou stranu se nachází vytěžená hlína, která se táhne v jedné linii až za poslední šachtu. Proto byl odběr proveden dle schématu na obr.14.

Tvar šachet je obdélníkový (viz foto) o průměru 1*2 metry a do hloubky asi 10-20 metrů jsou zasypané.

Postup odbírání, sušení a uložení vzorků byl totožný jako v oblasti Al-Aktaš.

Obr.14 Schema odběru vzorků oblasti Krasna Gorka.



4 ODBĚR VZORKŮ A JEJICH PŘÍPRAVA

Dle rozsahu možností expedice ALTAJ 2004, dostupnosti vybavení a vzdálenosti byla zvolena dvě místa odběru a počet vzorků byl zredukován na 90 cca 100-gramových vzorků půd, které byly na místě podle možností vysušeny.

Pro stanovení veškeré rtuti a také k dalším analýzám byly vysušené vzorky v laboratoři v první fázi zhomogenizány v třecí misce, následně prosety přes síto s průměry ok 0,2 mm a pro další práci byla použita podsítná frakce.

Následovalo stanovení celkové koncentrace rtuti na rtuťovém analyzátoru. Po konzultaci byl proveden reprezentativní výběr a analyzováno 23 z celkových 45 vzorků u každé z obou oblastí. Po provedení analýzy oblasti Al-Aktaš a zjištění koncentrací rtuti vyskytujících se běžně v půdách nebyly další analýzy prováděny a oblast jsem označil jako KONTROLNÍ.

5 POUŽITÁ METODIKA

5.1 Rtuťový analyzátor AMA 254

Rtuťový analyzátor AMA 254 je jednoúčelový atomový absorpční spektrofotometr pro stanovení rtuti. Je určen pro přímé stanovení obsahu rtuti v pevných a kapalných vzorcích bez potřeby chemické předúpravy vzorku (mineralizace atd.). Využitím techniky generování par kovové rtuti s následným zachycením a nabohacením na zlatém amalgamátoru se dosahuje mimořádné citlivosti stanovení a nezávislosti výsledku stanovení na matici vzorku. Zdrojem záření je nízkotlaká rtuťová výbojka a detektorem křemíková UV dioda.

5.2 Rentgenová difrakce

Mineralogické složení bylo stanoveno na základě rentgenografických analýz práškového vzorku. Analýzy byly provedeny na rentgenovém difraktografu Philips X-Pert PW 7310 za následujících podmínek: záření Cu K_{α} , napětí 40 kV, proud 40, popř. 55 mA, posun goniometru $1^{\circ} \cdot \text{min}^{-1}$, rozsah analýz $3 - 70^{\circ} 2\theta$ u práškových preparátů. Získané rentgenové záznamy byly vyhodnoceny podle Mischeeva (1957) a tabulek Mineral Powder Diffraction File - Data Book (1980) (17, 18).

5.3 Stanovení karbonátů

Obsah karbonátů byl stanoven chemickou cestou, a to rozpouštěním ve zředěné kyselině monochloroctové tak, aby nebyly narušeny minerály nerozpustného zbytku. Nerozpustný zbytek byl zvážen a obsah karbonátů dopočten jak v jednotkách hmotnosti, tak v %.

6 VÝSLEDKY A DISKUSE

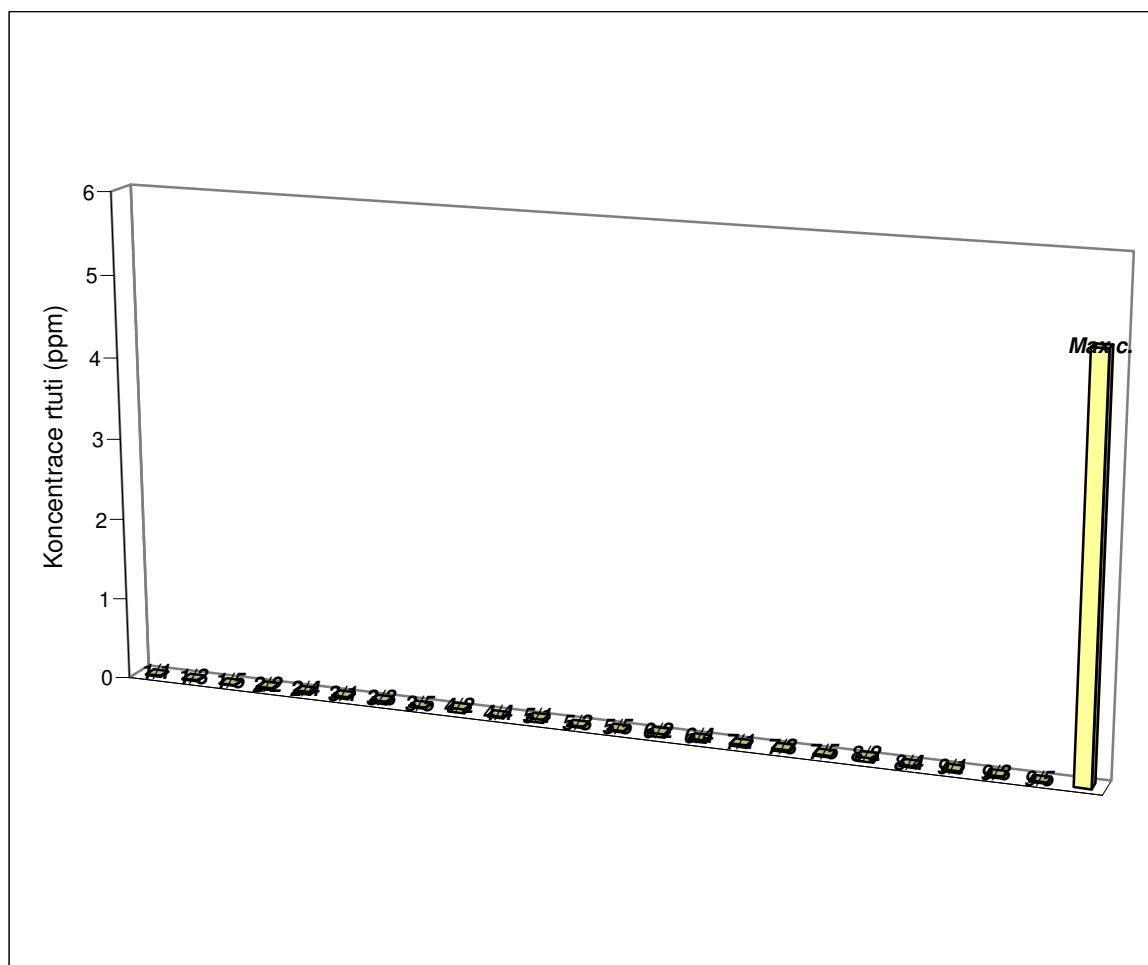
6.1 Stanovení rtuti

Tato analýza byla provedena u obou oblastí s velkým rozdílem výsledků, které jsou zpracovány v následujících kapitolách.

6.1.1 Al-Aktaš

Každý vzorek byl stanovován dvakrát vedle sebe při různé navážce ; hodnoty koncentrací rtuti byly následně zprůměrovány (tab.I). Celková koncentrace rtuti je vynesena do grafické závislosti (obr.15).

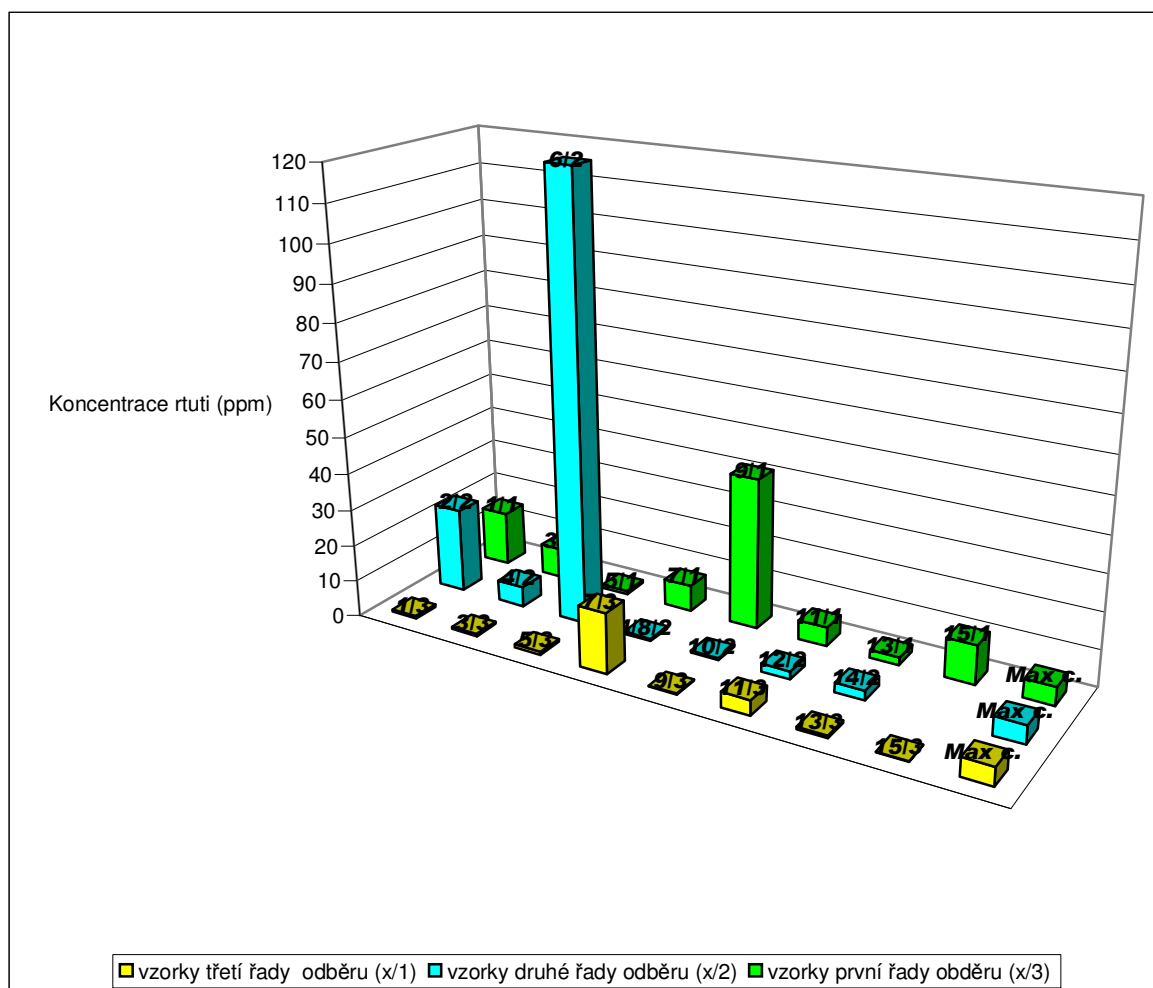
Obr.15 Koncentrace rtuti ve vzorcích z oblasti AL-Aktaš



6.1.2 Krasna Gorka

Každý vzorek byl stanovován stejně jako u předchozí oblasti dvakrát vedle sebe při různé navážce; hodnoty koncentrací rtuti byly následně zprůměrovány (tab.II). Celková koncentrace rtuti je vynesena do grafické závislosti (obr 16).

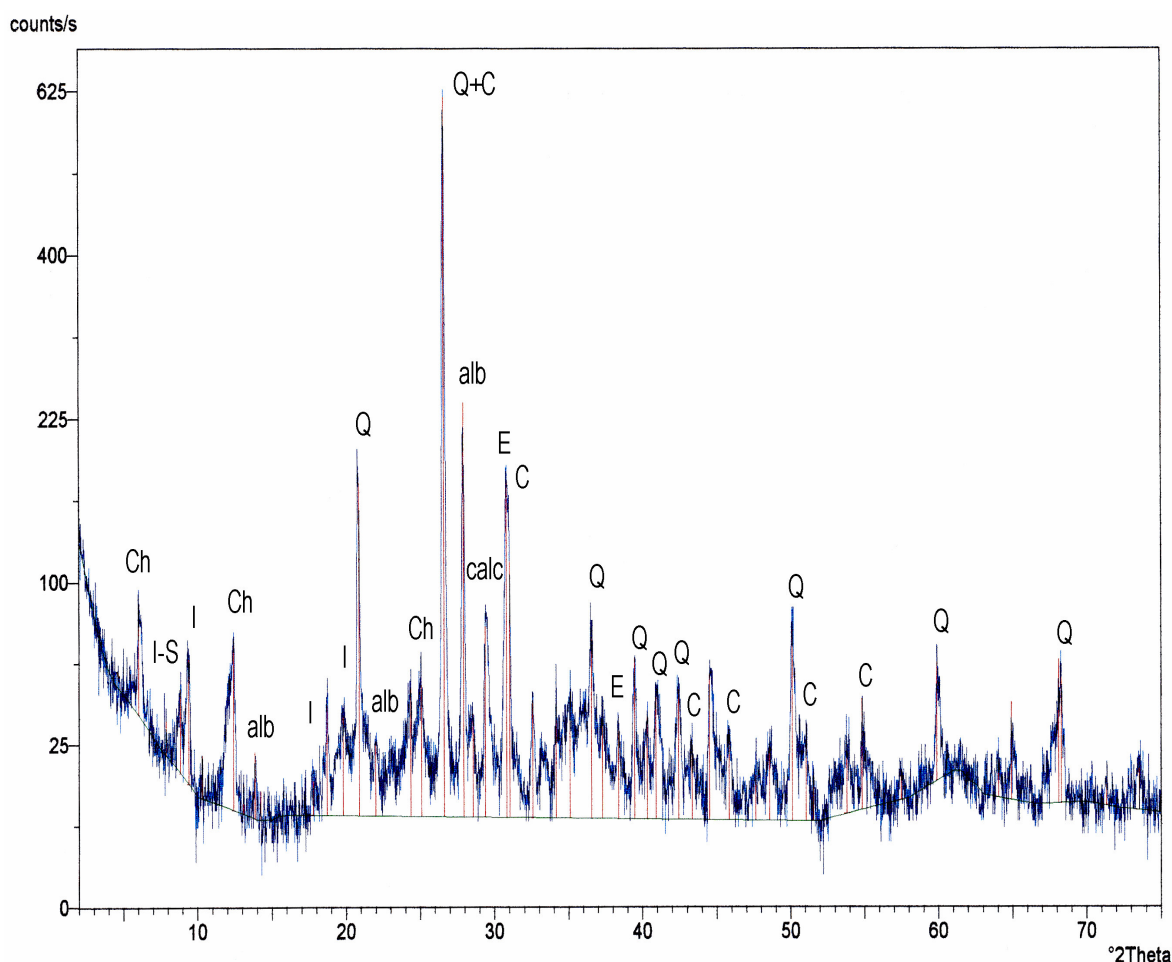
obr. 16 Koncentrace rtuti v závislosti na řadách odběru v oblasti Krasna Gorka



6.2 Rentgenová difrakce

Na základě rentgendifrakčních záznamů bylo zjištěno, že všechny studované vzorky z oblasti Krasna Gorka mají obdobné minerální složení, liší se jen procentuálním zastoupením a přítomností různých rudních minerálů. Ve vzorcích je zastoupen hlavně křemen, který tvoří převážnou část půd. Dále jsou obsaženy živce (albit), kalcit, jílové minerály (převládá illit a chlorit, méně často se vyskytuje kaolinit a smíšená struktura illit-smektit), v menších množstvích se vyskytují amfibol, epidot a dále v jednotlivých vzorcích různé rudní minerály, z nichž převládá cinnabarit, dále byl identifikován výskyt kobaltinu.

Obr. 17 Typický difrakční záznam půdního vzorku z oblasti Krasna Gorka



Píky znamenají typický odraz rtg. záření na mřížce minerálu. Každý minerál má své charakteristické spektrum píků. Popisky u píků jsou zkratky názvů minerálů, a to Ch - chlorit, I - illit, I-S smíšená struktura illit-smektit, alb - albit (živce), Q - křemen, calc - kalcit (karbonát), C - cinnabarit, E- epidot.

6.3 Obsah karbonátů

Karbonáty jsou přirozenou součástí půd. Jejich obsah velice kolísá jednak na základě zdrojových hornin ze kterých vznikají, a jednak na základě druhotného vysrážení. Nejvyšší obsahy bývají ve spraších.

Ve všech studovaných vzorcích byl stanoven karbonát, a to rentgenograficky a u některých vzorků pak chemicky. Obsahy karbonátů jsou uvedeny v tab. 3.

Tab. 3. Obsahy karbonátů stanovených chemicky

Vzorek	Obsah karbonátu v %
1/3	19,4
2/2	35,0
4/2	22,1
8/2	12,0
12/2	15,8
15/3	16,0

Celkově se obsah karbonátů pohybuje kolem 15-20 %. Vyšší, popř. nižší hodnoty se vyskytují vzácně.

7 ZÁVĚR

Koncentrace rtuti v půdách oblasti Al-Aktaš a Krasna Gorka mají zcela odlišné hodnoty. Zatímco v oblasti Al-Aktaš se hodnoty pohybují od 0,01 do 0,04 ppm, což je běžně se vyskytující koncentrace Hg v půdách (0,02-0,2 ppm) a sedimentech (0,1-0,3 ppm). V oblasti Krasna Gorka jsou hodnoty obsahu Hg v půdních vzorcích od 0,2 - 122 ppm, což vysoce překračuje veškeré běžné koncentrace a limity. Zvýšené obsahy rtuti bývají způsobeny antropogenní činností nebo jako v tomto případě v oblastech nalezišť cinnabaritu. Rtuť je v přírodě značně nestabilní, neboť se ochotně účastní chemických, biologických a fotosyntetických reakcí, a proto je tu nebezpečí kontaminace okolí rtutí značná. Stabilita rtuti v půdách je ovlivňována takovými faktory jako je pH, Eh, přítomnost aniontů apod. Sorpce rtuti na jílové minerály obsažené v půdách je ovlivňována především pH. Výskyt rtuti v podobě HgS (cinnabarit) je však poměrně stabilní. Z toho plyne, že nebezpečí není okamžité, ale dochází k odpařování rtuti a tím se dostává do přírodního koloběhu, kde se stává dlouhodobě nebezpečnou.

Minerální složení půd má zcela běžnou asociaci minerálů: křemen, živec, kalcit, jílové minerály. Zvláštností těchto půd je nabohacení některými rudními minerály (především cinnabaritu) vlivem blízké těžby rumělky.

SOUHRN / SUMMARY

Cílem této práce bylo zjistit vliv těžby nerostných surovin na dosud nepoškozenou krajinu oblasti centrální Altaje.

Byla zvolena dvě místa odběru vzorků a to Al-Aktaš a Krasna Gorka. U obou oblastí bylo provedeno stanovení rtuti. U oblasti Al-Aktaš byly naměřeny běžné koncentrace rtuti vyskytující se v půdách, u druhé oblasti koncentrace až 25 krát převyšující maximální hodnoty, což může být velmi nebezpečná skutečnost pro okolní život.

Dále byla provedena rentgenová difrakční analýza, která prokázala přítomnost křemene (tvoří převážnou část půd), cinnabaritu aj.

Poslední analýzou bylo zjištění obsahu karbonátů, který se pohybuje od 12 do 35%.

The aim of this study was to find out the influence of raw material extraction on up to the present time undamaged area of Central Altai.

Two areas of soil sampling were selected for this study - Al-Aktaš and Krasna Gorka. Both areas were tested for the determination of mercury. The usual concentration of mercury in soil was found in Al-Aktaš while in Krasna Gorka the concentration of mercury is up to 25 times higher than the maximum value, which can have very dangerous effects on the surrounding life itself.

Furthermore the radiographic diffractive analysis was also executed and it displayed the presence of silica which comprises a predominant part of soil, and cinnabar etc.

The last chemical analysis resulted in finding out the content of carbonates which ranges from 12 to 35%.

LITERATURA

- 1) Směrnice MZ č.69 z 1.7.1986 – „Hygienické předpisy o cizorodých látkách v potravinách“.
- 2) České vysoké učení technické [online]. [cit. 2005-24-01]. Dostupný z URL:<http://www.cbmi.cvut.cz/zivotni_styl/vyziva/1-3cizorode_latky_a_aditiva.htm>.
- 3) TKADLECOVÁ, Diana. Výskyt a přijatelnost rtuti pro rostliny. (diplomová práce). Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, 2003.
- 4) NOVOSADOVÁ, Eva. Přijatelnost rtuti rostlinami v závislosti na chemickém složení půdy. (diplomová práce). Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, 2004.
- 5) BÍNA, J. a kol. Malá encyklopedie chemie. SNTL, Praha 1976
- 6) XIAOHONG, X. , XIUSHENG, Y. , DAVID , R. M. a kol.: Formulation of Bidirectional Atmosphere - Surface Exchanges of Elementar Mercury . Atmospheric Enviroment , 1999 , č.33 , s. 4345 – 4355.
- 7) ALTMAN – BREWE, J. Amalgám. Nakladatelství fontána, Praha, 2001, s. 36
- 8) Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). [online]. [cit. 2005-20-01]. Dostupný z URL:<<http://www.hgtech.com>>.
- 9) Český Ekologický ústav. [online]. [cit. 2005-22-01]. Dostupný z URL:<<http://www.ceu.cz/půda/negvliv.html>>.

- 10) Český ekologický ústav. [online]. [cit. 2005-22-01]. Dostupný z URL:<<http://www.ceu.cz/půda/pudvlas.htm#chemvlas.html>>.
- 11) SCHLUTER,K. : Evaporation of mercury from soils. *Enviromental Geology* 39 (3-4): 249-271 , leden 2000 , ISSN: 0943-0105
- 12) RYTUBA, James,J. Mercury from mineral deposits and potential environmental impact. *Enviromental Geology* 43 (3): 326-338 , leden 2003 , ISSN: 0943-0105
- 13) RNDr. CHMELAR, Dittmar. Červená rtuť. [online]. [cit. 2005-15-01]. Dostupný z URL:<<http://ova.comp.cz/sci-fi/science/default.htm>>.
- 14) PITTER, Pavel. Klasifikace jakosti povrchových vod. Státní nakladatelství technické literatury, Praha, 1981. ČSN 75 7221
- 15) KARPENKO, Vladimír. Rtuť a mořské ryby. *Ekologie a společnost*, 2. vydání ,2004 , str. 15
- 16) ŠTEFANIDESOVÁ,Vlasta, RAPOŠOVÁ,Katarína, PAVLÍČEK, V.
Vliv zrnitosti vzorku na vyluhování rtuti z kont. půdy a říčního sedimentu.
BULLETIN Odboru agrochemie, půdy a výživy rostlin. Ročník XII., číslo 1 / 2004
- 17) MICHEEJEV, V.I.. Rentgenometričeskij opredělitel' miněralov.
Nauka, Moskva. 1957 str. 867.
- 18) Mineral Powder Diffraction File - Data Book (1980): JCPDS USA.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PCB.....polychlorované bifenyly

HgS.....cinnabarit

ČOV.....čistírna odpadních vod

Hg(0).....elementární forma rtuti

CH₃Hg.....methylrtuť

Eh..... redox potenciál (mV)

TABULKOVÁ ČÁST

Tab.I Stanovení rtuti ve vzorcích z oblasti Al-Aktaš

	Množství rtuti ve vzorku (ppm)		
Vzorek	1.	2.	průměr
1/1	0,012743	0,013420	0,01308
1/3	0,013673	0,013291	0,01348
1/5	0,012422	0,010908	0,01166
2/2	0,025800	0,025471	0,02564
2/4	0,030323	0,032170	0,03125
3/1	0,032381	0,286850	0,03053
3/3	0,033306	0,026972	0,03014
3/5	0,019493	0,017889	0,01869
4/2	0,036104	0,063886	0,04999
4/4	0,013159	0,011425	0,01229
5/1	0,041447	0,037946	0,03970
5/3	0,015435	0,014794	0,01511
5/5	0,018045	0,025015	0,02153
6/2	0,033989	0,047253	0,04062
6/4	0,027228	0,023818	0,02552
7/1	0,024991	0,025482	0,02524
7/3	0,025188	0,030594	0,02789

7/5	0,021952	0,021311	0,02163
8/2	0,067700	0,021311	0,05282
8/4	0,020689	0,020533	0,02061
9/1	0,025054	0,022760	0,02391
9/3	0,021365	0,025901	0,02363
9/5	0,015887	0,016773	0,01633

Tab.II Stanovení rtuti ve vzorcích z oblasti Krasna Gorka

	Množství rtuti ve vzorku (ppm)		
Vzorek	1.	2.	průměr
1/1	15,76873	14,31787	15,0433
1/3	0,067946	0,739006	0,70923
2/2	26,21512	20,37145	23,29325
3/1	8,677565	7,879087	8,38949
3/3	0,655875	0,664205	0,65369
4/2	5,703467	5,346638	5,52505
5/1	0,908852	0,726506	0,81768
5/3	0,669	1,006455	0,83773

6/2	106,2317	137,7554	121,9935
7/1	6,790258	7,849835	7,20066
7/3	16,00288	17,18892	16,5959
8/2	0,6153	0,743322	0,68295
9/1	42,0429	40,80035	41,42165
9/3	0,241703	0,209885	0,22579
10/2	0,549575	0,547201	0,54839
11/1	3,100821	7,408895	5,25846
11/3	3,687049	4,505104	4,12546
12/2	2,041744	2,356799	2,19927
13/1	1,773664	2,304889	2,03927
13/3	0,572326	0,846715	0,70952
14/2	2,312157	2,817057	2,56461
15/1	9,717784	11,75279	10,73529
15/3	0,274527	0,257688	0,26611

