

štúdie v jadrovej chémii a rádioekológii 3

**GEOGRAFICKÉ ASPEKTY RÁDIOAKTÍVNEJ KONTAMINÁCIE
ČELABINSKEJ OBLASTI V DÔSLEDKU ČINNOSTI
VÝROBNÉHO ZDRUŽENIA MAJÁK**



Svetlana Kuručová

Tibor Blažík

Jozef Kuruc

OMEGA INFO®



Bratislava 2002

Text k elknihе

Obálku a úpravu diela navrhla Svetlana Kurucová
Vydal OMEGA INFO, Bratislava 2002
ako svoju 5. publikáciu
© 2002 Jozef Kuruc - OMEGA INFO
www.omegainfo.sk

Tento dokument možno bezplatne používať na súkromné účely a voľne kopírovať pre vlastnú potrebu. Hromadné šírenie tohto dokumentu bez výslovného súhlasu vydavateľa je zakázané. Poznámky o obsahu diela, jeho čiastočné publikovanie, začlenenie do iného diela je zakázané.

Svetlana Kurucová
Tibor Blažík
Jozef Kuruc

**GEOGRAFICKÉ ASPEKTY RÁDIOAKTÍVNEJ KONTAMINÁCIE
ČELABINSKEJ OBLASTI V DÔSLEDKU ČINNOSTI
VÝROBNÉHO ZDRUŽENIA MAJÁK**

MDT 910 : 574.5'222 : 616.9'897

Autori:

Bc. Svetlana Kurucová, RNDr. Tibor Blažík

*Katedra regionálnej geografie, ochrany a plánovania krajiny, Prírodovedecká fakulta,
Univerzita Komenského v Bratislave*

Doc. RNDr. Jozef Kuruc, CSc.

Katedra jadrovej chémie, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave

GEOGRAFICKÉ ASPEKTY RÁDIOAKTÍVNEJ KONTAMINÁCIE ČEĽABINSKEJ OBLASTI V DÔSLEDKU ČINNOSTI VÝROBNÉHO ZDRUŽENIA MAJÁK

64 strán, 3,21 AH, 3 grafy, 5 obrázkov, 9 tabuliek, 9 máp, slovník odborných termínov

Lektor:

RNDr. Daniel Gurňák

Táto kniha obsahuje informácie z autentických a vysoko rešpektovaných zdrojov. Všetky použité zdroje sú citované. Bolo vynaložené značné úsilie, aby boli publikované spoľahlivé údaje a informácie, avšak ani autori ani vydavateľ nemôžu prevziať zodpovednosť za správnosť všetkých materiálov alebo následky ich použitia.

Žiadna časť tejto knihy nemôže byť reprodukováaná alebo rozširovaná v ľubovoľnej forme, elektronickej alebo mechanickej, vrátane fotokopírovania, mikrofilmovania a záznamu, alebo ľubovoľným systémom uschovávaní a spracovávaní bez predchádzajúceho súhlasu vydavateľa.

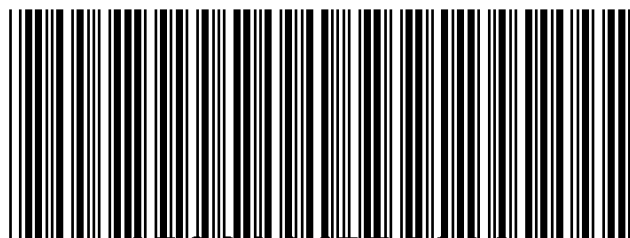
Súhlas Omega Info nie je potrebný na kopírovanie pre obecnú distribúciu, pre propagáciu, pre vytváranie nových prác alebo pre predaj. Pre takéto kopírovanie musí byť získaný špecifický písomný súhlas od Omega Info.

Všetky požiadavky zasielajte na adresu: Jozef Kuruc - OMEGA INFO, Vyšehradská 33, 851 06 Bratislava 5, Slovak Republic • www.omegainfo.sk ; info@omegainfo.sk

© 2002 Jozef Kuruc - OMEGA INFO



ISBN 80-967741-4-X



9788096774142

OBSAH

1	ÚVOD	7
2	STRUČNÁ KOMPLEXNÁ GEOGRAFICKÁ ANALÝZA ČELABINSKEJ OBLASTI	9
2.1	Poloha	9
2.2	Fyzicko-geografická charakteristika	9
2.2.1	Geologická stavba	9
2.2.2	Geomorfologické pomery	10
2.2.3	Vodstvo	10
2.2.4	Klíma	11
2.2.5	Pôdy	12
2.2.6	Rastlinstvo	13
2.2.7	Živočíšstvo	13
2.3	Socio-ekonomická charakteristika	14
2.3.1	Administratívne členenie a osídlenie	14
2.3.2	Obyvateľstvo	14
2.3.3	Priemysel	15
2.3.4	Poľnohospodárstvo	16
2.3.5	Doprava	17
2.3.6	Služby a cestovný ruch	18
3	VZNIK A VÝVOJ JADROVÝCH AKTRIVÍT V ČELABINSKEJ OBLASTI	19
3.1	Poloha výrobného združenia Maják	20
	Mapa 4: Poloha <i>Výrobného združenia Maják</i> v rámci Čelabinskej oblasti	20
	Tabuľka 4: Prehľad názvov <i>VZ Maják</i>	21
4	ENVIRONMENTÁLNE A SOCIO-EKONOMICKÉ PROBLÉMY ČELABINSKEJ OBLASTI	23
4.1	Kontaminácia rieky Teča v r. 1949-1956	23
4.1.1	Poloha rieky Teča a jej hydrologické charakteristiky	23
4.1.2	<i>VZ Maják</i> ako zdroj kontaminácie rieky Teča	24
4.1.2.1	Kontaminácia rieky Teča	24
4.1.2.2	Socio-ekonomické dopady kontaminácie rieky Teča	26
4.2	Explózia skladovacej cisterny v r. 1957	29
4.2.1	Dopady nehody na životné prostredie	30
4.2.2	Socio-ekonomické dopady nehody	30
4.3	Udalosť s rozptýlením rádioaktívneho odpadu v r. 1967	31
4.3.1	Kontaminácia podzemnej vody rádionuklidmi	33
4.4	Dopady nehôd na zdravotný stav obyvateľov	34
5	SÚČASNÝ STAV <i>VZ MAJÁK</i>	37
6	PERSPEKTÍVY VÝVOJA KONTAMINOVANÝCH ÚZEMÍ ČELABINSKEJ OBLASTI	39
7	ZÁVER	43
8	SUMMARY	45
9	PRÍLOHY	47
	Tabuľka 1: Priemerné mesačné teploty a priemerná ročná teplota v Čelabinskej oblasti (°C)	48
	Tabuľka 2: Minimálne teploty v Čelabinskej oblasti (°C)	48
	Tabuľka 3: Maximálne teploty v Čelabinskej oblasti (°C)	48
	Tabuľka 5: Prehľad radiačných nehôd spojených s činnosťou <i>VZ Maják</i>	49
	Tabuľka 6: Prehľad počtu obyvateľov dedín ležiacich pozdĺž rieky Teča pred evakuáciou	50

Tabuľka 7:	Dávky žiarenia obdržané obyvateľmi vybraných dedín	51
Tabuľka 8:	Doby polpremeny vybraných rádionuklidov	51
Tabuľka 9:	Doporučenia Slovenskej komisie pre životné prostredie k uplatňovaniu ukazovateľov a noriem pre asanáciu znečistenej zeminy a podzemných vôd (vybrané hodnoty o kontaminácii zeminy, podzemných vôd a pôdneho vzduchu rádionuklidmi).....	52
Mapa 1:	Poloha Čel'abinskej oblasti v rámci Ruskej federácie	53
Mapa 2:	Čel'abinská oblasť	54
Mapa 3:	Fyzicko-geografická mapa Čel'abinskej oblasti a okolia.....	55
Mapa 5:	Rieka Teča a dediny ležiace na jej brehoch pred kontamináciou	56
Mapa 6:	Východouralská rádioaktívna stopa.....	57
Mapa 7:	Územie kontaminované v r. 1967 ¹³⁷ Cs.....	58
Mapa 8:	Kontaminácia pôdy severných území Čel'abinskej oblasti rádionuklidom ⁹⁰ Sr.....	59
Mapa 9:	Kontaminácia pôdy severných území Čel'abinskej oblasti rádionuklidom ¹³⁷ Cs.....	60
	SLOVNÍK POUŽITÝCH TERMÍNOV	61
9	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	63

Fotografia na titulnej strane: pohľad na časť VZ Maják (foto: *Federation of American Scientists*)

1 ÚVOD

Čelabinská oblasť sa v rámci Uralského regiónu vyznačuje najostrejšími konfliktmi medzi človekom a prírodou. Na tomto území sa skombinovalo veľa rôznych environmentálnych problémov ako degradácia prírodnej krajiny, znečistenie ovzdušia, vody a pôdy, rádioaktívna kontaminácia, zbedačená biodiverzita a mnohé ďalšie.¹

Počas II. svetovej vojny bol v Čelabinskej oblasti, ktorá sa nachádzala ďaleko v tyle bývalého ZSSR, vybudovaný značný vojensko-priemyselný komplex. Po víťazstve bývalého ZSSR a po nástupe studenej vojny bol v tejto oblasti urýchlenými tempami rozvíjaný atómový priemysel. Bolo skonštruovaných a uvedených do prevádzky niekoľko (8 ?) vojenských jadrových reaktorov, ktorých úlohou bolo produkovať plutónium pre jadrové zbrane. Na ich výrobu bol vybudovaný obrovský chemický kombinát, kde boli umiestnené okrem závodov na prepracovanie vyhoreného jadrového paliva a na výrobu jadrových zbraní aj prevádzky na spracovanie, zneškodňovanie a skladovanie nízko-, stredne- a vysokoaktívnych rádioaktívnych odpadov (RAO). Názvy tohto chemického kombinátu sa mnohokrát menili (vid' Tab. 4, s. 17). V súčasnosti je známy pod názvom *Výrobné združenie Maják (VZ Maják)*.

V päťdesiatych rokoch 20. storočia jadrová technológia ešte nebola dobre rozvinutá a vo svete a tým skôr v Sovietskom zväze nebol dostatok vedomostí o osude rádioaktívnych odpadov v prírodných ekosystémoch a o účinkoch žiarenia na ľudí. V snahe znížiť investície, technické zariadenia na ochranu životného prostredia neboli vybudované v dostatočnej miere. Úsilie zabrániť únikom rádioaktívnych odpadov do životného prostredia bolo nedostatočné a územia v okolí *VZ Maják* boli vážne kontaminované rádionuklidmi, vrátane ¹³⁷Cs a ⁹⁰Sr, s dlhými dobami polpremeny. Činnosť *VZ Maják* bola zdrojom rádioaktívnej kontaminácie území pohoria Ural a v prvom rade severnej časti Čelabinskej oblasti.

Cieľom práce bolo poukázať na geografické, rádioekologické a rádiobiologické aspekty problémov Čelabinskej oblasti postihnutej činnosťou *VZ Maják*. Kontamináciu životného prostredia spôsobili predovšetkým tri radiačné nehody vo *VZ Maják*, ktoré sme podrobne analyzovali z hľadiska ich environmentálnych a socio-ekonomických dopadov na zasiahnuté územia. Snažili sme sa načrtnúť možnosti revitalizácie a ďalšieho využívania kontaminovaných území.

2 STRUČNÁ KOMPLEXNÁ GEOGRAFICKÁ ANALÝZA ČEĽABINSKEJ OBLASTI

2.1 POLOHA

Čeľabinská oblasť sa rozprestiera v Ruskej federácii v Uralskom regióne na hranici Európy a Ázie v južnej časti pohoria Ural a na prilahlých zníženinách (viď *Prílohy, Mapa 1, Mapa 2 a Mapa 3*). Oblasť je vymedzená nasledovnými geografickými súradnicami: najsevernejší bod leží na 56°21' s.g.š., najjužnejší na 51°59' s.g.š., najzápadnejší bod leží na 57°15' v.g.d. a najvýchodnejší na 63°23' v.g.d.² Čeľabinská oblasť susedí na severe so Sverdlovskou oblasťou, na východe s Kurganskou oblasťou, na juhovýchode s Kazachstanom, na juhu a juhozápade s Orenburgskou oblasťou a na západe s Baškirskou republikou (viď *Prílohy, Mapa 2 a Mapa 3*). Oblasť leží okolo 1 600 km východne od Moskvy. Zahrňuje dve územia, rozdelené prírodnými hranicami: hornaté územie, ktoré sa rozprestiera okolo 150 km popri východnom úpätí hrebeňa pohoria Ural a fluviálne územie, ťahajúce sa takmer 220 km vedľa rieky Ural. Celková dĺžka hranice Čeľabinskej oblasti je 2 750 km. Čeľabinská oblasť sa rozprestiera na ploche 87 900 km², čo je skoro rovnaká plocha ako rozloha Maďarska.³ Na území Čeľabinskej oblasti leží Il'menská rezervácia.⁴

2.2 FYZICKO-GEOGRAFICKÁ CHARAKTERISTIKA

2.2.1 Geologická stavba

Čeľabinská oblasť leží v južnej časti pohoria Ural a na susedných zníženinách. Slovo Ural znamená kamenné pásmo a skutočne sa toto pohorie tiahne ako úzky skalnatý pás medzi rozsiahlou Východoeurópskou nížinou na západe a Západosibírskou nížinou na východe. Geologicky je Ural tvorený zvyškami starého pásma, ktoré sa vyzdvihlo koncom druhohôr asi pred 250 miliónmi rokov. Ural vznikol počas variskeho vrásnenia. Severozápadná časť Čeľabinskej oblasti, ležiaca v Južnom Urale, je tvorená hlavne proterozoickými a paleozoickými (hlavne permskými) horninami. Stredná časť oblasti je zložená zo sedimentárno-vulkanických hornín a granitov. Východná časť Južného Uralu je tvorená paleozoickými a vulkanickými horninami. Nížinná časť Čeľabinskej oblasti sa skladá z neogénnych hornín.⁵

Čeľabinská oblasť má bohaté prírodné bohatstvo. Nerasty sa nachádzajú vo viac ako 300 ložiskách. Najväčšiu úlohu majú ložiská železnej a medeno-zinkovej rudy, titánových, mangánových a chrómových rúd, ohňovzdorných surovín, mastenca, grafitu a kremeňa. Významné sú ložiská kovov ako napr. striebro, bárium, kadmium, selén a telúr. Útroby zeme

v Čelabinskej oblasti obsahujú značné zásoby zlata, ktoré sú sústredené v rudných ložiskách (70%) a ryžoviskách (30%). Oblasť má obrovské zásoby obkladového kameňa so širokou farebnou škálou a rozmanitou kresbou. Oblasť má aj veľké zásoby hnedého uhlia (do hĺbky 600 m 776 mil. ton, v r. 1979 sa vyťažilo 13,8 mil. ton. Ťaží sa hlavne v Kopejsku, Korkine a Jemanželinsku.⁴

2.2.2 Geomorfologické pomery

Severozápadnú časť Čelabinskej oblasti vyplňajú horské chrbty Južného Uralu, s nadmorskou výškou 1 000-1 500 m n.m. Malá časť oblasti zasahuje na západe do vyvýšených rovín Preduralska. Jadro oblasti zaberá Zauralská plošina, ktorá sa od priemerných výšok 300-400 m n.m. pri Južnom Urale zvažuje na východ k okrajom Západosibírskej nížiny a Turgajskej plošiny.⁶

Južný Ural je rozsiahlou a komplikovanou orografickou jednotkou. Začína vysokým tektonickým stupňom, na ktorom sedí hraničné pohorie Jurma a končí údolím rieky Ural. Najvyššie južnouralské chrbty a masívy (najvyšší vrch Jamantau s výškou 1 640 m n.m.,⁷ Iremel', Žigalga a iné) ležia na uralsko-tauskom a baškirskom antiklinóriu. Medzi obidvomi sa nachádza oblasť zilairského synklinória. Druhý výrazný synklinálny prehyb leží v Zauralsku a na ňom leží rozsiahle Zauralské plató, čo je peneplén s výškami do 300 m n.m. Dlhý uralský pás je ukončený posledným zdvihom, ktorým je osamotený chrbát Mugodžary s najvyšším vrchom Bolšoj Boktybaj (657 m n.m.). Centrálna časť je vrchovinou s priemernými prevýšeniami 100-200 m. Na východe oblasti sa strieda kopcovité územie s údoliami. Južný Ural nie je postihovaný zemetraseniami, lebo tu zatiaľ nedochádza k prestavbe morfoštruktúry.⁸

2.2.3 Vodstvo

Na území Čelabinskej oblasti pramení veľa riek, ktoré patria k povodiam riek Kama, Tobol a Ural. Západná časť oblasti patrí k povodiu rieky Volga (hlavné prítoky Ufa a Sim), východná časť k povodiu rieky Ob (hlavné prítoky Miass a Uj). Južné územie odvodňuje rieka Ural.⁶ Do povodia rieky Tobol patrí väčšina riek Čelabinského Zauralia (Sinara, Teča, Miass, Uveľka, Uj, Toguzak, Kartaly-Ajat, Sintašta a iné). Na území oblasti je len 7 riek, ktoré majú dĺžku nad 200 km. Patrí k nim Miass, Uj, Ural, Aj, Ufa, Uveľka a Gumbejka. Miass pramení na východnom svahu chrbta Nurali a územím oblasti preteká v dĺžke 384 km (z celkovej dĺžky 658 km). Uj pramení vo výbežkoch Uraltau a Čelabinskou oblasťou preteká v dĺžke 370 km (z celkovej dĺžky 462 km). Ural pramení pri pohorí Krugloj a územím oblasti tečie v dĺžke 1 357

km (z celkovej dĺžky 2 428 km). Patrí k najväčším riekam Európy. Jeho významnými ľavostrannými prítokmi v oblasti sú Gumbejka a Boľšaja Karaganka.

V oblasti je vybudovaných okolo 110 vodných nádrží s celkovou kapacitou okolo 3 mld. m³. Najviac sa nachádza v povodí rieky Tobol (72), Ural (18) a Kama (17). Prevládajú malé vodné nádrže s kapacitou do 10 mil. m³ a iba 7 vodných nádrží má kapacitu viac ako 100 mil. m³.

Južný Ural je krajom jazier. Na území Čelabinskej oblasti je ich okolo 3 170. Ich celková plocha je 2 125 km². Rozmery jazier sú od 1-2 ha do 70-80 km². Najviac jazier sa nachádza na východných predhorách Uralu. Tu sa nachádzajú najväčšie jazerá oblasti. Sú tektonického pôvodu a majú hĺbku do 30-40 m (Argazi, Uvil'dy, Ir'raš, Turgojak, Boľšoj Kisegač a Kaslinské jazerá). V lesostepnom Zauralí sú jazerá erózo-tektonického typu (Ujelgi, Šabliš, Argajaš, Boľšoj Kujaš, Kaldy, Sugojak, Tiški a iné). V Zauralí sú aj jazerá so slanou vodou. Na Západosibírskej nížine prevládajú jazerá s malými rozmermi. Ich maximálna slanost' dosahuje od 100 g dm⁻³ (Tauzatkul', Soljonyj Kulat a Lavrušino). Krasové jazerá (Krugloje a Borovuška) majú zvyčajne malé rozmery, ale zároveň väčšiu hĺbku (10-15 m a viac). V dolinách Uralu, Gumbejky, Miassu, Teče a iných riek sa nachádzajú zaplavované jazerá.

Čelabinská oblasť je miestom intenzívnych vznikov močiarov. Ich celková plocha predstavuje viac ako 2 500 km². Najväčšími močiarmi oblasti sú Taganajský, Čusovský, Agard'ašský, Treustanský a Donguzli.

Potreba vody sa čiastočne pokrýva využitím podzemných a jazerných vôd. Zásoby podzemnej vody sú malé a nezabezpečujú potrebné množstvo. Podiel podzemného napájania riek sa znižuje z 30-40% v horských oblastiach na 20-10% v Zauralí. V Čelabinskej oblasti je na účely zásobovania priemyselnou a pitnou vodou preskúmaných 19 zdrojov podzemných vôd s využiteľnou zásobou okolo 600 000 m³ za deň.¹⁵

2.2.4 Klíma

V Čelabinskej oblasti je kontinentálna klíma, ktorá sa stupňuje zo severozápadu na juhovýchod. Zima je chladná a dlhá, leto pomerne horúce s periodicky sa opakujúcimi suchami. Zvláštnosti klímy oblasti sú podmienené jeho polohou vo vnútri Eurázie. Na formovanie klímy podstatnou mierou pôsobí pohorie Ural, ktoré je prírodnou prekážkou pre prílev vzdušných mäs zo západu. V zime je Južný Ural ovplyvňovaný ázijskou anticyklónou. Kontinentálny vzduch, smerujúci zo Sibíri, prináša mrazivé a suché počasie. Časté sú prílevy studených vzdušných mäs zo severu. V lete prevláda na území oblasti nízky tlak. Z Barentsovho a Karského mora sem prúdia arktické vzdušné masy a z juhu tropické

vzdušné hmoty z Kazachstanu a zo Strednej Ázie. S príchodom kontinentálneho tropického vzduchu nastáva horúce a suché počasie. Západné vetry prichádzajúce od Atlantického oceánu prinášajú vlhké a nestále počasie.

Absolútne minimum teploty vzduchu dosahuje -46 až -48°C a na nižšie položených miestach až -50°C (prehľad teplôt je uvedený v *Prílohách, Tab. 1, Tab. 2 a Tab. 3*).⁹ Bezmrázové obdobie trvá 100-120 dní. V horských a predhorských oblastiach je táto doba v dôsledku neskorých jarných mrazov kratšia o 10-15 dní.

Atmosférické zrážky sú na území oblasti rozdelené nerovnomerne. Najväčšie množstvo zrážok majú náveterné svahy a vrcholy najvyšších hôr (700-800 mm). Východné svahy dostávajú 500-600 mm zrážok. Na rovinách Zauralia sa ročný úhrn zrážok znižuje zo severu na juh od 500 do 300 mm. Najvyšší úhrn zrážok pripadá na letné obdobie a ich množstvo silne kolíše. V zime sa množstvo zrážok podstatne znižuje.

Najvyššia snehová pokrývka (44-48 cm) býva v horskej lesnej zóne a trvá 165-170 dní. V lesostepnej zóne dosahuje priemerná výška snehovej pokrývky 34-38 cm počas obdobia 156-160 dní. Najmenšia výška snehovej pokrývky s dobou trvania 153-155 dní je v stepnej zóne (24-30 cm).¹⁵

2.2.5 Pôdy

Pestrosť klimatických podmienok na Južnom Urale určuje rôznorodosť jeho pôdneho zloženia. Vo výskyte pôdy je viditeľná vertikálna zonálnosť. Najvyššie časti pohorí majú povrch zväčša pokrytý drobnými kameňmi alebo horsko-tundrovou pôdou. Nižšie ležia vysokohorské lúky s horsko-lúčnou pôdou. Na svahoch chrbtov a sopiek sú štrkové a piesočnaté podzolové pôdy. V hornej časti lesného pásma prevládajú horsko-lúčne podzolové pôdy a v ihličnatých a zmiešaných lesoch šedé kambizeme. Na svahoch východných predhorí Južného Uralu sú rozšírené horské černoze.

Územie Zauralského peneplénu a susednej Západosibírskej nížiny sa charakterizuje dost' výraznou zmenou šírkových zón. V severnej časti lesostepnej zóny pod brezovými lesmi sa formujú šedé kambizeme a podzolové černoze. Pod lúčno-stepným rastlinstvom sú alkalické černoze s miestami tmavošedých kambizemí. Na medziriečiach so slabým odvodňovaním sa objavujú lúčne černoze s fľakmi slancov a solončakov a na nižšie položených miestach lúčno-močiarové pôdy. V južnej časti Zauralského peneplénu sa miestami vyskytujú tmavo-gaštanové pôdy. V zóne stepí sa vyčleňujú dve podzóny: severná s modálnymi černozeami a južná so slancovými černozeami. V dolinách riek ako napríklad Ural, Uj a Toguzak sa nachádzajú aluviálne pôdy, ktoré vynikajú vysokou úrodnosťou.¹⁵

2.2.6 Rastlinstvo

Rastlinná pokrývka Čelabinskej oblasti je rôznorodá. Oblasť je bohatá na rastlinné druhy (skoro 1 500). Viac ako 2,8 mil. ha je pokrytých lesmi. Najvýznamnejšie sú ihličnaté lesy s podielom okolo 28%.

V horskej časti oblasti sa pozoruje v rastlinnej pokrývke vertikálna pásmovitosť. V najvyššej vysokohorskej časti Južného Uralu sa rozlišujú 3 pásma. Hlavným je pásmo horsko-tajgových tmavo-ihličnatých lesov so smrekom, jedľou, borovicou a lipou, ktoré sa ťahá do výšky 1 000-1 500 m n.m. Vyššie leží podhôrne pásmo. Lesy sú tu riedke a majú malú výšku. Sú tvorené kosodrevinou a striedajú sa so subalpínskymi lúkami. Na vrcholoch hôr s výškou nad 1 200 m n.m. sa nachádzajú hole. Lesy tu nerastú. Je to pásmo tvorené kameňmi a horskými tundrami zahalenými machom, lišajníkom, tundrovou trávou a bobuľovitými rastlinami.

Na západných svahoch Južného Uralu sa nachádzajú vo výške 250-650 m n.m. tajgové ihličnato-široko-listnaté lesy s borovicou, červeným smrekom a lipovo-borovicovými lesmi. Na okrajoch horsko-lesnej zóny sú rozšírené široko-listnaté lesy s lipou, klenom, brestom, jelšou, osikou, brezou a dubom.

Rovinné územia Čelabinskej oblasti v Zauralí sú skoro na polovicu rozdelené medzi lesostepnou a stepnou zónou. Približnou hranicou medzi nimi je rieka Uj. V severnej časti lesostepnej zóny sa striedajú borovicové, smrekové, borovicovo-jedľové a brezovo-borovicové lesy s lúkami a plochami lúčnej stepi. Južná časť podzóny predstavuje lesostep, kde sa striedajú lúčne a trávnaté stepi s borinami a borovicovo-brezovými hájnikmi. Stepnú zónu tvoria trávnatokavyľové stepi.

V oblasti rastie okolo 150 druhov liečivých rastlín so širokým využitím vo fytoterapii a ľudovej medicíne.¹⁵

2.2.7 Živočíšstvo

Z cicavcov žije v pásme tajgy najmä medveď hnedý, rys, srnec, veverica a niektoré druhy lesných myší. V listnatých lesoch žije hlavne zubor, kanec, srnec, jeleň, kuna lesná, tchor, mačka divá a rôzne druhy plchov. Z vtákov hlavne slávik obyčajný a žlna európska, z obojživelníkov rosnička a skokan zelený a z plazov slepúch obyčajný, jašterica zelená a užovka hladká. Lesostepné pásmo sa vyznačuje zmesou stepných a lesných foriem. V stepnom pásme žije zajac obyčajný, rôzne druhy škrečkov a sysľov, drop veľký, drop malý, orol stepný, vodné vtáky, užovky a jašterice.¹⁰

2.3 SOCIO-EKONOMICKÁ CHARAKTERISTIKA

2.3.1 Administratívne členenie a osídlenie

Administratívne rozdelenie územia Čelabinskej oblasti začalo v 18. storočí. Čelabinská oblasť vznikla 17. januára 1934 a v dnešných hraniciach existuje od 6. februára 1943.⁶ Čelabinská oblasť patrí do Uralského regiónu. V Čelabinskej oblasti je 24 okresov, 30 veľkomiest, 30 miest a 257 vidieckych obcí.¹¹ V mestách žije 82% obyvateľov. V r. 1959-1973 sa zvýšil vysoký podiel mestského obyvateľstva zo 76% až na 80%, čo súvisí s priemyselným charakterom oblasti. Čelabinsk, hlavné mesto oblasti leží v severovýchodnej časti oblasti, vo východnej časti Južného Uralu. V r. 1994 mal okolo 1 150 900 obyvateľov. Ďalšími veľkými mestami v Čelabinskej oblasti sú Magnitogorsk (439 600 obyvateľov v r. 1994), Zlatoust (208 200), Miass (184 800) a Kopejsk (145 800)¹³ (viď *Prílohy, Mapa 2*).

2.3.2 Obyvateľstvo

Čelabinská oblasť má v súčasnosti okolo 3,7 mil. obyvateľov. Počet obyvateľov v období r. 1959-1973 vzrástol o necelých 12%. V r. 1973 mala Čelabinská oblasť 3,3 mil. obyvateľov.⁶ Čelabinská oblasť je z uralských oblastí najhustejšie osídlená. Hustota zaľudnenia oblasti je 41,9 ob./km².¹¹

Hlavnými národnostnými skupinami sú Rusi (81,0%), Tatári (6,2%), Baškirci (4,5%), Ukrajinci (3,0%), Bielorusi (1,0%), Kazaši (1,0%), Nenci (1,0%) a Mordvíni (1,0%). Čuvaši a Židia tvoria národnostné zloženie podielom pod 1,0%. Prvými usadlíkmi boli turecky hovoriaci Baškirci, ktorých história sa v tejto oblasti datuje od 14. storočia. Dnes žije väčšina Baškircov v Argajašskom a Kunašakskom okrese. V týchto okresoch žije aj veľa Tatárov. Tatári sa v Čelabinskej oblasti objavili koncom 17. storočia a neusadzovali sa v kompaktných komunitách. Napriek kultúrnym odlišnostiam medzi Tatármi a Baškircami, spôsobených hlavne rozdielmi v ich kočovných a poľnohospodárskych tradíciách, vychádzajú spolu lepšie ako s netureckými a nemuslimskými národnostnými skupinami, ktoré sú ich susedmi. Sobášne medzi týmito dvomi skupinami sú bežnejšie ako s inými národnosťami.¹²

1,7 milióna obyvateľov (47%) Čelabinskej oblasti je v produktívnom veku.³ Začiatkom r. 2001 bolo v Čelabinskej oblasti oficiálne nezamestnaných 17 800 ľudí. Miera nezamestnanosti vtedy predstavovala 1,1%.¹⁴

2.3.3 Priemysel

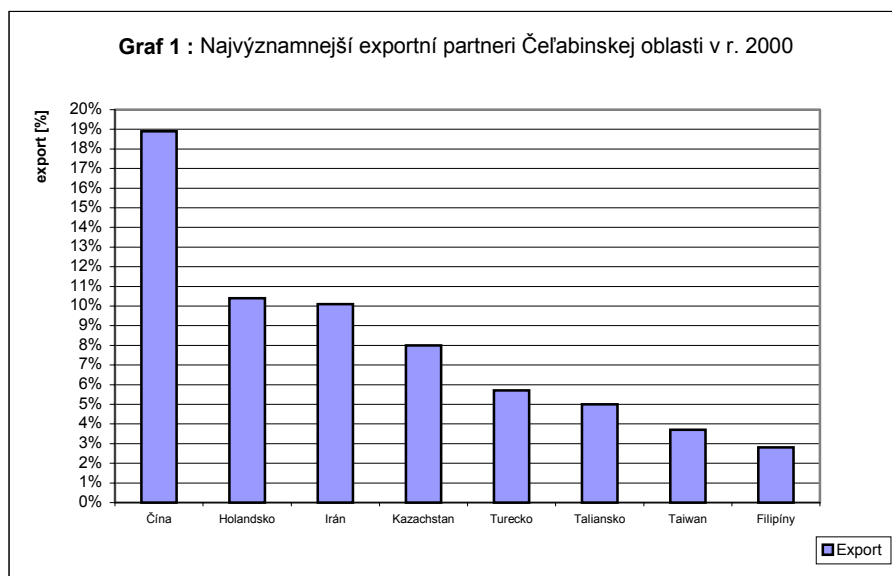
Čeľabinská oblasť je najväčším ekonomickým a priemyselným centrom Južného Uralu, ktorý zaberá tretie miesto v produkcii Ruska.¹³ Oblasť je v Rusku na 12. mieste z hľadiska hrubej regionálnej výroby (podiel na celkovej hrubej regionálnej výrobe je 2%), na 8. mieste podľa objemu priemyselnej produkcie (železiarske podniky vyrábajú 26% z celkovej ruskej výroby valcovaného materiálu, 25,2% ocele a 15% oceľových rúr). V r. 2000 predstavoval objem priemyselnej produkcie 143 604,4 mil. rubľov. Podiel exportu na celkovom objeme Ruska tvorí 1,8%. Priemysel predstavuje 45,1% hrubého produktu Čeľabinskej oblasti. Podľa údajov z r. 1999-2000 je Čeľabinská oblasť na 12. mieste medzi prvými dvadsiatimi oblasťami z hľadiska priemyselného rozvoja. V Čeľabinskej oblasti je ekonomicky aktívnych viac ako 1,5 mil. ľudí (42%). V r. 2000 dosahoval počet zamestnaných v priemysle 476 500 (36,9%).¹⁴

Rozvoj Čeľabinskej oblasti ovplyvňujú priemyselné odvetvia ako hutníctvo, strojárstvo, energetika a stavebníctvo. Vedúce postavenie má hutníctvo s podielom 65% z celkového objemu priemyselnej produkcie. V hutníctve železa a ocele hrajú najväčšiu úlohu Magnitogorský metalurgický kombinát, Mečel v Čeľabinsku, hutnícke závody v mestách Aša, Zlatoust, Čebarkul', podniky na výrobu rúr, drobných kovových tovarov v Čeľabinsku, Magnitogorsku a Miniari, kombinát na výrobu ferozliatin v Čeľabinsku a žiaruvzdorných materiálov v Satke. Medzi hutnícke závody na výrobu neželezných kovov patria Kyštymský elektródovo-medený závod, Čeľabinský elektródovo-zinkový závod a Ufalejnikel'.

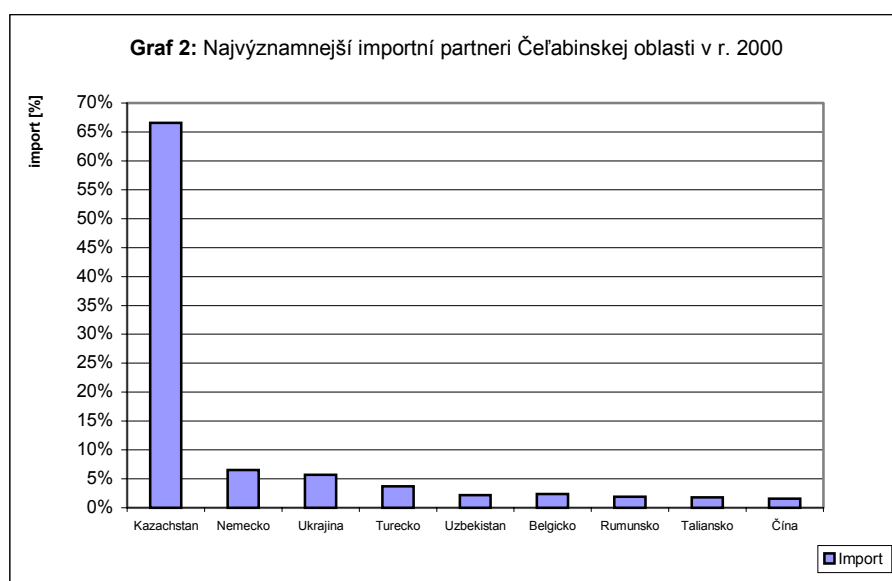
Strojárske podniky vyrábajú 15,3% z celkovej oblastnej priemyselnej produkcie. Významnými odvetviami strojárstva v oblasti je dopravné strojárstvo, výroba traktorov a poľnohospodárskych strojov, stavebno-cestný a komunikačný priemysel, ale aj výroba obrábacích strojov a prístrojov. K významným podnikom patria Čeľabinský traktorový závod a Uralský automobilový závod. Hlavné druhy tovarov sú dobývacie zariadenia, električky, priemyselné traktory, nákladné automobily, buldozéry, autogrédery a žeriavy.

Na severozápade oblasti sú rozmiestnené najväčšie centrá atómového priemyslu (mestá Snežinsk a Ozjorsk) a na západe centrá na výrobu rakiet a kozmickej techniky.¹⁴

Čeľabinská oblasť vykazuje vysokú zahranično-obchodnú aktivitu. Prehľad krajín s najvyšším podielom exportu a importu oblasti je znázornený v *Grafoch 1 a 2*.



Zdroj: *Vizitnájka karta Čeljabinskej oblasti: Ekonomika. Economic Ties.* http://www.ural-chel.ru/gubem/eng/engecon/Ec_obzor/index.html
 Upravila: Svetlana Kurucová, 2002



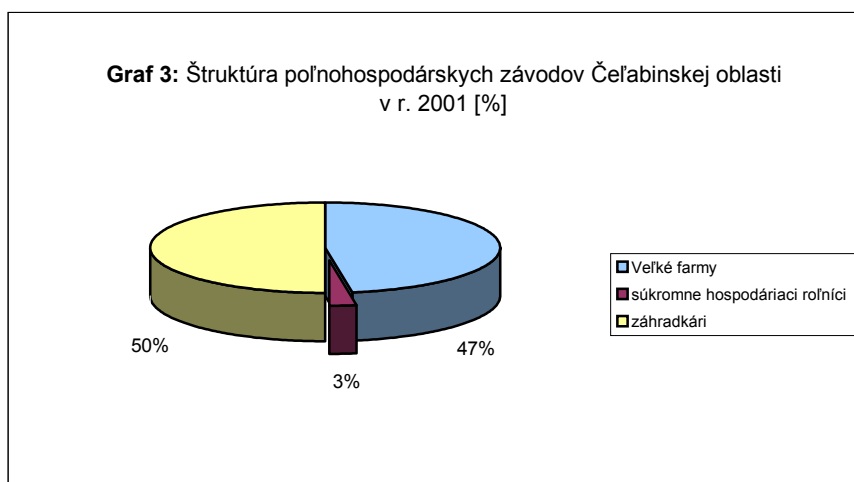
Zdroj: *Vizitnájka karta Čeljabinskej oblasti: Ekonomika. Economic Ties.* http://www.ural-chel.ru/gubem/eng/engecon/Ec_obzor/index.html
 Upravila: Svetlana Kurucová, 2002

2.3.4 Poľnohospodárstvo

Priaznivé prírodné podmienky umožnili premeniť nížinné časti Čeljabinskej oblasti na dôležitú poľnohospodársku krajinu. Orná pôda predstavuje 56% rozlohy oblasti a 27% tvoria lesy. Celková plocha ornej pôdy v Čeljabinskej oblasti je 5,1 mil. ha, z ktorých sa obrába 3,1 mil. ha. V rastlinnej výrobe prevláda pestovanie obilnín, strukovín, krmovín, zemiakov a zeleniny. V živočíšnej výrobe dominuje chov dobytka, ošípaných, oviec, hydiny a mliekárenská výroba.

Čelabinská oblasť má veľkú krmovinovú základňu. V trávnom poraste prirodzenej krmovinovej základne sú najcennejšími druhmi strukoviny (ďatelina, lucerna, komonica, vika) a steblovité druhy (timotejka, pýr a iné). Lúky zaberajú viac ako 500 000 ha a pasienky viac ako 1 mil. ha.^{14,15}

Začiatkom r. 2000 bol počet vidieckeho obyvateľstva v oblasti 682 200 ľudí, t.j. 18,6% populácie oblasti (vidiecke obyvateľstvo Ruskej federácie tvorilo v tom čase 27%). Poľnohospodárska výroba predstavuje 4,8% HDP. V r. 1999 predstavovala produkcia obilnín 1 050,7 tisíc ton rok⁻¹, mäsa 146,8 tisíc ton rok⁻¹ a mliečnych výrobkov 607,9 tisíc ton rok⁻¹.¹⁴



Zdroj: *Vizitnája karta Čeljabinskoj oblasti: Ekonomika. Agriculture.* http://www.ural-chel.ru/gubern/eng/engecon/Ec_obzor/index.html
Upravila: Svetlana Kurucová, 2002

2.3.5 Doprava

Čelabinská oblasť leží na križovatkách dopravných ciest vedúcich na Sibír a do Ázie a do európskej časti Ruska a do Európy. Oblasť má najhustejšiu železničnú sieť na Urale. Čelabinsk je dôležitou železničnou križovatkou. Vede ním hlavná vetva Transsibírskej magistrály s odbočkami na Sverdlovsk a do Kazachstanu.⁶ V súčasnosti je v oblasti hlavným prostriedkom osobnej dopravy železnica i keď hlavným prostriedkom nákladnej dopravy je automobilová doprava. Väčšie mestá sú vzájomne prepojené železničnou sieťou, ktorá je dlhá 2 200 km. V oblasti sú dva letiská - v Čelabinsku a v Magnitogorsku. V r. 2001 bolo leteckou dopravou prepravených 264,4 tisíc cestujúcich. Čelabinské letisko má medzinárodné postavenie. Osobná automobilová doprava hrá najdôležitejšiu úlohu v zaobstarávaní prepravných služieb. Autobusy predstavujú 48,1% celkového množstva osobnej dopravy. Sieť regionálnych automobilových ciest mala ku dňu 1. 1. 2000 dĺžku 8 360 km.¹⁴

2.3.6 Služby a cestovný ruch

V súčasnosti je v Čelabinskej oblasti sféra služieb skoro kompletne sprivatizovaná. K 1.1.2000 tu bolo viac ako 675 inštitúcií verejných služieb. 85 hotelov a motelov má ubytovaciu kapacitu okolo 4 800 hostí. V Čelabinsku je 14 hotelov, v Zlatouste 9, v Miasse 5 a v Magnitogorsku sú 4 hotely.

Obyvatelia Čelabinskej oblasti často trávia víkendy pri jazerách. Celoštátny význam majú jazerá Kisegač a Uviľdy. Pri jazere Uviľdy sú sanatória Kisegač a Jelovoje, ďalšími rekreačnými centrami v oblasti sú sanatórium Solnečny, Magnitogorské zdravotné rekreačné stredisko a Karagajský Bor. Dovolenkovými centrami sú Turgojak a Zolotoj Pliaž. Dôležitý význam má Rehabilitačné centrum pre ožiarené osoby. V Čelabinskej oblasti je 61 štadiónov a 53 bazénov.¹⁴

3 VZNIK A VÝVOJ JADROVÝCH AKTRIVÍT V ČELABINSKEJ OBLASTI

Sovietsky jadrový priemysel a technológie dosahovali pred II. svetovou vojnou veľké úspechy. Ale II. svetová vojna úplne zastavila všetky sovietske výskumy v tejto oblasti. Vedci z USA a Anglicka dosiahli počas tohto obdobia prevratný pokrok vo výskume aplikácií štiepenia jadier. Nanešťastie bol tento pokrok spočiatku použitý na vojenské ciele. Skutočné vlastníctvo jadrových zbraní umožnilo USA uplatňovať enormný medzinárodný tlak a prinútilo vládu bývalého ZSSR vynaložiť úsilie na urýchlené vyrovnanie jadrového potenciálu. Štátny výbor pre obranu zostavil špeciálnu komisiu na výrobu jadrových zbraní (Rozhodnutie č. 9 887 zo dňa 20. 8. 1945), ktorej boli uložené veľmi krátke termíny riešenia (Rozhodnutie známe ako *Uránový projekt*).^{16,17} Projekt bol v bývalom ZSSR uskutočnený s veľkými ekonomickými problémami, s nedostatkom vyučených odborníkov, technických špecialistov a zdrojov materiálov. Ale výsledky sa dostavili onedlho. V Kirovovom závode v bývalom Leningrade boli vybudované dva experimentálne zariadenia. Prvé bolo navrhnuté na obohacovanie izotopov uránu difúziou plynov, druhým bolo laboratórium pre vývoj ťažkovodných reaktorov „spaľujúcich“ prírodný urán. Výstavba dvoch zariadení začala. Druhé z nich bolo prvým sovietskym jadrovým reaktorom na výrobu plutónia so stupňom čistoty pre atómové zbrane a bolo umiestnené na južnom Urale. Poloha v pohorí Ural bola vybraná kvôli vhodnej a bezpečnej pozícii v strede krajiny, ďaleko od hraníc. V lete 1945 sa uskutočnil prieskum výberu miesta a na jeseň 1945 sa vládna komisia rozhodla vybudovať na južnom pobreží jazera Kyzylt'áš prvý zo siedmich vojenských reaktorov. Onedlho boli vybudované pomocné zariadenia a boli prepojené dopravnou sieťou, zásobovaním vodou a elektrinou. V blízkosti komplexu bolo vybudované tajné, uzavreté mesto slúžiace na ubytovanie pracovníkov. Išlo o priemyselný komplex, ktorý je dnes známy pod názvom *Výrobné združenie Maják (VZ Maják)*.

Hlavným cieľom *Uránového projektu* bolo zahájenie výroby sovietskych jadrových zbraní tak rýchlo ako je to možné. Výstavba komplexu začala v r. 1945. Koncom r. 1947 bol pripravený k činnosti prvý vojenský reaktor (*Reaktor A*). Bol uvedený do prevádzky 8. júna 1948 a 19. júna 1948 dosiahol plánovaný výkon 100 MW. Od r. 1949 vyrábala plutónium, až kým 16. júna 1987 nebol vyradený z prevádzky. V troch ďalších reaktoroch, ktoré boli uvedené do prevádzky v r. 1950-1952, bola tiež ukončená prevádzka v r. 1987-1990. Všetky tieto štyri reaktory boli grafitom moderované reaktory s vodnými chladiacimi okruhmi, používajúc chladiacu vodu z jazera Kyzylt'áš. Rádiochemický závod (*Závod B*) na extrakciu ²³⁹Pu z uránu

ožiareného v *Reaktore A* bol uvedený do prevádzky v decembri 1948. A vo februári 1949 bolo z prvého plutóniového koncentráту zo *Závodu B* vyrobené v metalurgickom závode (*Závod V*) vysokočisté kovové plutónium pre prvú sovietsku atómovú bombu.

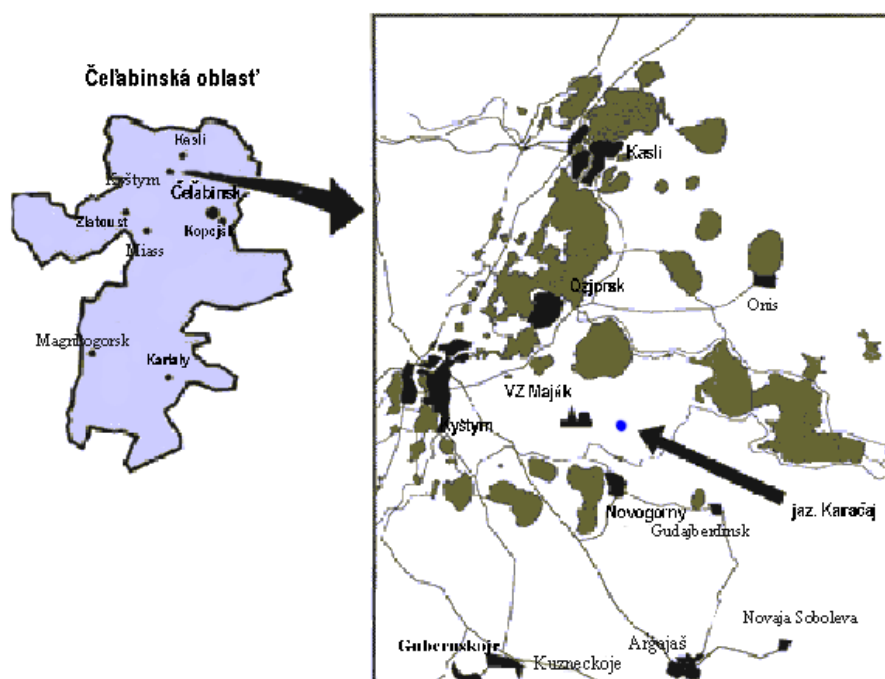
Komplex celkovo zahrňoval rádiochemický závod, závod na výrobu plutónia a jadrové reaktory (5 grafitových reaktorov na výrobu plutónia a dva reaktory na výrobu izotopov) a ďalšie plochy na skladovanie jadrového odpadu. Dva reaktory sú ešte stále v činnosti a vyrábajú elektrickú energiu a trícium pre jadrové zbrane.

3.1 POLOHA VÝROBNÉHO ZDRUŽENIA MAJÁK

Reaktorový areál *VZ Maják* leží na južnom Urale, 70 km severne od mesta Čelabinsk a asi 10 km južne od mesta Ozjorsk a neďaleko miest Kasli a Kyštym v Čelabinskej oblasti Uralského regiónu (viď *Mapa 4*).¹⁸

Mapa 4: Poloha *Výrobného združenia Maják* v rámci Čelabinskej oblasti

Mierka 1 : 625 000



Zdroj: **Merkushkin, A.O.** (2001)
Upravila: Svetlana Kurucová, 2002

Komplex sa rozprestiera na ploche 90 km² a zamestnáva okolo 17 100 ľudí. V začiatkových rokoch činnosti patrilo *VZ Maják* kvôli utajovaniu ku Kyštymu (mesto ležiace približne 15 km západne od komplexu) a bolo známe

pod kódovým označením *Čelabinsk-40*, začiatkom deväťdesiatych rokov sa jeho názov zmenil na *Čelabinsk-65* a v r. 1994 na *Ozjorsk*, čo bol názov najbližšieho mesta ku *VZ Maják*.¹⁹ Hoci mesto Ozjorsk už nie je utajené, je stále uzavreté pre cudzincov. Vstup do Ozjorsku je možný len cez strážené dvojité brány. V súčasnosti má Ozjorsk okolo 90 000 obyvateľov.²⁰

Tabuľka 4: Prehľad názvov *VZ Maják*

<i>Čelabinsk-40</i>
<i>Čelabinsk-65</i>
<i>Výrobné združenie Maják</i>
<i>Chemický kombinát Maják</i>
<i>Maják Ozjorsk</i>
<i>Plutóniové integrované závody</i>
<i>Priemyselná asociácia Maják</i>

Zdroj: *Mayak Chemical Combine*. <http://rnp.lanl.gov/rnp/c-o.nsf/>

4 ENVIRONMENTÁLNE A SOCIO-EKONOMICKÉ PROBLÉMY ČEL'ABINSKEJ OBLASTI

V prvých rokoch činnosti *VZ Maják* sa stali tri radiačné nehody, sprevádzané uvoľnením veľkého množstva rádionuklidov do životného prostredia²¹ (viď *Prílohy, Tab. 5: Prehľad radiačných nehôd spojených s činnosťou VZ Maják*).²²

1. Kontaminácia rieky Teča (r. 1949-1956, okolo 100 PBq)
2. Explózia skladovacej cisterny (r. 1957, okolo 70 PBq)
3. Udalosť s rozptýlením rádioaktívneho odpadu (r. 1967, okolo 20 TBq).

4.1 KONTAMINÁCIA RIEKY TEČA V R. 1949-1956

4.1.1 Poloha rieky Teča a jej hydrologické charakteristiky

Rieka Teča je pravým prítokom rieky Iseť, ktorá sa vlieva do rieky Tobol. Celková dĺžka tohto riečného systému je okolo 1 000 km. Teča patrí do povodia rieky Ob (Teča – Iseť – Tobol – Irtyš – Ob) a do úmoria Karského mora v Severnom ľadovom oceáne. Zdrojmi rieky Teča sú jazerá Irťáš a Kyzylťáš. Dĺžka rieky Teča je okolo 240 km. V čase rádioaktívnej kontaminácie bolo na jej brehoch 40 obcí s približne 28 000 obyvateľmi (viď *Prílohy, Tab. 6 a Mapa 5*).²⁵ Boli to malé poľnohospodárske dediny.

Riečište obsahuje vrstvy rašeliny, kalov a hliny. Popri brehu rieky boli povodňové močiare so šírkou od 300 m do 2 km. Najmočaristejšie plochy boli medzi dedinami Nadyrov Most a Musljumovo. Hrúbka rašeliny dosahuje od 10 cm do 3 m. Rašelina obsahuje značné množstvo minerálov a popola. Spodnú vrstvu rašeliny tvorí hlina, piesočnatý íl a menej piesok.

Rieka Teča má v dedine Musljumovo dobre vytvorené koryto a jej dno pozostáva z vrstiev piesku, bahna a štrku. Úseky rieky od jazera Kyzylťáš do dediny Musljumovo boli väčšinou močaristé. Šírka riečného dna sa pohybovala od 3 do 15 m a hĺbka dosahovala od 0,5 do 2 m.

Rieka Teča získava zdroje vody z topiaceho sa snehu a intenzívnych jarých povodní. Hlavný zdroj vody, zásobujúci Teču počas letných mesiacov je výtok z podzemnej vody vzniknutej z atmosférických zrážok. V päťdesiatych rokoch 20. storočia sa pohyboval jej prietok od 2 do 10 m³ s⁻¹. Rieka Teča je pomerne malá a plytká. To bol jeden z dôvodov, prečo tu bola taká zreteľná kontaminácia riečného okolia.

4.1.2 VZ Maják ako zdroj kontaminácie rieky Teča

Čoskoro po tom ako bolo *VZ Maják* uvedené do prevádzky, vznikol problém s uskladňovaním RAO z rádiochemického závodu. V prvých rokoch činnosti *VZ Maják* sa používali jednoduché technológie zaobchádzania s tekutými RAO zo spracovateľských závodov a ako hlavná metóda ukladania týchto odpadov sa využívalo riedenie. V r. 1949-1956 sa do rieky Teča približne 6 km od *VZ Maják* bežne vypúšťali obrovské množstvá stredne- a vysokoaktívnych RAO.¹⁸

4.1.2.1 Kontaminácia rieky Teča

Výroba plutónia so stupňom čistoty pre atómové zbrane vo *VZ Maják* sa vykonávala v niekoľkých etapách. V prvej etape bol prírodný urán ožiarený v uránovo-grafitových reaktoroch termálnymi neutrónmi, aby v palive *Reaktora A* vznikalo ²³⁹Pu. Z ožiareného paliva bolo v *Závode B* separované ²³⁹Pu, ktoré bolo odoslané do *Metalurgického závodu V* na výrobu vysokočistého kovového plutónia.

V tomto reťazci bolo niekoľko zdrojov, ktoré znečistili rieku Teča. *Reaktor A* obsahoval iba jeden chladiaci okruh: voda z jazera Kyzylťáš cirkulovala priamo cez jadro reaktora a bola vypúšťaná naspäť do jazera. Výsledkom bolo, že chladiaca voda obsahovala rádionuklidy s krátkym polčasom rozpadu, vytvorené ožiareníím materiálu v aktívnej zóne reaktora. Voda z jazera Kyzylťáš, vlietajúca sa do Teče, bola tiež kontaminovaná rádionuklidmi ³²P, ³⁵S a ⁴⁵Ca. Voda z kontaminovaného jazera bola jedným, ale nie hlavným zdrojom nečistenia rieky Teča. Po extrahovaní uránu a plutónia z ožiareného paliva v *Rádiochemickom závode B* vznikali rôzne druhy odpadov. Tekuté nízko- a stredneaktívne RAO boli vypúšťané priamo do Teče. V r. 1949 boli vysokoaktívne RAO sústredované do cisterien so špeciálnym uskladnením v *Komplexe C*. Za účelom zredukovať objem materiálov prichádzajúcich do cisterien, v januári 1950 bolo vybudované špeciálne zariadenie na dekontamináciu vysokoaktívnych RAO a budovanie ďalších cisterien v *Komplexe C* bolo zastavené. Časť RAO bola usmernená do cisterien a časť bola vypúšťaná do rieky Teča.²³ V júli 1951 zistili, že zariadenie na dekontamináciu nepracuje tak ako bolo projektované a počas tohto obdobia boli do rieky vypustené obrovské množstvá rádionuklidov. Odvtedy, ako sa voda z rieky Teča používala na chladenie, v období r. 1950-1951 boli vypúšťané do rieky obrovské množstvá rádionuklidov (denne v priemere 0,16 PBq). Výsledkom boli značné množstvá rádionuklidov akumulované vo vode a v spodných sedimentoch rieky.

Najnepriaznivejšie radiačné podmienky boli na strednej a na hornej Teči. Počas jarných povodní sa kontaminovali pôdy, obzvlášť počas veľkej povodne v r. 1951. Domy a krajina boli kontaminované kvôli činnosti ľudí a hospodárskych zvierat.²⁵

V období r. 1949-1956 bolo do Teče vypustených okolo 76 000 000 m³ tekutého RAO s celkovou beta aktivitou 102 PBq (2,75 MCi). Odpad je zmes stroncia, cézia, nióbu a ruténia. Okolo 25% aktivity pozostáva zo ⁹⁰Sr a ¹³⁷Cs. Viac ako 95% RAO bolo vypustených do rieky v dôsledku nedostatočných technológií čistenia v období od marca 1950 do novembra 1951. Po novembri 1951 boli vysokoaktívne RAO vypúšťané do ohradeného umelého jazera Karačaj a tento postup pokračoval do r. 1953, kedy bolo vybudované dočasné skladovacie zariadenie. Avšak, nízko- a stredneaktívne RAO sa naďalej vypúšťali do jazera.²³

Konečný osud rádionuklidov v rieke bol determinovaný množstvom parametrov, vrátane doby polpremeny, transportu, riedenia prúdom vody, sedimentáciou určitého podielu vypúšťaní, procesmi absorpcie a desorpcie na pevných časticiach a následnou sedimentáciou týchto častí.^{24,25}

V lete 1951 začali pravidelné environmentálne merania, kedy sa ukázali v spracovaní RAO zjavné chyby.^{23,26} Hlavným cieľom týchto meraní bolo určenie kritických skupín populácie - tých, čo obdržali vysoké dávky – za účelom prijatia rozhodnutia o ich evakuácii z kontaminovaných území. Toto nevyžadovalo systematické a presné monitorovanie a pozornosť bola sústredená na vysoké hodnoty aktivity. Tento prístup sťažil rekonštrukciu radiačných dávok ožiarených ľudí.

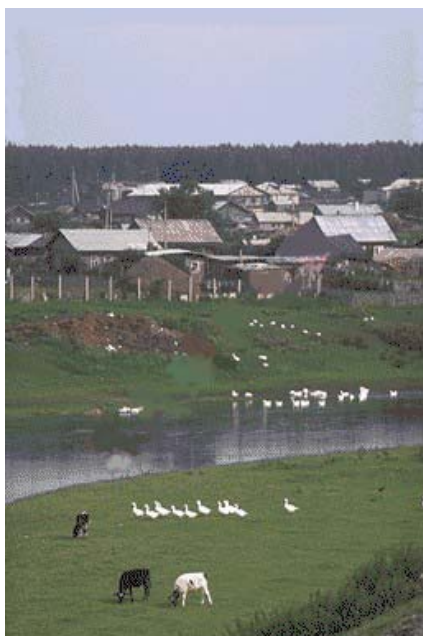
V r. 1951 boli v Metlinskej vodnej nádrži prípustné aktivity pre ⁹⁰Sr prekročené 2 000 -3 000 krát a aktivita ¹³⁷Cs bola prekročená 100 násobne.²⁶ Miera ožiarenia dosiahla na niektorých miestach hodnoty, pri ktorých mohla osoba dostať počas jednej hodiny dávku žiarenia porovnateľnú s maximálnou povolenou ročnou dávkou pre pracovníkov s ionizujúcim žiarením.

V r. 1951 rádionuklidy z *VZ Maják*, unesené riekami Teča, Iseľ, Tobol, Irtyš a Ob, boli objavené v Severnom ľadovom oceáne, hoci 99% rádioaktívnych materiálov bolo naplavených na prvých 35 km po prúde rieky. Toto zistenie viedlo k zmene: bol vydaný zákaz používať riekou Teča a jej povodie.^{27,28}

Od r. 1964 prebieha v rieke samočistiaci režim, sprevádzaný pomalou rádioaktívnou premenou ¹³⁷Cs a ⁹⁰Sr. Rádionuklidy boli prevažne akumulované v spodných riečnych sedimentoch: pomer koncentrácie rádionuklidov v spodných sedimentoch ku koncentrácii vo vode sa líši 100-1000 násobne v závislosti od charakteru sedimentov.

4.1.2.2 Socio-ekonomické dopady kontaminácie rieky Teča

Čoskoro po tom ako bolo *VZ Maják* uvedené do prevádzky, následkom vypúšťania stredne- a vysokoaktívnych RAO do riečneho systému, v Čel'abinskej oblasti dramaticky vzrástol počet ochorení a úmrtí.³⁰ Okolo 124 000 ľudí bolo v dôsledku týchto vypúšťaní vystavených pôsobeniu vyšších dávok žiarenia. Na brehoch Teče boli úrovne ožiarenia tak vysoké, že 28 000 obyvateľov obdržalo významné dávky z hľadiska zdravia.¹⁸ Bolo rozhodnuté o evakuácii 24 dedín ležiacich na brehoch rieky Teča v zóne 50 km od *VZ Maják*. Obyvatelia niektorých dedín však naďalej ostávali v kontaminovanej zóne (viď *Prílohy, Tab. 6 a Mapa 5*).^{21,29} Na oboch brehoch rieky Teča boli postavené ploty s ostnatým drôtom a bol vydaný zákaz odoberať z rieky vodu, chytať ryby alebo zbierať huby a plody a kosiť trávu. Ale plot hrdzavie a zákazy sú ignorované (viď *Obr. 1 a Obr. 2*).



Obr. 1: Rieka Teča

Zdroj: *The Most Contaminated Spot on the Planet*.

Chelyabinsk: Photo Gallery.

<http://www.logtv.com/chelya/photos1.html>



Obr.2: Deti hrajúce sa pri kontaminovanej rieke Teča

Zdroj: *The Most Contaminated Spot on the Planet*.

Chelyabinsk: Photo Gallery.

<http://www.logtv.com/chelya/photos1.html>

Štyri najväčšie obce neboli nikdy evakuované a až nedávno ich obyvateľom úrady odtajnil, prečo sú pozdĺž brehov Teče naťahané ostnaté drôty už viac ako štyri desaťročia. Obyvatelia, ktorí boli evakuovaní, obdržali dávkový ekvivalent v rozsahu od 0,35 Sv do 17 Sv.¹⁸ Najväčšie dávky obdržalo okolo 1 200 obyvateľov dediny Metlino. Hlavné dávky boli obdržané počas prvých rokov. Štatistiky ukazujú, že génové mutácie v obciach, ktoré neboli evakuované, 15-násobne prevyšovali priemerné hodnoty pozorované v Ruskej federácii. Miestne úrady pripisovali veľký počet vrodených porúch medzi novorodencami a vysokú

úmrtnosť následkom nízkej životnej úrovne.³⁰ Od r. 1953 už nemohla byť rieka dlhšie používaná ako zdroj pitnej vody. Niektorí obyvatelia boli zásobovaní vodou z iných zdrojov a do r. 1960 evakovali z dedín ležiacich na brehoch rieky 7 500 obyvateľov.¹⁸ Vo vodných nádržiach pozdĺž rieky sa nachádza 400 mld. m³ rádioaktívnej vody. Ryby v Teči majú 100-násobne vyššiu úroveň rádioaktivity než z nekontaminovaných vôd.²⁷ Obyvatelia neboli informovaní o skutočnosti, že rieka bola kontaminovaná rádionuklidmi a mali sklon ignorovať zákazy.

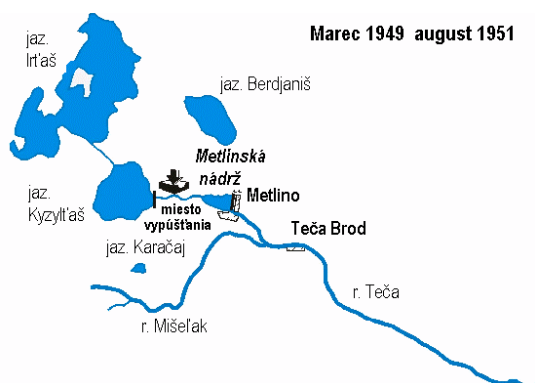
Obec Musljumovo, ktorá leží 78 km po prúde rieky od *VZ Maják*, bola obzvlášť kontaminovaná, ale jej obyvatelia neboli nikdy evakuovaní i napriek tomu, že boli najviac vystavení ožiareniu. V r. 1949 mala obec 4 000 obyvateľov. Do r. 1990 klesol ich počet na 2 500. Dávkový ekvivalent obdržaný jej obyvateľmi bol približne 2,8 Sv a dávkový ekvivalent obdržaný deťmi bol 0,05-0,1 Sv rok⁻¹.¹⁸ Následkom kontaminácie vody v Teči sa rapidne zvýšila chorobnosť obyvateľov Musljumova. Počet novorodencov s vrodenými poruchami a počet úmrtí na rakovinu stúpol, ale úrady odmietli prijať opatrenia na odstránenie situácie. Obyvatelia Musljumova boli od r. 1950 podrobení povinným krvným testom a testom kostnej drene. Výsledky však boli udržiavané v tajnosti až do r. 1992. Ešte dnes nevie miestne obyvateľstvo skutočné aktivity rádioizotopov v produktoch vypestovaných v ich záhradách. Nemeckí vedci, ktorí vypracovali štúdiu v Musljumove v r. 1996, namerali vo vzorkách potravín vypestovaných v obci ohromujúce hodnoty rádioaktivity - 17 kBq kg⁻¹ v rybách a 8 kBq kg⁻¹ v zelenine (v Európe sú produkty s hodnotou nad 600 Bq kg⁻¹ vyradené z predaja).³⁰ Obyvatelia Musljumova až od r. 1989 začali dostávať informácie o nebezpečenstvách kontaminovanej rieky. V r. 1993 úrady Čel'abinskej oblasti prijali rozhodnutie evakuovať Musljumovo a vybudovať novú dedinu ďalej od rieky Teča, avšak toto rozhodnutie nikdy nebolo realizované v dôsledku ekonomických problémov.¹⁸ Obec nemala žiadne studne a donedávna používala Teču ako zdroj pitnej vody. Nedávno presadilo združenie občanov Kyštym-57 (pod vedením Lujzy Koržovej), ktoré bojuje za obeť ožiarenia, prijatie nového zákona, ktorý umožňuje obyvateľom Musljumova presťahovať sa kamkoľvek. Nanešťastie, tento zákon platí len pre túto dedinu.²⁷

Počas r. 1949, kedy bola prvá celoročná prevádzka vo *VZ Maják*, obdržali pracovníci na *Reaktore A* priemernú ročnú dávku 936 mSv, čo je 3-násobne viac ako boli v tom čase prípustné dávky stanovené ministerstvom, ktoré boli príliš vysoké (300 mSv rok⁻¹). Limity pre pracovníkov s ionizujúcim žiarením boli v bývalom Sovietskom zväze ako aj v iných krajinách 5 mSv rok⁻¹, hoci odvtedy boli znížené na 2 mSv rok⁻¹. V r. 1951 boli pracovníci komplexu vystavení priemernej ročnej dávke 1,133 Sv a malé percento z nich obdržalo počas ranného obdobia každoročne dávku viac ako 4 Sv.²⁷ Ako letálna dávka (*LD*₅₀) pre ľudí sa uvádza hodnota 2,5-3,5 Sv.³¹

Čel'abinským nemocniciam nebolo povolené liečiť obyvateľov tejto oblasti, ale boli

odosielaní do Uralského centra pre radiačnú medicínu. Záznamy centra boli do r. 1990 utajené. Údaje o zdraví 28 000 obyvateľov, žijúcich na brehoch Teče, im boli zatajované a všetci boli klasifikovaní ako silne ožiarení. Od šesťdesiatych rokov 20. storočia boli títo ľudia pravidelne vyšetrovaní.³⁰

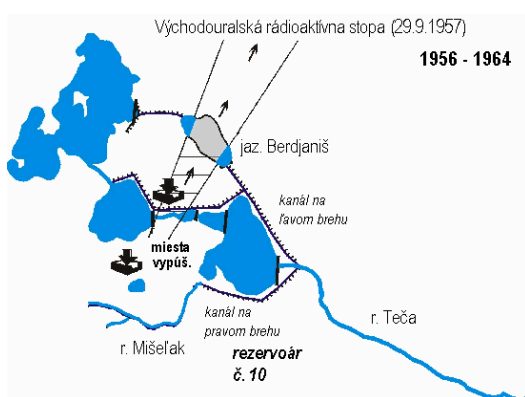
Keď bolo *VZ Maják* uvedené do prevádzky, existovala iba Metlinská vodná nádrž. Neskôr, v r. 1951 bola na zabránenie priameho toku rádionuklidov do dediny Metlino vybudovaná vodná nádrž Kokšarov. Metlino bolo prvou dedinou po prúde rieky, vzdialenou 7 km od miesta vypúšťania a obyvatelia tam obdržali najvyššie dávky ožiarenia. V r. 1956 začali úpravy na obmedzenie vplyvu a rozširovania kontaminácie rádionuklidmi ďalej na sever: obyvatelia z horných úsekov rieky boli evakuovaní a bola vybudovaná séria dodatočných priehrad (vid' *Obr.3*). Úlohou tejto kaskády priehrad bolo spomaľovanie prietoku vody na pomalý, tichý tok, aby rádioaktívne častice mohli ľahšie sedimentovať a aby neboli transportované ďalej po prúde rieky do riečneho systému.



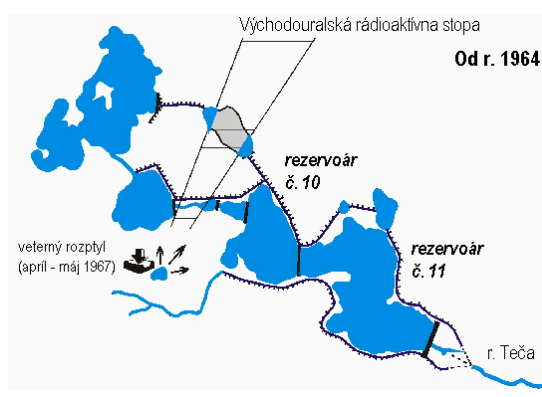
a) na začiatku činnosti Výrobného združenia Maják



b) po vybudovaní vodnej nádrže Kokšarov



c) po vybudovaní rezervoára č. 10



d) po tom ako horné úseky rieky vytvorili "uzavretý systém"

Obr. 3: Schematické mapy horných úsekov r. Teča

Zdroj: **Burmistrov D. - Kossenko, M. - Wilson R.:** *Radioactive Contamination of the Techa River and its Effects.*
http://phys4.harvard.edu/~wilson/publications/747/techa_cor.htm

Upravila: Svetlana Kurucová, 2002

V r. 1968 bola v strede Musljumova vybudovaná priehrada. Plochy po oboch stranách rieky, ktoré boli predtým pod vodnou hladinou, boli uvedené do poľnohospodárskeho využívania. Vzorky sedimentov odobraté z brehov rieky nad priehradou ukazujú aktivity 400 kBq ^{137}Cs na kilogram pôdy a 120 kBq ^{90}Sr na kilogram trávy. Napriek tomu sa domáce zvieratá naďalej pasú na tejto ploche. Kontaminácia pôdy na hornom toku rieky v súčasnosti predstavuje pre ^{90}Sr 0,74 TBq km⁻² (20 Ci km⁻²) a pre ^{137}Cs 5,92 TBq km⁻² (160 Ci km⁻²).¹⁸

Ruskí rádiobiológovia, študujúci choroby z ožiarenia v oblasti odhadujú, že obyvatelia žijúci v okolí rieky Teča boli ožiarení v priemere štvornásobne väčšou dávkou žiarenia ako obeť Černobyľu. Riečny systém sa v súčasnosti nachádza v stave prirodzenej deaktivácie, ktorá potrvá niekoľko storočí.

4.2 EXPLÓZIA SKLADOVACEJ CISTERNY V R. 1957

Kontaminácia rieky Teča bola najväznejšou „nehodou“, ale nie poslednou. *VZ Maják* je pre ľudí známe ako miesto hroznej explózie v r. 1957, ktoré bolo len nedávno potvrdené ruskými úradmi. Na začiatku päťdesiatych rokov bolo vypúšťanie vysokoaktívnych RAO do rieky Teča zastavené. V tom čase sa vybuvovali na skladovanie týchto odpadov podzemné železné cisterny, vybavené chladiacimi systémami. V r. 1953 bolo zariadenie uvedené do prevádzky. Každá cisterna má objem 300 m³ a je umiestnená v podzemnom zásobníku s betónovými stenami hrubými 1,5 m. Každý zásobník môže uskladňovať 20 cisterien, ktoré sú v ňom umiestnené v hĺbke 8,2 m pod povrchom. Veľa tekutých odpadov skladovaných v týchto cisternách obsahuje roztoky kyseliny dusičnej z procesov prepracovania vyhoreného jadrového paliva.¹⁸

V r. 1957 následkom zlyhania chladiaceho potrubia v jednej cisterne obsahujúcej vysokoaktívne tekuté RAO sa chladiace kvapaliny začali vyparovať. Cisterna obsahovala 70-80 ton odpadov, hlavne vo forme dusičnanových zlúčenín. Energia uvoľnená pri rádioaktívnej premene spôsobila zvyšovanie teploty o 5-6 °C denne. Teplota odpadov v cisternách bola udržiavaná cirkuláciou chladiacej vody, ktorá bola vymieňaná každých 12 hodín. Je zrejmé, že chladiaci proces a systém na kontrolu teploty vo vybuchnutej cisterne zlyhal. Cisterna sa prehriala, pretože v nej vzrástla teplota na 330-350°C a chladiaca voda sa odparila.²¹ V dôsledku zahustenia roztokov s RAO začalo neriadené reťazové štiepenie prítomného plutónia a 29. septembra 1957 o 16:20 m.č. cisterna s RAO explodovala, následkom čoho bolo územie s plochou okolo 20 000 km² kontaminované plutóniom a stronciom.¹⁸

4.2.1 Dopady nehody na životné prostredie

Sila explózie zodpovedala 70-100 tonám TNT a 2,5 m hrubý betónový kryt odhodilo do vzdialenosti 25-30 m. Celková uvoľnená rádioaktivita bola 740 PBq (20 MCi) (okolo 1/4 aktivity uvoľnenej pri Černobyľskej havárii).³² Z toho 90% rádionuklidov (666 PBq) bolo rozptýlených nad malým územím v okolí cisterny. Okolo 74 PBq (2 MCi) z celkovej aktivity vytvorilo rádioaktívny oblak, ktorý dosahoval výšku okolo 1 km a bol unášaný vetrami severoseverovýchodným smerom a spôsobil kontamináciu niektorých častí Čel'abinskej, Sverdlovskej a Ťumeňskej oblasti.¹⁸ Plocha ležiaca severne od *VZ Maják* s rozlohou 23 000 km², na ktorej sa nachádzalo 217 obcí s počtom obyvateľov okolo 270 000 bola kontaminovaná rádionuklidom ⁹⁰Sr s aktivitou viac ako 3,7 GBq km⁻² (0,1 Ci km⁻²). Kontaminovaná plocha je známa ako *Východouralská rádioaktívna stopa* a má dĺžku okolo 300 km a šírku 3-50 km (vid' *Prílohy, Mapa 6*).^{18,33} Rádionuklid ⁹⁰Sr predstavoval asi 5,4% celkového spad (4 PBq (108 kCi)). (Pre porovnanie, po Černobyľskej nehode sa uvoľnilo 8 PBq ⁹⁰Sr).¹⁸

4.2.2 Socio-ekonomické dopady nehody

Po Kyštymskej nehode bolo z 23 najviac kontaminovaných dedín evakuovaných okolo 10 700 ľudí.³² Ich majetky boli zničené a spálené. Polovica z nich bola evakuovaná až po ôsmich mesiacoch po nehode. Títo ľudia po havárii konzumovali až do evakuácie bez obmedzenia kontaminované potraviny.³⁰ Najviac kontaminované územia, kde žilo 1 100 ľudí, neboli evakuované až do desiatich dní po explózii. Ostatné miesta boli evakuované o rok neskôr, kým posledná skupina obyvateľov bola evakuovaná až po dvoch rokoch. Obyvatelia najviac zasiahnutých plôch, ktorí neboli evakuovaní do desiatich dní, obdržali počas toho obdobia dávkový ekvivalent približne 0,52 Sv. Ľudia boli evakuovaní z územií, kde plošná aktivita ⁹⁰Sr bola od 122 GBq km⁻² do 18 000 GBq km⁻² (od 3,3 Ci km⁻² do 486,5 Ci km⁻²). Evakuované dediny boli potom vypálené a vrchná vrstva pôdy bola odstránená. Obyvatelia týchto území obdržali kolektívny dávkový ekvivalent 1 300 manSv. V niektorých okolitých územiách, kde žilo 10 700 obyvateľov, sa plošná aktivita ⁹⁰Sr pohybovala medzi 37-148 GBq km⁻² (1-4 Ci km⁻²). Títo obyvatelia boli do r. 1990 ožiarení kolektívnym dávkovým ekvivalentom 4 500 manSv (stredný ročný dávkový ekvivalent bol 12,7 mSv na obyvateľa).¹⁸ Vyše 200 obcí s 270 000 obyvateľmi bolo ožiarенých letálnou dávkou žiarenia.³⁴ Prakticky všetky zdroje vody v tejto oblasti boli kontaminované. Územie s rozlohou približne 1 000 km², kde žilo okolo 10 000 obyvateľov bolo kontaminované s aktivitou ⁹⁰Sr viac ako 74 GBq km⁻²

(2 Ci km⁻²) a stalo sa neobývateľné. Táto úroveň kontaminácie bola zvolená ako kritérium pre bezpečnosť obyvateľov. U 1/5 týchto ľudí bola nakoniec preukázaná redukcia leukocytov v krvi. O úmrtiach zapríčinených nehodou nie sú žiadne záznamy.²⁷

Po Kyštymskej nehode boli nemocnice a kliniky v Čel'abinskej oblasti úplne zaplnené s tisíckami obyvateľov, ktorých stav bol v prvých rokoch po explózii monitorovaný. Najmenej 200 ľudí zomrelo v nasledujúcich rokoch po nehode v dôsledku chorôb z ožiarenia. Poľnohospodárska produkcia bola tiež zasiahnutá. V r. 1958 v Čel'abinskej a Sverdlovskej oblasti ostalo neobrábaných 106 000 ha poľnohospodárskej pôdy. Do r. 1961 bola vo Sverdlovskej oblasti už všetka poľnohospodárska pôda obrábaná, zatiaľ čo v Čel'abinskej oblasti nemohla byť až do r. 1978 poľnohospodársky využívaná plocha s rozlohou 40 000 ha. V súčasnosti stále nemôžu byť poľnohospodársky využívané kvôli vysokej kontaminácii plochy s celkovou rozlohou 18 000 ha.¹⁸

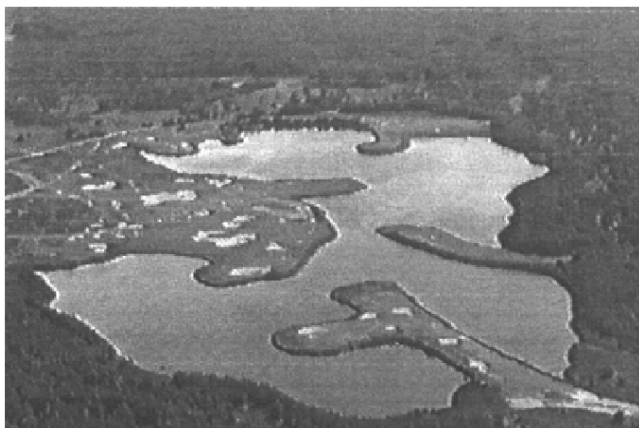
Počas zimy 1957/1958 sa kontaminovali zásoby potravín v okolí *VZ Maják*. Ich kontaminácia dosahovala od 6,3 GBq kg⁻¹ do 2 600 GBq kg⁻¹ (od 0,17 do 70,3 Ci kg⁻¹) a bola zistená do 20 km od miesta nehody.¹⁸

Na plochách, kde bola aktivita ⁹⁰Sr viac ako 74 GBq km⁻² (2 Ci km⁻²), boli najväčším zdrojom príjmu rádionuklidov obyvateľmi kontaminované mliečne výrobky. Deti boli najviac ohrozené. V r. 1966-1967 boli stredné dávkové ekvivalenty žiarenia 16,3 mSv rok⁻¹ obdržané kritickými skupinami detí vo veku 7-9 rokov v dôsledku príjmu ⁹⁰Sr. Šerbakovo bolo najviac postihnutou dedinou s ročným dávkovým ekvivalentom 26,3 mSv. Stredný dávkový ekvivalent bol u dospelých približne 3 mSv rok⁻¹ a u detí 10 mSv rok⁻¹.¹⁸

Táto nehoda bola kvôli vojenským bezpečnostným dôvodom pred vonkajším svetom dlho udržiavaná v tajnosti. Kyštymská nehoda bola zaradená do 6. stupňa (závažná havária) zo siedmich stupňov Medzinárodnej stupnice pre hodnotenie jadrových udalostí.³⁵

4.3 UDALOSŤ S ROZPTÝLENÍM RÁDIOAKTÍVNEHO ODPADU V R. 1967

Tretie nešťastie sa udialo o 10 rokov neskôr. Jazero Karačaj (viď *Obr. 4*) je uzavretý umelý rezervoár, ležiaci priamo v blízkosti *VZ Maják*, v centrálnej časti prilahlých vodných plôch jazier Ulagač, Tatyš, Malaja Nanoga, Kyzyl'taş a riek Mišel'ak a Teča.



Obr. 4: Jazero Karačaj. Pohľad
zo západu. Leto 1992
Zdroj: **Merkushkin, A.O.** (2001)

Keď bolo jasné, že vypúšťanie tekutých RAO do rieky vedie k zvýšenému znečisteniu celého riečného systému, na presmerovanie skladovania rádioaktívnych odpadov v riečnom systéme boli pri *Výrobnom združení Maják* vybrané dva samostatné prírodné jazerá – jazero Karačaj pre odpady s vysokou hladinou rádioaktivity a jazero Staroje Boloto pre odpady so strednou hladinou rádioaktivity. Od októbra 1951 začalo *VZ Maják* vypúšťať tekutý rádioaktívny odpad do uzavretého vodného systému jazera Karačaj za účelom zastaviť vypúšťanie odpadov do rieky Teča. Tento krok bol urobený, lebo bol nedostatok kontajnerov na uskladňovanie veľkého množstva rádioaktívnych odpadov. Počas obdobia využívania jazera Karačaj bolo do neho vypustených okolo 18,5 EBq (500 MCi) beta-rádioaktívnych nuklidov.³⁶

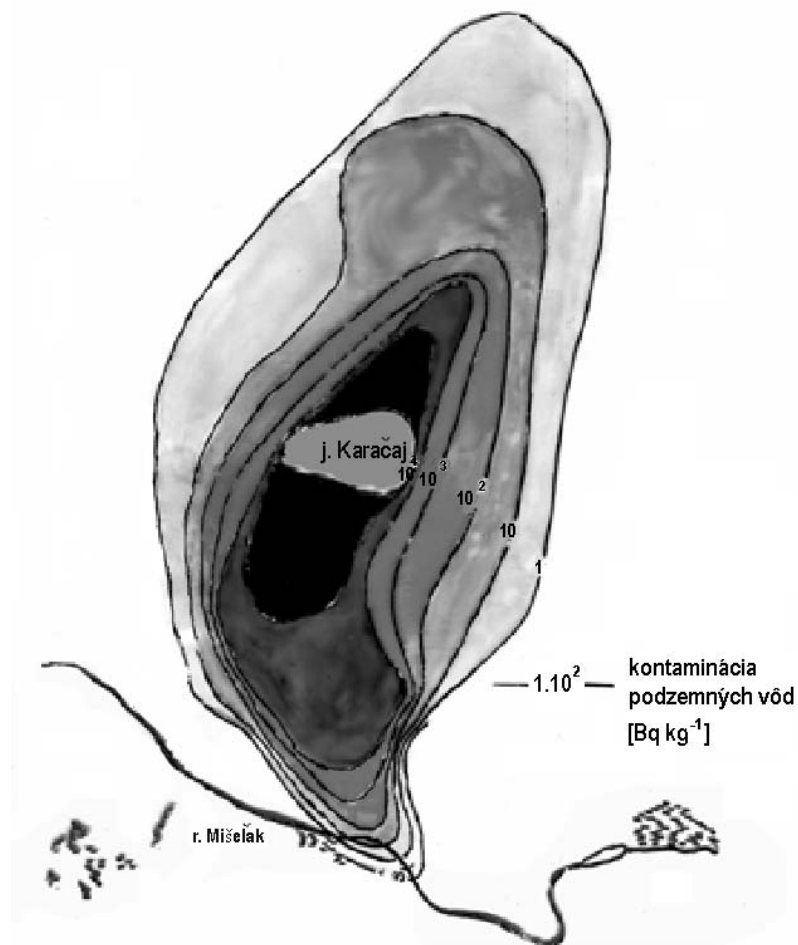
Roky 1962-1966 boli rokmi s pomerne nízkymi zrážkami a prítok vody do jazera bol veľmi nízky. V r. 1967 bolo málo snehu a počas dlhého horúceho a suchého leta sa odparila časť jazera Karačaj a 5 ha zeme, ktoré sa predtým nachádzali pod vodnou hladinou, sa odhalilo. Neobvykle silné vetry vymietli rádioaktívne častice z jazerných sedimentov a rozptýlili ich nad územím s rozlohou 1 800 km². Toto územie bolo kontaminované s aktivitami 1-10 GBq km⁻² (0,03-0,27 Ci km⁻²) a kontaminácia zasahovala 50-75 km od miesta *VZ Maják*. Rádioaktívny spad bol tvorený rádionuklidmi: ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ⁹⁰Y, ¹⁴⁴Ce a ¹⁴⁴Pr. Celkovo bola rozptýlená aktivita okolo 2,22 TBq (600 Ci). Väčšina rádionuklidov sa usadila v blízkosti jazera Karačaj vo vnútri hraníc *VZ Maják*. Hustota kontaminácie tu dosahovala ⁹⁰Sr 3,7 GBq km⁻² (0,1 Ci km⁻²) a ¹³⁷Cs 11,1 GBq km⁻² (0,3 Ci km⁻²).³⁶

Nešťastie z r. 1967 na jazere Karačaj zasiahlo 63 obývaných území s počtom obyvateľov 41 500. Plošná aktivita ⁹⁰Sr bola 3,7 GBq km⁻² (0,1 Ci km⁻²) a ¹³⁷Cs 11,1 GBq km⁻² (0,3 Ci km⁻²) (viď *Prílohy, Mapa 7*).³⁰ Veľa tých istých plôch, ktoré boli vystavené v roku 1957 Kyštymskej nehode, boli zasiahnuté znova o desať rokov neskôr. Obyvatelia území najviac kontaminovaných rádioaktívnym rozptylom z jazera Karačaj obdržali stredný dávkový ekvivalent 130 mSv, kým obyvatelia menej zasiahnutých území obdržali dávkový ekvivalent

70 mSv.¹⁸ V čase nehody odporúčala Medzinárodná komisia pre rádiologickú ochranu (ICRP) bezpečnostný limit dávkového ekvivalentu 5 mSv rok⁻¹. V súčasnosti ICRP odporúča pre obyvateľstvo limit 1 mSv rok⁻¹.³⁷

4.3.1 Kontaminácia podzemnej vody rádionuklidmi

Jazero Karačaj znečisťuje podzemné vody rádionuklidmi a chemickými látkami³⁶ (viď Obr. 5).



Obr. 5: Kontaminácia podzemných vôd jazerom Karačaj

Zdroj: **Merkushkin, A.O.** (2001)
Upravila: Svetlana Kurucová, 2002

Kvôli prenikaniu roztokov z jazera do podzemia sa vytvorila aureola znečistenej vody, ktorá je v masmédiach nazývaná pod termínom „rádioaktívne šošovky“. Celkové množstvo rádionuklidov, transportovaných z jazera Karačaj do podzemných vôd za celé obdobie sa odhaduje na 33,3 PBq (900 kCi). V súčasnosti dosahuje objem kontaminovanej podzemnej vody 5 km³.³⁶

Reálnym nebezpečenstvom je otvorená vodná hladina jazera. Rozširovanie rádioaktívnych aerosolov vetrom prebieha neustále. Okrem toho je tu hrozba tornád a búrok nad jazerom Karačaj (v 20. st. bolo v Uralskom regióne registrovaných 13 tornád).³⁸ Následky môžu byť oveľa vážnejšie ako nehoda v r. 1967 alebo 1957. Ale tento problém bude v blízkej budúcnosti riešený. Nový závod na spracovanie tekutých rádioaktívnych odpadov mal byť uvedený do činnosti v rokoch 2000-2001. Uvedením tohto závodu do prevádzky budú vytvorené všetky podmienky na úplnú premenu jazera Karačaj na trávnatú plochu (plocha hladiny jazera sa zmenšila z 36 ha v r. 1971 na 8 ha na konci r. 1999).³⁶

V súčasnosti sa do jazera Karačaj naďalej vypúšťajú tekuté stredneaktívne RAO z rádiochemických a rádioizotopových výrobných procesov *VZ Maják*. Jazero obsahuje okolo 44,4 EBq (120 MCi) rádionuklidov a predstavuje vážny ekologický problém, pretože je zdrojom kontaminácie ovzdušia, povrchových a podzemných vôd.³⁹ Ale aj keď jazero Karačaj zmizne navždy z povrchu Zeme, problémy spojené s nim zostanú.

4.4 DOPADY NEHÔD NA ZDRAVOTNÝ STAV OBYVATEĽOV

Rádionuklidy sa môžu do organizmu dostať rozličnými spôsobmi:⁴⁰

- dýchacími cestami vdychovaním rádioaktívnych plynov a aerosólov (inhaláciou);
- perorálne s potravou a tekutinami (ingesciou);
- cez porušenú a neporušenú kožu a cez sliznice (transkutánnou resorpciou).

Ľudia postupne začali chápať dopadom radiácie na životné prostredie a na ľudské zdravie po tom, čo boli zverejnené informácie po nehode v Černobyľe. Vedeli o svojich zdravotných problémoch, ale až do nedávnych odhalení skutočností ich nespájali s *VZ Maják*. Prvá správa o zdravotných dopadoch na ľudí žijúcich na brehoch Teče zapríčinených činnosťou *VZ Maják* bola publikovaná v r. 1991.⁴¹ Bola to šoková správa pre celú populáciu. V ďalšom článku bola publikovaná štúdia, ktorá odhaľovala, že od r. 1950 vzrástol výskyt leukémie medzi obyvateľmi vystavenými žiareniu na brehoch Teče o 41%. V r. 1980-1990 vzrástol počet výskytu rakoviny u celej tejto populácii o 21% a počet chorôb obehového systému o 31%.⁴² Tieto počty sú pravdepodobne ešte podhodnotené, lebo miestnym lekárom bol prikázaný limit vystavených úmrtných listov s diagnózou rakoviny a iných chorôb, ktorých príčinou vzniku bolo ožiarenie. Podľa miestnej doktorky Gulfaridy Galimovej bola priemerná dĺžka života žien v Musljumove v r. 1993 iba 47 rokov (na rozdiel od 72 rokov pre celý štát). Priemerná dĺžka života mužov bola 45 rokov (v porovnaní s hodnotou 69 rokov pre celý štát). Miera úmrtnosti je v Musljumove o 24% väčšia ako v nekontaminovaných dedinách v okrese Kunašak. Miera úmrtnosti pri narodení je 10-násobne vyššia. Od r. 1950 sa štvornásobne zvýšil počet prípadov astmy.⁴³

Podľa vedúceho lekárskeho oddelenia Uralského centra pre radiačnú medicínu, počet ochorení na leukémiu sa u obyvateľov v okolí *VZ Maják* za posledné dva desaťročia zdvojnásobil. Počet prípadov rakoviny kože vzrástol od začiatku šesťdesiatych rokov štvornásobne. Celkový počet ľudí trpiacich rakovinou vzrástol o 21%. Počet ľudí trpiacich srdcovými ochoreniami sa zvýšil o 31%. Počet vrodených porúch medzi novorodencami sa zvýšil o 25%. Dr. Kossenková vypracovala menší epidemiologický výskum medzi 100 náhodne vybranými ľuďmi. Z tejto skupiny až 96% malo prinajmenšom nasledovné chronické ochorenia: srdcové ochorenia, vysoký krvný tlak, zápal kĺbov a astmu. 30% z nich malo až 10 chronických ochorení. Miestni lekári odhadujú, že polovica žien a mužov je neplodná.³⁰

V r. 1997 trpelo v Musljumove chronickými chorobami z ožiarenia 137 ľudí, z toho 2 deti. Pôrodnosť v Musljumove sa znižuje, ale počet detí s patologickými zmenami sa zvyšuje: v r. 1997 sa narodilo 47 detí, z toho 30 s patologickými zmenami (67,8%). V r. 1998 sa narodilo 57 detí, z toho 28 s patologickými zmenami (49%) a v r. 1999 45 detí, z toho 43 s patologickými zmenami (95,5%). Každé tretie dieťa trpí patologickými zmenami hrtana a nosa, každé piate dieťa chronickými chorobami dýchacieho ústrojenstva, každé piate kardiovaskulárnymi ochoreniami a každé šieste chorobami tráviaceho ústrojenstva. Každé tretie dieťa má syndróm cievnej distónie.²⁸

Prehľad dávok žiarenia obdržaných obyvateľmi niektorých kontaminovaných dedín je uvedený v *Prílohách, Tab. 7.*^{38,44}

5 SÚČASNÝ STAV VZ MAJÁK

V súčasnosti je budúcnosť *VZ Maják* neistá. Zisky zo zahraničia v posledných rokoch takmer skončili a ako výsledok, komplex prekonáva ekonomické problémy.⁴⁵ *VZ Maják*, najväčší radiačný znečisťovateľ v západnej Sibíri, je na pokraji kolapsu, ale zúfalo sa pokúša prežiť. Najvýnosnejšia časť komplexu – závod na prepracovanie vyhoreného jadrového paliva RT-1 je niekoľko rokov v strate. Fínska atómová elektrárň *Lovisa* prestala odosielať svoje vyhorené jadrové palivo na prepracovanie. Ďalšie štáty, ktoré využívali spracovateľské služby *VZ Maják*, tiež uvažujú o iných voľbách. Ruskí zákazníci - atómové elektrárne prevádzkujúce reaktory typu VVER-440, BN-600 a námorné jadrové reaktory majú stále záujem, ale nemajú peniaze na úhradu faktúr. Navyše, vitrifikačné zariadenie pre spracovanie tekutých vysokoaktívnych RAO, ktoré je absolútne potrebné pre spracovateľskú činnosť, bolo v r. 1997 vyradené z prevádzky. Medzičasom, *VZ Maják* zahájilo výnosnú činnosť v rámci konverzného projektu - výrobu izotopov. Združenie intenzívne spolupracuje s USA na výskume zahájenia výroby jadrového paliva typu MOX. Projekty ohľadne demontáže jadrových zbraní prispievajú na udržiavanie života *VZ Maják*.⁴⁶

VZ Maják vyrábalo plutónium pre jadrové zbrane v piatich grafitom moderovaných jadrových reaktoroch a dva ďalšie reaktory slúžili na výrobu izotopov. Tieto grafitové reaktory sú v súčasnosti vyradené z prevádzky. Ťažkovodný reaktor (*Ruslan*) bol neskôr prebudovaný na ľahkovodný reaktor, ktorý v súčasnosti zostáva v činnosti. Ďalší ľahkovodný reaktor (*Ludmila*) vyrába izotopy pre občianske potreby. Vo *VZ Maják* je spracovateľské zariadenie (RT-1) a okolo 100 skladovacích cisterien obsahujúcich vysokoaktívne RAO. V r. 1996 *VZ Maják* uviedlo do prevádzky výskumné výrobné zariadenie nazvané *Paket* na výrobu jadrového paliva typu MOX, pri ktorom sa využíva plutónium z jadrových hlavíc. *VZ Maják* je na základe rusko-americkej dohody tiež zapojené do využitia ochudobneného uránu z jadrových hlavíc.⁴⁶

Výroba rádioizotopov, svetlovodivých káblov, magnetických motorov, rôznych monitorovacích zariadení pre výrobné procesy v petrochemickom, plynárenskom, chemickom a potravinárskom priemysle a ďalšie občianske výrobky prináša združeniu zisk okolo 13%. Vojenské zákazky v súčasnosti predstavujú už len asi 30% z čias sovietskej éry. Okrem toho, zvyšné štátne financovanie často prichádza neskoro. Štátny dlh voči *VZ Maják* činil v r. 1997 okolo 59 mil. USD. *VZ Maják* môže zamestnávať okolo 20 000 zo svojich zamestnancov v programoch financovaných USA v súvislosti s dohodami znižovania množstva jadrových zbraní.⁴⁶

Najväčšie príjmy *VZ Maják*, predstavujúce až 50%, stále pochádzajú z prepracovania vyhoreného jadrového paliva odosielaného z atómových elektrární (vybudovaných podľa ruských projektov) ležiacich vo východnej Európe. Okrem domácich reaktorov *VZ Maják* prijíma palivo na prepracovanie z Česka, Slovenska, Bulharska, Maďarska, Fínska a Ukrajiny. Dolná komora Štátnej dumy Ruskej federácie (RF) prijala zákon,⁴⁷ ktorý umožňuje dovážať vyhorené jadrové palivo zo zahraničných atómových elektrární do Ruskej federácie.* Do Ruska by sa tak malo dovieť viac ako 20 000 ton vyhoreného jadrového paliva, od čoho si vláda sľubuje získať počas najbližších 10 rokov asi 20 mld. USD. Časť z takto získaných peňazí by sa mala použiť na rehabilitáciu kontaminovaných území, napríklad okolia mesta Kyšтым. Jedným z hlavných spracovateľských centier má byť aj *VZ Maják*.

VZ Maják prežíva ťažké časy, ale aj tak sa snaží zúfalo prežiť. Vzhľadom na to, že v súčasnosti sa intenzívne prehodnocuje prístup k ďalšiemu rozvoju jadrovej energetiky nielen v Ruskej federácii, ale aj v celom svete a v súvislosti s novoprijatým zákonom o importe rádioaktívnych odpadov za účelom ich spracovania, možno očakávať v blízkej budúcnosti minimálne udržanie prevádzkyschopnosti *VZ Maják*.

* Zákon prijatý Dolnou komorou Štátnej dumy RF nadobúda platnosť po schválení aj Hornou komorou Štátnej dumy RF a po podpísaní prezidentom RF. Ani napriek maximálnej snahe zistiť dátum jeho definitívneho prijatia, číslo zákona a jeho presné znenie, sa nám to nepodarilo.

6 PERSPEKTÍVY VÝVOJA KONTAMINOVANÝCH ÚZEMÍ ČEL'ABINSKEJ OBLASTI

VZ *Maják* a okolité územia v Čel'abinskej oblasti sú označované ako najkontaminovanejšie miesto na Zemi. Kontrolované a náhodné vypúšťanie RAO počas činnosti VZ *Maják* viedlo k úniku niekoľkých EBq (stoviek miliónov Ci) rádionuklidov do životného prostredia. Mapa 6 (*Východouralská rádioaktívna stopa*), Mapa 7 (*Územie kontaminované v r. 1967 ¹³⁷Cs*), Mapa 8 (*Kontaminácia pôdy severných území Čel'abinskej oblasti rádionuklidom ⁹⁰Sr*)⁴⁸ a Mapa 9 (*Kontaminácia pôdy severných území Čel'abinskej oblasti rádionuklidom ¹³⁷Cs*)⁴⁹ dokumentujú vysokú úroveň kontaminácie pôdy rozsiahlych území dlhožijúcimi rádionuklidmi, predovšetkým ⁹⁰Sr a ¹³⁷Cs. V dôsledku kontaminácie pôdy, vody a ovzdušia bolo približne 500 000 ľudí vystavených zvýšeným úrovňam ožiarenia a z nich bolo 180 000 evakuovaných.

Perspektívy ďalšieho využívania kontaminovaných území závisia od zastúpenia rádionuklidov a ich plošnej, resp. mernej aktivity na konkrétnom území.

Zatiaľ nebola prijatá všeobecne záväzná norma alebo odporúčenie medzinárodnej organizácie (napr. ICRP) ohľadne plošnej kontaminácie rádionuklidmi, avšak na tomto probléme sa intenzívne pracuje, zvlášť po nehode v Černobyľskej atómovej elektrárni.⁵⁰ Vzhľadom na to, že zatiaľ nebola prijatá norma alebo odporúčenie, na základe ktorých by bolo možné jednoznačne odporučiť ďalšie využívanie kontaminovaných území podľa stupňa kontaminácie, nie je jednoduché odhadnúť spoľahlivé perspektívy vývoja kontaminovaných území Čel'abinskej oblasti.

Pri takomto odhade by bolo možné použiť *Doporučenia Slovenskej komisie pre životné prostredie k uplatňovaniu ukazovateľov a noriem pre asanáciu znečistenej zeminy a podzemných vôd* (vybrané hodnoty o kontaminácii zeminy, podzemných vôd a pôdneho vzduchu rádionuklidmi) (vid' *Prílohy, Tab. 9*).⁵¹ Údaje o kontaminácii území v okolí VZ *Maják*, ktoré sú k dispozícii (*Mapy 6, 7, 8 a 9*) sú uvedené v hodnotách plošnej kontaminácie (v Bq km⁻²), avšak medzné a zásahové hodnoty, uvedené vo vyššie citovanom odporúčení Slovenskej komisie pre životné prostredie sú uvádzané ako merná aktivita zeminy a objemová aktivita podzemných vôd iba pre niektoré rádionuklidy.

V *prílohách na Mape 7* sú uvedené izolínie kontaminácie podzemných vôd jazerom Karačaj, avšak úrovne aktivity v jednotlivých zónach sú znázornené iba ako sumárne merné aktivity, čiže nie je možné aplikovať odporúčania Slovenskej komisie pre životné prostredie.

Pri odporúčaní prijatia opatrení a využívania kontaminovaného územia možno využiť skúsenosti po havárii Černobyľskej atómovej elektrárne. V štátoch bývalého Sovietskeho zväzu boli regióny kontaminované „černobyľským“ spadom rozdelené do zón s rôznym manažmentom podľa úrovni plošných aktivít rádiocézia. Tieto boli definované nasledovne:⁵²

1. $A(^{137}\text{Cs}) > 1\,480 \text{ kBq m}^{-2} = 1480 \text{ GBq km}^{-2}$ – povinná evakuácia;
2. $A(^{137}\text{Cs}): 555 \div 1\,480 \text{ kBq m}^{-2} = 555 \div 1\,480 \text{ GBq km}^{-2}$ – presídlenie, použitie opatrení na revitalizáciu pôdy; zabezpečenie nekontaminovaných potravín v kontrolovanej zóne;
3. $A(^{137}\text{Cs}): 185 \div 555 \text{ kBq m}^{-2} = 185 \div 555 \text{ GBq km}^{-2}$ – garantované je presídlenie v prípade požiadania, použitie opatrení na revitalizáciu pôdy;
4. $A(^{137}\text{Cs}): 37 \div 185 \text{ kBq m}^{-2} = 37 \div 185 \text{ GBq km}^{-2}$ – monitorovanie kontaminácie v potravinách.

V Prílohách na Mape 9 sú zobrazené izolínie kontaminácie pôdy severných území Čelabinskej oblasti rádionuklidom ^{137}Cs , pričom kontaminované územia sú klasifikované do deviatich zón, na rozdiel od štyroch vyššie spomínaných. Klasifikáciu zón pre kontamináciu pôd inými rádionuklidmi, vrátane ^{90}Sr (Prílohy, Mapa 8) sa mi nepodarilo získať. Hodnoty plošných aktivít ^{137}Cs a ^{90}Sr nerovnomerne klesajú so vzdialenosťou od VZ Maják.

Ako opatrenia na revitalizáciu kontaminovanej pôdy sa obvykle odporúča zvýšené použitie vápenca a umelých hnojív na ornej pôde, kombinovaná orba, opakované siatie, vápnenie a hnojenie pasienkov umelými hnojivami. V prípade vyššej kontaminácie pôdy možno namiesto hnojív aplikovať zeolity za účelom viazania rádionuklidov, prípadne vysadiť lesy.

Úroveň kontaminácie pôdy sa mení v čase, pričom časovú zmenu rádioaktívnej kontaminácie pôdy možno opísať diferenciálnou rovnicou:⁵³

$$\frac{dQ(t)}{dt} = -\lambda Q(t) + \lambda_3 m(t)$$

kde $Q(t)$ je obsah rádionuklidov v pôde v čase t ,

$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2$, kde λ_1 je premenová konštanta a λ_2 je konštanta charakterizujúca rýchlosť úniku rádioaktívnej látky z pôdy,

λ_3 je konštanta charakterizujúca rýchlosť vypadávanie rádioaktívnej látky z atmosféry,

$m(t)$ je miera vypadávanie rádioaktívnych látok z atmosféry.

Premenovú konštantu možno vypočítať podľa rovnice:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} = \frac{0,693}{T}$$

Hodnoty doby polpremeny T pre vybrané rádionuklidy sú uvedené v *Prílohách, v Tab. 8*.⁵⁴

Kým vidiecke obyvateľstvo v Čelabinskej oblasti trpí následkami ožiarenia, mestská populácia čelí dôsledkom chemického a hutníckeho priemyslu. Kontaminované územia Čelabinskej oblasti sa v súčasnosti síce revitalizujú, avšak je tu stále hrozba ďalších podobných ekologických havárií spôsobených činnosťou *VZ Maják* a ďalších priemyselných podnikov.

7 ZÁVER

V predloženej práci sme podali stručnú komplexnú geografickú analýzu Čelabinskej oblasti a analyzovali sme tri radiačné nehody spôsobené činnosťou *VZ Maják* a ich environmentálne a socio-ekonomické dopady na postihnuté územia. Na základe dostupných údajov sme zhotovili mapy kontaminovaných území Čelabinskej oblasti. Vychádzajúc z odporúčení ohľadne kontaminovaných teritórií po Černobyľskej nehode sme načrtli možnosti ďalšieho využívania a revitalizácie kontaminovaných území Čelabinskej oblasti. Tri radiačné nehody spôsobené činnosťou *VZ Maják* kontaminovali ovzdušie, pôdy, povrchové a podzemné vody a mali (a aj v súčasnosti majú) negatívne dopady na zdravie obyvateľov nielen Čelabinskej oblasti. Kontaminované bolo aj rastlinstvo a cez potravný reťazec aj živočíšstvo a taktiež aj ľudia.

Tri radiačné nehody spôsobené činnosťou *VZ Maják* kontaminovali plochu okolo 26 000 km² s celkovou rádioaktivitou 185 PBq (5 MCi). Od r. 1949 bola do životného prostredia uvoľnená odhadovaná rádioaktivita 5,55 EBq (150 MCi), z ktorej sa 4,44 EBq (120 MCi) transportovalo do jazera Karačaj. Celková kontaminácia Južného Uralu činnosťou *VZ Maják* sa odhaduje na 0,8 EBq (21,6 MCi) ⁹⁰Sr a 3,6 EBq (97,3 MCi) ¹³⁷Cs, čo predstavuje 36-násobné množstvo ¹³⁷Cs uvoľneného pri nehode v Černobyľskej atómovej elektrárni.⁵⁵

Podľa Ruského *Kurčatovovho* výskumného centra a *Obninského ústavu rádiológie*, celkový počet ľudí zasiahnutých tromi nehodami spôsobenými činnosťou *VZ Maják* bol 437 000 a 180 000 z nich bolo evakuovaných. Celková kolektívna dávka z troch nehôd je odhadovaná na 12 000 manSv.¹⁷ Veľmi často boli evakuované osoby presťahované do území blízko od kontaminovanej zóny a ľudia naďalej používali potraviny z kontaminovaných polí.²⁹

Jazero Karačaj, skládky pevných RAO, skladovacie cisterny s rádioaktívnymi roztokmi a sedimenty s celkovou aktivitou 37 EBq (1 GCi) stále predstavujú hrozbu kontaminácie povodia rieky Ob. *VZ Maják* zanechalo svoje dedičstvo pre budúce generácie na zotavujúcich sa územiach nielen v jeho okolí, ale dokonca až v Severnom ľadovom oceáne.

8 SUMMARY

Geographic aspects of radioactive contamination of the Chelyabinsk Region in impact of the activities of Production Association Mayak

Svetlana Kurucová, Tibor Blažík (Department of Regional Geography, Conservation and Planning of Landscape, Faculty of Natural Sciences, Comenius University, 842 15 Bratislava, Slovak Republic), **Jozef Kuruc** (Department of Nuclear Chemistry, Faculty of Natural Sciences, Comenius University, 842 15 Bratislava, Slovak Republic)

In Chelyabinsk Region, which lies far in hinterland of the former Soviet Union, the fair-sized military-industrial complex was built during the World War 2. After victory of former Soviet Union and beginning of Cold war vast nuclear industry had been created there very precipitately. Especially for production of nuclear weapons there was built nuclear complex named Production Association Mayak.

In the 1950s the atom processing technology was not yet well developed. Globally (and especially in the USSR) there was little knowledge of effects of both radioactive wastes in natural ecosystems and radioactive radiation on humans. As the USSR government tried to lower the building investments, there were built no sufficient technical facilities for environmental protection. Efforts to prevent radioactive waste leakage into the surrounding environment were insufficient. Areas surrounding VZ Mayak were severely contaminated by radionuclides including ^{137}Cs and ^{90}Sr , with long radioactive half-lives. Activity of PA Mayak was the source of radioactive contamination of both Ural Mountains region, and, more severely, the northern part of Chelyabinsk region.

The aim of this work was to point out geographical, radioecological and radiobiological aspects of the problems of Chelyabinsk Region caused by activities of PA Mayak. At the beginning of the work we gave brief global geographical analysis of Chelyabinsk Region. Environmental contamination was mainly caused by three radiation accidents in PA Mayak. We exactly analyzed these accidents from viewpoint of its environmental and socioeconomic impacts to stricken areas. Thereafter we tried to outline the possibilities of revitalization and of the next utilization of contaminated areas.

In the first years of the PA Mayak operation there were three accidents accompanied by large releases of radioactivity in the environment:

First radiation accident: Techa River contamination (1949-1956, ~ 100 PBq);

Second radiation accident: Kyshtym accident (1957, ~ 70 PBq);

Third radiation accident: dispersion of radioactive dust (1967, ~ 20 TBq).

Three radiation accidents caused by activities of PA Mayak contaminated the atmosphere, soils, ground water and underground water. Thereafter the accidents had (and so have in present) negative impacts on the human health not only in Chelyabinsk Region. Also vegetation have been contaminated and via food chain also animals and humans.

These radiation accidents contaminated the area of approximately 26 000 square kilometers with total released radioactivity of 185 PBq (5 MCi). From 1949 was released to environment the evaluated radioactivity of 5.5 EBq (150 MCi). 4.4 EBq (120 MCi) from this radioactivity was transported to the Lake Karachay. Total contamination of South Ural from the activities of PA Mayak is evaluated to 0.8 EBq (21.6 MCi) ^{90}Sr and 3.6 EBq (97.3 MCi) ^{137}Cs that represents 36 multiple of the ^{137}Cs released at nuclear reactor accident in the Chernobyl Nuclear Power plant in 1986.

According to the Kurchatov Russian Scientific Center and the Obninsk Institute of Radiology, 437 000 people have been affected by the three accidents at PA Mayak. Of the total 437 000 people affected, very few were ever evacuated from the area (only 180 000). Very often the evacuees were moved to areas not far from the contaminated zone and the people continued to use their gardens within the contaminated areas. Total collective dose from three nuclear accidents is evaluated to 12 000 manSv.

The Lake Karachay, repositories of solids radioactive wastes, tanks with radioactive solutions and sediments with total activity ~ 37 EBq (~ 1 GCi) still represent the threat of the contamination of Ob River basin. PA Mayak left its legacy for next generations on recovering areas not only in its vicinity, but also in the Arctic Ocean.

9 PRÍLOHY

Tabuľka 1: Priemerné mesačné teploty a priemerná ročná teplota v Čeljabinskej oblasti (°C)

Meracia stanica	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Zlatoust (horská zóna)	-15,4	-13,8	-8	1,8	9,8	14,8	16,4	14,3	8,4	0,9	-7,5	-13,5	0,7
Čeljabinsk (lesostepná z.)	-16,4	-14,1	-8,4	2,7	11,4	16,7	18,1	16	10,2	2,2	-6,7	-13,5	1,5
Bredy (stepná zóna)	-17,4	-16,7	-10,2	2,3	12,1	17,6	19,3	16,9	10,9	2,5	-6,7	-13,9	1,4

Zdroj: **Išukova, T.** *Free Net Chelyabinsk - Čeljabinsk – stolica Južného Urala - Geografija Čeljabinska – Pogoda – Klimat i pogoda v Čeljabinske i Čeljabinskoj oblasti.* Srednaja mesjačnaja i godovaja temperatura vozducha. <http://www.urc.ac.ru/Chelyabinsk/City/weather/table1.html.en>

Tabuľka 2: Minimálne teploty v Čeljabinskej oblasti (°C)

Meracia stanica	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Zlatoust (horská zóna)	-46	-41	-41	-29	-12	-3	1	-1	-9	-24	-40	-45	-46
	1907	1951	1898	1914	1946	1914	1914	1968	1910	1914	1953	1894	1907
Čeljabinsk (lesostepná z.)	-48	-45	-36	-26	-11	-2	3	0	-10	-24	-36	-42	-48
	1979	1976	1971	1971	1952	1933	1972	1969	1955	1976	1953	1955	1979
Bredy (stepná zóna)	-42	-47	-42	-29	-9	-4	2	-1	-12	-23	-39	-40	-47
	1969	1994	1964	1952	1946	1949	1936	1939	1933	1979	1953	1955	1994
							1955	1946	1955				

Zdroj: **Išukova, T.** *Free Net Chelyabinsk - Čeljabinsk – stolica Južného Urala - Geografija Čeljabinska – Pogoda – Klimat i pogoda v Čeljabinske i Čeljabinskoj oblasti.* Absol'utnyj minimum temperatur vozducha. <http://www.urc.ac.ru/Chelyabinsk/City/weather/table2.html.en>

Tabuľka 3: Maximálne teploty v Čeljabinskej oblasti (°C)

Meracia stanica	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Zlatoust (horská zóna)	7	9	17	28	32	35	38	33	29	24	17	8	38
	1948	1955	1951	1955	1952	1948	1952	1936	1952	1936	1932	1947	1952
Čeljabinsk (lesostepná z.)	4	8	15	28	35	37	40	36	32	25	6	7	40
	1948	1973	1978	1975	1952	1948	1952	1937	1936	1936	1937	1947	1952
Bredy (stepná zóna)	2	3	15	29	36	38	41	37	34	25	15	4	41
	1948	1958	1951	1950	1980	1978	1984	1940	1979	1960	1955	1969	1984
				1976									

Zdroj: **Išukova, T.** *Free Net Chelyabinsk - Čeljabinsk – stolica Južného Urala - Geografija Čeljabinska – Pogoda – Klimat i pogoda v Čeljabinske i Čeljabinskoj oblasti.* Absol'utnyj maximum temperatur vozducha. <http://www.urc.ac.ru/Chelyabinsk/City/weather/table3.html.en>

Tabuľka 5: Prehľad radiačných nehôd spojených s činnosťou VZ Maják

Nehoda	Dôsledky nehody	Počet ožiarených osôb	Odhadovaný dávkový ekvivalent (Sv)	Zdravotné dôsledky
Nehody v areáli VZ Maják	Ožiarenie pracovníkov VZ Maják	1 828	0,25-4,0	chronické choroby z ožiarenia
Kontaminácia rieky Teča	Kontaminácia pitnej vody RAO (⁸⁹ Sr, ⁹⁰ Sr, ¹³⁷ Cs)	124 000	3,0-4,0	chronické choroby z ožiarenia, patologické zmeny nervového systému a imunitného systému, hematopoéza
Explózia skladovacej cisterny v r. 1957	Jadrový spad po explózii cisterny s RAO	272 000	0,9	patologické zmeny hematologického a nervového systému
Nehoda v jazere Karačaj v r. 1967	Kontaminácia veľkých plôch s ¹³⁷ Cs a ⁹⁰ Sr po víchrici	42 000	0,003 *	- *

Zdroj *History: The radiation accidents*. <http://lomi.e-technik.uni-ulm.de/LOMIWeb/projekte/ratema/history.htm>

Upravila: Svetlana Kurucová, 2002

* Böhmer, N. a Nilsen. T. uvádzajú ¹⁷ hodnoty dávkového ekvivalentu 0,070 až 0,130 Sv (*vid' str. 32*), čo zrejme malo určité zdravotné dôsledky

Tabuľka 6: Prehľad počtu obyvateľov dedín ležiacich pozdĺž rieky Teča pred evakuáciou

Obec	Vzdialenosť od VZ Maják [km]	Počet obyv. v r. 1950	Stav evakuácie*
1. Metlino	7	1 242	evakuovaná
2. Teča-Brod	18	75	evakuovaná
3. Novoje Asanovo	33	157	evakuovaná
4. Staroje Asanovo	?	637	evakuovaná
5. Nazarovo	?	98	evakuovaná
6. Maloje Taskino	41	147	evakuovaná
7. Gerasimovka	43	357	evakuovaná
8. Geologičeskij razvedočnyj punkt	45	260	evakuovaná
9. Nadyrov Most	48	240	evakuovaná
10. Nadyrovo	50	184	evakuovaná
11. Ibragimovo	54	184	evakuovaná
12. Isajevo	60	434	evakuovaná
13. Podsobnoje choz.	65	129	evakuovaná
14. Musljumovo	78	3 230	existuje
15. Kurmanovo	88	1 046	evakuovaná
16. Karpino	96	195	evakuovaná
17. Zamanicha	100	338	evakuovaná
18. Vetrodujka	105	163	evakuovaná
19. Brodokalmak	109	4 102	existuje
20. Osolodka	125	362	evakuovaná
21. Panovo	128	129	evakuovaná
22. Čerepanovo	137	222	evakuovaná
23. Russkaja Teča	138	1 472	existuje
24. Baklanovo	141	480	evakuovaná
25. Nižnepetrovskovoje	148	919	existuje
26. Belojarka-2	155	98	evakuovaná
27. Lobanovo	163	626	existuje
28. Ančugovo	170	1 093	existuje
29. Verchnaja Teča	176	979	existuje
30. Skiljagino	180	492	existuje
31. Bugajevo	186	1 074	existuje
32. Dubasovo	200	703	existuje
33. Bisserovo	202	465	existuje
34. Šutikhinskoje	203	1 109	existuje
35. Progress	207	205	evakuovaná
36. Peršinskoje	212	1 143	existuje
37. Ključevskoje	223	1 309	existuje
38. Markovo	?	139	existuje
39. Ganino	230	82	evakuovaná
40. Zatečenskoje	237	1 135	existuje

Zdroj: **Degteva, M.O. et al. (2000)**
Upravila: Svetlana Kurucová, 2002

* Červenou farbou vyznačený stav evakuácie označuje protikladné informácie v literatúre.

Tabuľka 7: Dávky žiarenia obdržané obyvateľmi vybraných dedín

Dedina	Vzdialenosť od miesta vypúšťania [km]	Ožiarenie ľudských orgánov v dávkových ekvivalentoch [Sv]				Dávkové ekvivalenty vonkajšieho ožiarenia [Sv]
		Kostná dreň	Povrch kostí	Hrubé črevo	Iné orgány a tkanivá	
Metlino*	7	1,64	2,26	1,40	1,27	1,40
Teča-Brod*	18	1,27	1,48	1,19	1,15	1,19
Asanovo*	27	1,27	1,90	1,04	0,90	1,00
Nadyrovo*	48	0,95	1,80	0,62	0,44	0,56
Musljumovo	78	0,61	1,43	0,29	0,12	0,24
Brodokalmak	109	0,14	0,31	0,07	0,033	0,058
Ruskaja Teča	138	0,22	0,53	0,10	0,037	0,082
Novopetrovavlovskoje	152	0,28	0,68	0,13	0,043	0,10
Šutiga	202	0,08	0,18	0,026	0,022	0,036
Zatečenskoje	237	0,17	0,40	0,084	0,032	0,066

* evakuované dediny

Zdroj: Evlanov, D. (2001)

Upravila: Svetlana Kurucová, 2002

Tabuľka 8. Doby polpremeny vybraných rádionuklidov

Rádionuklid	Doba polpremeny [T]
^3H	12,26 r
^{32}P	14,28 d
^{35}S	87,2 d
^{45}Ca	163,8 d
^{89}Sr	50,52 d
^{90}Sr	29 r

Rádionuklid	Doba polpremeny [T]
^{90}Y	64 hod
^{134}Cs	2,065 r
^{137}Cs	30,17 r
^{144}Ce	284,4 d
^{144}Pr	17,3 min
^{239}Pu	24 110 r

Zdroj: Blatt F.J. (1992)

Tabuľka 9: Doporučenia Slovenskej komisie pre životné prostredie k uplatňovaniu ukazovateľov a noratívov pre asanáciu znečistenej zeminy a podzemných vôd (vybrané hodnoty o kontaminácii zeminy, podzemných vôd a pôdneho vzduchu rádionuklidmi)

Ukazovatele a noratívny pre zeminu			
Rádioaktívne látky	Fónové hodnoty [Bq kg ⁻¹ sušiny]	Medzné hodnoty bez asanačného zásahu	Medzné hodnoty, ktoré vyžadujú asanačný zásah
²²⁶ Ra	100	600	1000
¹³⁷ Cs + ¹³⁴ Cs	10	100	500
	[mg kg ⁻¹ sušiny]		
U	10	30	50

Ukazovatele a noratívny pre podzemné vody

	[µg dm ⁻³]		
U	5	20	100
²²⁶ Rn	0,05	0,1	0,5
⁹⁰ Sr + ⁹⁰ Y	0,02	0,1	1,0
¹³⁷ Cs + ¹³⁴ Cs	0,02	0,1	2,0
Celková aktivita beta	0,2	1,0	3,0
Celková aktivita alfa	0,1	0,3	1,0
³ H	3,0	100	5000

Zdroj: *Doporučenia Slovenskej komisie pre životné prostredie k uplatňovaniu ukazovateľov a noratívov pre asanáciu znečistenej zeminy a podzemných vôd.* Bratislava.

Upravila: Svetlana Kurucová, 2002

Mapa 1: Poloha Čeľabinskej oblasti v rámci Ruskej federácie

Mierka 1 : 33 000 000

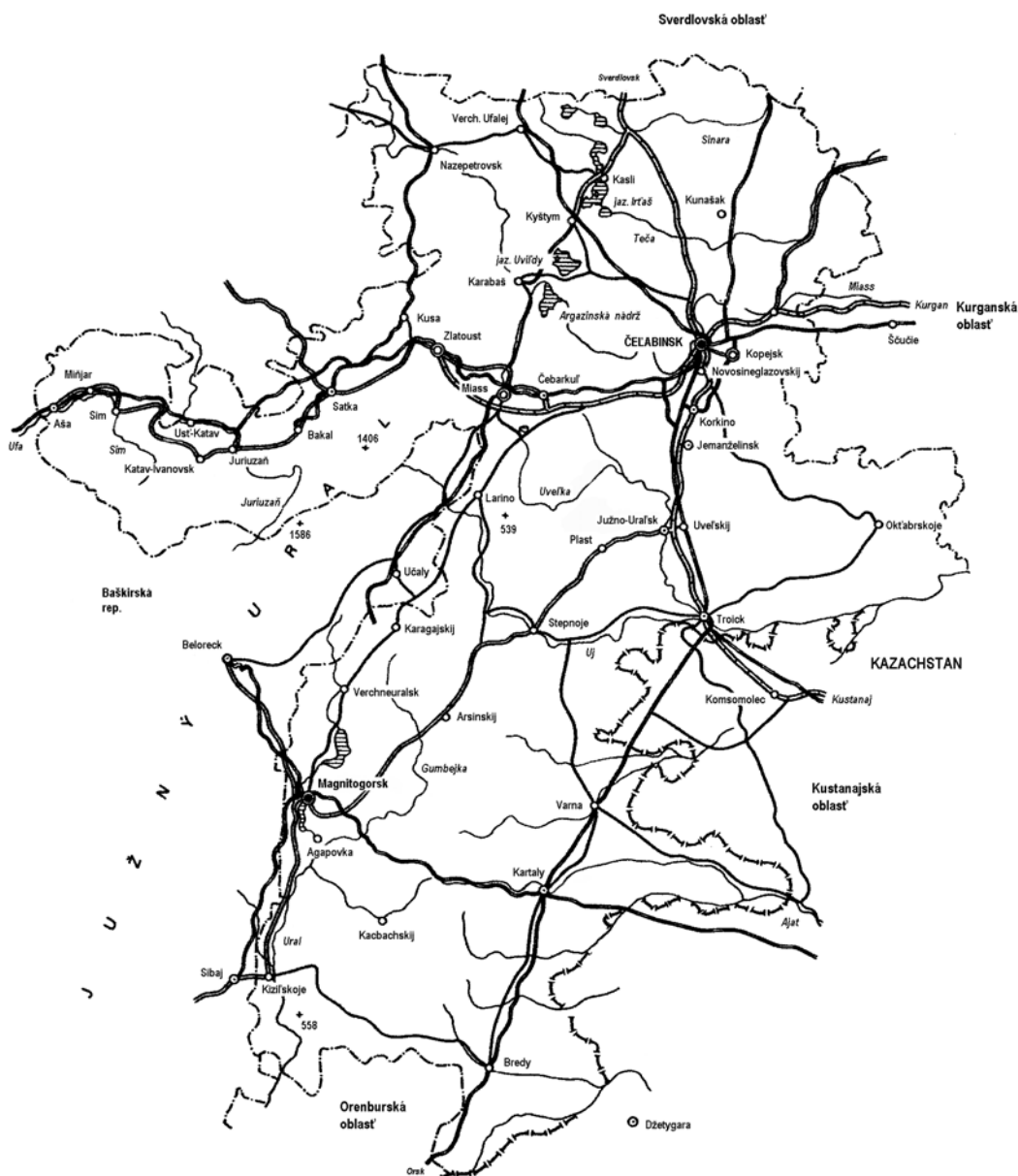


Zdroj: *Map of Russia*. http://map.rin.ru/cgi-bin/main_e.pl?Region=chelab

Upravila: Svetlana Kurucová, 2002

Mapa 2: Čelabinská oblasť

Mierka 1 : 3 400 000



Zdroj Očovský, Š. a kol. *Malá zemepisná encyklopédia ZSSR*. Bratislava: Obzor, 1977, s. 163.

Upravila: Svetlana Kurucová, 2002

Mapa 3: Fyzicko-geografická mapa Čel'abinskej oblasti a okolia

Mierka 1 : 6 250 000

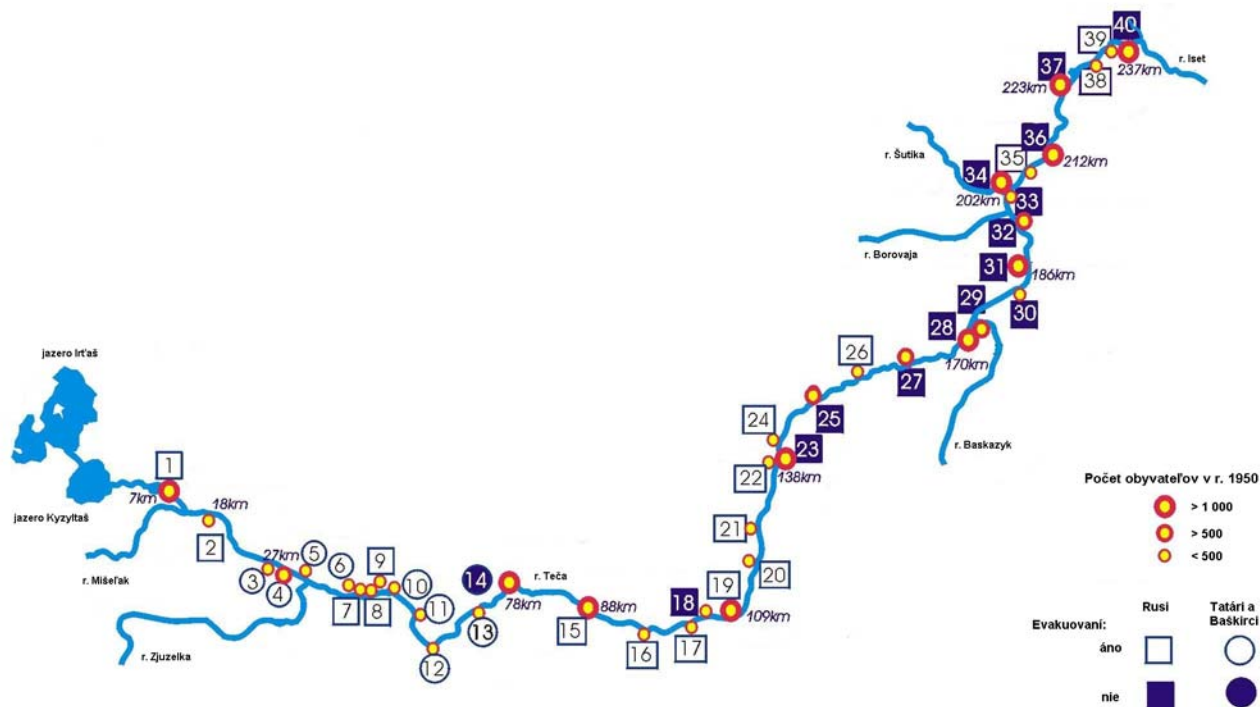
■■■■■■ hranica Čel'abinskej oblasti

Zdroj: Microsoft ENCARTA® Reference Suite 2001 DVD.
Upravila: Svetlana Kurucová, 2002



Mapa 5: Rieka Teča a dediny ležiace na jej brehoch pred kontamináciou

Mierka 1 : 975 000



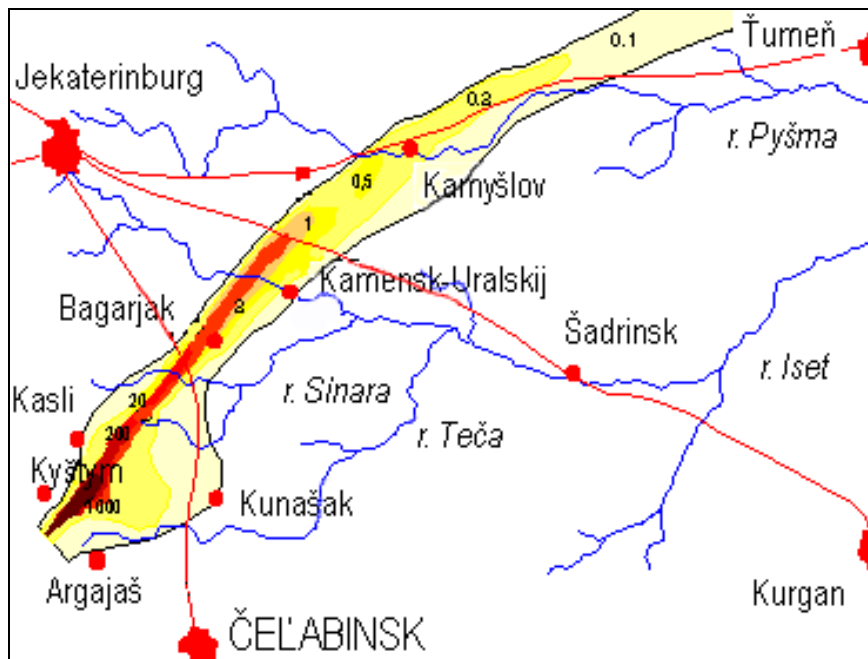
Zdroj: **Burmistrov D. - Kossenko, M. - Wilson R. Radioactive Contamination of the Techa River and its Effects.** http://phys4.harvard.edu/~wilson/publications/747/techa_cor.htm

Upravila: Svetlana Kuručová, 2002

Pozn.: Názvy obcí a ich charakteristiky sú uvedené v Prílohách, Tabuľka 6.

Mapa 6: Východouralská rádioaktívna stopa

Mierka 1 : 2 000 000



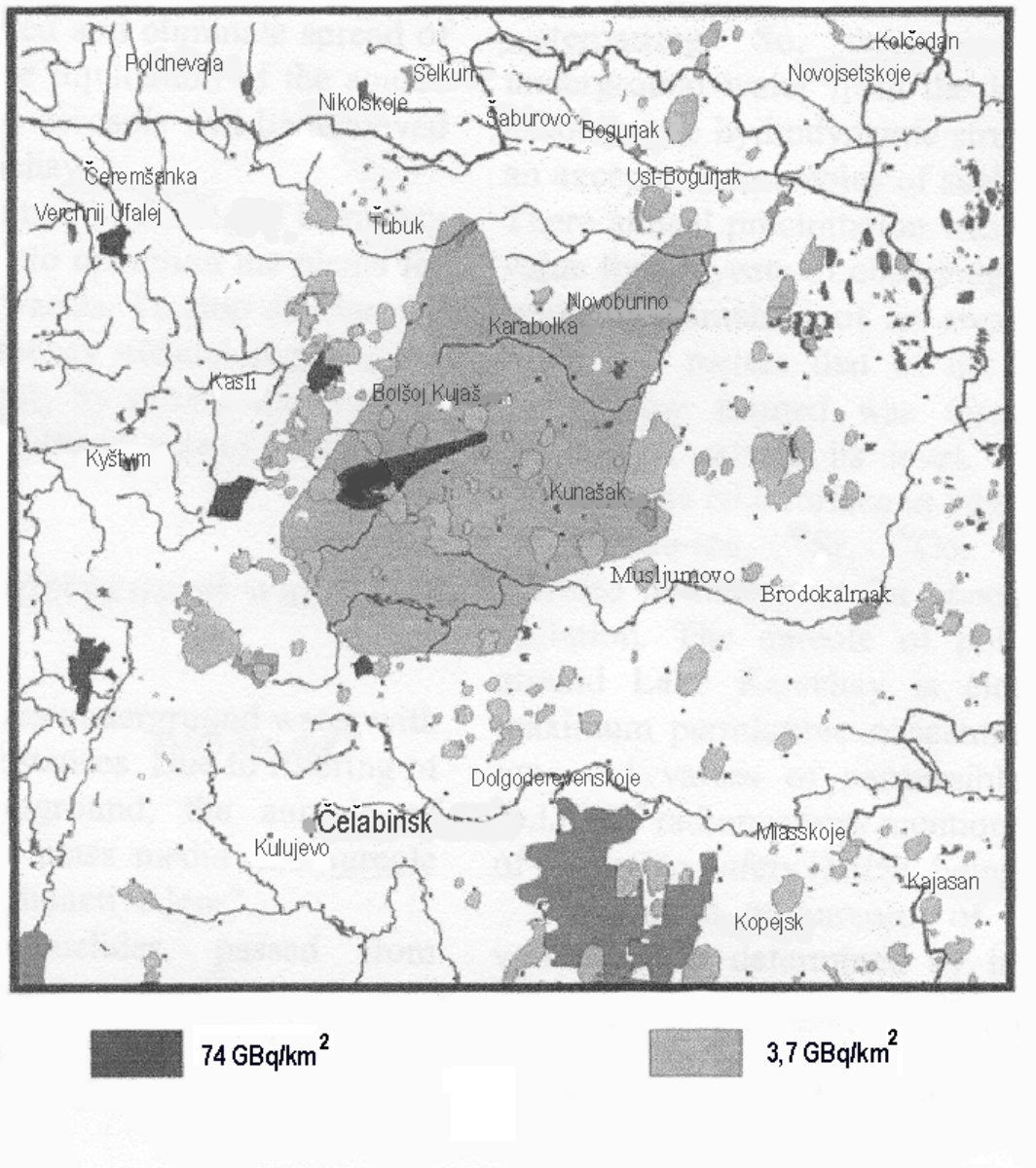
Počiatočné kontaminované plochy a hladiny kontaminácie	
Počiatočná kontaminácia ⁹⁰ Sr, Ci km ⁻² [Bq km ⁻²]	Plocha [km ²]
0,1÷2 [3,7÷74]	15000-20000
2÷20 [74÷740]	600
20÷100 [740÷3700]	280
100÷1000 [3700÷37000]	100
1000-4000 [37000÷148000]	17

Údaje zodpovedajú počiatočnej hustote kontaminácie ⁹⁰Sr [Ci km⁻²]

Zdroj East-Ural Radioactive Trace. <http://www.ch70.chel.su/region/sled/map1.html>
 Upravila: Svetlana Kurucová, 2002

Mapa 7: Územie kontaminované v r. 1967 ^{137}Cs

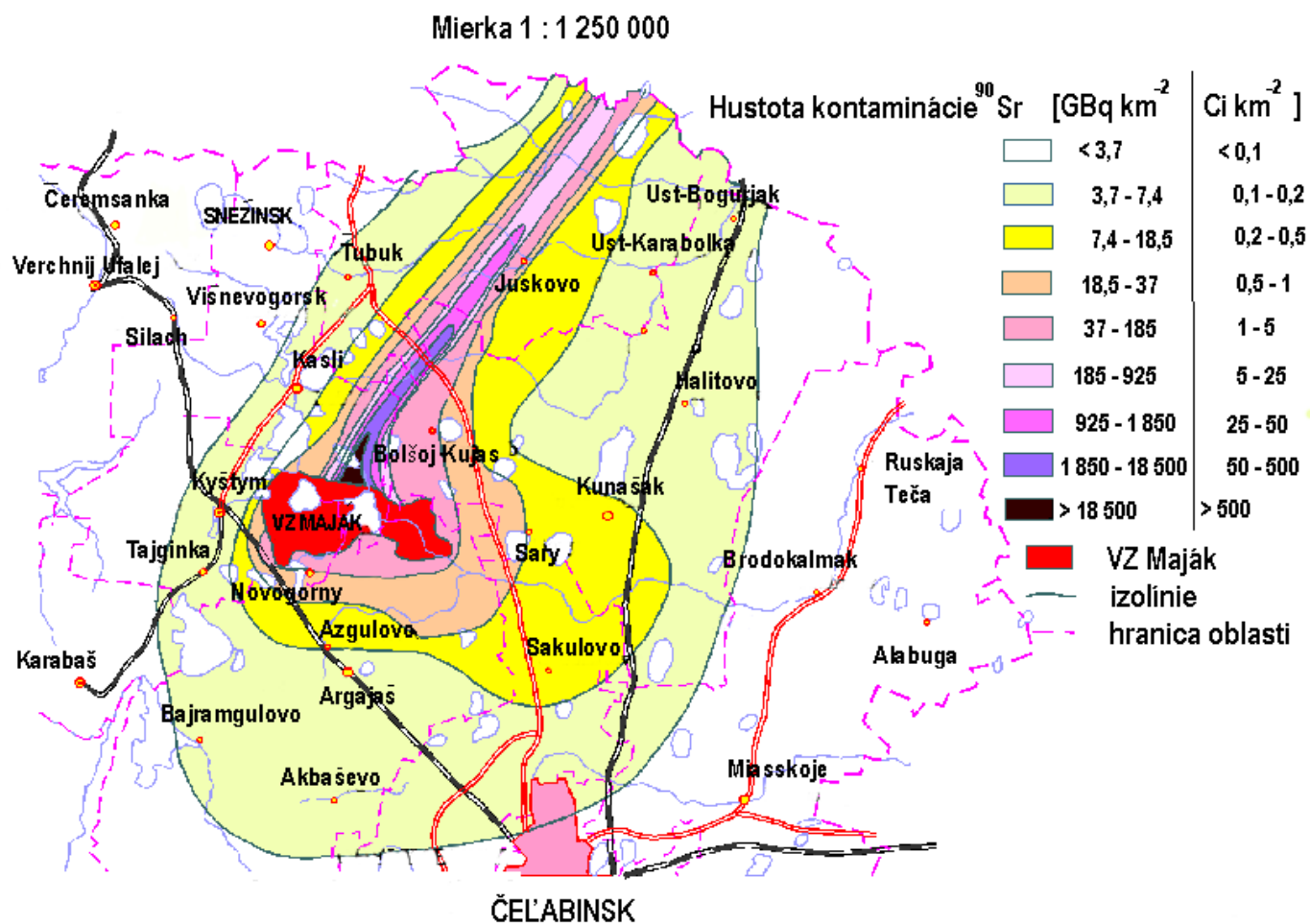
Mierka 1 : 1 150 000



Zdroj: **Merkushkin, A.O.** (2001)

Upravila: Svetlana Kuručová, 2002

Mapa 8: Kontaminácia pôdy severných území Čel'abinskej oblasti rádionuklidom ^{90}Sr

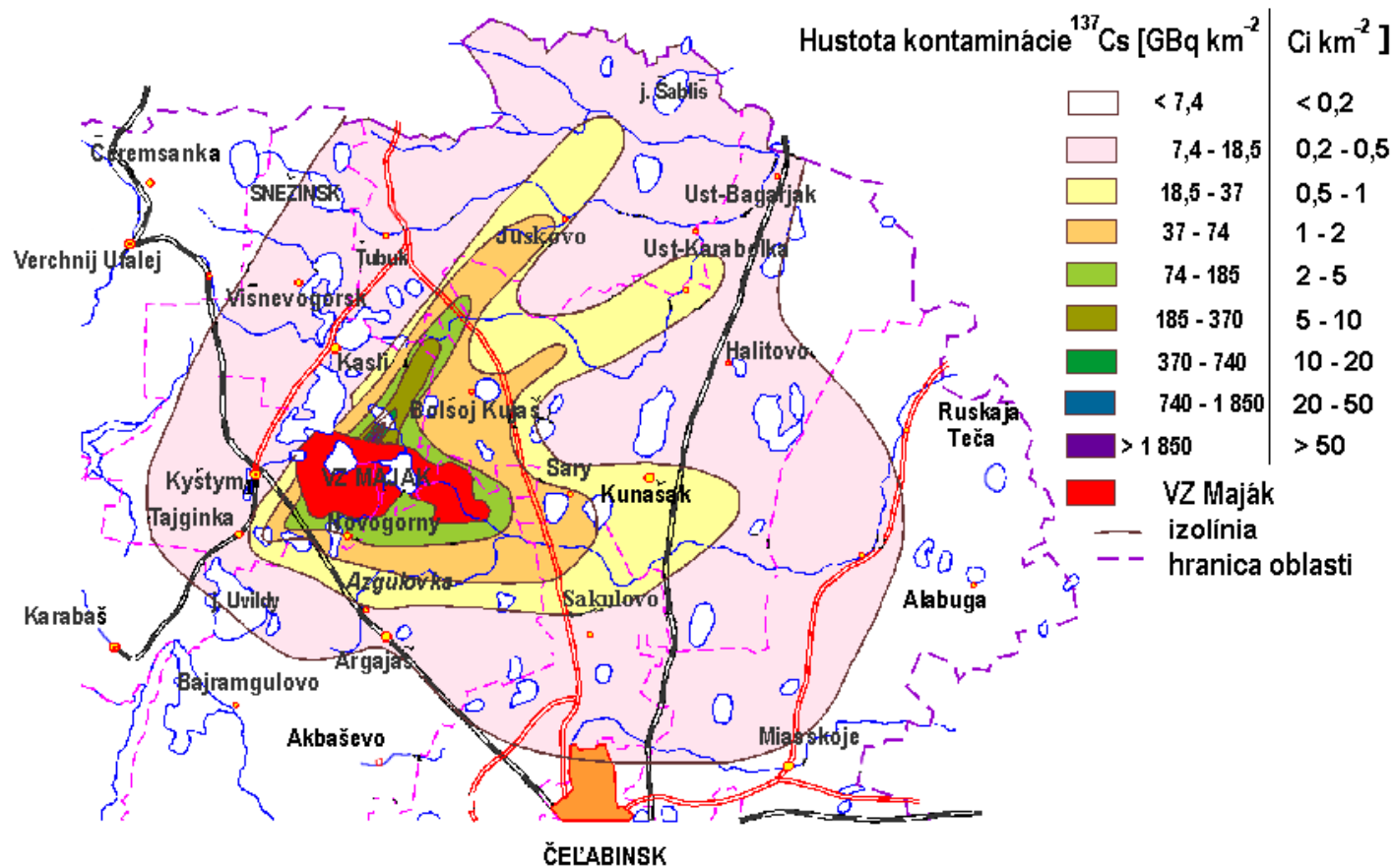


Zdroj: *Radioactive contamination of Chelyabinsk region (strontium-90)*. <http://www.ch70.chel.su/region/sled/map5.html>

Upravila: Svetlana Kurucová, 2002

Mapa 9: Kontaminácia pôdy severných území Čelabinskej oblasti rádionuklidom ^{137}Cs

Mierka 1 : 1 250 000



Zdroj: *Radioactive contamination of Chelyabinsk region (cesium-137)*. <http://www.ch70.chel.su/region/sled/map6.html>

Upravila: Svetlana Kurucová, 2002

SLOVNÍK POUŽITÝCH TERMÍNOV

α - (alfa-) žiarenie - jadrá hélia ${}^4_2\text{He}^{2+}$, uvoľňujúce sa s veľkou kinetickou energiou z jadra atómu pri alfa premene

β - (beta-) žiarenie - elektróny, uvoľňujúce sa s veľkou kinetickou energiou z jadra atómu pri beta premene

γ - (gama-) žiarenie - vysokofrekvenčné elektromagnetické žiarenie emitované excitovaným jadrom

Bq – becquerel - jednotka (miera) aktivity: jedna premena za sekundu [s^{-1}]. 1 Nanocurie = 37 Bq

Bq kg^{-1} (Ci kg^{-1}) - merná aktivita látky [$\text{s}^{-1} \text{kg}^{-1}$]

Bq km^{-2} (Ci km^{-2}) - plošná aktivita [$\text{s}^{-1} \text{km}^{-2}$]

Bq dm^{-3} (Ci dm^{-3}) - objemová aktivita látky [$\text{s}^{-1} \text{dm}^{-3}$]

Ci – Curie - miera rádioaktivity: množstvo rádioaktívneho materiálu, v ktorom prebieha $3,7 \times 10^{10}$ rádioaktívnych premien za sekundu – počet premien v 1 g rádia; nesytemová jednotka aktivity, 1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$ Bq

Dávka žiarenia - množstvo energie ionizujúceho žiarenia absorbovaného jednotkou hmotnosti látky [J kg^{-1}]

Dávkový ekvivalent – vyjadruje biologický účinok žiarenia, ktorý je daný súčinom *dávky* a akostného faktora *Q* (starší názov: faktor biologickej účinnosti)

Dekontaminácia – opatrenia a pracovné postupy vykonávané s cieľom zníženia obsahu rádionuklidov

Doba polpremeny - je doba, počas ktorej polovica atómov v rádioaktívnej látke podľahne rádioaktívnej premene

Gy – Gray - jednotka dávky žiarenia [J kg^{-1}]; staršou jednotkou je rad, 100 rad = 1 Gy

Choroba z ožiarenia - následky ožiarenia vyšších organizmov sa označujú ako choroba z ožiarenia. Zahrňuje všetky postradiačné zmeny v organizme z vonkajších zdrojov žiarenia alebo z rádionuklidov uložených v organizme. Môže mať rôzny priebeh - od nepatrných zmien, prípadne lokálnych, až po celkové ťažké ochorenie, končiace sa smrťou. Má dve formy – **akútna choroba z ožiarenia** (je vyvolaná jednorázovým krátkodobým ožiarением celého tela dávkou väčšou ako 1 Gy); **chronická choroba z ožiarenia** (je vyvolaná malými dávkami žiarenia aplikovanými dlhší čas, niektoré formy akútnej choroby z ožiarenia, pri ktorých nenastalo úplné uzdravenie vyúsťujú do chronickej choroby z ožiarenia)

Izotop – atómy toho istého prvku s rovnakým počtom protónov, ale s rozdielnym počtom neutrónov v jadre sa nazývajú izotopmi daného prvku. Izotopy daného prvku majú rozdielne nukleónové číslo (hmotnostné číslo) *A*, ktoré je súčtom protónov a neutrónov, t.j., nukleónov v jadre. Nukleónové číslo sa píše vľavo hore pri symbole prvku, napr. ${}^{137}\text{Cs}$. Počet neutrónov v jadre sa vyjadruje neutrónovým číslom $N = A - Z$

Kontaminácia – proces, v dôsledku ktorého sa rádionuklidy dostanú do životného, pracovného prostredia, resp. do organizmu v množstve, ktoré prevyšuje pozadové (fónové) hodnoty

Letálna dávka LD_{50} – je *dávka žiarenia*, ktorá iniciuje letálny koniec človeka (živočícha) u 50% ožiarovaných jedincov. **$\text{LD}_{50/30}$** – je letálna dávka, ktorá iniciuje letálny koniec človeka (živočícha) u 50% ožiarovaných jedincov po uplynutí 30 dní

ManSv – manSievert - jednotka *kolektívneho dávkového ekvivalentu*

Premenová konštanta λ - charakteristická konštanta pre každý rádionuklid; medzi premenovou konštantou a *dobou polpremeny* platí vzťah $\lambda = \ln 2/T$

Rádioaktívny spad – pri jadrových explóziách sa vyparí a vyletí do veľkých výšok z povrchu zeme veľké množstvo materiálu. Sú to častice od atomárnych rozmerov až po veľké zrnká piesku. Na týchto časticách sa usadzujú rádioaktívne produkty jadrovej explózie. Rádioaktívny spad možno rozdeliť do troch časových kategórií, avšak hranice medzi jednotlivými kategóriami sú dosť voľné (**okamžitý spad** - ťažšie častice sa začínajú usadzovať na zemskom povrchu v blízkom okolí v prvých hodinách po explózii, **krátkodobý spad** - je tvorený jemnými časticami a po explózii preniká iba do nižšej atmosféry (výšky pod troposférou), **stratosferický spad** - má globálny charakter)

Rádioizotop – nestabilný nuklid, ktorý sa snaží dostať do stabilného stavu cez vyžiarenie nadbytočnej energie alebo častice s určitou energiou. Tento proces sa nazýva *rádioaktivitou*

Rádionuklid – izotop určitého prvku, ktorý je nestabilný, je to tzv. *rádioizotop*. S určitou pravdepodobnosťou, ktorá je charakterizovaná *dobou polpremeny*, podlieha rádioaktívnej premene.

RAO – rádioaktívny odpad, za ktorý sa považuje každá odpadová látka, ktorá svojou špecifickou rádioaktivitou presahuje najvyššie prípustné koncentrácie. Podľa skupenstva RAO delíme na **kvapalné, plynné** a **tuhé rádioaktívne odpady**. Pri mierovom využití jadrovej energie a rádionuklidov vzniká najviac kvapalných odpadov, omnoho menej tuhých a plyných odpadov. Plynné odpady obsahujú spravidla rádioaktívne aerosóly. Odpady zo skúšok jadrových zbraní možno skoro úplne zaradiť do kategórie plyných odpadov

Rádioaktívne odpady môžeme deliť podľa oblasti ich vzniku na: **vojenské rádioaktívne odpady, komerčné rádioaktívne odpady, zdravotnícke rádioaktívne odpady a priemyselné rádioaktívne odpady**

Podľa úrovne a druhu aktivity delíme rádioaktívne odpady na:

1. **Vysokoaktívne odpady** vznikajúce pri regenerácii vyhoreného paliva. Obsahujú prakticky všetky štiepne produkty a väčšinu aktinoidov, ktoré neboli pri regenerácii separované
2. **Transuránové odpady** obsahujúce viac než $3,7 \times 10^2$ Bq aktivity transuránov na 1 g materiálu. Tieto odpady vznikajú prevažne pri regenerácii vyhoreného paliva, pri výrobe plutónia pre jadrové zbrane a pri výrobe zmesného oxidového paliva
3. **Nízkoaktívne odpady** obsahujúce menej než $3,7 \times 10^2$ Bq transuránových prvkov na 1 g alebo ktoré neobsahujú žiadne transuránové nečistoty. Vznikajú takmer pri všetkých prácach s rádioaktívnymi materiálmi: pri úprave, rafinácii a obohacovaní uránu, pri výrobe a regenerácii paliva, pri prevádzke a údržbe reaktora ako i pri používaní rádionuklidov v zdravotníctve a v priemysle
4. **Hlušina z uránových baní a úpravní** obsahujúca v nízkej koncentrácii prírodné rádioaktívne nuklidy

Podľa povahy emitovaného žiarenia delíme odpady na:

1. **Beta a gama žiariče** - ich najväčším zdrojom sú štiepne produkty obsiahnuté v jadrovom palive a produkty neutrónovej aktívácie vzniknuté v povlakoch palivových článkov a v konštrukčných materiáloch
2. **Alfa žiariče** - ich hlavným zdrojom sú transuránové nuklidy, ktoré vznikajú v jadrovom palive absorpciou neutrónov a produkty ich premeny

Rýchlosť dávkového ekvivalentu - [Sv rok^{-1}] prírastok *dávkového ekvivalentu* za jednotku času (napr. za rok, prípadne počas inej časovej jednotky)

Sv – Sievert - jednotka *dávkového ekvivalentu*; staršou jednotkou je rem, $100 \text{ rem} = 1 \text{ Sv}$. Vypočíta sa ako súčin absorbovanej *dávky žiarenia* a akostného faktora daného druhu žiarenia

9 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- ¹ **Bakunin, V. et al.** (1994): *Map of ecological situation in the Chelyabinsk Region, Russia.* www.hjem.get2net.dk/muslumovo/tekst5.htm
- ² Microsoft ENCARTA® Reference Suite 2001 DVD.
- ³ Chelyabinsk Region: Administrative division. Territory. Resources <http://www.fipc.ru/fipc/regions/chelyab/territor.html>
- ⁴ *Sovetskij enciklopedičeskij slovar'*. Prochorov, A.M. (hl. red.) (1984): Moskva: Sovetskaja enciklopedija, s. 1478.
- ⁵ *Collisional Belts: Urals. Section 3.1: Structure, evolution and geodynamics.* <http://www.gfz-potsdam.de/pb3/pb31/ural1.html>
- ⁶ **Očovský, Š. a kol.** (1977): *Malá zemepisná encyklopédia ZSSR.* Bratislava: Obzor.
- ⁷ *Vojenský atlas sveta*, Harmanec: VKÚ, 1999, s. 105. ISBN 80-8042-175-7
- ⁸ **Votýpka, J.** (1982): *Fyzická geografie Sovětského svazu.* Praha: SPN.
- ⁹ **Išukova, T.** *Free Net Chelyabinsk - Čeljabinsk – stolica Južnogo Urala - Geografija Čeljabinska – Pogoda – Klimat i pogoda v Čeljabinskoj oblasti.* <http://www.urc.ac.ru/Chelyabinsk/City/weather/>
- ¹⁰ **Kol. autorov.** (1952): *Svaz sovětských socialistických republik. Přírodní, hospodářský a politický přehled.* Praha: Svět sovětu. prekl. z Ruštiny: *Bolšaja Sovetskaja Enciklopedija – Sojuz Sovetskich Socialističeskich Respublik.* Moskva: Gos.naučnyj institut Sovetskaja enciklopedija, 1948.
- ¹¹ *Chelyabinsk Region. Main Directorate of Agriculture and Food of Chelyabinsk Oblast.* http://www.icptacis.ru/regions/cheliab/index_eng.html
- ¹² **Garb, P.** *Sociocultural Responses to Radiation Contamination in Russia and Some Comparison with the United States.* <http://hypatia.ss.uci.edu/gpacs/eurasia/chelyab.html>
- ¹³ *Chelyabinsk oblast.* <http://www.urc.ac.ru/Universities/AGRO/AGRO98.txt.en>
- ¹⁴ *Vizitnaja karta Čeljabinskoj oblasti: Ekonomika.* http://www.ural-chel.ru/gubern/eng/engecon/Ec_obzor/index.html
- ¹⁵ *Vizitnaja karta Čeljabinskoj oblasti: Enciklopedija.* <http://www.ural-chel.ru/gubern/new/1/index.html>
- ¹⁶ **Joint Norwegian-Russian Expert Group for Radioactive Contamination in the Northern Areas.** (October 1997): *Sources Contributing to Radioactive Contamination of the Techa River and Areas Surrounding the Mayak Production Association, Urals, Russia.*
- ¹⁷ **Novikov, V.N. – Tolstikov, V.S.** (1995): *The Mystery of "Sorokovka".* Ekhterirburg: Uralskiy rabochiy.
- ¹⁸ **Böhmer, N. - Nilsen, T.** (1995): *Reprocessing plants in Siberia: Ozersk. The Arctic Nuclear Challenge.* Bellona Report Vol. 3-2001. <http://www.bellona.no/imaker?sub=1&id=8223>
- ¹⁹ *Development of an Improved Dosimetry System for the Workers at the MAYAK Production Association, Project 2.4. Program Overview, Status and Progress. B. History and Programmatic Overviews.* April 15, 2001. <http://www.utah.edu/radiobiology/mayak/B%20History.htm>
- ²⁰ **Dicus, G.J.** (1997): *Joint American-Russian Radiation Health Effects Research.* Washington: Joint Meeting of American Nuclear Society, January 16, 1997. <http://www.possee.net/dicus/s-97-04.htm>
- ²¹ **Burmistrov, D. - Kossenko, M. – Wilson, R.** *Radioactive Contamination of the Techa River and its Effects.* http://phys4.harvard.edu/~wilson/publications/747/techa_cor.htm
- ²² *History: The radiation accidents.* <http://lomi.e-technik.uni-ulm.de/LOMIWeb/projekte/ratema/history.htm>
- ²³ **Vorobiova, M.I. et al.** (1999): *Review of Historical Monitoring Data on Techa River Contamination.* Health Physics 76 (6), 1999, p. 605-618.
- ²⁴ **Vorobiova, M.I. – Degteva, M.O.** (1999): *Simple Model of Radionuclide Transport in Techa River Contaminated by the Mayak Releases.* Health Physics, 77 (2), 1999, p. 142-149.
- ²⁵ **Burmistrov, D.S. et al.** (1997): *Radioactive Contamination of the Techa River: Environmental Records and Multimedia Modelling.* Conference Proceedings, "Nuclear Data for Science and Technology" (part II). Bologna: Societa Italiana di Fisica, Vol. 59,1997, p. 1376-1380.
- ²⁶ *Radiation Contamination of the Territory of Chelyabinsk Oblast.* Chelyabinsk: Yuzhno-uralskoe knizhnoe izdatelstvo, 1992.
- ²⁷ *Chelyabinsk Nuclear Disasters.* <http://www.logtv.com/chelya/cheldis.htm>
- ²⁸ **Kabirova, M.** (2001): *Radiation Effects on the Public Health.* International Meeting, 2001 World Conference against A & H Bombs. Chelyabinsk. <http://www.twics.com/~antiatom/ab/e01wc/e-milya.htm>
- ²⁹ **Degteva, M.O. et al.** (March 2000): *Development of an Improved Dose Reconstruction System for the General Population Affected by the Operation of the Mayak Production Association.* US-Russian Joint Coordinating Committee on Radiation Effects Research. Project 1.1, Final Report.
- ³⁰ **Grunberg.** *The Most Contaminated Spot on the Planet. Forty Years of Nuclear Contamination in Chelyabinsk, Russia.* <http://www.logtv.com/chelya/chelya/fortyyears.html>
- ³¹ **Jarmonenko, S.P.** (1994): *Radiobiologija čeloveka i životnyh.* Moskva: Vyššaja škola, s. 28.
Yarmonenko, S.P. (1988): *Radiobiology of Humans and Animals.* Moscov: Mir Publishers, p. 32. ISBN 5-03-000062-3

- ³² **Cochran, T.B. - Norris, R.S.** (May 1991): *A first look at the Soviet bomb complex*. Bull. Atomic Scientists, Vol. 47, No. 4. <http://www.bullatomsci.org/issues/1991/may91/may91cochran.html>
- ³³ *East-Ural Radioactive Trace*. <http://www.ch70.chel.su/region/sled/map1.html>
- ³⁴ *Disposal of Radioactive Nuclear Waste*. <http://www.defencejournal.com/2001/july/disposal.htm>
- ³⁵ *Správa o výsledkoch činnosti Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky a bezpečnosti jadrových zariadení v Slovenskej republike za rok 1996*. Výročná správa 1996. Bratislava: Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky, 1997, s. 55. ISBN 80-88806-02-X
- ³⁶ **Merkushkin, A.O.** (2001): *Karachay Lake is the Storage of the Radioactive wastes Under Open Sky*. International Youth Nuclear Congress 2000: Youth, Future, Nuclear. Proceedings and Multimedia Presentation. Bratislava, 9-14 April 2000. Obninsk: YDRNS Information Technology Services, Ltd., [CD-ROM].
- ³⁷ **International Commission on Radiological Protection.** (1991): *ICRP Report No. 60*.
- ³⁸ **Novoselov, V.N. - Tolstikov, V.S.** (1997): *The nuclear trace in the Ural*. Chelyabinsk: Rifei.
- ³⁹ **Livingstone, S.** *Closing the Circle*. In: *The Legacy Story*. Chapter 5. <http://legacystory.apps.em.doe.gov/thestory/text/close/close5.htm>
- ⁴⁰ **Šáro, Š. - Tölgýessy, J.** (1985): *Rádioaktivita prostredia*. Bratislava - Praha: ALFA – SNTL, s. 58.
- ⁴¹ **Bolšakov, V.N., et al.** (1991): *Zaključenije komissi po otsenke ekologičeskoj situacii v rajone dejatel'nosti proizvodstvennogo objedinenija Majak Minatomenergoproma SSSR, organizovannoj raspordžženijem prezidiuma AN SSSR 1140-501 ot 12.06.90 g*. Radiobiologiya, 31 (3), p. 436-452.
- ⁴² *Government Report on the Health of the Population of Russia in 1991*. Zelyony mir. No. 48, December 1992.
- ⁴³ **Galimova, G.** (Marec 1993): *Rozhovor s Galinou Komarovou, Musljumovo*, In: **Garb, P.** *Sociocultural Responses to Radiation Contamination in Russia and Some Comparisons with the United States*. <http://hypatia.ss.uci.edu/gpacs/eurasia/chelyab.html>
- ⁴⁴ **Evlanov, D.** (2001): *The Techa River: 50 Years of Radioactive Problems*. International Youth Nuclear Congress 2000: Youth, Future, Nuclear Proceedings and Multimedia Presentation. Bratislava, 9-14 April 2000. Obninsk: YDRNS Information Technology Services, Ltd., [CD-ROM].
- ⁴⁵ **Koivisto, K.** *Status of Mayak Nuclear Waste Disposal Facility*. <http://www.fas.org/news/russia/1997/drsov04021997000215.htm>
- ⁴⁶ **Kudrik, I.** (8 July 1998): *Current Status, Mayak Chemical Combine*. <http://www.bellona.org/imaker?id=4119&sub=1>
- ⁴⁷ **Koerkamp, G.G.** (7 June 2001): *Duma Approves Nuclear Fuel Imports*. <http://www.rnw.nl/hotspots/html/russia010607.html>
- ⁴⁸ *Radioactive contamination of Chelyabinsk region (strontium-90)*. The map was done in accordance with information of Chelyabinsk Region Center of Hydrometeorology and Environmental Monitoring. It was prepared for printing by "Uralmarksheydariya" 25.4.1995. <http://www.ch70.chel.su/region/sled/map5.html>
- ⁴⁹ *Radioactive contamination of Chelyabinsk region (cesium-137)*. The map was done in accordance with information of Chelyabinsk Region Center of Hydrometeorology and Environmental Monitoring. It was prepared for printing by "Uralmarksheydariya" 25.4.1995. <http://www.ch70.chel.su/region/sled/map6.html>
- ⁵⁰ *Radioecology after Chernobyl. Biogeochemical Pathways of Artificial Radionuclides*. Warner, F. and Harrison, R.M. (Eds.). Chichester – New York – Brisbane – Toronto – Singapore: John Wiley & Sons, 1993. ISBN 0-471-93168-3
- ⁵¹ *Doporučenia Slovenskej komisie pre životné prostredie k uplatňovaniu ukazovateľov a normatífov pre asanáciu znečistenej zeminy a podzemných vôd*. Bratislava.
- ⁵² *Restoration Strategies for Radioactive Contaminated Ecosystems (RESTORE)*. Institute of Radiation Protection, 2001. <http://www.gsf.de/institute/ISS/englisch/risiko/RestoreWPE.phtml>
- ⁵³ **Tölgýessy, J. - Harangózo, M.** (2000): *Rádioekológia*. B. Bystrica: Univerzita Mateja Bela, Fakulta Prírodných vied. ISBN 80-8055-346-7
- ⁵⁴ **Blatt, F.J.** (1992): *Modern Physics*, New York: McGraw-Hill, Inc. ISBN 0-07-005877-6
- ⁵⁵ *RADNET. Nuclear Information Handbook*. Third Edition. Brack, H.G. (Ed.). 1996. <http://home.acadia.net/cbm/Rad.html>