

Radioactive water contamination and its dispersal in South Ural (Mayak area) - Overview

Alexei Konoplev

*Institute of Environmental Radioactivity
Fukushima University, Japan*



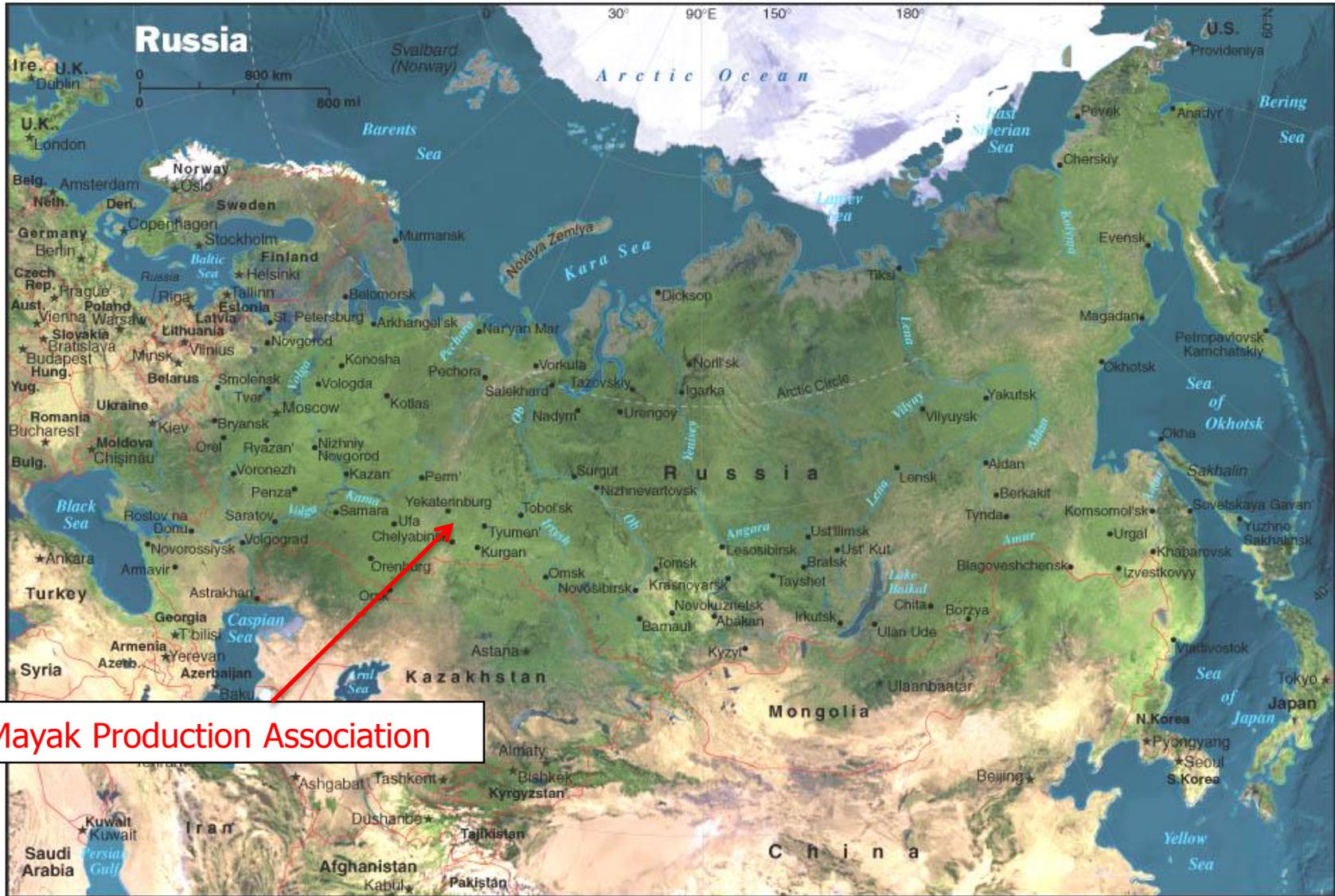
環境放射能研究所



Outline

- “Mayak” Production Association and its radioactive waste discharges to the aquatic environment;
- Kyshtym accident (1957);
- Lake Karachay and its desiccation (1967);
- Techa river and its floodplain;
- Techa-Iset-Tobol-Irtysh-Ob river system, influenced by discharges from the “Mayak” Production Association;
- Remediation activities in South Ural contaminated areas.

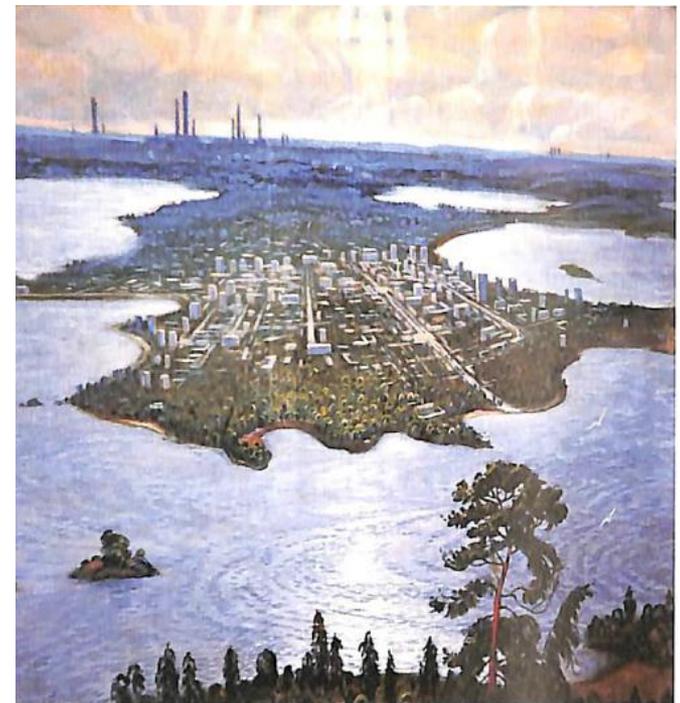
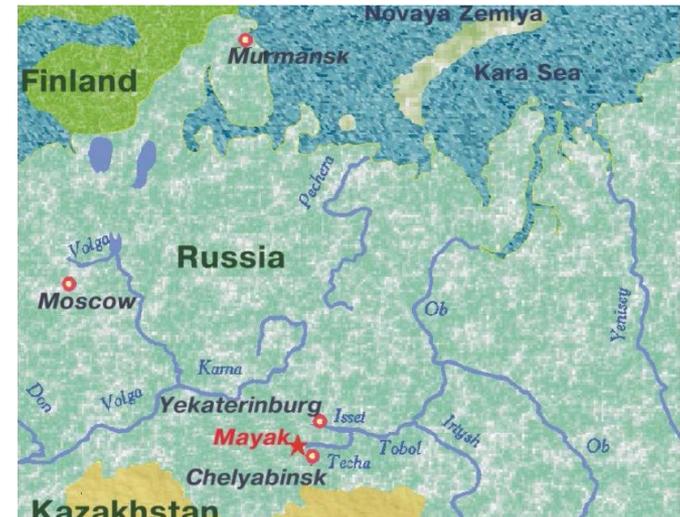
Techa-Iset-Tobol-Irtysh-Ob rivers



Mayak Production Association

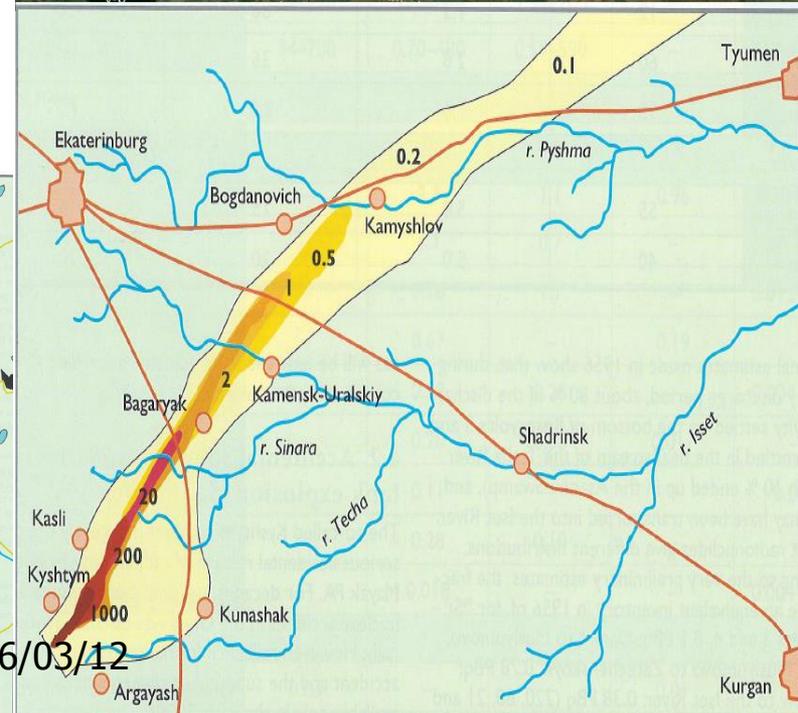
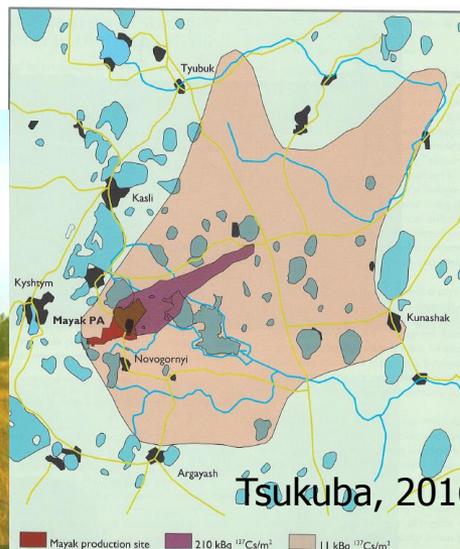
Production Association "MAYAK"

- The "Mayak" Production Association (Mayak PA) is belong to the Russian State Corporation on Atomic Energy – ROSATOM and is located in the Northern part of the Chelyabinsk Region near the towns of Kyshtym and Kasli.
- The enterprise was established at the end of the 1940s to produce and reprocess weapon's grade plutonium.
- Although Mayak is still engaged in military work, the production of weapon's grade plutonium ceased in 1987 and the enterprise has increasingly directed its technical potential towards non-military applications.



Major releases of radioactivity to the environment from PA "Mayak":

- Direct discharge of ILW to the Techa River (1949-1956);
- Discharges of LW into Lake Karachay from 1951;
- The Kyshtym accident in 1957;
- Wind transport of contaminated sediments from Lake Karachay in 1967.

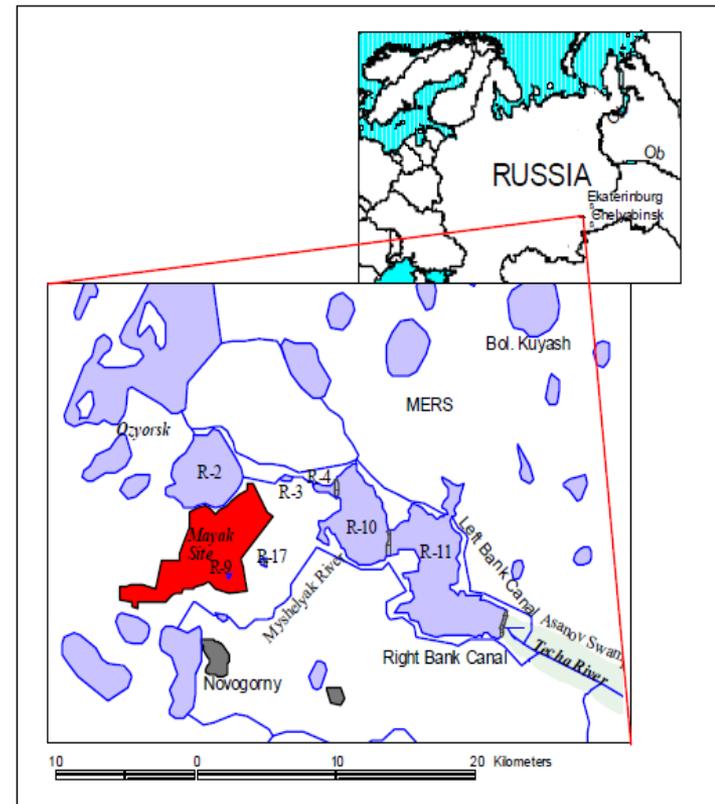


Tsukuba, 2016/03/12



Liquid radioactive waste discharges to the Techa river, lakes and ponds

- A number of natural lakes and ponds on the Mayak site have been used as reservoirs for the management of intermediate and low-level radioactive effluent.
- These include Lake Karachay (Reservoir 9) and Lake Kyzyltash (Reservoir 2), the artificial ponds (Reservoirs 3, 4 and 17) and the artificial reservoirs created by damming the Techa River (Reservoirs 10 and 11).



Total inventory of radionuclides (primarily ^{137}Cs and ^{90}Sr) in vicinity of Mayak PA.

Location	Lake Karachay	Reservoir 17	EURT	Karachay area	Reservoir 2	Reservoir 3 & 4	Reservoir 10 & 11	Asanov Swamp
Inventory (PBq)	4 400 ^a	74 ^a	0.75 ^b	0.0067 ^b	0.74 ^c	1.9 ^c	7.9 ^c	0.25 ^d

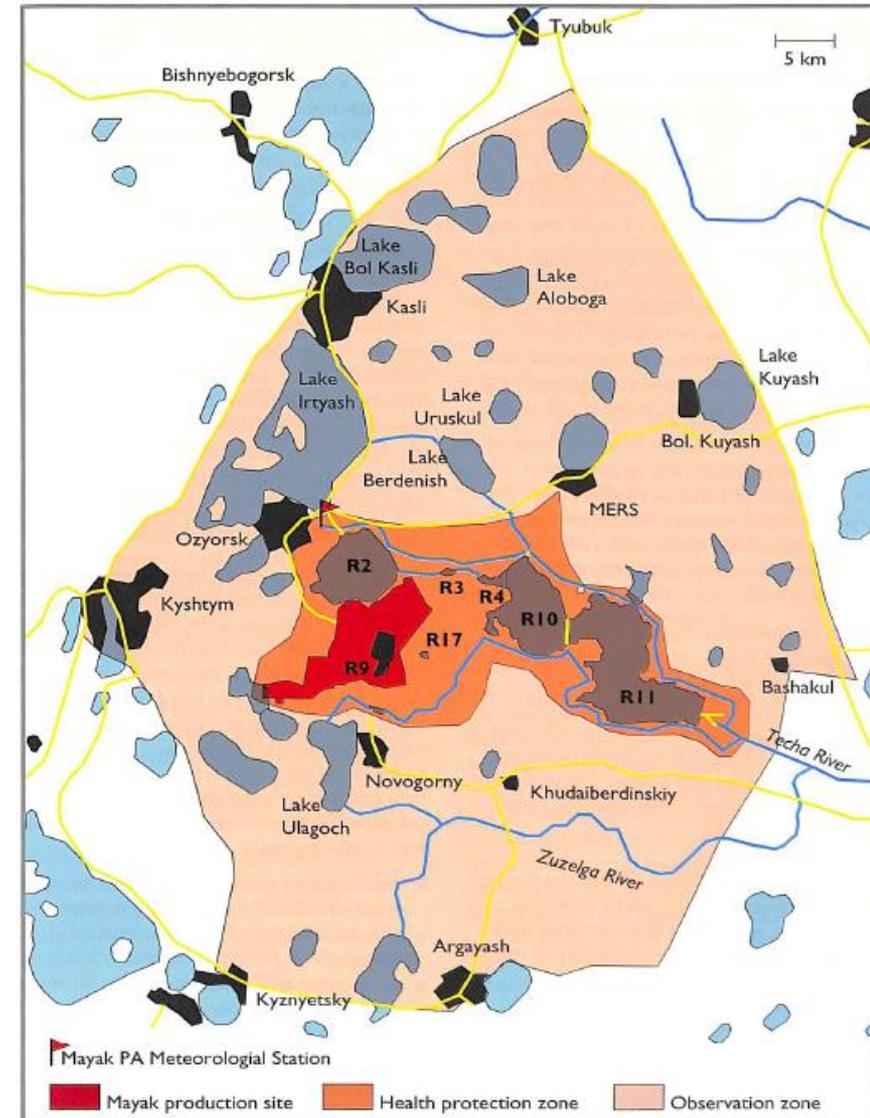
Contamination of the territory surrounding “Mayak” due to waste discharges

- Discharges of ^{90}Sr and ^{137}Cs that occurred during the period 1949-1957 have contaminated 240 km² of the Techa River flood-plain, with an area of 80 km² contaminated at levels above 3.7×10^{10} Bq/km² (1 Ci/km²) and abandoned to date.
- About 7 500 people evacuated from 20 settlements along the course of the Techa in 1953-1960 received radiation doses ranging from 35-1700 mSv.
- Discharges of ILW to the Techa river between 1949 and 1956 in amount more than 100 PBq are now considered as a serious error in judgement.



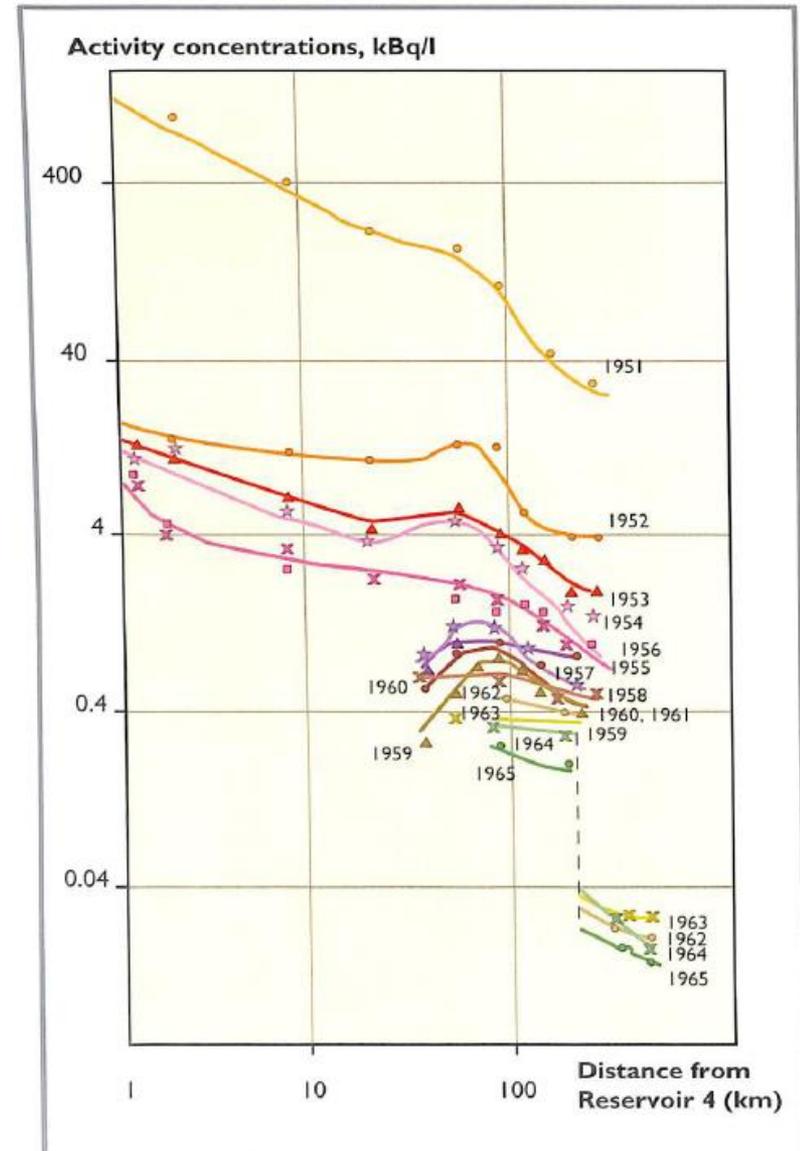
Radioactive contamination of Techa river

- Routine discharge of ILW to the Techa river occurred between 1949 and 1956;
- LW was discharged into a natural pond, which subsequently became part of the system of industrial reservoirs as Reservoir 3;
- Discharge from R-3 entered into the next reservoir R-4, which also originally was small natural pond;
- R-3 and R-4 functioned as sedimentation ponds for contaminated water;
- In 1949-1956 more than 100 PBq was discharged into R-3



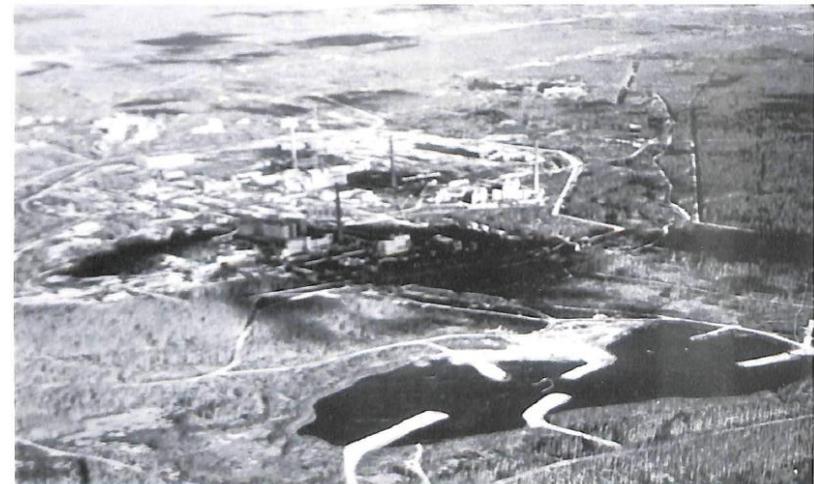
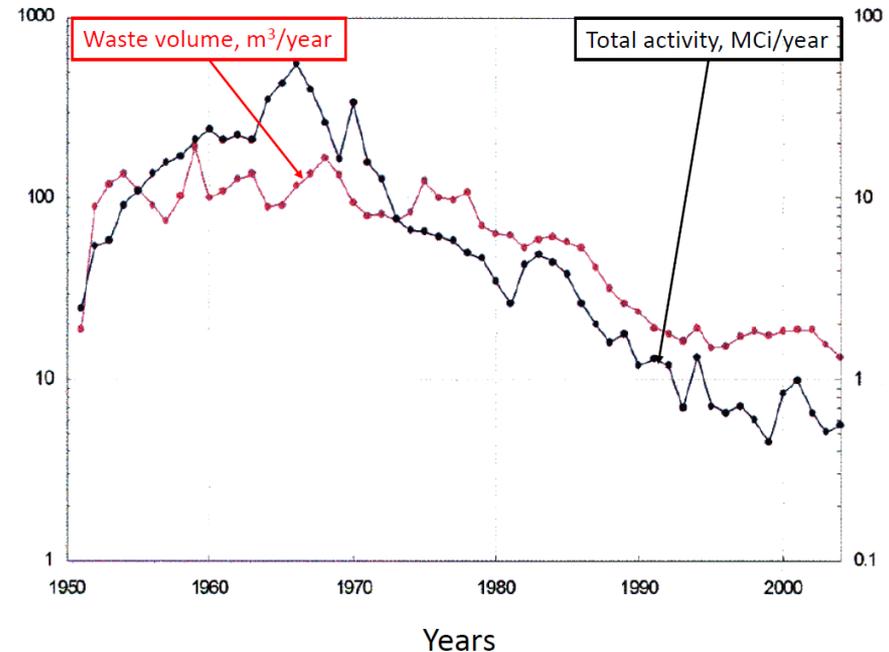
Radioactive contamination of Techa river

- The total releases of β -emitters are a similar order of magnitude to those discharged from Sellafield to the Irish Sea (130 PBq) between 1952 and 1992;
- However routine α -discharges from Mayak were a factor of 500 lower than Sellafield discharges;
- Environmental monitoring of activity levels in the Techa river started in 1951;
- R-3 and R-4 played a very important role in the sedimentation of radioactivity discharged to Techa river;
- 68% of ^{90}Sr and 89% of the ^{137}Cs were retained in the bed of R-3 and R-4.



“Lake Karachay – the most contaminated lake on Earth”

- Lake Karachay was originally a small shallow natural lake: in 1940s – 750 m long and 450 m wide;
- Between 1951 and 2005 556 MCi (β) (3.7 million m³ of ILW) has been discharged into the Lake Karachay;
- Radionuclide composition of ILW included ⁹⁰Sr, ⁹⁰Yt, ^{134,137}Cs, ⁹⁵Zr, ⁹⁵Nb, ¹⁴⁴Ce, ¹⁴⁴Pr, ¹²⁵Sb, ¹⁰⁶Ru, ⁶⁰Co, U, Pu, TUE;
- Annual mean β -activity of LW was $1.2 \times 10^9 - 1.6 \times 10^{10}$ Bq/L;
- In 1993, the ⁹⁰Sr activity concentration in Lake Karachay was 70 MBq/L, and the ¹³⁷Cs – 100 MBq/L



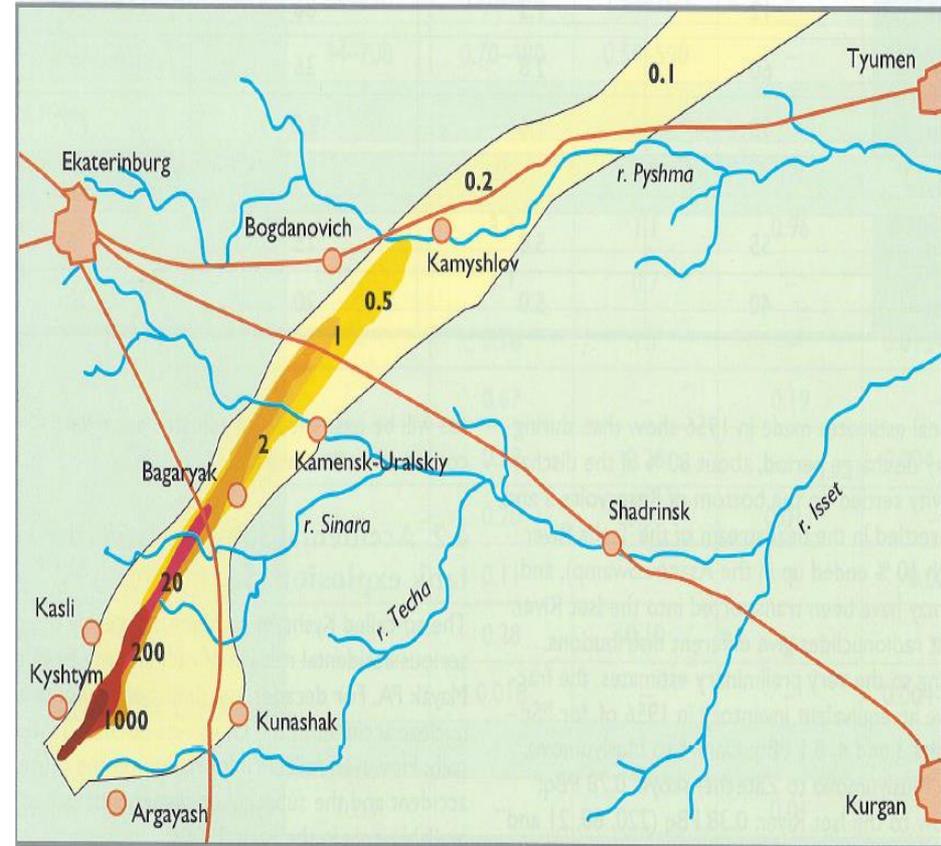
Lake Karachay and Mayak PA, 1990

Radionuclide concentration in water of Lake Karachay, MBq/L ($\mu\text{Ci/L}$)

Radionuclide	Year					
	1970	1975	1980	1985	1990	1993
Total α-emitters	0.13 (3.5)	0.010 (0.27)	0.037 (1.0)	0.32 (8.5)	0.22 (5.8)	0.63 (17)
Total β-emitters	410 (11000)	230 (6200)	160 (4200)	670 (18000)	700 (19000)	230 (6100)
^{90}Sr	26 (700)	26 (700)	28 (750)	100 (2800)	150 (4000)	70 (1900)
^{137}Cs	240 (6400)	92 (2500)	63 (1700)	360 (9600)	350 (9400)	100 (2800)
^{134}Cs	14 (370)	5.6 (150)	0.89 (24)	27 (730)	3.7 (100)	4.4 (120)
$^{144}\text{Ce} + ^{144}\text{Pr}$	6.3 (170)	6.3 (170)	4.8 (130)	5.2 (140)	<1 (<30)	<1 (<30)
^{106}Ru	110 (2900)	67 (1800)	32 (880)	48 (1300)	18 (500)	1.2 (34)
Tritium	1.2 (32)	0.74 (20)	0.63 (17)	1.6 (42)	0.37 (10)	3.1 (84)

The Kyshtym accident

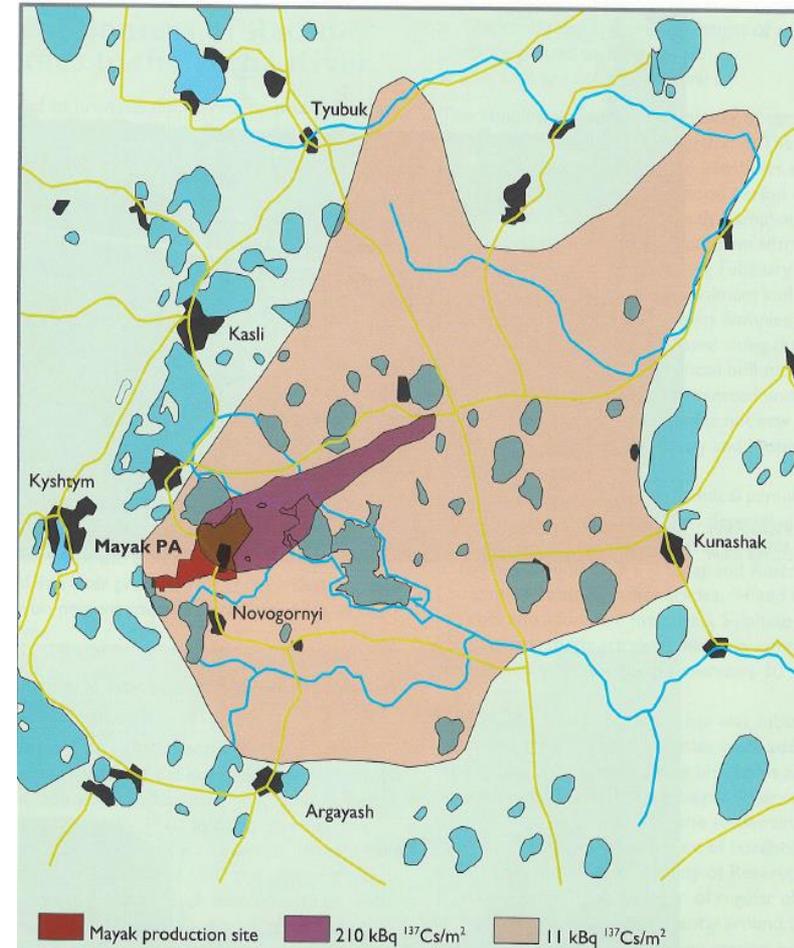
- A thermal explosion of a tank containing high level liquid waste occurred in September 1957 creating what has become known as the Kyshtym accident.
- Some 740 PBq was actually released during the accident but an estimated 90 % settled in the immediate vicinity of the explosion site.
- 74 PBq of radioactivity was released into the atmosphere and dispersed by the wind to form the East Urals Radioactive trace.



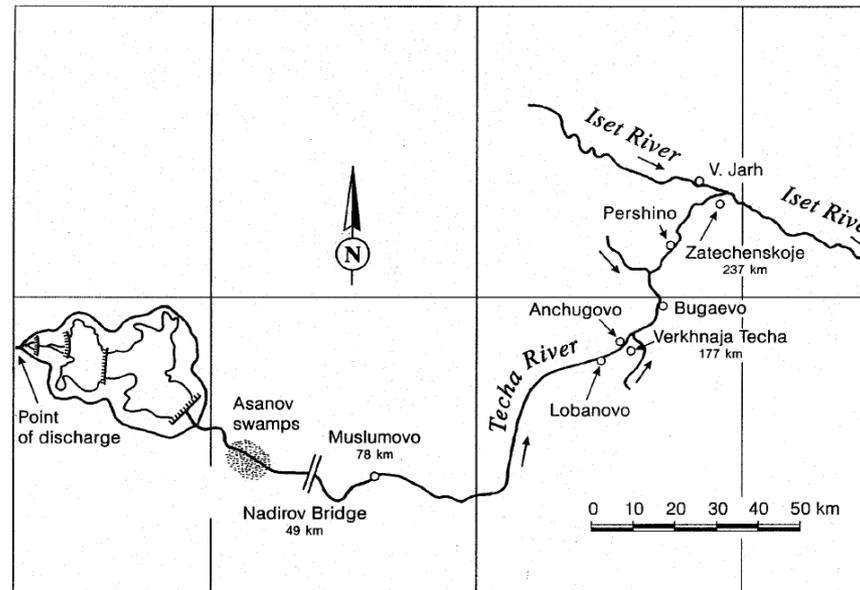
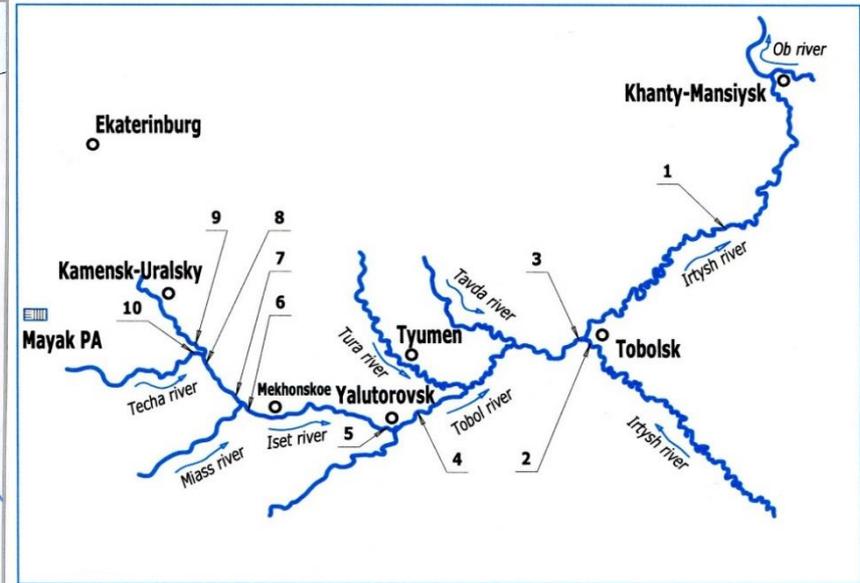
The Eastern Ural Radioactive Trace – Sr-90 deposition.

Wind dispersion from Lake Karachay

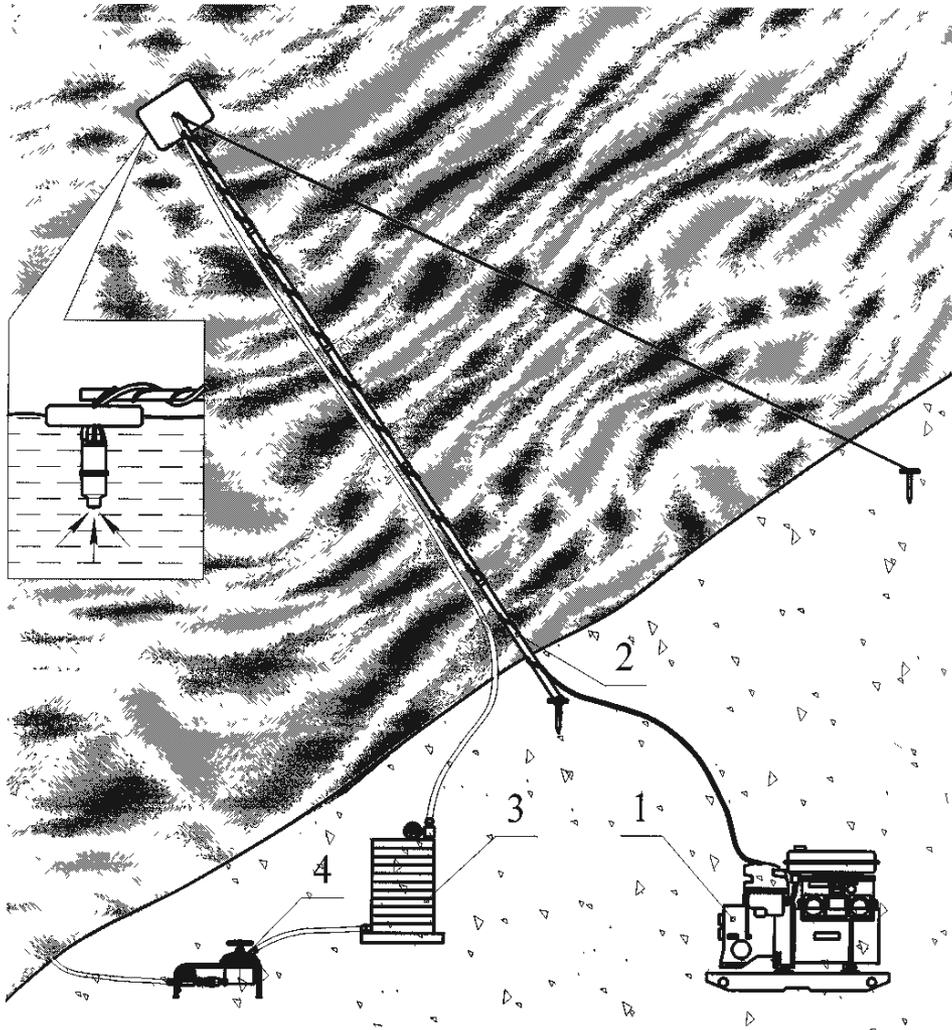
- During the period from April 10 to May 15th 1967, contaminated sediments from Lake Karachay were dispersed by the wind storm up to distances of 50-75 km from the Mayak PA site.
- An estimated 22 TBq was associated with this contamination event.
- Cs-137 was the predominant long-lived radionuclide constituting this release and may have accounted for 75 % of the total radioactive inventory.



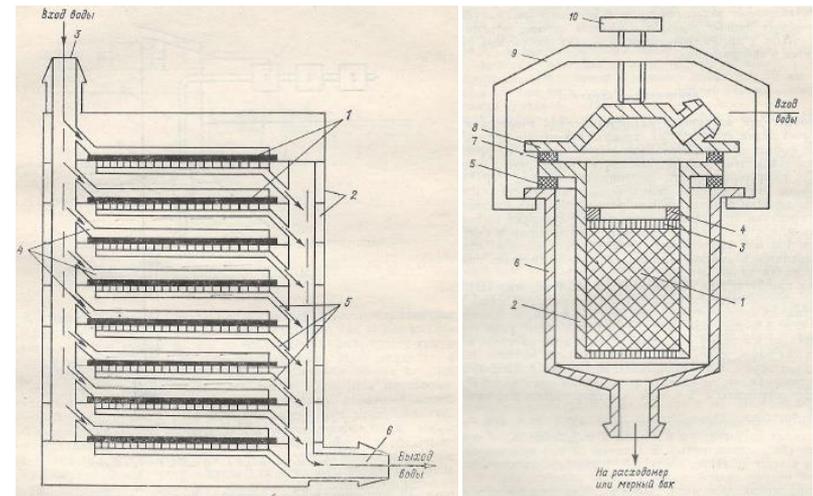
Techa-Iset-Tobol-Irtysh-Ob river system, influenced by discharges from the "Mayak" Production Association



Water sampling, with simultaneous separation of suspended matter and radiocesium concentrated on selective fiber sorbent

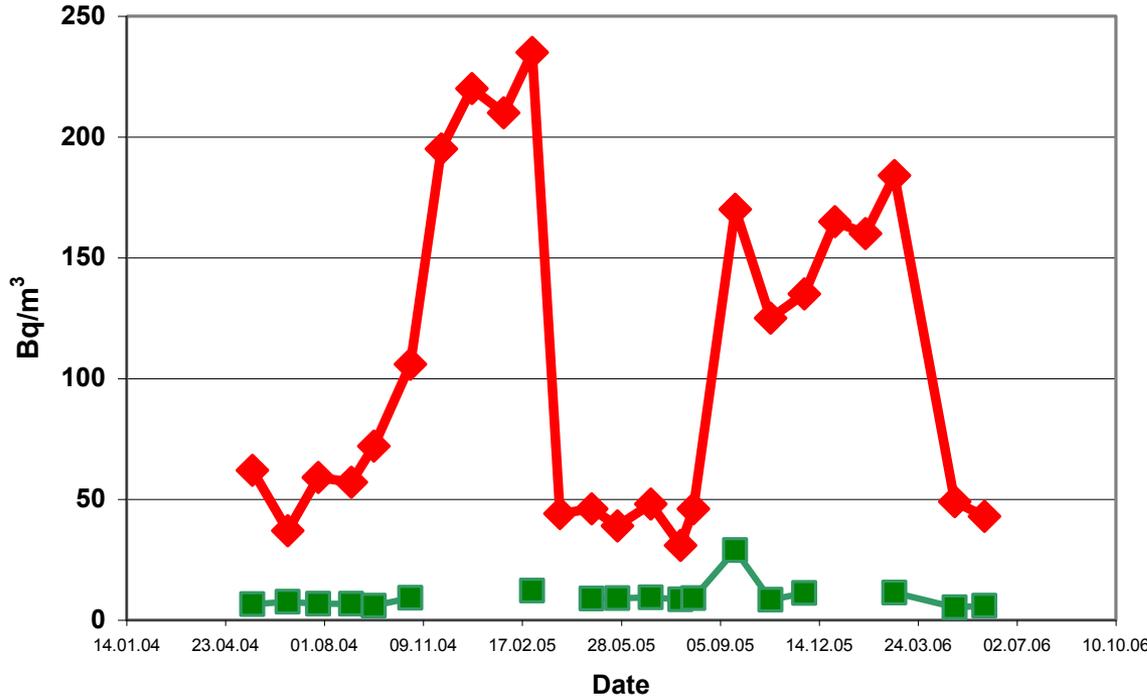


- 1 - power supply source
- 2 - remote device for the intake of water samples
- 3 - water filtration system "Midiya": filters pore size $1 \mu\text{m}$ or less, filtration speed up to 1000 l/h
- 4 - absorber: fiber sorbent, selective to Cs, pumping speed up to 500 l/h

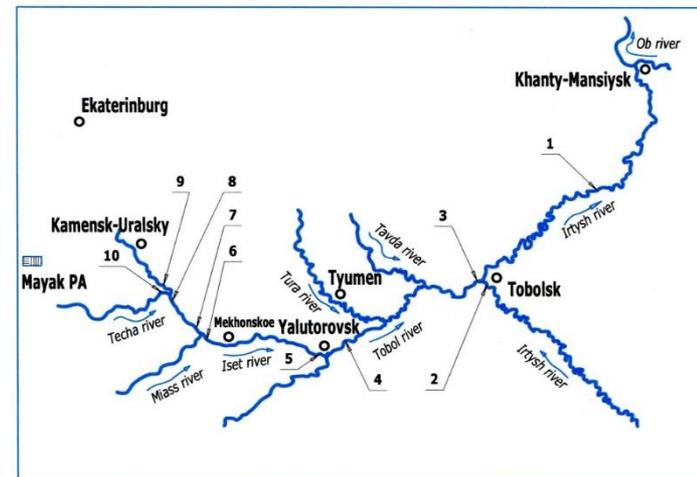
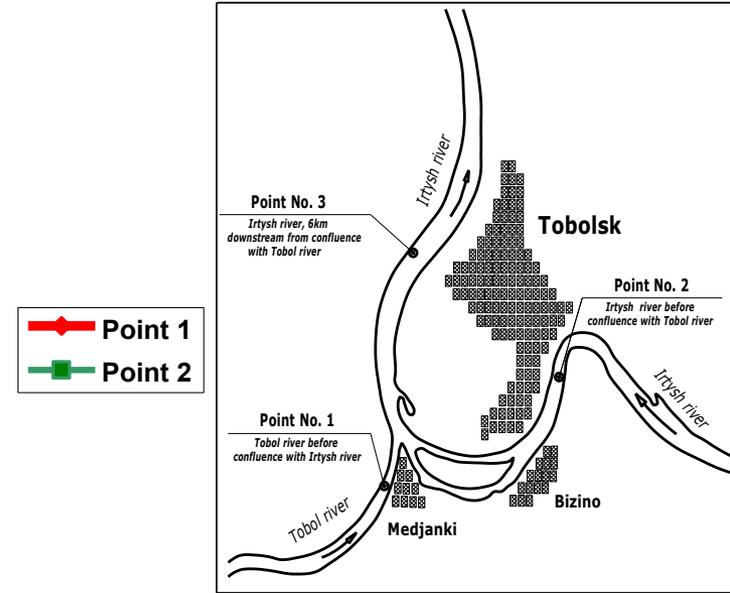


Filtration system and absorber developed in RPA "Typhoon" by Nikitin A. & Vakulovsky S.

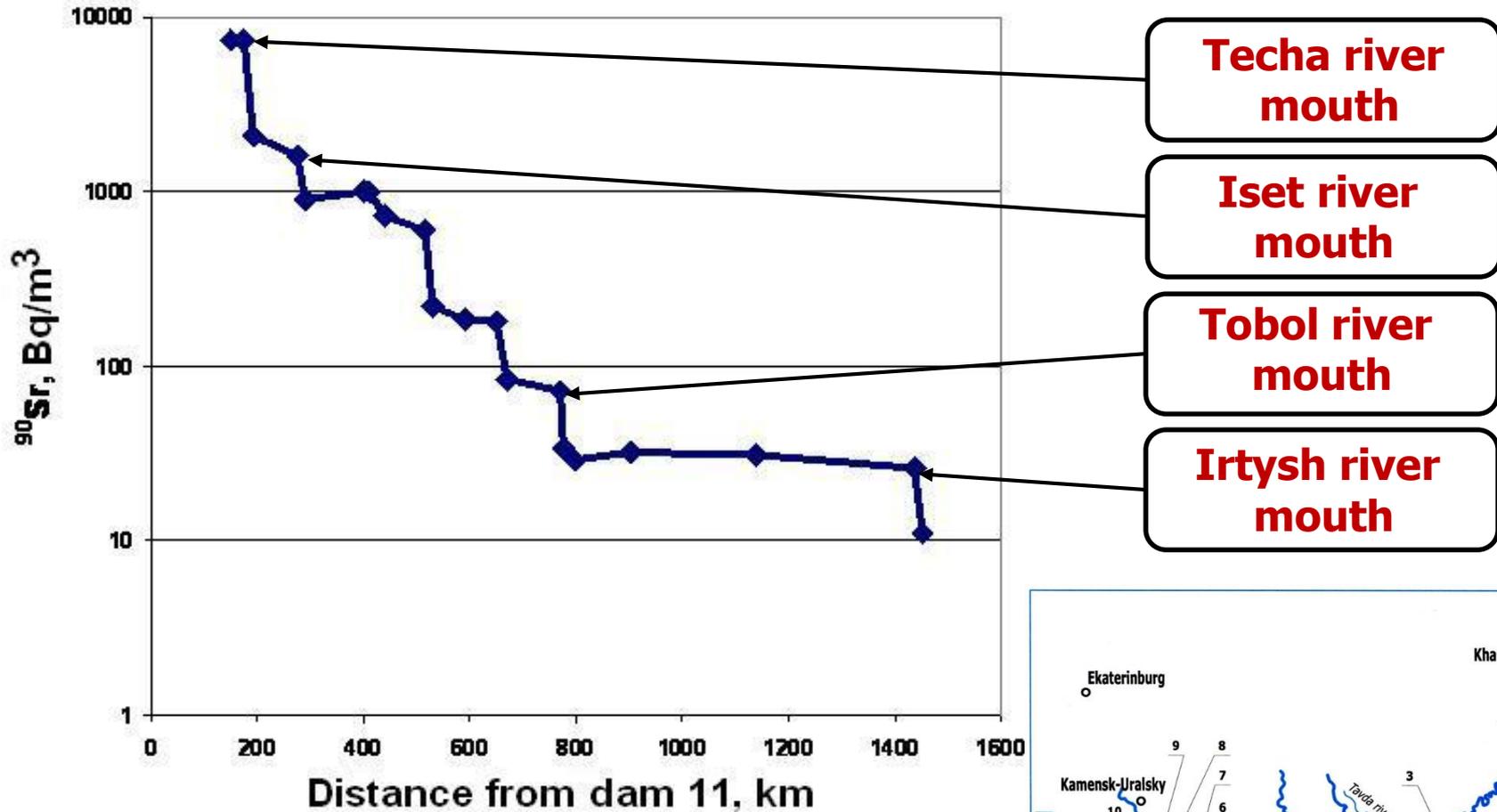
Results of monitoring of ⁹⁰Sr in Tobol and Irtysh rivers water in region of their confluence (2004-2006):



After Nikitin A.I. et al., 2011

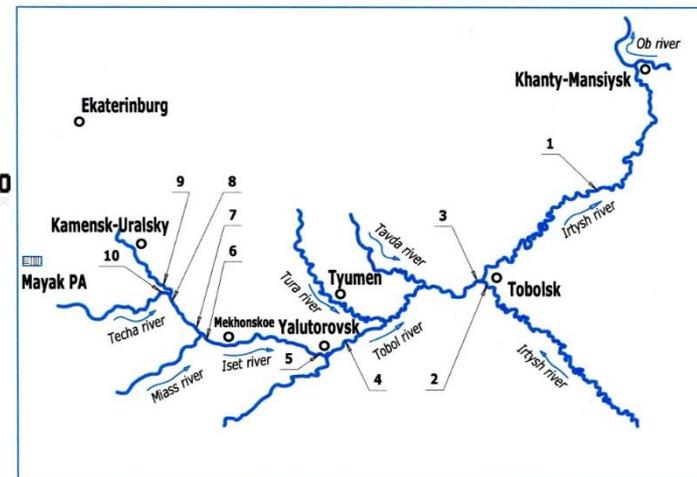


The impact of PA "Mayak" radioactive waste transport is distinctly traced by ^{90}Sr as far as the area of the Irtysh and Ob confluence



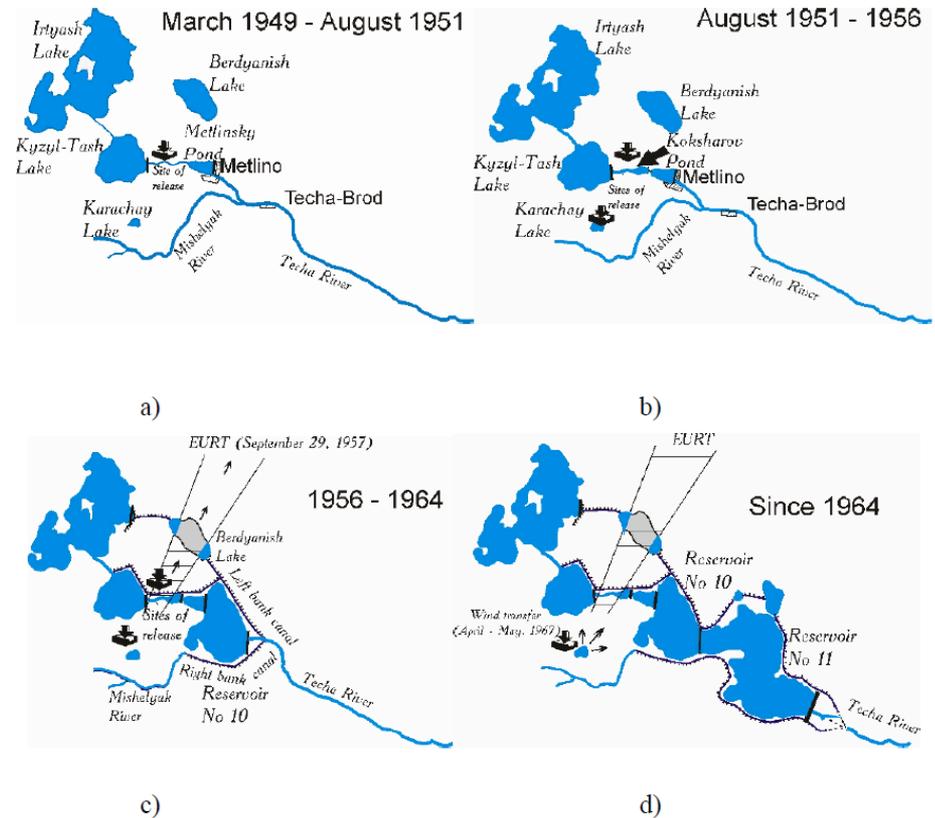
After Nikitin A.I. et al., 2011

Tsukuba, 2016/03/12

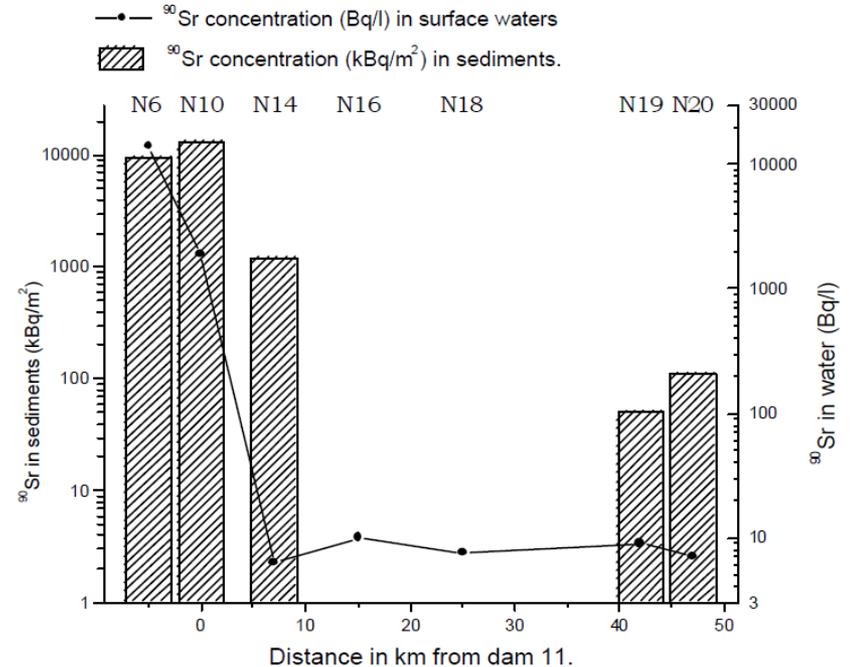
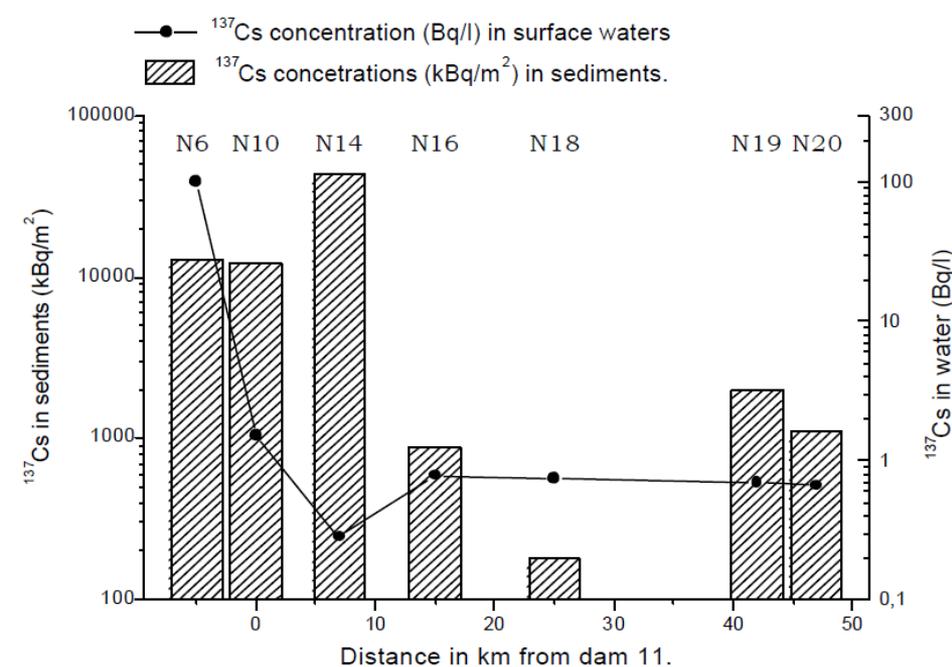


Remedial measures taken in the Southern Urals contaminated areas

- Remedial measures started in 1951.
- Firstly, a series of dams were constructed to create an enclosed series of lakes isolated from the rest of the Techa river with canals to the north and south to divert the uncontaminated river water.
- By 1960 about 7500 people were evacuated from 22 villages in the upper reaches of the Techa river.
- An exclusion zone was created around the MAYAK site including the lakes, reservoirs and the Assanov marshes where significant quantities of radionuclides are retained.



^{137}Cs and ^{90}Sr in water and bottom sediments of Techa river (1990s)



- The concentration of both ^{137}Cs and ^{90}Sr in water is very high in the reservoirs, and decreases significantly (factor of 10^2 for ^{137}Cs and 10^3 for ^{90}Sr) downstream Techa River from Dam 11 to Muslyumovo, 47 km from the dam;
- In Reservoirs as well as in the Asanov Swamp the very high levels of ^{137}Cs and ^{90}Sr are retained in the sediments.

Measures and restrictions taken in the Southern Urals contaminated areas

- Further long-term measures were introduced to reduce the exposure of people living in settlements on the banks of the Techa river.
- Floodplains were fenced off and the access of people and livestock to these areas was restricted.
- Restrictions on drinking water and fishing in the river were also introduced.
- Construction of wells and pipelines to provide uncontaminated drinking water started in 1953 and by 1954 all inhabitants and cattle were provided with water from other sources.



Measures and restrictions taken in the Southern Urals contaminated areas

- However, some consumption of river water is thought to have continued until 1956 when further measures were taken to enforce the restrictions.
- These long-term measures are still in place although there is evidence that villagers do not always follow the restrictions, sometimes fishing in the river or letting their animals graze on the floodplains.



Remedial measures taken in the Southern Urals contaminated areas

- The priority for current and future actions is to prevent further contamination reaching the occupied areas by taking various remedial measures within the restricted area.
- However, consideration is also being given to reducing exposures on the river banks down stream through measures such as removal of the top layers of sediment or by shielding the contaminated sediment with crushed rocks.

Remediation of Lake Karachay and the surrounding area

- Between 1967 and 1971, remedial work was carried out to cover the lake, to fill in shallow areas and to recultivate the area around the reservoir.
- The shoreline was reinforced by banks of rocks, and some 570,000 m³ of soil, 12,000 m³ of gravel and 9000 m³ of rock were dumped into or around Lake Karachay.
- This raised all the banks and substantially reduced the water surface area.
- Further monitoring of the reservoir included strict control of the water level: if the water dropped below a minimum permissible level, clean water was to be added into Lake Karachay.



Remediation of Lake Karachay and the surrounding area

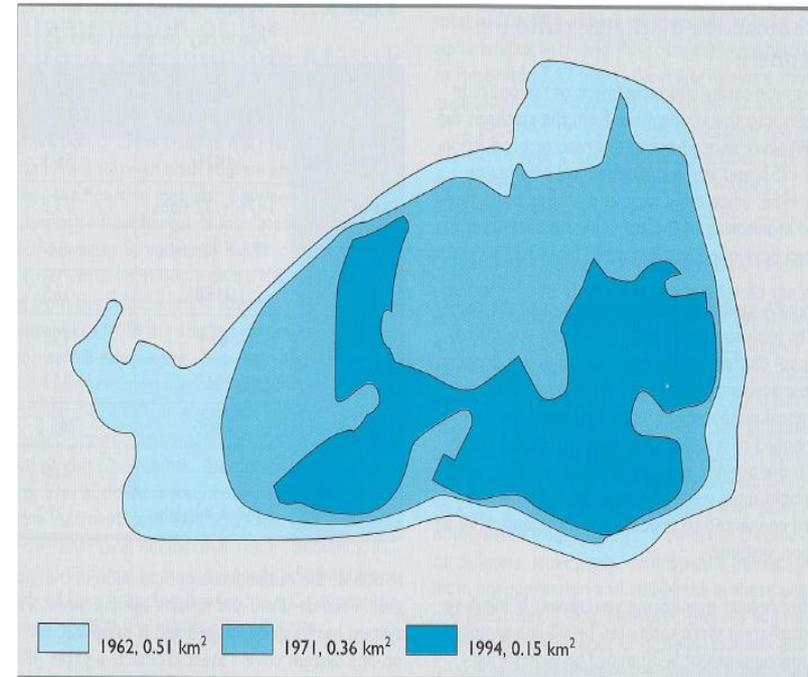
- Despite these measures, Lake Karachay was still a source of potential atmospheric contamination. Should, for example, a whirlwind occur, it could disperse radionuclides over large areas.
- It was decided to cover the whole reservoir and immobilise the loose bottom sediments.
- From 1978-1986 a method was developed by which Lake Karachay would be filled in with hollow concrete blocks and crushed rocks.
- From 1986, the operation to fill in the reservoir has proceeded according to three stages.

Remediation of Lake Karachay and the surrounding area

- Stage I involved closing off the north-eastern part of the lake (the area closest to the discharge pipes) and dividing it with breakwaters.
- This reduces the loss of wind-driven spray from the reservoir surface and has reduced the potential consequences of a whirlwind.
- This stage was completed during 1988-1990. The measures have immobilised about 60 % of the bottom sediments and about 70 % of all the radionuclides accumulated in the reservoir.

Remediation of Lake Karachay and the surrounding area

- In stage 2 the reservoir area will be completely filled, and recultivated to a green field. This will eliminate the risk of airborne contamination.
- The work on stage 2 is ongoing, and Lake Karachay's shoreline has been reduced.
- Stage 3 will involve localisation and purification of contaminated groundwater in the reservoir area.
- By the end of 1993, the surface area of Lake Karachay had been reduced to about 0.15 km². Up to 80 % of the radionuclides accumulated in the reservoir are localized in the filled part.



Reduction in Lake Karachay surface area

Main messages

- Dispersal of radioactive materials from Mayak PA to the environment led to harmful effects on the environment itself, restriction on land application, relocation of inhabitants from a number of settlements and observed health effects on human populations.
- The radionuclide of main concern is ^{90}Sr as it is remobilized from soils and sediments to much greater extent than ^{137}Cs and Pu.
- Increased contamination of groundwater, in particular ^{90}Sr and ^{60}Co , from lake Karachay is of serious concern.
- To avoid the transport of contaminated water down the Techa river, three huge reservoirs were constructed (1956-1963).
- A rehabilitation program to fill in lake Karachay has been completed in 2015. The surface area of the lake has been reduced from 0.51 km² to 0 in 2015.

THANK YOU VERY MUCH FOR YOUR ATTENTION! QUESTIONS?

alexeikonoplev@gmail.com

T: +81 805 844 0962

<http://www.ier.fukushima-u.ac.jp>



環境放射能研究所



00 : 00 : 00

司会：それでは時間になりましたので始めさせていただきます。続いてのご講演は Aleksei Konoplev 先生です。先生のご紹介をさせていただきます。Aleksei Konoplev 先生は 1977 年にモスクワ州立大学を卒業し、科学、そして放射線生物学の博士号を取得されております。その後 36 年間にわたり環境科学の分野、特にチェルノブイリの事故に由来する放射性各種の挙動、そしてその予測に関する研究に従事されております。2013 年からは福島大学環境放射能研究所にて特任教授としてご活躍されております。放射性セシウムの挙動に関する土壌、水圏を中心とし、チェルノブイリ事故と福島の事故との比較分析をされております。きょうの先生のご講演タイトルは『Radioactive water contamination and its dispersal in South Ural (Mayak area) – Review』ということで、マヤーク核施設からの放射線漏えいと環境影響についてお話させていただきます。それでは Konoplev 先生、お願いします。

Konoplev：ありがとうございます。こんにちは。

A：Aleksei Konoplev と申します。ロシアの放射線生態学者で、今はここ日本で福島大学の環境放射能研究所で仕事をしております。チェルノブイリ事故の直後から緊急時対応に従事しました。そしてこの放射性各種の移動、そしてその予測の研究を行いました。水域の放射能汚染の予測をしたわけでありまして。その際に参考にしたのが南ウラル、マヤーク施設のデータでした。福島の研究者が今チェルノブイリの研究、あるいは経験を参考にしているいろいろな計画を立てたり、あるいは研究を行ったりしているのと同様です。

こちらが私の話の概要です。まずマヤーク生産連合体をご紹介します。そこから出てくる放射性廃棄物、この水域環境にどのように放出されたのかと、そういう話。それからいわゆるキシュテム事故、これは南ウラルで起こった事故ですが、1957 年の事故、これについて説明します。それからカラチャイ湖という湖、そしてその乾燥の話をしします。67 年の話になります。さらにテチャ川と、その氾濫原、それからより大きな河川系、テチャ、イセチ、トボル、エルティシ、オビ河川系について話をしします。

00 : 05 : 04

これはマヤークからの放出の影響を受けた河川系であります。それから修復活動についても説明します。この南ウラルで汚染された地域でどのような修復がなされたのか。そして最後に幾つかのメッセージということで話していきたいと思えます。

こちらですが、まず地図を示しています。どこの話かということをお分かりいただくためです。こちら全体、ロシアと右のほうに日本があります。英国、アイルランドが左上のほうにあります。今問題にしているのが、このマヤークと、マヤーク生産連合体という施設ですが、これは南ウラルに位置しております。ヨーロッパとアジアの境界線近くです。そしてマヤークというのはテチャ川の上流に位置しております。このテチャ川というのは、より大きな河川系の一部を成しています。その河川系を示しているのが、こちらです。マヤークはここにあります。テチャ川がここにあつて、それがイセチ川に流れ込んで、さらにトボル川、それがエルティシ川と合流して、そして最後にはオビ川に入って北極海のカラ海のほうに

それが流れ込むという形になっています。ですので、全体としては 1,000 キロメートルの河川系となります。その河川系全体がマヤークの放出の影響を受けたということになります。

マヤークの生産連合体ですが、これはロシアの奥のほう、国営の原子力会社ロスアトムが所有しています。そしてチェリャビンスクの北部にあってキシュテムとカスリという町の近くにあります。マヤークが赤で示されている所です。マヤーク生産連合体が赤です。キシュテムがここです。そしてカスリがあります。チェリャビンスクはこちらです。そしてこの施設は 1940 年代末に設置されました。これは兵器級のプルトニウムの生産のために造られた施設です。ですからサバンナリバーとセラフィールドと同じような背景を持っています。マヤークは今でも軍事用の生産をしていますが、兵器級のプルトニウムの生産は 1987 年で終了しております。そしてそれ以降は主に非軍事の目的のための活動を行っております。

さて、1948 年には最初の軍事用の原子炉が設置されていまして。そしてこの軍事用の原子炉は 39 年間運転し、プルトニウムを生産しました。停止したのは 1987 年です。こちらをご覧くださいですが、マヤークの詳細な地図です。そしてこの健康保護地区というのがここに設定されています。そして観察区域というのがその周りに設定されています。農業、それから住宅の建設というのは健康保護区域の中では禁止されています。それ以外の所では、その外側では、それは許可されています。

残念ながらマヤークの開発中にさまざまな大きな判断ミスがあつて、そして技術的な失敗があつて、このマヤークの周辺に大きな環境汚染を引き起こしました。幾つかの大きな事象をここに示しております。まず中レベル、液体廃棄物を直接テチャ川に排出したということが 49 年から 56 年まで行われました。それから液体廃棄物をカラチャイ湖に排出した。これは 51 年から行いました。それからキシュテム事故が発生したのが 57 年。

00 : 10 : 05

それから 67 年には、このカラチャイ湖の湖底の土が乾燥して、それが風で巻き上げられて拡散したということがありました。ということで、南ウラル放射能汚染ということと言ってもいろんな放出源がある、いろんなプロセスがあつたということです。短期的な影響をもたらしたのもあつたし、長期的に慢性的に放出されたという事象もあつたわけです。

こちらの写真ですが、マヤークのサイトとカラチャイ湖が示されています。マヤークと、それからテチェ川はこちらのほうに示されています。そして東ウラル放射能トレースが示されています。これはこの事故の結果、発生したわけですけども、これキシュテム事故と言われていますがキシュテムという町には実は何の関係もない、マヤークのほうで発生した事故のことです。これがテチャ川、そしてこれが汚染の様子を示しています。風によって堆積物がカラチャイ湖から巻き上げられた。これは乾燥期に発生したのですが、そして強風によって巻き上げられたと、拡散したということがありました。その様子を示しています。こちらは人の健康、そして環境の両方に影響を与えています。そして結果として 1 万 6,000 人以上、40 の村、集落の人たちが移転を余儀なくされました。そしてマヤークの活動に対しての公衆の反対運動が高まったわけでありまして。50 年代中頃以降はかなりの予算と、そ

れから科学技術能力の多くを汚染された土地の修復に振り向けざるを得なくなりました。

放射性核種は、このマヤーク周辺の自然●への放出が行われました。これは 1948 年から始まったものです。最初の現象が出始めたときからです。まずはこの 1 次冷却水がキジルタシュ湖に放出されていました。そしてこの調整池というのは他の原子炉の冷却水の水源として、ずっと 90 年まで使われていました。ということで、この調整池に入る水には短寿命の放射化生成物が含まれていました。高レベルの廃棄物の生産が始まったのは 49 年以降です。照射済みの燃料の再処理が初めて行われたのがそのときです。そしてそれ以降、マヤークの活動がサイト、それからその周辺地域に大きな影響を与えるようになっていったというわけです。ということで自然湖沼の多く、湖や池が低中レベル廃棄物の貯蔵のために運転中、使われたということでもあります。その中にはカラチャイ湖も含まれていたということなんです。カラチャイ湖がここにあります。調整池 17、3、4、こういった池が使われていました。人工的な調整池も作られました。テチャ川にダムを設けて、そしてそういった池を作っていたわけです。それが例えば 11 なのです。

この表に放射能のインベントリーを示しています。セシウム 137、ストロンチウム 90 が中心です。最も多くインベントリーを持つのがカラチャイ湖です。4,400 ペタベクレルという量です。

00 : 15 : 01

中レベル液体廃棄物、中間液体廃棄物のテチャ川への放出が定常的に 49 年から 56 年まで行われました。それから液体廃棄物、それがこの自然湖沼に排出された。それがその後整備されて、この工業用調整池になった。これは調整池の 3 番になった。その 3 から流出したものが 4 に入っていた。4 というのは、もともとは小さな自然の池であった。この 3、4 というのは汚染水の沈殿池として機能した。49 年から 56 年の間に 100 ペタベクレル以上が池の 3 番に放出されたということでもあります。周辺の地域がどのように変化していったかということを経時的に示しています。この調整池、池が人工的にまた新たに作られて、汚染水の沈殿のために使われたということを示しています。それがさらにテチャ川の下流に拡散しないようにということで作られたわけでもあります。この人工調整池がダムによって作られました。そういったダムが作られたことによって放射性核種の拡散の、テチャ川への放出というのがある程度防止されたわけです。

＝ベータエミッター＝のトータルの放出量は、これはセラフィールドからアイリッシュ海に放出された量と、ほぼ同量です。セラフィールドのほうは 52 年から 92 年の間の放出でした。＝アルファエミッター＝のマヤークからの放出というのはセラフィールドと比べて 500 分の 1 程度だった。そして放射能レベルの環境モニタリング、テチャ川におけるモニタリングは 51 年から始まっています。それから調整池の 3 番と 4 番、これがこの放射能の沈殿において非常に重要な役割を果たしました。ストロンチウム 90 の 68 パーセント、セシウム 137 の 89 パーセントが、この調整池 3、4 の湖底で補足されています。この小さな池の底に、それがたまっているということでもあります。調整池 10 番が建設された

き、テチャ川に入っていく放射性核種が大幅に減少しました。ダム 10 より下流に入っていく放射性核種というのが 1 日当たり 50 から 960 ギガベクレルから 18 ギガベクレルに減少しました。そしてその後、ダムの 11 番がさらに建設され放出される放射能の量はさらに減少しました。このテチャ川に排出される量はかなり減ったというわけです。

これは空間的、継時的なこの放射能の量を示しています。テチャ川、イセチ川の状況です。こちら側はトータルベータ放射能を示しております。テチャ川沿いのある地点、もう 1 つの地点がもう少し下流の所です。トータルのベータ放射能、こちらは距離で示しています。入力点から、つまり放出の地点からの距離で示しています。これも時間依存性があります。この線が、それぞれ異なる年を示しています。

00 : 19 : 57

ストロンチウム 90 とセシウム 137 の放出、これが起きたのが 49 年から 56 年の間ですが、240 平方キロメートルのテチャ川の氾濫原を汚染しました。80 平方キロメートルにおいては 3.7 掛ける 10 の 10 乗ベクレルパー平方キロメートルとなっています。7,500 人が 20 の集落から避難しています。これは 53 年から 60 年の間に移転をしているわけです。放射線線量としては 35 から 1,700 ミリシーベルトの間でした。そして中間液体廃棄物のテチャ川への放出、49 年から 56 年の間に 100 ペタベクレル以上となっていて、この放出を認めたのは、これは重大な判断ミスだったというふうに捉えられています。

さてカラチャイ湖、この湖、これは地球上で最も汚染された湖として知られています。この貯水池、もともとは浅い自然の湖でした。干ばつときには干上がるという傾向がありました。1940 年代には 750 メートル掛ける 450 メートル、そして深さが 1.5 メートル、そして面積が 26.5 ヘクタールというものでした。51 年以降、この湖は液体廃棄物の貯蔵のために使われました。それまではテチャ川に流していました。51 年と 2005 年の間、556 メガキュリのベータ放射能がカラチャイ湖に放出されました。核種の内訳を見るとストロンチウム 90、イットリウム 90、セシウム、ジルコニウム、ニオビウム 95、セリウム、ニルティウム 238、コバルト、ウラン、プルトニウム、超ウラン元素などが含まれています。年間の平均ベータ放射能、液体廃棄物の放射能は 1.2 掛ける 10 の 9 乗から 1.6 掛け 10 の 10 乗ベクレルパーリッターでした。

放射性核種は各調整池の中で、このように配分されています。水中に 7 パーセント、それから池の底の土の中に 41 パーセント、それから非晶質の水酸化物に 52 パーセントです。93 年、ストロンチウムのカラチャイ湖の放射能濃度はリッター当たり 70 メガベクレルに達していました。セシウム 137 に関してはリッター当たり 100 メガベクレルに到達していました。

地下水のサンプルをカラチャイ湖の周辺で採取されています。ストロンチウム 90 がリッター当たり 9,000 ベクレルまで測定されています。それからコバルト 60 に関してはリッター当たり 4,000 ベクレルが測定されています。その放出源というのはカラチャイ湖であります。そこから進出していると。そしてこの水平移動速度は年間 80 メートルです。最も汚

染された井戸ではウランも高濃度で検出されています。さまざまなウランの同位体が検出されています。

そしてこちらは放射性核種の拡散、地下水における拡散を示しています。カラチャイ湖の周辺です。カラチャイ湖はここです。これが地下水の帯水層です。ストロンチウム 90 が左側、コバルト 60 が右側です。ストロンチウム 90、コバルト 60 というのは移動度が高い放射性核種です。

00 : 25 : 07

例えばセシウムと比べて、セシウムの濃度のほうが、従って地下水においては、より低くなっております。

こちらはウランの地下水における拡散です。これもカラチャイ湖の周辺でということです。そしてウランのレベルの統治性を示しています。それから硝酸塩、硝酸イオン、こちらでも高い濃度で廃棄物に含まれていました。その硝酸塩が地下水にどのように拡散したのかということはこちらは示しています。カラチャイ湖の周辺でということです。

さて、高レベル液体廃棄物が入ったタンクが 1957 年 9 月に爆発しました。その結果、いわゆるキシユテム事故が展開していったわけでありまして。740 ペタベクレルが、この事故の間に放出されました。推定ですが、およそ 90 パーセントがその爆発地点のすぐ近くに沈降したと見られています。高レベルの液体廃棄物が入っていたタンク、これは「トム」が示したものと似通っています。しかし発熱反応があった、そして冷却ができなかったということで爆発に至ってしまったと。そして液体廃棄物が放出されてしまったというわけです。74 ペタベクレルの放射能が大気に放出された。風に乗せられて拡散していった。それが東ウラル放射能トレースとなったわけです。これは幅が 30 から 50 キロメートル、そして長さがおおよそ 300 キロメートルになりました。マヤークから北東の方向に伸びていきました。大きな都市が、このトレースの近くに存在しています。「ユカテリブルック」、「スプロースク」、「チェリャビンスク」もこちらにあります。1 万 5,000 から 2 万平方キロメートルの土地において、汚染のレベルが平方メートル当たり 3.7 キロベクレル以上になりました。これはストロンチウム 90 に関してです。それから平方メートル当たり 74 キロベクレルというのが、これが避難の基準値となりました。ストロンチウム 90 が 74 キロベクレル以上であるならば避難ということになりました。およそ 1,000 平方キロメートルが東ウラル放射能トレースということになりました。最大の汚染濃度、これは爆発地点近くで測定され、これはストロンチウム 90、平方メートル当たり 150 メガベクレルが測定されています。

さて、こちらが放射性核種の比率であります。これがマヤークのサイト境界外で測定された結果です。事故が起きたとき、この地域の 63 パーセントは農地として使われていました。20 パーセントは森林、そして農村集落が 23、この地域に存在していました。これらの地域に住んでいた人たち 1 万 700 人が避難の対象となりました。事故発生後 22 カ月間、避難を行いました。またこの地域のさらなる利用は一時的に禁止されました。しかし 1961 年、この地域の修復が始まりました。

B : 1967 年 4 月 10 日から 5 月 15 日までの期間、汚染された土砂がカラチャイ湖から出て、それが風によって拡散しました。

00 : 30 : 00

暴風雨によって拡散し、マヤークのサイトから最大 50 キロ、75 キロの距離の所まで拡散しました。推定 22 テラベクレルが、この汚染の事象と関連しているから見られています。セシウム 137 は支配的な長寿の放射性核種で、この放出の合成成分となっており、トータルの放射能インベントリーの 75 パーセントを占めていました。ほとんどの降下物というのはカラチャイ湖の近く、マヤークサイトの中に沈着しました。さまざまな方向から来る風の影響によって汚染密度分布は、この影響のあった領域では不均一となっていました。そしてその区域の境界線を見ると複雑な構成になっています。汚染はマヤークのサイトから 50 キロから 70 キロの距離まで届きました。そして降下が起きたのは、主にはマヤークの北東、そして東部です。一部は東ウラル放射能トレース地域の中央部と重なっています。マヤークサイトの境界線を越えた所では、このトレースの長さは 15 キロ、そして幅は 1.5 から 3 キロでした。そしてこの植生や土壌の表面汚染が支配的であり、放射性核種でこの降下粒子に関連する生物学的●は低かったわけです。根による接種、そしてストロンチウム 90、そしてセシウムの 137 の農作物、そして牛のミルクに対する移転というのは比較的低いものでした。そしてキシテム事故の地域の移転係数はストロンチウム 90、そしてセシウム 137 の農作物に対する移転、そして牛のミルクに対する移転は 1967 年の事故によっては 2 分の 1 から 10 分の 1 ということになりました。そしてこの事象の放射線の影響というのは最低限のものというふうに見積もられています。そして居住区に対するガンマ線の線量率の上昇は 1 時間当たり 40 から 70 マイクロシーベルトを超えることはありませんでした。これはその事故の初期の段階のことです。そしてこの線量率は大体、= 事故半減期 = に 2~3 カ月で減少しました。そして農産物に対する放射能の表面汚染は最大の内部被ばくを受けた人に関しても、最初の年でも許容値の数パーセントに過ぎませんでした。そしてその事故の 2~3 年後にバックグラウンドレベルにまで下がりました。そして地下水、あるいはこの湖の水の中で、この周囲で何か観測されるべき増加は見られませんでした。

次は河川系です。初歩的なアプローチが現場の調査に対して行われました。これは船での放射性体調査を河川系全体について行う。そして水を重要な地域の 1 つに関して定期的にサンプルを取る。これは水門循環に通じて行うということです。人工放射性物質、セシウム 137、ストロンチウム 90、そしてプルトニウムの測定を行いました。2004 年と 2005 年、放射性調査が行われました。= PRA = タイフーンという会社によってです。これはテチャ川の下流とオビ川にエルティシ川から注ぐ地点の所です。全体としては 1,400 キロの距離でした。こちらで河川系全体が見えます。これがオビ川、さらに北極海へと注いでいます。マヤークは、こちら。これはテチャ川、そしてオビ川、エルティシ川、そしてオビ川です。

00 : 35 : 00

失礼、最初のはトボル川です。この河川系全体がストロンチウム 90 の拡散が、この河川

に沿って検知されました。

こちらでは放射性生態学の調査の様子を示しています。大きな河川では船を使っています。これは遠征に出た現場調査隊が泊まったキャンプ場です。シンプルな装備などを持っています。これは車で運転してロシアの道路を走っていった様子です。時には道路の体を成していない所もありました。

こちらがテチャ川です。そしてこの水のモニタリングの課題は放射性核種を非常に高い濃度、テチャ川の高い濃度、そして池の高い濃度からバックグラウンドのレベルに至るまで測定しなければいけなかったということです。バックグラウンドは非常に低いわけです。ですからその目的にかなうものためにフィールドで使ったのは大量のサンプルを採取できるものでした。例えば数百、あるいは数千リットルといったレベルです。こういったシステムはタイフーン社が開発し、こちらに示されています。複数層のろ過システムで大量の流量には効果的です。これによって水をろ過することができます。直接フィールドでろ過ができます。そして懸濁物質をフィルターの中から取って、そしてカートリッジにセシウムが吸着します。繊維、あるいはその他に浸潤したものになります。このシステムは 1970 年代、そして 80 年代に開発されたもので海洋水、そして表層水などに使われています。

こちらはストロンチウム 90 のトボル川、そしてエルティシ川でのモニタリングの結果を示しています。これは影響を受けた地域におけるものですが、まずマヤークのストロンチウムがかなりマヤーク自身から遠く離れた所でも検知されています。トボル川がエルティシ川に合流する所まで見られます。自然の希釈が濃度に影響を与えているということが分かります。ここはトボル川の河口です。ここはストロンチウムでトボル川でマヤークから運ばれたものです。そしてこちらは近くですがエルティシ川の下流の濃度です。トボル川と合流した後です。大きく濃度が減少しています。こちらが = スキーム =、トボル川がこちらにあります。= トボルスク = がこちらにあります。これがトボル川で放射性核種がマヤークから取り込まれています。

こちら興味深いグラフです。マヤークの放射性廃棄物の輸送の影響が見られます。これがストロンチウム 90 としてエルティシ川、そしてオビ川の交わった所まで見られています。これは先ほどのスライドよりも、さらに遠い所まで到達しています。こちらの距離、これはダム 11 からの距離です。

00 : 39 : 59

つまり保護地区が終わる所、境界からの距離です。このストロンチウムがいかにかこの河川系の水によって希釈されているかが分かります。遠く離れれば、そして新しい主流が合流して、そして希釈がされ、ストロンチウムの濃度がバックグラウンドのレベルまで減少しています。こちらオビ川の所ではバックグラウンドまで下がっています。

修復措置ですが、これは南ウラルの汚染地区で行われました。1951 年に開始しましたが、最初は一連のダムが建設されました。これは閉鎖制の湖でテチャ川のその他の地域から隔離するためです。南北の水路を使って、そして汚染されていない河川の水を迂回させました。

1960年までには7,500人の人が22の村落からテチャ川の上流で避難をしました。そして立ち入り禁止区域がマヤークのサイト周囲に設置されました。これは湖も含め、また調整池など、そして●も入っています。そしてかなりの放射性核種がそこに保持されました。つまり歴史的にこういった措置がどう取られたか、そして追加的な調整池が作られ汚染された粒子をそこに沈着させたわけです。さらなる長期的な措置を導入し、テチャ川流域の居住地に住んでいる人たちの被ばくを低減しました。そして氾濫原には壁が造られて、そこに人や家畜が近づくことは制限されました。また飲料水、また川での漁業、釣りの制限も導入されました。また井戸やパイプラインの建設によって汚染されていない飲料水が1953年から提供され始め、50年までには居住者、あるいは牛に関しては他の水源からの水が提供されました。しかしまだこの河川の汚染されたものの消費ということが1956年までは続き、さらなる措置がそのときに取られました。この長期的な措置はまだ取られていますが、それでも村の人たちは必ずしもこういった制限に従っているわけではない。そして時に川で魚を取ったり動物を氾濫原で草をはませたりしているということがエビデンスとして分かっています。

現在、そして将来的な優先事項としては、この居住地に汚染がさらに広がることを防止する。それは制限区域の中でさらに修復措置を取ることによって行っていきます。しかしながら下流域での被ばく低減も考えなければなりません。例えば土砂の表層度を除去する。あるいは破砕岩で汚染した土砂を遮蔽するなどの措置が考えられます。

カラチャイ湖、あるいは周囲の修復ですが、1967年から1971年まで修復作業が行われ湖を覆うことになりました。浅い所を埋め立て、そして貯水池の周りを再工作しました。そして岸边に関しては岩によって強化され、57万立方メートルの土壌、そして1万2,000立米の砂利、そして9,000立米の岩がカラチャイ湖の中、そしてその周囲に埋め立てられました。これによって水の表面積がかなり低減されました。そしてさらに貯水池のモニタリングとして水位を厳重に管理しました。もし水位がある最低限の許容値を下回った場合にはクリンな水がカラチャイ湖の中に追加されました。

こうした措置を取ったにも関わらず、カラチャイ湖は今も大気汚染の可能性ががあります。例えば旋風が発生すると放射性核種が広域に拡散する可能性があります。

00 : 45 : 04

貯水池全体を覆って浮遊性の底質の土砂を不動化するということが決められました。1978年から86年、手法が開発されてカラチャイ湖は中空コンクリートブロックと破砕岩で埋め立てることになりました。1986年から、この貯水池埋め立ての作業が3段階に分けられて開始されました。こちらは、この段階は飛ばしたいと思います。このカラチャイ湖の表面積は大きく縮小しました。そして今年の11月、カラチャイ湖は完全に覆われました。今は、この湖は存在していません。しかし地下水の汚染はまだあります。それが最近の主な懸念となっています。地下水は、かなり大きく汚染されており、その汚染が拡散するので、その地域は管理下に置かなければなりません。

ということで、私のプレゼンテーションの主なメッセージですが、放射性物質のマヤークからの環境への拡散によって環境そのものにも有害な影響を与え、また土地の利用も制限され住民が多くの居住区から移転することになり、人に対する健康影響も観察されました。そして一番大きな懸念の放射性核種はストロンチウム 90 です。これは土砂や土壌から再浮遊しセシウム 137、プルトニウムに比べて大きく広がります。また地下水の汚染が増加しています。特にストロンチウム、そしてコバルトによる汚染がカラチャイ湖で見られるということ。これが非常に深刻な懸念です。今もこれは課題となっています。そして汚染水のテチャの輸送を避けるために非常に大きな貯水池の修復が 1956 年から 63 年に行われました。この修復プログラムとしてカラチャイ湖を埋め立てるという作業が昨年 11 月に終了しました。湖の表面積は 0.51 平方キロメートルから 0 に低減されました。ご清聴ありがとうございました。

司会：Konoplev 先生、ありがとうございました。では質問、それからコメントある方、挙手をお願いします。恩田先生、お願いします。

恩田：貴重な講演どうもありがとうございました。汚染の大きさも去ることながら、この下流への影響というのが調べられているというところで非常に興味深かったんですが、そういった意味でストロンチウムの下流、そうですね、この図なんですけれども、これは、この流量の比から見て単純に希釈したと見てよろしいでしょうか。それともやっぱり蒸発等で例えば何十パーセントかロスしたとか、何かこの濃度と流量の関係みたいなものは分かったことはありますでしょうか。

A：もちろんあります。これは全てモニターされているものです。そしてさらに近年では、この放射性核種の移動に関してもいろいろなモデリングが行われております。

00 : 49 : 59

流量、そして気象条件、そういったものをさまざま考慮して、また水文学、それから放射線学を合わせております。希釈だけではありません。というのも放射性核種が「=テイド=」にも入っていくということがあるからです。ですからそういったものを全て考慮する必要があります。個別に、そしてお互いの環境を見る必要があるということで、その懸濁されたセグメントは流れていく。水が汚染されているときには水からそれを吸収する。きれいな水が入ってきて希釈されると。そうすると浮遊物質が再移動して放出されて、このセシウムその他の放射性核種は浮遊堆積物からまた水に入っていく。そしてその役割というのは、それから川底の堆積物も役割を果たしています。というのも川の流れが底質度と相互作用を持っているからです。ですから流量によって減るといいうものもあるわけですが、そのトレース、ストロンチウムで見てみます。最も移動度の高い放射性核種ですが、それについてはトレースが見られる。しかしセシウムに関しては見られない。テチャ川、それからこのキシテム事故の周辺では見られるわけですが、しかし水と一緒にセシウムはあまり動かない。そこで沈降して粒子と結合している。そしてそこにたまっている。しかしストロンチウムのほうは動いていくということが分かっています。それは持つ特性によるものです。Kd 値が低い、

なので移動度が高いということです。純粋な溶存トリチウムなどとは違います。トリチウムは水の流れと動いていく。ストロンチウムはトリチウムとは違います。しかしセシウムよりは動きやすいということで、ストロンチウムはこのオビ川でも検出されます。実は北極海でも検出できます。サイトは北極海からはかなり遠くに離れているわけですがそれでも、ということ非常に複雑なプロセスが存在しています。=リタデーション=もあると。この吸収脱着もあると。それから固定化もあると。いずれにせよ放射性核種の移動度というのが非常に重要だということが言えます。お答えになるでしょうか。

恩田：ありがとうございます。

司会：ありがとうございます。ではお願いします。

C：この図に関連してなんですが、もしデータがあったら教えていただきたいんですが、水だけじゃなくてウォッシュアウトで、この地域全体が●いると思うんで、そのウォッシュアウトによる影響は最初何年ぐらい続いたのかとかっていうエスティメートというかデータがあったら教えていただきたいんですけど。

B：汚染地域からのウォッシュアウト、●ということももちろん考慮しています。そしてテチャ川の氾濫原は極めて高濃度の汚染となっています。これが寄与しています。しかしやはりまだストロンチウムの主要な源泉はダムを通じたの浸潤、またこの貯水池の底質からの浸潤ということです。これが主なストロンチウムのバランス、収支で、テチャ川の下流での大きな比率となっています。

00 : 55 : 02

もちろんウォッシュアウトも寄与はしていますが、この河川系では大きなインプットにはなっていません。時にはウォッシュアウトが主要なものになりますが、ここでは、福島では非常に重要な要素になっていますが、マヤークでは他の源泉のほうが重要です。非常に液体廃棄物であるとか、それが直接の液体廃棄物がテチャ川にあるとその放射能が底質の堆積物などで蓄積されています。時間がたつにつれて、それがまた再浮遊します。底質が再浮遊するということになります。よろしいでしょうか。

司会：ありがとうございます。他にありませんでしょうか。

A：いい発表でした。健康影響について少し触れられましたが、もう少し詳しく教えていただけますか。人間、あるいは環境に対する影響、それは記録されていますでしょうか。

記録されています。が、私は健康の専門家ではありません。そういった論文などが公表されているということで知っているという程度です。ですからそういった論文を後ほどよろしければご紹介します。ただこの非常に機微な問題に対して専門家でもないので、不用意な発言は避けたいと思います。

司会：他にご質問、ご意見などありますか。では私から1つ●でしょうか。先ほどの恩田先生の質問に少し関連するのですが、途中でもセシウムの測定のためにろ過をして溶存態と溶存種と、それからパーティクルとして存在しているものと分けて測定していらっしゃるけれども、その経年変化、経時変化のデータをお持ちでしたら見せてください。と

というのは、よくご存じのように福島の場合はほとんどが、事故の直後は溶けているセシウムも多く、だけれども、その後にはすぐ粒子にくっついていてセシウムのほうが多くて、ただこのような土地では、とても肥沃な土地で有機物もたくさんあって溶けているセシウムも溶けているセシウムの濃度もずっと高かったと報告がされていると思うんですけども、実際にどれぐらいの割合で溶存態、溶存種があったのかというのがあれば教えてください。B：既にご説明しましたが、よろしいですか。セシウムは強く粒子に結合しています。特に鉍物などには結合していますが、ここではセシウムをモニタリングしています。ストロンチウム、その他と共にモニタリングしています。それで今回はセシウムのモニタリングだけをご紹介しますとただけです。というのは、このろ過システムというのは今、非常にどこにでも使われています。日本でも広まっています。しかしこの河川系の中では、実際にはバックグラウンドレベルのセシウムが観察されました。それはグローバルの核物質●で決められたものです。例えばマヤークからのこの距離で、セシウムはマヤークから来たものとしては検知されていませんでした。既に結合して沈着してしまっていたからです。ここ福島では非常に幸運だと思います。というのは、福島では粘土の鉍物が河川の中にあり、放射性セシウムの比率は溶存態では非常に比率が低いからです。ほとんどの放射性セシウムは粒子に結合しています。

01 : 00 : 03

それは良いことです。放射性セシウムの移動性ということを考えてです。ただ、だからといって放射性が、失礼、セシウムが動かないというわけではありません。セシウムは粒子と共に動きます。懸濁の土砂であったり、あるいは極端な洪水のときの沈着物などとして移動します。しかしながら放射性セシウムの移動度、福島の場合には低いわけです。チェルノブイリと比べても低いですし、南ウラルのケースと比べても低いと言えます。またもう1つの違いは、かなり洪水量が多いということです。この南ウラルでは年間の降水量は400ミリメートルです。日本では一部の地域では4,000ミリという所もあります。降水量というのは非常に重要な要因です。降水量によって流況水が生まれます。そして粒子が動いたりします。例えば減水が放射性セシウムに関しては早くなります。例えば流域に沈着したのに関してです。流況が非常に流況水が早いということがあります。降水量が多いからです。しかし降水だけではなく非常に急斜面があります。山が多い。山間部の流域などがあります。でもそういったものは、われわれのこの平原のほうの地域ではありません。この2つの要因、つまり降水量と急斜面の違いがあります。でももう1つ、年間の平均温度も高いということがあります。土壌が凍結することは多分ないと思います。しかし1年に数カ月間、こちらの場合には土壌が凍結します。そのときにはセシウムは、その場所に固着して全く動きません。一部のロシアの地域ではウクライナでもそうですが、3カ月から6カ月、6カ月にはならないけれども3~4カ月は土壌が凍結します。しかし日本ではそういうことはありません。ですからもっと顕著な減水のプロセスがあるわけです。つまり汚染物質が拡散するということです。ですから自己浄化ということが日本のほうが高いと。チェルノブイリや南ウラル

と比べても高いと言えます。これでお答えになったかどうか分かりませんが、私が考えているのはこういうことです。

A：ありがとうございました。

司会：他にご意見、ご質問。ごめんなさい、じゃあ恩田先生の後ろの方から。

A：素晴らしい発表ありがとうございました。一般的な質問となります。放射能というのは当然、環境影響をもたらします。1つの国で環境影響を評価するということができるのでしょうか。最悪のケースで、どれぐらいの範囲で準備すればいいのでしょうか。

どういうことでしょうか。

最悪のケース、最も悪いケースにどう備えたらいいのでしょうか。最も大きなリスクがあるような災害について、どう備えればいいのでしょうか。

さまざまな状況の比較をしています。

01 : 04 : 58

プルトニウムの生産施設、それから事故による汚染、いろんな状況を比較しています。その状況というのは毎回異なります。ですから一般的な汚染のダイナミックスのパターンも異なる。減水も異なる。自己浄化の状況も異なる。しかし一般的な放射性核種の挙動の法則というのは大体もう分かっている。そういった知識というのは、もうおおむね確立されているわけです。もちろんそういったものを常に試して確認するの必要はありますけれども、本当に何が起きているか正確に理解できているか確認するの必要はあります。環境条件が全く異なる場合などには特に注意が必要です。例えば福島の状態、非常にチェルノブイリ、あるいはウラルとは異なっている、アメリカとも異なっているということで、その比較が難しくなるという要素は確かにあります。ただ基本的な挙動の法則というのは共通であって、その違いというのは十分に説明できるものであると。そのプロセスの違いというのも理解できる。そして放射性核種の特定、どのように、どのような形態で放出されたのかということも特定できるということで、これはある程度、世界中どの場所であっても予測可能なものだと思います。質問はそういう意味だったのでしょうか。ありがとうございました。

司会：では恩田先生。

恩田：ごめんなさい。このチェルノブイリ事故のときにマヤークの事例を参考に、事故の後の調査にマヤークの例を参考にされたというお話があったんですけども、例えば測定される、いわゆる例えば K_d の値として見ても多少気候が違いますね、マヤークとチェルノブイリ。その2つのマヤークのケースとチェルノブイリのケース、例えばセシウムとストロンチウムの K_d なりそういったものは多少違いがあるのか、ほとんど変わらないのか、どういう感じなのでしょう。

B：まず最初に申し上げたいのは、どの事故もそれぞれ固有のものであるということです。例えばキシユテムの事故は、一部の人はストロンチウムの事故だと呼んでいます。というのは、そのトレースが作られたのは主にストロンチウムだからです。ですから主な努力の焦点としてはストロンチウムの挙動の調査に充てられました。チェルノブイリの場合には混合

した事故だったと言えます。セシウムとストロンチウムが両方とも重要な役割を果たしました。それでも 30 キロの圏内、近い所ではセシウムとストロンチウム、両方とも重要な役割を果たしました。しかしその閉鎖地域の外の所では、主にはセシウムが一番関心のある元素となったわけです。例えば農家の人たち、あるいはヨーロッパの人たちは、チェルノブイリの事故はセシウムの事故だと呼んでいます。この件から見ると福島は、やはりセシウムの事故だと言えます。汚染はほとんど放射性セシウムによって形成されたからです。もちろんヨウ素はたくさんありましたが、ヨウ素は短寿命です。ですから問題のスケールが違います。影響は比較的短い期間だけにとどまったわけです。

01 : 10 : 00

ですからチェルノブイリとキシュテムの事故の比較という意味では何か深刻な違いが放射性セシウムの挙動、そして放射性ストロンチウムの挙動に見つかったとは言いません。しかし違いは一応あるにはありました。というのは、例えばチェルノブイリの場合、燃料の粒子が放出されました。それが水に溶ける水溶性のものであった。ですからキシュテムの事故の場合には液体廃棄物が放出されました。ストロンチウムとセシウムは、この液体廃棄物の中にありましたが、ほとんどは溶存態でした。この透明な溶液で、それは排水、排液となって捨てられたわけです。ですからセシウムとストロンチウムだったわけですが、ですから当初の放射性核種の科学形態はキシュテムの地域とチェルノブイリではかなり違っていたわけです。初期の放射性セシウムの核種の特定、チェルノブイリだけでもそれぞれ距離によって違いました。例えばイギリスでは、ほとんどは放射性セシウムは溶存態で沈着していました。つまり凝縮した粒子として存在していました。しかし 30 キロ圏内、あるいは 60 キロ圏内、200 キロのゾーンになってもかなり燃料の粒子があったわけです。これが大きく長期的なストロンチウムの挙動に影響を与えました。というのは、ストロンチウムは最初はこの粒子、燃料粒子から浸出し、そしてその後、生物学的に利用可能になった、あるいは移動したりしたわけです。ですからキシュテムとチェルノブイリでも違いはありました。しかしその違いというのは説明はつきます。われわれの放射性核種の特定という意味から、その理解からダイナミクスなどからも説明できます。それから Kd 値に関して、最初にストロンチウムの Kd 値をチェルノブイリで測定したときにはキシュテムよりもずっと高かったのです。でもそれは燃料粒子によるものでした。しかしストロンチウムは燃料の粒子の中に●され、そしてストロンチウムの固形層になったわけです。ですからそこに違いはありますが、違いは説明がつきます。つまりどうしてそうなったかは理解できるわけです。違いはあっても、それは説明ができるわけです。これをわれわれの知識に基づいて分析すれば、なぜそのような違いがあるかは説明ができます。

もう 1 つ、それぞれの事故の比較についての懸念について申し上げたいと思います。チェルノブイリに関しては、キシュテムは福島にとってのチェルノブイリのような前に起こった事故だったわけですが、しかし違いはありました。チェルノブイリに関してはたくさん出版物もありました。文献もありました。ウラルに関しては、この事故が起きたことすら

知らなかったんです。というのは、南ウラルに関する情報は完全に機密情報となってチェルノブイリの頃には、もうなくなっていたわけです。それでも経験を使ったわけです。キシュテムに関して。どのように使ったかっていうのは、実際にキシュテムの事故に関わった人たちが居たわけです。ですから頭の中にあった知識を共有してくれました。またその多くの人がわれわれの上司だったり教師であったりしたわけです。そういった人たちが●、●などチェルノブイリも関わってくれました。その人たちがチェルノブイリ事故の直後から関わって自分たちの知識を共有してくれました。私たちとしては、こういった人たちとコミュニケーションを取ることは非常に重要でした。というのは、私たち文献を読むこともできなかったわけです。書かれたものがなかったわけです。書かれた文書はありましたが、それは非常に個別のもので、それをリットル当たりの●とかそういった数字で公開はしてなかったわけです。

01 : 15 : 10

そういった感じもあります。ありがとうございました。

A : 答えになってないかもしれませんが、そういったことを考えています。福島が事故が発生したとき、これはチェルノブイリの25年後だったんです。チェルノブイリが起きたとき、それはキシュテムの29年後だったんです。ですから大体同じぐらいの年数の幅があったということで、われわれキシュテムから学んだ。福島はチェルノブイリから学ぶということが実際起きていると思います。

恩田 : 重要なお話ですので、どうもありがとうございました。

司会 : ありがとうございます。よろしいでしょうか。Konoplev先生、ありがとうございました。

〇〇 : ありがとうございます。