

© СМАГИН А.И., 2023

Читать  
онлайн  
Read  
online

Смагин А.И.

## Гигиеническая оценка загрязнения $^{90}\text{Sr}$ и $^{137}\text{Cs}$ воды и рыбы в озёрах головной части периферийной зоны Восточно-Уральского радиоактивного следа

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет», 454001, Челябинск, Россия;<sup>2</sup>ФГБУН «Южно-Уральский институт биофизики» Федерального медико-биологического агентства, 456780, Озёрск, Россия

**Введение.** В статье представлены результаты исследований удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в воде и рыбе озёр Иртыш и Кажаккуль, расположенных в периферийной зоне головной части Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРС), в 2014–2017 гг.

**Материалы и методы.** Определение гидрохимических показателей и уровней удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в воде и организме ресурсообразующего вида рыбы (плотва сибирская, сорога, чебак) — *Rutilus rutilus lacustris* (Linnaeus, 1758) осуществляли стандартизованными методами, принятыми в ФГБУЗ «Центральная медико-санитарная часть № 71 Федерального медико-биологического агентства России» (ФГБУЗ ЦМСЧ № 71 ФМБА России) и ЮУр ИБФ.

**Результаты.** Концентрации  $^{90}\text{Sr}$  в воде оз. Иртыш составляли  $0,019 \pm 0,008$ ,  $^{137}\text{Cs}$   $0,028 \pm 0,009$ , а в оз. Кажаккуль —  $0,19 \pm 0,06$  и  $0,14 \pm 0,06$  соответственно, то есть намного ниже уровня вмешательства (по НРБ-99/2009). Вода озёр используется для удовлетворения бытовых нужд. Вода оз. Иртыш используется для питьевого водоснабжения города Озёрска. Удельная активность сырой массы тушки плотвы из озёр Иртыш и Кажаккуль по накоплению  $^{90}\text{Sr}$  составляет  $2,7 \pm 1,1$  и  $64,5 \pm 19,0$ , а  $^{137}\text{Cs}$  —  $1,68 \pm 0,8$  и  $38 \pm 33,5$  Бк/кг соответственно. Все исследованные образцы в отдельности по концентрации  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  имели уровни радиоактивного загрязнения ниже нормативного показателя (СанПиН 2.3.2.1078–01). В то же время при учёте абсолютной расширенной неопределённости (при коэффициенте охвата  $k = 2$ ) плотва из оз. Кажаккуль имеет значимое превышение предельного уровня радиоактивного загрязнения.

**Ограничения исследования.** Гидрохимические показатели водной среды в различных водоёмах могут значительно меняться во времени и влиять на накопление радионуклидов гидробионтами. Поэтому результаты исследований полностью актуальны только для периода исследований. Для получения более надёжных результатов необходим многолетний комплексный мониторинг.

**Заключение.** За 60 лет, прошедших после аварии на ПО «Маяк» в 1957 г., уровни радиоактивного загрязнения воды и рыбы в исследованных озёрах Иртыш и Кажаккуль уменьшились более чем в 10 раз. Расчёт доз ионизирующего излучения на отдельные группы населения загрязнённых в результате аварий районов, проживающего вблизи озёр, — сложная задача, для решения которой необходимы дополнительные исследования.

**Ключевые слова:** радиоактивное загрязнение; озеро Иртыш; озеро Кажаккуль; вода; плотва сибирская (*Rutilus rutilus lacustris*); накопление; уровни вмешательства; санитарные нормы

**Соблюдение этических стандартов.** Исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Для цитирования: Смагин А.И. Гигиеническая оценка загрязнения  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  воды и рыбы в озёрах головной части периферийной зоны Восточно-Уральского радиоактивного следа. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(3): 208–213. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-3-208-213> <https://elibrary.ru/uutygo>

Для корреспонденции: Смагин Андрей Иванович, доктор биол. наук, профессор каф. геоэкологии и природопользования Челябинского государственного университета, 454001, Челябинск; науч. сотр. лаб. гигиены и санитарии Южно-Уральского института биофизики, 456780, Озёрск. E-mail: smagin54@mail.ru

**Конфликт интересов.** Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 13.11.2022 / Принята к печати: 24.03.2023 / Опубликована: 20.04.2023

Andrej I. Smagin

## Hygienic assessment of $^{90}\text{Sr}$ and $^{137}\text{Cs}$ contamination of water and fish in the lakes of the head part of the peripheral zone of the East Ural radioactive trace

<sup>1</sup>Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, 454001, Russian Federation;<sup>2</sup>South Ural Institute of Biophysics, Ozersk, 456780, Russian Federation

**Introduction.** The article presents the results of studies of the specific activity of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in the water and fish of the Irtyash and Kazhakul lakes located in the peripheral zone of the head of the East Ural Radioactive trace in 2014–2017.

**Materials and methods.** Determination of the levels of specific  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in the water and the body of the resource-forming species of Siberian roach (sорога, chebak) *Rutilus rutilus lacustris* (Linnaeus, 1758) from the studied lakes was carried out over the period of 2012–2017. The measurements were carried out using standardized methods adopted in the Federal State Budgetary Institution “Central Medical and Sanitary Unit No. 71 of the Federal Medical and Biological Agency of Russia” (FGBUZ TsMSCH No. 71 of the Federal Medical and Biological Agency of Russia) and the Southern Ural.

**Results.** The research was carried out over 2014 to 2017. Since the accident at the Mayak enterprise in the fall of 1957, the specific radioactivity of the water in the studied lakes was found to decrease. The concentration of  $^{90}\text{Sr}$  in the water of Irtyash lake was  $0.019 \pm 0.008$ , and  $^{137}\text{Cs}$  —  $0.028 \pm 0.009$ , and in Lake Kazhakul —  $0.19 \pm 0.06$  and  $0.14 \pm 0.06$ , respectively. These values are much lower than the level of intervention according to NRB-99/2009. The water of the lakes is used to meet household needs. The water of Lake Irtyash is used for drinking water supply of the city of Ozersk. The specific activity of the raw mass of a roach carcass from the Irtyash and Kazhakul lakes for the accumulation of  $^{90}\text{Sr}$  is  $2.7 \pm 1.7$  and  $64.5 \pm 19$  and  $^{137}\text{Cs}$  —  $1.68 \pm 0.8$  and  $38 \pm 33.5$  Bq/kg, respectively. All the samples studied separately according to  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  had levels of radioactive contamination at or below the regulatory compliance indicator (SanPiN 2.3.2.1078–01). At the same time, taking into account the absolute extended uncertainty (with a coverage factor of  $k = 2$ ) roach from Kazhakul lake has a significant excess of the limit level of radioactive contamination.

**Limitations.** Hydrochemical parameters of the aquatic environment in various reservoirs can vary significantly over time and affect the accumulation of radionuclides by hydrobionts. Therefore, the research results are relevant only for the research period. To obtain more reliable results, long-term comprehensive monitoring is necessary.

**Conclusion.** Over the past 60 years after the accident at the Mayak enterprise in 1957, the levels of radioactive contamination of water and fish in the studied lakes Irtyash and Kozhakul have decreased by more than 10 times. Calculation of doses of ionizing radiation for certain groups of the population of areas contaminated as a result of accidents, living near lakes, is a complex task, for which additional research is needed.

**Keywords:** radioactive contamination; lake Irtyash; lake Kazhakul; water; Siberian roach (*Rutilus rutilus lacustris*); accumulation; intervention levels; sanitary norms

**Compliance with ethical standards.** The study does not require the submission of the conclusion of the Biomedical ethics committee or other documents.

**For citation:** Smagin A.I. Hygienic assessment of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  contamination of water and fish in the lakes of the head part of the peripheral zone of the East Ural radioactive trace. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(3): 208–213. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-3-208-213> <https://elibrary.ru/uutygo> (In Russian)

**For correspondence:** Andrej I. Smagin, MD, PhD, DSci, professor of the Department of the geocology and natural management, Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, 454001, Russian Federation; South Ural Institute of Biophysics, Ozersk, 456780, Russian Federation. E-mail: smagin54@mail.ru

**Information about authors:** Smagin A.I., <https://orcid.org/0000-0003-3374-8149>

**Conflict of interest.** The author declares no conflict of interest.

**Acknowledgement.** The study had no sponsorship.

Received: November 11, 2022 / Accepted: March 24, 2023 / Published: April 20, 2023

## Введение

В результате ряда аварий на радиационно опасном производстве оборонного ядерного комплекса ПО «Маяк» в 50–60-х годах XX века произошло радиоактивное загрязнение обширных территорий на восточном склоне Южно-Уральских гор. Химический взрыв ёмкости – хранилища, заполненного химическими растворами высокоактивных радиоактивных отходов, осенью 1957 г. привёл к выбросу в окружающую среду  $7,4 \cdot 10^{17}$  Бк смеси радионуклидов. Около  $7,4 \cdot 10^{16}$  Бк было вынесено за территорию промышленной площадки ПО «Маяк» в виде Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРСа). Радиоактивный след прошёл неширокой полосой по северу Челябинской, Свердловской и Курганской областей. Через 10 лет территории в районе ПО «Маяк» подверглись вторичному радиоактивному загрязнению. В засуху 60–70-х годов XX века, наступившую в результате циклических изменений климата, произошло обмеление водоёмов на восточном склоне Южного Урала. Значительно упал уровень воды в верховом болоте на территории промышленной площадки ПО «Маяк» оз. Карачай (В-9), куда поступали химические растворы радиоактивных отходов. Весной 1967 г. высохший радиоактивный ил с обжигавшихся обширных мелководий и пепел горящего тростника был вынесен ветром на значительные расстояния вокруг ПО «Маяк». В окружающую среду поступило около  $2,2 \cdot 10^{14}$  Бк высокоактивной смеси радионуклидов. В 1967 г. количество радионуклидов, вынесенных из водоёма-хранилища, было в 300 раз меньше, чем при аварии 1957 г. [1–3].

Аварии на ПО «Маяк» привели к загрязнению многочисленных озёр Зауралья. Исследования современных уровней радиоактивного загрязнения водных экосистем, пострадавших от радиационных аварий, имеют не только теоретическое, но и большое практическое значение [4–8], а особенности поведения долгоживущих радионуклидов и современные уровни радиоактивного загрязнения гидробионтов в водоёмах до конца не изучены [7–9]. Ещё меньше работ, касающихся исследования возможности использования рыбохозяйственного потенциала водоёмов, загрязнённых радионуклидами, без ущерба для здоровья населения [4, 10, 11].

**Цель исследования** – определение степени радиоактивного загрязнения воды и рыбы из водоёмов Иртыш и Кажакул в зоне воздействия ПО «Маяк».

## Материалы и методы

Объектами исследования служили озёра Иртыш и Кажакул, расположенные на восточном склоне Южно-Уральского хребта в верхней части бассейна р. Течи. Оба водоёма расположены на небольшом расстоянии друг от друга (~ 10 км) и имеют повышенные уровни радиоактивного загрязнения.

Озёра находятся на периферии головной части ВУРСа и в районе выпадения радиоактивных частиц с пересохших мелководий оз. Карачай (см. рисунок на вклейке).

Озеро Иртыш – мезотрофный водоём. Дно каменистое с небольшим количеством песка, на глубине илистое, есть каменистые гряды, а по западному берегу – каменистые острова. Прибрежная растительность занимает менее 1% акватории. Видовой состав прибрежной растительности представлен тростником обыкновенным (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud), камышом озёрным (*Scirpus lacustris* L.), рогозом широколистным (*Typha latifolia* L.).

На озере постоянно ведётся промысловый и любительский лов рыбы. Бригады рыбаков вылавливают 10–25 т рыб частиковых пород – в основном плотвы и окуня (*Perca fluviatilis* L.).

Озеро Кажакул – мезотрофный водоём с признаками эвтрофии [4]. Форма котловины оз. Кажакул блюдцеобразная, вдоль берегов располагаются обширные песчаные мелководья. Прибрежная водная растительность занимает около 3–5% мелководных участков акватории, преимущественно на западном берегу. Видовой состав прибрежной растительности представлен тростником обыкновенным, камышом озёрным, рогозом широколистным.

Расчётная естественная продуктивность ихтиомассы в оз. Кажакул превышает 30 т/год. В 1958 г. озеро попало в зону ВУРСа, промысловый и любительский лов рыбы в водоёме был прекращён. В середине 1980-х и в 1990-х годах произошло снижение уровня загрязнения по сравнению с начальным. Была принята Государственная программа по реабилитации территории ВУРСа. Сотрудники Опытной научно-исследовательской станции ПО «Маяк» начали активно разрабатывать реабилитационные мероприятия для возвращения озера в эксплуатацию. В экспериментальных целях оз. Кажакул зарыбляли сиговыми (*Coregonus* L.) – сигом, пелядью, омулем и карпом (*Cyprinus carpio* L.). При зарыблении личинкой пеляди (1,5–2,0 млн штук) промысловый возврат составлял 13–17 т. Добыча рыбы при неводном облове составляла около 10 т/год всех видов рыб, обитающих в водоёме. В неводных уловах доминировал окунь речной (*Perca fluviatilis* L.). После санитарного контроля пелядь, накапливающую меньше радионуклидов, реализовали населению, а остальные виды рыб использовались для кормления животных.

**Цель исследования** – оценка опасности для населения современных уровней радиоактивного загрязнения воды и рыбы долгоживущими  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ . Исследования проводили в 2014–2017 гг. Воду для анализа отбирали батометром в 50–100 м от берега на глубине 1,5–2,0 м. Гидрохимический состав воды анализировали общепринятыми методами [12, 13]. Перед измерением радиоактивности воду упаривали в 10 и более раз.

Таблица 1 / Table 1

**Морфометрические и гидрологические параметры исследуемых водоёмов**

Morphometric and hydrological parameters of the studied reservoirs

Параметр Parameter	Озеро Иртыш Lake Irtyash	Озеро Кажаккуль Lake Kazhakul
Площадь водного зеркала, км <sup>2</sup> Water mirror area, km <sup>2</sup>	53.5	8.5
Объём воды, млн м <sup>3</sup> Volume of water, million m <sup>3</sup>	573	39.0
Преобладающая глубина, м Prevailing depth, m	5.0	4.0
Максимальная глубина, м Maximum depth, m	22.0	6.5
Наибольшая длина, км Maximum length, km	16.0	3.9
Наибольшая ширина, км Maximum width, km	8.0	2.1
Длина береговой линии, км The length of the coastline, km	78.4	12.0
Водосборная площадь, км <sup>2</sup> Catchment area, km <sup>2</sup>	1800	33.2
Проточность Flowrate	Проточный Flow-throug	Бессточный Stagnant water body
Тип котловины Type of basin	Тектонический Tectonic	Эрозионно- тектонический Erosion – tectonic

В каждом из исследуемых водоёмов было выловлено не менее 75 экземпляров плотвы сибирской (сорoga, чебак) *Rutilus rutilus lacustris* (Linnaeus, 1758) в возрасте 4–7 и более лет. По данным И.А. Шехановой [14], у рыб одного вида и одного возраста, выросших в условиях одинаковых уровней радиоактивного загрязнения водной среды, индивидуальные различия в накоплении радионуклидов могут достигать 10 и более раз. Поэтому для проведения аналитических измерений использовались выборки в объёме не менее 10–15 экземпляров рыб на одну пробу. Перед анализом у рыб удаляли внутренности и чешую, затем озоляли. Удельную активность радионуклидов тушек рыб пересчитывали на килограмм сырой массы выпотрошенной тушки. Интегральная ошибка пробоотбора, подготовки образцов и измерений не превышала 30%. Измерение удельной радиоактивности рыбы осуществляли стандартизованными методами, принятыми в ФГБУЗ ЦМСЧ № 71 ФМБА России и Юур ИБФ, – МУК 2.6.1.1194–03<sup>1</sup>, МР 2.6.1.0094–14<sup>2</sup>.

Для оценки качества воды по показателям радиационной безопасности использовали нормативные значения допустимого уровня вмешательства (УВ), составляющие для <sup>90</sup>Sr 4,9 Бк/л, для <sup>137</sup>Cs – 11 Бк/л (НРБ-99)<sup>3</sup>.

При соблюдении условия:

$$\sum_{i=1}^N A_i / УВ_i \leq 1, \quad (1)$$

где  $A_i$  – удельная активность  $i$ -го радионуклида в воде, Бк/л;  $УВ_i$  – уровни вмешательства для  $i$ -го радионуклида, прини-

<sup>1</sup> МУК 2.6.1.1194–03 2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Радиационный контроль. Стронций-90 и цезий-137. Пищевые продукты. Отбор проб, анализ и гигиеническая оценка. Минздрав России, М., 2003.

<sup>2</sup> Радиохимическое определение удельной активности цезия-137 и стронция-90 в пробах пищевой продукции, почвы, других объектов окружающей среды и биопробах. Методические рекомендации МР 2.6.1.0094–14. Утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации А.Ю. Поповой 16 сентября 2014 г.

<sup>3</sup> СанПиН 2.6.1.2523–09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)».

Таблица 2 / Table 2

**Гидрохимический состав воды исследуемых водоёмов, мг/л**  
Hydrochemical composition of water of the studied reservoirs, mg/L

Показатель Parameters	Озеро Иртыш Lake Irtyash	Озеро Кажаккуль Lake Kazhakul
pH	7.8	9.1
Ca <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup> (mg/dm <sup>3</sup> )	37	16
Mg <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup> (mg/dm <sup>3</sup> )	15	87
Na <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup> (mg/dm <sup>3</sup> )	19	360
K <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup> (mg/dm <sup>3</sup> )	10	130
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup> (mg/dm <sup>3</sup> )	0.14	0.16
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup> (mg/dm <sup>3</sup> )	0.6	1.4
Cl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup> (mg/dm <sup>3</sup> )	26	332
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup> (mg/dm <sup>3</sup> )	28	53
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup> (mg/dm <sup>3</sup> )	98	890
Сухой остаток, мг/дм <sup>3</sup> Drymatter, mg/dm <sup>3</sup>	272	1400

маемые по НРБ-99/2009, Бк/кг;  $N$  – общее число определяемых радионуклидов в воде.

В соответствии с действующими в России гигиеническими требованиями допустимые уровни (ДУ) содержания <sup>90</sup>Sr и <sup>137</sup>Cs в пищевых продуктах обеспечивают соблюдение предела дозы (ПД) 1 мЗв в год при условии, что суточное поступление <sup>90</sup>Sr с пищей не превышает 100 Бк/сут, а <sup>137</sup>Cs – 200 Бк/сут. Согласно СП 2.6.1.2612–10<sup>4</sup>, радиационная безопасность человека при употреблении в пищу рыбы обеспечивается уровнями предельного содержания <sup>90</sup>Sr и <sup>137</sup>Cs в 100 и 130 Бк/кг. Для определения соответствия пищевых продуктов критериям радиационной безопасности используется показатель соответствия  $V$ , значение которого рассчитывается по результатам измерения удельной активности <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr в пробе:

$$V = (A/H)^{90}\text{Sr} + (A/H)^{137}\text{Cs}, \quad (2)$$

где  $A$  – значение удельной активности <sup>90</sup>Sr и <sup>137</sup>Cs в пищевом продукте (Бк/кг);  $H$  – допустимый уровень удельной активности для <sup>90</sup>Sr и <sup>137</sup>Cs в том же продукте (для <sup>90</sup>Sr – 100 Бк/кг, для <sup>137</sup>Cs – 130 Бк/кг).

Неопределённость показателя соответствия  $\Delta V$  (ГОСТ 32161–2013<sup>5</sup> и ГОСТ 32163–2013<sup>6</sup>) рассчитывается по формуле:

$$\Delta V = \sqrt{(\Delta A/H)^2 {}^{90}\text{Sr} + (\Delta A/H)^2 {}^{137}\text{Cs}}, \quad (3)$$

где  $H$  – допустимый уровень удельной активности радионуклида в испытуемом продукте (для <sup>90</sup>Sr – 100 Бк/кг, для <sup>137</sup>Cs – 130 Бк/кг);  $\Delta A$  – абсолютная расширенная (при коэффициенте охвата  $k = 2$ ) неопределённость измерения удельной активности.

В соответствии с требованиями ГОСТ 32161–2013 и ГОСТ 32163–2013 пищевой продукт годен к употреблению, если:

$$V + \Delta V \leq 1. \quad (4)$$

Если сумма значений, рассчитанная по формуле (4), больше 1, то следует руководствоваться документом НРБ-99/2009.

Коэффициенты концентрирования (Кк) оценивали как отношение удельной радиоактивности исследованного об-

<sup>4</sup> СП 2.6.1.2612–10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)».

<sup>5</sup> ГОСТ 32161–2013. Продукты пищевые. Метод определения содержания цезия-137. М., Стандартиформ, 6 с.

<sup>6</sup> ГОСТ 32163–2013. Продукты пищевые. Метод определения содержания стронция Sr-90. М., Стандартиформ, 6 с.

Таблица 3 / Table 3

**Уровни радиоактивного загрязнения воды, Бк/л**  
**Levels of radioactive contamination of water, Bq/l**

Водоём Reservoir	Количество определений The number of definitions	<sup>90</sup> Sr	$\sum_i^N A_i / UB (\sum_i^N A_i / LI)$	<sup>137</sup> Cs	$\sum_i^N A_i / UB (\sum_i^N A_i / LI)$
Иртыш / Irtyash	4	0.019 ± 0.008	0,004	0.028 ± 0.009	0.002
Кажакуль / Kazhakul	3	0.19 ± 0.6	0,04	0.14 ± 0.06	0.013
Фоновое значение для Уральского региона [25] Background value for the Ural region [25]		0.001–0.0045		0.005–0.02	
<i>UB / LI</i>		4.9		11	

Примечание.  $A_i$  – удельная активность  $i$ -го радионуклида в воде, Бк/л;  $UB$  – уровень вмешательства.

Note:  $A_i$  – specific activity of the  $i$ th radionuclide in water, Bq/L;  $LI$  – the level of intervention.

Таблица 4 / Table 4

**Уровни радиоактивного загрязнения сырой массы тушки плотвы, Бк/кг**  
**Levels of radioactive contamination of the raw mass of roach carcass, Bq/kg**

Водоём, показатель Reservoir, indicator	<sup>90</sup> Sr		<sup>137</sup> Cs	
	$A$ , Бк/кг (Bq/kg)	Кк	$A$ , Бк/кг (Bq/kg)	Кк
Озеро Иртыш / Lake Irtyash	2.7 ± 1.1	140	1.68 ± 0.8	60
Озеро Кажакуль / Lake Kazhakul	64.5 ± 19	336	38 ± 33.5	272
Озеро Иртыш / Lake Irtyash ( $A / H$ )	0.027		0.013	
Озеро Кажакуль / Lake Kazhakul ( $A / H$ )	0.645		0.29	
Допустимый уровень удельной активности радионуклида в испытуемом продукте ( $H$ ), Бк/кг Permissible level of specific activity of the radionuclide in the test product ( $H$ ), Bq/kg	100		130	

Примечание.  $A$  – удельная активность, Бк/кг;  $H$  – допустимый уровень удельной активности радионуклида в испытуемом продукте.

Note:  $A$  – Specific activity, Bq/kg;  $H$  – is the permissible level of specific activity of the radionuclide in the test product.

разца (биота) к удельной радиоактивности воды. Для оценок потребления рыбы местным населением посёлков и городов на берегах озёр Иртыш и Кажакуль были выбраны 10 респондентов – рыболовов, проводивших интенсивный лов рыбы круглый год, и работников рыбоводного цеха Опытной научно-исследовательской станции.

Статистическую обработку результатов проводили стандартными методами [15] с использованием компьютерной программы Statistica 5.5.

## Результаты

Озёра Иртыш и Кажакуль отличаются по происхождению и морфометрическим показателям (табл. 1).

Гидрохимический состав воды водоёмов значительно различается (табл. 2). Уровни радиоактивного загрязнения воды обследованных озёр в период исследования приводятся в табл. 3.

Удельная активность <sup>90</sup>Sr в воде рек России в 2017 г. составляла в среднем от 0,0055 до 0,0058 Бк/л [16].

Уровни радиоактивного загрязнения озёрной рыбы в период исследования отражены в табл. 4.

Для плотвы из оз. Кажакуль показатель соответствия  $V$  равен 0,94, а из оз. Иртыш – 0,044 при значениях неопределённости показателей  $\Delta B$  0,64 и 0,027 соответственно.

## Обсуждение

За 60 лет, прошедших после аварии на ПО «Маяк» в 1957 г., уровни радиоактивного загрязнения воды и рыбы в исследованных озёрах Иртыш и Кажакуль снизились более чем в 10 раз. Из данных табл. 3 видно, что максимальные уровни удельной активности воды наблюдаются в оз. Кажакуль, а в оз. Иртыш они минимальны. Это связано пре-

имущественно с различной плотностью радиоактивного загрязнения акваторий и водосборных территорий. Озёра расположены на различной удалённости от оси ВУРСа (см. рисунок). Этот фактор является основной причиной различий в радиоактивном загрязнении воды. Для воды обоих озёр соблюдается условие (см. табл. 3), уровни радиоактивного загрязнения не превышают нормативных (НРБ-99).

Уровень радиоактивного загрязнения воды по <sup>90</sup>Sr в оз. Кажакуль превышает значение средних фоновых показателей пресных вод по Уральскому региону в два раза [16]. Однако по обоим водоёмам уровень удельной активности воды ниже уровня вмешательства по НРБ-99/2009, что позволяет использовать воду водоёмов для хозяйственно-бытовых нужд, а озеро Иртыш является источником питьевого водоснабжения г. Озёрска.

Известно, что накопление рыбой радионуклидов зависит от концентрации в воде элементов-аналогов. Для <sup>90</sup>Sr такими элементами являются Са и Mg, а для <sup>137</sup>Cs – К и Na [4, 5, 12], концентрации которых в исследованных водоёмах различны (см. табл. 2). Общая доля этих микроэлементов, за исключением Са, в озере Кажакуль значительно выше.

В исследуемых водоёмах плотва в различной степени накапливает как <sup>90</sup>Sr, так <sup>137</sup>Cs, о чём свидетельствуют различные Кк, которые изменяются в широких пределах (см. табл. 4). Эти различия в значениях коэффициентов накопления могут быть обусловлены несколькими причинами:

- 1) разная степень упитанности рыбы, поскольку <sup>90</sup>Sr слабо накапливается жировыми тканями;
- 2) возрастные особенности в накоплении радионуклидов;
- 3) изначальная степень загрязнённости водоёмов и целый ряд других факторов.

Определение причин различий выходит за рамки данной работы.

Сравнивая полученные результаты с гигиеническими требованиями безопасности для пищевых продуктов, можно заключить, что все исследованные образцы имеют уровни радиоактивного загрязнения ниже нормативных допустимых уровней ( $H$ ) (см. табл. 4). Значение  $B + \Delta B$  для плотвы из оз. Иртяш значительно меньше единицы, а в оз. Кажаккуль превышает регламентированное значение. Это позволяет сделать вывод о непригодности для пищевых целей без ограничения плотвы из оз. Кажаккуль.

В нормативах СанПиН 2.3.2.1078–01 для расчёта потребления рыбных продуктов населением используются средние статистические показатели по России – 27,6 г/сут. При этом поступление  $^{90}\text{Sr}$  не должно превышать 100 Бк/сут. Если пренебречь фактом поступления радионуклидов в организм человека любым иным способом, кроме поступления с рыбой, то для превышения суточного поступления  $^{90}\text{Sr}$  необходимо ежедневно съедать чуть больше 1 кг плотвы, что вряд ли является возможным.

В озёрном Зауралье, где расположено радиационно опасное предприятие, доля рыбы из местных водоёмов в рационе отдельных групп населения намного больше, чем в среднем по России. Жители населённых пунктов, расположенных на берегах озёр, используют рыбу из местных водоёмов как основной продукт питания. Опросы рыболовов, проводивших интенсивный лов рыбы круглый год на оз. Кажаккуль, показали, что количество потребляемой рыбы на одного члена семьи в среднем превышает норматив в 2–6 раз. При этом разовое потребление рыбы может составлять 250–300 г.

Вклад в дозу облучения сельского населения на загрязнённых территориях вносит не только употребляемая в пищу загрязнённая радионуклидами рыба из оз. Кажаккуль, но и другие продукты местного производства. Многие сельские семьи живут за счёт небольших фермерских хозяйств и продукции подворий, фактически натурального хозяйства, и употребляют в пищу продукты с повышенным содержанием радионуклидов.

В настоящее время снижение радиоактивности воды в озёрах ВУРСа происходит достаточно медленно [4]. За прошедшие после окончания исследований пять лет снижение радиоактивности воды и рыбы в оз. Кажаккуль могло составить не более 10% от оценённых значений. При этом значение показателя  $B$  могло снизиться с 0,94 до 0,85. Даже при значении показателя  $B$  0,85 с учётом неопределённости ( $\Delta B$ ) загрязнение рыбы будет превышать предельное значение 1.

Последние три-четыре года в районе исследований наблюдается маловодный гидрологический период. Уровень воды в оз. Кажаккуль понизился более чем на 1 м, что привело к уменьшению объёма воды приблизительно на 20–25%. Следовательно, радиоактивность воды и рыбы должна пропорционально возрасти. Поэтому в ближайшие годы актуальность полученных нами результатов сохраняется.

Для прогноза санитарно-гигиенической обстановки на загрязнённых территориях необходим постоянный мониторинг и проведение дополнительных исследований. В настоящее время оз. Кажаккуль можно рекомендовать для содержания маточных стад ценных видов рыб [11].

## Заключение

1. За 60 лет, прошедших после аварии на ПО «Маяк» в 1957 г., уровни радиоактивного загрязнения воды и рыбы в исследованных озёрах Иртяш и Кажаккуль снизились более чем в 10 раз. Нами установлено, что современные уровни загрязнения  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  воды в обследованных водоёмах намного ниже уровня вмешательства, что позволяет использовать их для хозяйственно-бытовых нужд. В то же время уровень радиоактивного загрязнения воды  $^{90}\text{Sr}$  в оз. Кажаккуль превышает значение средних фоновых показателей пресных вод по Уральскому региону в два раза. Оз. Иртяш, в котором наблюдались минимальные уровни загрязнения воды, используется как источник питьевого водоснабжения г. Озёрска.

2. Все исследованные образцы рыбы из оз. Иртяш имеют показатели радиоактивного загрязнения ниже нормативных допустимых уровней, что позволяет сделать вывод о пригодности данного пищевого продукта к употреблению без ограничения. В оз. Кажаккуль рыба с учётом коэффициента неопределённости ( $B = 0,94 + \Delta B = 0,64$ ) загрязнена выше установленных нормативов. Необходимо введение ограничений не только на промышленный, но и на любительский лов.

3. В рационе отдельных групп населения доля рыбы из местных водоёмов намного больше, чем в среднем по России. В семьях, где рыба используется как основной продукт питания, потребление возрастает в 2–6 раз по сравнению с нормативом СанПиН. Для таких групп населения, проживающего вблизи оз. Кажаккуль, увеличенное количество местной рыбы в рационе приводит к превышению безопасного для населения предела годовой дозы радиации (1 мЗв).

## Литература

(п.п. 2, 6 см. References)

- Ильин Л.А., Губанов В.А., ред. *Крупные радиационные аварии и защитные меры*. М.: Атомиздат; 2001.
- Корсаков Ю., Федоров Е., Романов Г., Пантелеев Л. Оценка радиационной обстановки на территории, загрязнённой в результате ветрового переноса радиоактивных аэрозолей в районе предприятия в 1967 году. *Вопросы радиационной безопасности*. 1996; (4): 50–9.
- Смагин А.И. *Экология водоёмов в зоне техногенной радионуклидной геохимической аномалии на Южном Урале*. Челябинск; 2013.
- Терновский И.А., Федоров Е.А., Романов Г.Н. *Изучение радиологических, радиационно-гигиенических и социально-хозяйственных последствий массированного радиационного загрязнения больших площадей (1958–84 гг.). Отчёт по теме «МИРАЖ»*. Озерск; 2005.
- Костюченко В.А., Голдырев С.Б. Радиологическое состояние озёр, расположенных на периферии Восточно-Уральского радиоактивного следа. *Вопросы радиационной безопасности*. 2002; (15): 39–49.
- Левина С.Г., Шибкова Д.З. Состояние компонентов биоты озёр Восточно-Уральского радиоактивного следа (на примере озёр М. Игиш, Б. Игиш и Куяныш). В кн.: *Проблемы радиоэкологии и пограничных дисциплин*. Екатеринбург; 2006: 309–23.
- Бакунов Н.А., Макеев В.М. К разграничению водоёмов по накоплению  $^{90}\text{Sr}$  рыбой. *Экология*. 2004; (4): 312–6.
- Шевченко В.А., Печкуренков В.Л. О возможности рыбохозяйственного использования радиоактивно загрязнённых водоёмов. *Вопросы ихтиологии*. 1986; 26(3): 494–503.
- Смагин А.И., Махаева Т.Л. Возможности использования ресурсобразующих видов рыб пресноводных водоёмов, загрязнённых радионуклидами. *Известия ТИНРО (Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра)*. 2011; (164): 216–28.
- Алекин О.А. *Основы гидрохимии*. Ленинград: Гидрометеоиздат; 1970.
- Алекин О.А., Семенов А.Д., Скопинцев Б.А. *Руководство по химическому анализу вод суши*. Ленинград: Гидрометеоиздат; 1973.
- Шеханова И.А. *Радиоэкология рыб*. М.; 1983.
- Плохинский Н.А. *Биометрия*. М.; 1970.
- Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2017 году*. Обнинск: Тайфун; 2018.

## References

- Il'in L.A., Gubanov V.A., eds. *Major Radiation Accidents and Protective Measures [Krupnye radiatsionnye аварии i zashchitnye меры]*. Moscow: Atomizdat; 2001. (in Russian)
- Batorshin G.S., Mokrov Y.G. Experience and the results of emergency management of the 1957 accident at the Mayak Production Association. *J. Radiol. Prot.* 2018; 38(1): R1–R12. <https://doi.org/10.1088/1361-6498/aa9cf9>
- Korsakov Yu., Fedorov E., Romanov G., Pantelev L. Assessment of the radiation situation in the territory contaminated as a result of wind transport of radioactive aerosols in the area of the enterprise in 1967. *Voprosy radiatsionnoy bezopasnosti*. 1996; (4): 50–9. (in Russian)
- Smagin A.I. *Ecology of Reservoirs in the Zone of Technogenic Radionuclide Geochemical Anomaly in the Southern Urals [Ekologiya vodoemov v zone*

## Original article

- tekhnologiy radionuklidnoy geokhimicheskoy anomalii na Yuzhnom Urale*. Chelyabinsk; 2013. (in Russian)
5. Ternovskiy I.A., Fedorov E.A., Romanov G.N. *Study of radioecological, radiation-hygienic and socio-economic consequences of massive radiation pollution of large areas (1958–84). Report on the topic "MIRAGE"*. Ozersk; 2005. (in Russian)
  6. Pryakhin E.A., Mokrov Y.G., Tryapitsina G.A., Ivanov I.A., Osipov D.I., Atamanyuk N.I., et al. Characterization of biocenoses in the storage reservoirs of liquid radioactive wastes of Mayak PA. Initial descriptive report. *J. Environ. Radioact.* 2016; 151(Pt. 2): 449–60. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2015.05.023>
  7. Kostyuchenko V.A., Goldyrev S.B. Radioecological condition of lakes located on the periphery of the East Ural radioactive trace. *Voprosy radiatsionnoy bezopasnosti*. 2002; (1S): 39–49. (in Russian)
  8. Levina S.G., Shibkova D.Z. The state of the biota components of the lakes of the East Ural radioactive trace (on the example of lakes M. Igish, B. Igish and Kuyanysh). In: *Problems of Radioecology and Borderline Disciplines [Problemy radioekologii i pogranichnykh distsiplin]*. Ekaterinburg; 2006: 309–23. (in Russian)
  9. Bakunov N.A., Makeev V.M. On differentiation of water bodies with respect to <sup>90</sup>Sr accumulation by fish. *Ekologiya*. 2004; (4): 312–6. (in Russian)
  10. Shevchenko V.A., Pechkurenkov V.L. About the possibility of fishery use of radioactively contaminated reservoirs. *Voprosy ikhtiologii*. 1986; 26(3): 494–503. (in Russian)
  11. Smagin A.I., Makhaeva T.L. Possibilities of using resource-forming fish species of freshwater reservoirs contaminated with radionuclides. *Izvestiya TINRO (Tikhookeanskogo nauchno-issledovatel'skogo rybokhozyaystvennogo tsentra)*. 2011; (164): 216–28. (in Russian)
  12. Alekin O.A. *Fundamentals of hydrochemistry [Osnovy gidrokhimii]*. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1970. (in Russian)
  13. Alekin O.A., Semenov A.D., Skopintsev B.A. *A guide to the chemical analysis of land waters [Rukovodstvo po khimicheskomu analizu vod sushy]*. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1973. (in Russian)
  14. Shekhanova I.A. *Radioecology of Fish [Radioekologiya ryb]*. Moscow; 1983. (in Russian)
  15. Plokhinskiy N.A. *Biometrics [Biometriya]*. Moscow; 1970. (in Russian)
  16. *Radiation Situation on the Territory of Russia and Neighboring States in 2017 [Radiatsionnaya obstanovka na territorii Rossii i sopredel'nykh gosudarstv v 2017 godu]*. Obninsk; 2018. (in Russian)

К статье А.И. Смагина  
To the article by Andrej I. Smagin

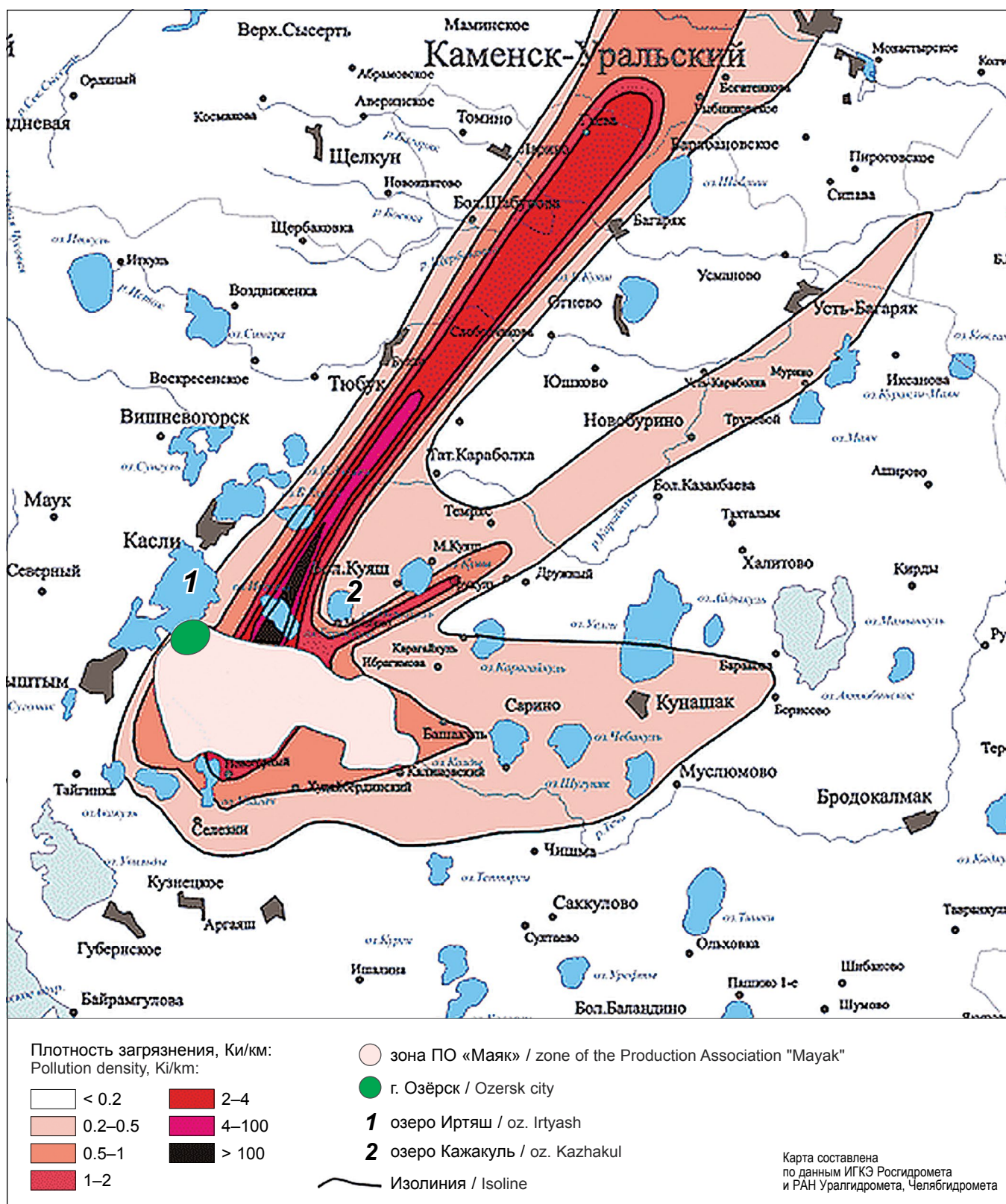


Схема радиоактивного загрязнения территории  $^{90}\text{Sr}$  в районе расположения исследуемых водоёмов. Исходная карта опубликована на сайте Министерства радиационной безопасности и экологии Челябинской области <https://old.mineco.gov74.ru>. В статье для иллюстрации рассматриваемой проблемы приводится генерализованный автором вариант карты.

The scheme of radioactive contamination of the territory of  $^{90}\text{Sr}$  in the area of the location of the studied reservoirs. The original map was published on the website of the Ministry of Radiation Safety and Ecology of the Chelyabinsk region <https://old.mineco.gov74.ru>. In the article, to illustrate the problem under consideration, a generalized version of the map is given by the author.