

УДК 574.3

*Светлой памяти нашего учителя  
Владимира Ивановича Уткина  
посвящается*

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В ПРИРОДНЫХ СРЕДАХ НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2015 Е.Н. Рыбаков, Д.С. Тягунов

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геофизики  
им. Ю.П. Булашевича УрО РАН, Екатеринбург, 620016 ;  
e-mail: ee-66@mail.ru; tds-07@mail.ru.*

В статье представлены результаты гамма-спектрометрических исследований загрязненности радионуклидом цезием-137 пойм и донных отложений озер Челябинской области. Выделены озера с максимальной величиной изотопа цезия-137.

*Ключевые слова: донные отложения, цезий-137, удельная активность, ил, озера.*

### ВВЕДЕНИЕ

В результате работы предприятий атомно-промышленного комплекса и особенно аварий на них территория Южного и Среднего Урала неоднократно подвергалась воздействию радиоактивного техногенного загрязнения. Определенный вклад в уровень поверхностного загрязнения техногенными радионуклидами внесли испытания ядерного оружия на Тоцком и Семипалатинском полигонах, авария на ПО «Маяк», работа Белоярской атомной электростанции, разработка месторождений радиоактивного сырья.

Последние масштабные работы по изучению поверхностного радиоактивного загрязнения проводились в Уральском регионе в начале девяностых годов прошлого столетия. В основном эти работы были направлены на площадное исследование Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРСа) и практически не коснулись оценки степени влияния на уровень загрязнений остальной территории Южного и Среднего Урала радиоактивными техногенными изотопами за счет других источников (например, испытания ядерного оружия на Семипалатинском полигоне

1953 г.). Величина радиационного загрязнения территории Урала за счет события 1953 г. отражена в отчете Ю.П. Булашевича<sup>1</sup>

Со временем радиоактивное загрязнение за счет смыва радионуклидов с поверхности почвы приводит к радиоактивному загрязнению рек и озер. В связи с этим для изучения распространения и переотложения радиоактивного загрязнения, полученного в результате испытания ядерного оружия на Семипалатинском полигоне 1953 г. и аварии на ПО «Маяк» 1957 г., были проведены исследования радиоактивности донных отложений озер Челябинской области.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сообщение об испытании водородной бомбы впервые было опубликовано в газете «Правда» 20 августа 1953 г.

12 августа 1953 г. в СССР был испытан первый термоядерный заряд РДС-6с. Заряд располагался на стальной башне, на высоте

<sup>1</sup> Булашевич Ю.П. Аномальный фон гамма-излучения на Урале в августе и в последующие месяцы 1953 года. Свердловск: ГГИ УФАН СССР, 1954. 43 с.

30 метров. Мощность взрыва составила 400 кт, что в 20 раз превысило энерговыделение первой атомной бомбы. Как оказалось далее, этот испытательный взрыв был не только одним из самых мощных, но и одним из самых «грязных» в смысле радиоактивного загрязнения сопредельных территорий. Радиоактивное облако через 3 часа после взрыва, размерами 100 на 200 км, разделилось на 3 части. Первая двигалась в направлении к оз. Байкал, средняя часть пошла в направлении Омска, самая нижняя часть облака пошла по малому кругу вокруг Алтайского края в направлении Омска, Караганды и т.д.

В этот период работниками поисковых партий 14-15 августа было зафиксировано максимальное повышение общего уровня гамма-фона на Урале, которое достигало в районе г. Челябинска 1500 мкР/час, в районе г. Свердловска 300 мкР/ч, в районе г. Катайска 1200 мкР/ч, в районе г. Сухого Лога 600 мкР/ч.

В это же самое время в августе 1953 г. геофизический отряд Горно-геологического Института УФАН проводил гамма-съемку в районе горы Егоза в 3 км от разъезда Кувалжиха Южно-Уральской железной дороги<sup>1</sup>. Работы проводились под руководством Юрия Петровича Булашевича – выдающегося Российского ученого в области геофизических исследований, внесшего неоценимый вклад в развитие геофизической науки на Урале, работы которого широко известны как в России, так и за рубежом.

14 августа было обнаружено резкое повышение гамма-фона и попытки проэталонировать аппаратуру не привели к положительным результатам. В то же время исследование шпуров показало, что гамма-фон в них не изменился. Был сделан вывод, что имеется сильное поверхностное радиационное загрязнение<sup>1</sup>.

С 15 августа стали проводиться систематические исследования пространственно-временных изменений гамма-фона. Обычный гамма-фон в данном районе по результатам предыдущих измерений был известен, и его величина колебалась в пределах от 10 до 15 мкР/ч. Результаты измерений по профилю в северном направлении приведены в табл. 1<sup>1</sup>, точки с местоположением измерений гамма-фона этого профиля на рис. 1.

При проведении гамма-съемки было обнаружено, что на залесенных участках аномальный

гамма-фон был значительно выше, чем на участках с малой растительностью. Крона деревьев, по-видимому, создает благоприятные условия для осаждения из атмосферы радиоактивных осадков. На полях, вспаханных после 15 августа, активность была значительно ниже (в пределах 20-25 мкР/ч), чем на соседних луговых участках (до 400 мкР/ч). Это связано с тем, что активный осадок запахивался в землю при переворачивании пласта. Особенно низкой была гамма-активность над водной поверхностью.

18 августа над водой наблюдался гамма-фон интенсивностью до 30 мкР/ч, в то же время на расстоянии нескольких метров на лугах и в густой траве до 400 мкР/ч<sup>1</sup>.

Осенью 1957 г. в результате взрыва хранилища высокоактивных жидких отходов на ПО «Маяк» произошла радиационная авария, которая оставила после себя Восточно-Уральский радиоактивный след. По данным (Аклеев, Киселев, 2012) радиоактивные вещества выпадали на протяжении 300-350 км в северо-восточном направлении от места взрыва (по направлению ветра), что привело к радиоактивному загрязнению значительных территорий Челябинской, Свердловской и Курганской областей.

Свой вклад в уровень радиационного загрязнения данных территорий внес и второй радиационный инцидент, который произошел весной 1967 г. В результате ветрового подъема пылеватых частиц, содержащих радионуклиды с береговой полосы усыхающего озера Карачай, в которое ранее сливались жидкие радиоактивные отходы ПО «Маяк», как сообщает В.В. Литовский (2001), произошло дополнительное заражение Челябинской, Свердловской и Курганской областей вне пределов ВУРСа.

В связи с выше сказанным, большой практический интерес в решении проблем радиоэкологии, а также как один из наиболее информативных природных объектов исследований являются донные отложения рек и озер. С течением времени в результате смыва дождевыми и талыми водами происходит перенос и вторичное накопление, перераспределение и миграция радионуклидов в пониженные участки рельефа местности, что приводит к увеличению радиоактивного загрязнения пойменных участков и донных отложений рек и озер. Аккумулируя загрязнители, поступающие

Таблица 1. Результаты измерения гамма-фона 15-16 августа 1953 года.

| № | Точка съемки           | мкР/час | Примечание          |
|---|------------------------|---------|---------------------|
| 1 | База отряда 15.08.1953 | 900     |                     |
| 2 | На север 6 км          | 1030    | Вост. склон г.Егоза |
| 3 | На север 9 км          | 850     | Долина ручья        |
| 4 | На север 12 км         | 940     | Лес                 |
| 5 | На север 15 км         | 1030    | На горе             |
| 6 | На север 19 км         | 940     | На горе             |
| 7 | База отряда 16.08.1953 | 720     | Восточный склон     |

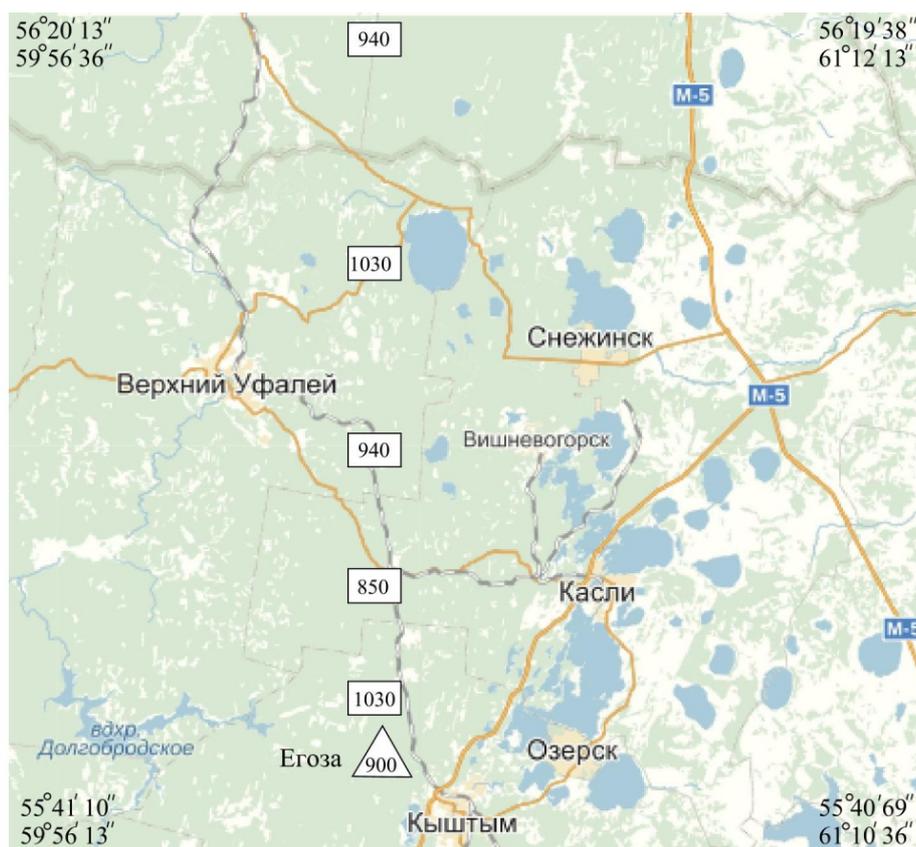


Рис. 1. Точки и местоположение измерений гамма-фона 15-16 августа 1953 года.

с водосборов в течение длительного промежутка времени, донные осадки являются индикатором экологического состояния территории, своеобразным интегральным показателем уровня загрязненности. Исследование донных отложений озер позволяет проследить распространение и переотложение радиоактивных загрязнений, изучить динамику накопления загрязнений за длительный период времени, а также выделить временные интервалы наиболее интенсивного поступления радионуклидов.

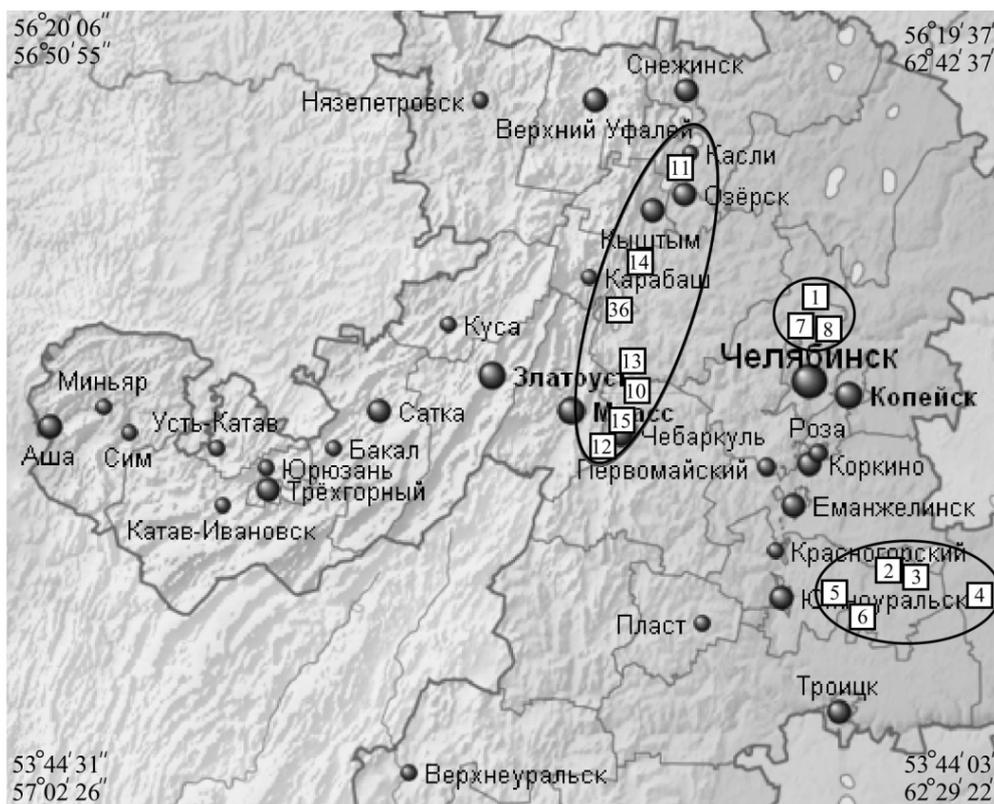
В период 2012-2014 гг., то есть, по истечении 60 лет после испытания водородной бомбы и аварии на ПО «Маяк» сотрудниками Института геофизики УрО РАН были проведены исследования загрязненности радионуклидом цезием 137 пойм и донных отложений озер Челябинской области. Работы проводились с целью, чтобы «подсечь» радиоактивный след, вызванный последствием испытания на Семипалатинском полигоне, в результате чего одна из частей образовавшегося пылевого облака двигалась в северо-западном направлении и могла осесть на восточном склоне системы Уральских гор (там же в 1953 г. располагался отряд поисковой партии Института УФАН).

Маршрут отбора проб проходил с восточной стороны хребта Уральских гор от г. Чебаркуль до г. Касли и, южнее г. Челябинска от пос. Султаево до пос. Октябрьское (рис. 2).

За эти годы (60 лет) из большого числа продуктов ядерного деления, поступивших в окружающую среду, остаются три радиологически значимых радионуклида: цезий-137 (с периодом полураспада 30,17 лет), стронций-90 (28,6 лет) и тритий-3 (12 лет).

Согласно проведенным исследованиям (Трапездников и др., 2008) усредненные данные о концентрациях цезия 137 по глубине показывают, что радионуклид распределяется в самой верхней части иловых отложений, и около 75% его находится в слое 0-10 см. Данные выводы были подтверждены также и нашими исследованиями. В связи с этим пробы отбирались до глубины 20 см в зависимости от типа грунта, так как сообщают А.В. Трапездников с соавторами (2008) коэффициент накопления радионуклида повышается в ряду: песчаный грунт < затопленная почва < илистый сапропель.

Из-за неоднородности морфологии прибрежной части на каждом озере с разных берегов отбиралось несколько проб, каждая весом не менее 1 кг. Отбор проводился с помощью оригинального пробоотборника, представляющего собой небольшой цилиндрический резервуар с отверстиями на дне для просачивания воды. Пробоотборник позволяет отбирать пробы ила с глубины до 4 м. С помощью GPS-60 Garmin на месте отбора каждой пробы определялись географические координаты. Также с помощью



**Рис. 2.** Фрагмент карты Челябинской области. Овалами выделена область исследования, в квадратах указаны номера озер согласно порядковому номеру в табл. 2.

радиометра СРП-88 определялась и мощность экспозиционной дозы.

Подготовка проб к измерениям проводилась по следующей методике: проба ила высушивалась в муфельной печи при температуре 105 °С. Высушенная проба измельчалась, взвешивалась и насыпалась в сосуд Маринелли. Измерения радиоактивности проб производились гамма-спектрометром УДС-Г-63×63-USB в камере низкого фона. В качестве защиты от внешнего излучения использовался экран из Pb = 45 мм; Cd = 3 мм; Cu = 0,5 мм. Минимальная измеряемая активность по цезию-137 – 1,5 Бк/кг.

На первом этапе были исследованы восемь озер. Три озера расположены севернее Челябинска: Урефты, Узункуль, Агашкуль. Пять – юго-восточнее Челябинска: Буташ, Горькое, Картабыз, Таузаткуль, Мышайкуль (рис. 3). Пробы из этих озер отбирались в прибрежной части на расстоянии ~15 м от кромки воды.

По результатам гамма-спектрометрических измерений максимальная активность изотопа цезия-137 была обнаружена в иловых отложениях озер: Горькое (17 Бк/кг), Таузаткуль (24 Бк/кг), Урефты (40 Бк/кг), Узункуль (22 Бк/кг), Агашкуль (17 Бк/кг).

На втором этапе исследовались семь озер по маршруту Чебаркуль-Касли: Аргазинское

водохранилище, Большой Сунукуль, Иртыш, Кундравинское, Малое Миассово, Увильды, Чебаркуль (рис. 3). Кроме донных отложений, из этих озер отбирались пробы с пойменных мест – для сравнения с илами. Для контроля общего гамма-фона на берегу измерялась мощность экспозиционной дозы. По результатам этих исследований было установлено, что активность большинства проб с пойменных участков этих озер превышает активность иловых отложений, а в некоторых пробах в несколько раз (табл. 2). Предположительно такая особенность вызвана отложениями радионуклида в пойменных образованиях (наличие органики с большой сорбционной способностью) и прибойной активностью

Наибольшие удельные активности цезия-137 в пойме были обнаружены в озерах: Аргазинское водохранилище (37 Бк/кг), Иртыш (24 Бк/кг), Малое Миассово (27 Бк/кг), Увильды (62 Бк/кг), Чебаркуль (21 Бк/кг). К настоящему времени прошло два периода полураспада по цезию-137, т.е. распалось 75% от первоначального выпадения.

На рис. 3 показано, что активность цезия-137 в донных отложениях возрастает по мере приближения к территории ПО «Маяк».

Не смотря на то, что временной интервал между испытаниями 1953 года и аварией 1957 года небольшой по отношению к прошедшим годам (60 лет) значимую роль в радиоактивном

РЫБАКОВ, ТЯГУНОВ

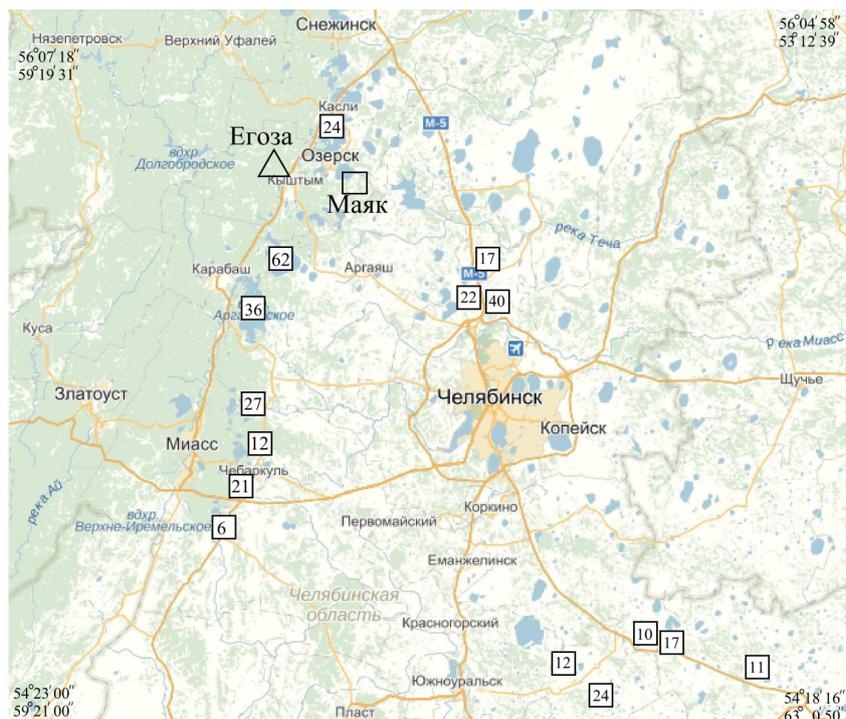


Рис. 3. Фрагмент карты Челябинской области с расположением озер и места отбора проб. Цифры в квадратах (место отбора пробы) обозначают активность цезия-137 в Бк/кг.

Таблица 2. Сводная таблица результатов измерений донных отложений озер Челябинской области.

| Название озера               | GPS-координаты<br>с.ш. и в.д. | Мощность<br>экспозиционной дозы<br>(мкР/ч) | Активность Cs-137<br>в пойме Бк/кг | Активность Cs-137<br>в илах Бк/кг |
|------------------------------|-------------------------------|--|------------------------------------|-----------------------------------|
| Агашкуль                     | N55.47152<br>E61.35860        | -  | -                                  | 17                                |
| Буташ                        | N54.61082<br>E62.08797        | -  | -                                  | 10                                |
| Горькое                      | N54.54320<br>E62.17509        | -  | -                                  | 17                                |
| Картабыз                     | N54.50062<br>E62.52797        | -  | -                                  | 11                                |
| Мышайкуль                    | N54.47594<br>E61.69931        | -  | -                                  | 12                                |
| Таузаткуль                   | N54.45467<br>E61.90718        | -  | -                                  | 24                                |
| Узункуль                     | N55.44281<br>E61.32367        | -  | -                                  | 22                                |
| Урефты                       | N55.42196<br>E61.10129        | -  | -                                  | 40                                |
| Аргазинское<br>водохранилище | N 55.31546<br>E 60.38457      | 10   | 37                                 | 12                                |
| Большой Сунукуль             | N 55.07020<br>E 60.40740      | 5.5  | 12                                 | 5                                 |
| Иртяш                        | N 55.86670<br>E 60.70066      | 5  | 24                                 | 9                                 |
| Кундравинское                | N 54.83852<br>E 60.24684      | 9  | 7                                  | 6                                 |
| Малое Миассово               | N 55.15248<br>E 60.38692      | 5  | 27                                 | 6                                 |
| Увильды                      | N 55.54704<br>E 60.53877      | 17.5                                       | 62                                 | 22                                |
| Чебаркуль                    | N 54.94650<br>E 60.34479      | 7.5  | 21                                 | 6                                 |

загрязнении имеет, очевидно, работа на «Маяке», в результате которой оценить вклад загрязнения от глобальных выпадений не представляется возможным.

### ВЫВОДЫ

В отчете Ю.П. Булашевича<sup>1</sup> показано, что в 1953 г. в результате испытаний ядерного оружия на Семипалатинском полигоне большая часть территории Южного и Среднего Урала подверглась радиоактивному загрязнению.

Повышенные мощности экспозиционной дозы в исследованных нами озерах в основном соответствуют повышенным активностям цезия-137, и находятся в пределах 5-18 мкР/ч, что соответствует природному фону в этой местности. А высокие значения гамма-фона измеренные в 1953 году были обусловлены короткоживущими радиоактивными изотопами.

Повышение активности цезия-137 в пробах донных и пойменных отложений по мере приближения к территории ПО «Маяк» может свидетельствовать о возможном распространении радиоактивных загрязнений в результате известных событий в других, отличных от установленных, направлениях.

Установлено, что активность цезия-137 в пробах с пойменных участков в большинстве озер превышает активность в иловых отложениях до нескольких раз.

Обнаруженная загрязненность цезием-137 иловых отложений и пойм исследованных озер не вызывает опасности. Для сравнения, согласно комплексному докладу (Галичина, 2011) о состоянии окружающей среды Челябинской области в 2010 г., удельная активность цезия-137 в почвах города Челябинска в 2010 г. составила 17.6 Бк/кг.

### Список литературы

- Аклеев А.В., Киселев М.Ф.* Восточно-Уральский радиоактивный след (сборник статей, посвященных последствиям аварии 1957 года на ПО «Маяк») / Отв. ред. Аклеев А.В. Челябинск: изд-во «Фрегат», 2012. 352 с.
- Галичина А.М.* «Челябинская область. Министерство по радиационной и экологической безопасности». Комплексный доклад о состоянии окружающей среды Челябинской области в 2010 году. Челябинск: М-во по радиац. и экол. безопасности Челяб. обл., 2011. 145 с.
- Литовский В.В.* Естественно-историческое описание исследований окружающей среды на Урале: Монография. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2001. 476 с.
- Трапезников А.В., Чеботина М.Я., Трапезникова В.Н. и др.* Влияние АЭС на радиологическое состояние водоема-охладителя. Екатеринбург: Изд-во «АкадемНаука», 2008. 400 с.

## INVESTIGATION OF RADIOACTIVE CONTAMINATION IN NATURAL ENVIRONMENTS: CASE STUDY FOR THE AREA OF CHELYABINSK REGION

**E.N. Rybakov, D.S. Tyagunov**

*Institute of Geophysics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, 620016.*

*In loving memory of our teacher  
Vladimir I. Utkin*

The article provides results from gamma-spectrometry investigation of radionuclide contamination of banks and bottom sediments by cesium-137 in the lakes within Chelyabinsk region. The investigation allowed the authors to reveal lakes with maximum cesium-137 isotope value.

*Keywords: bottom sediments, cesium-137, specific activity, silt, lake.*