

Анализ радиоэкологического воздействия Красноярского горно-химического комбината на объекты речной биоты в 2000-2012 гг.

Лунёва К.В., Крышев А.И.

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-производственное объединение «Тайфун» (ФГБУ «НПО «Тайфун»), Обнинск

В настоящей работе приведена оценка современного (2000-2012 гг.) радиоэкологического воздействия Федерального государственного унитарного предприятия «Красноярский горно-химический комбинат» (ФГУП ГХК) на речную биоту в районе расположения деревни Большой Бальчуг. Представлены результаты статистического анализа содержания в воде р. Енисей основных радионуклидов, а также сравнительные оценки дозовых нагрузок на референтные виды водной биоты, полученные по результатам исследований периода работы комбината с 2000 по 2012 гг. Приведены результаты сравнительного анализа расчётных оценок дозовых нагрузок на биоту с рекомендованными пределами облучения.

Ключевые слова: речная биота, радиоэкологическое воздействие, дозовые нагрузки, Красноярский горно-химический комбинат, уровень облучения.

Введение

Федеральное государственное унитарное предприятие «Красноярский горно-химический комбинат» – ведущее в России учреждение по созданию полного технологического комплекса в области цивилизованного обращения с отработанным ядерным топливом (ОЯТ) энергетических реакторов и замыканию ядерного топливного цикла. В 30-километровой зоне наблюдения объекта проживают около 150 тыс. человек. Основная часть населения (примерно 130 тыс. человек) приходится на промышленные города Железногорск и Сосновоборск.

Реакторное и радиохимическое производства составляют основу комбината и являются основными источниками загрязнения природной среды за счёт газоаэрозольных выбросов и водных сбросов, содержащих радионуклиды. В 1992 г. для последующего вывода из эксплуатации на ФГУП ГХК были остановлены два проточных уран-графитовых реактора АД и АДЭ-1. В соответствии с Соглашением 1997 г. между Правительствами России и США «О сотрудничестве в отношении реакторов, производящих плутоний», АДЭ-2 остановлен 15 апреля 2010 г.

Влияние деятельности ФГУП ГХК на состояние окружающей среды, несомненно, требует постоянного мониторинга. В работе приводятся результаты оценки радиационно-экологического воздействия предприятия на речную биоту в районе его расположения за 2000-2012 гг. включительно, что позволяет судить о современном влиянии ФГУП ГХК на объекты окружающей среды.

Без сомнения вопрос оценки радиоэкологического воздействия ядерно- и радиационно опасных объектов на компоненты природной среды является весьма современным и актуальным.

В настоящее время значительные усилия международной научной общественности направлены на регулирование радиационной безопасности окружающей среды, наряду с обеспечением радиационной безопасности человека [6, 12]. Так, в основных нормах безопасности

Лунёва К.В.* – мл. научн. сотр.; Крышев А.И. – зав. лаб, д.б.н. ФГБУ «НПО «Тайфун».
*Контакты: 249038, Калужская обл., Обнинск, ул. Победы, 4. Тел.: (48439) 7-16-01; e-mail: kristina-lkv@yandex.ru.

МАГАТЭ содержится рекомендация о необходимости подтверждать, а не исходить из предположения, что окружающая среда защищена от промышленного радиационного воздействия [6]. В Федеральном Законе РФ «Об охране окружающей среды» от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ отмечено, что при соблюдении природоохранных нормативов должны обеспечиваться условия сохранения благоприятной окружающей среды и экологической безопасности, достаточные для устойчивого функционирования естественных экологических систем, природных и природно-антропогенных объектов, а также сохранения биологического разнообразия [8].

Материалы и методы

В работе использовался следующий порядок анализа радиационного воздействия на биоту:

- идентификация источников радиационно-экологического воздействия на объекты природной среды;
- анализ данных мониторинга радиационной обстановки и модельных оценок переноса радионуклидов в окружающей среде;
- обоснование и выбор представительных объектов природной среды для оценки радиационно-экологического воздействия;
- оценка величины радиационно-экологического воздействия на представительные объекты природной среды;
- представление результатов оценки радиационно-экологического воздействия.

Рассмотрим кратко каждый их этапов.

На этапе **идентификации источников радиационно-экологического воздействия** консервативно предполагалось, что потенциально все радионуклиды, поступающие в окружающую среду, могут быть источниками радиационного риска.

На этапе **анализа данных мониторинга радиационной обстановки** были проанализированы и обобщены данные мониторинга радиационной обстановки, приведённые в ежегодниках Росгидромета [7], а также в отчёте проекта МНТЦ № 1404 [10], по удельным и объёмным активностям радионуклидов в компонентах природной среды в районе д. Большой Бальчуг – населённого пункта, ближе всего расположенного в зоне наблюдения (ЗН) объекта (находится на правом берегу р. Енисей в 16 км ниже по течению реки от места выпуска сбросных вод) за 2000-2012 гг. включительно. Данный период интересен не только тем, что можно оценить современное воздействие ФГУП ГХК на речную биоту, но также сравнить влияние объекта до и после остановки реактора.

Далее были выполнены статистические оценки удельных, объёмных активностей радионуклидов в компонентах природной среды, которые в дальнейшем были использованы непосредственно для оценки радиационно-экологического воздействия [1-3].

В качестве референтных (представительных) видов были выбраны следующие гидробионты: пелагическая рыба (окунь обыкновенный – *Perca fluviatilis*); придонная рыба (щука – *Esox lucius*); водные растения (рдест блестящий – *Potamogeton lucens*); моллюски (двустворчатые – *Bivalvia*).

При **оценке величины радиационно-экологического** воздействия учитывали следующие пути облучения организмов: внешнее облучение от радионуклидов, содержащихся в воде $D_{i,k}^{\text{внеш,вод}}$, внешнее облучение от радионуклидов, содержащихся в донных отложениях $D_{i,k}^{\text{внеш,дон}}$, внутреннее облучение от радионуклидов, накопленных организмами биоты $D_{i,k}^{\text{внутр}}$ [9, 11]:

$$D_{i,k} = D_{i,k}^{\text{внутр}} + D_{i,k}^{\text{внеш,вод}} + D_{i,k}^{\text{внеш,дон}}. \quad (1)$$

Доза внутреннего облучения k -го референтного вида биоты от инкорпорированного i -го радионуклида рассчитывается по формуле:

$$D_{i,k}^{\text{внутр}} = DCF_{i,k}^{\text{внутр}} \cdot C_{i,k} \cdot \tau, \quad (2)$$

где $D_{i,k}^{\text{внутр}}$ – доза внутреннего облучения, Гр/год; $DCF_{i,k}^{\text{внутр}}$ – фактор дозовой конверсии для внутреннего облучения k -го референтного вида биоты от i -го радионуклида, (мкГр/ч)/(Бк/кг сырого веса); τ – коэффициент пересчёта, $\tau=8,76 \cdot 10^{-3}$ (Гр/год)/(мкГр/ч); $C_{i,k}$ – удельная активность i -го радионуклида в организме k -го референтного вида биоты, Бк/кг сырого веса, определяемая по данным наблюдений.

Доза внешнего облучения k -го референтного вида биоты от i -го радионуклида, содержащегося в воде исследуемого водного объекта, рассчитывается по формуле:

$$D_{i,k}^{\text{внеш,вод}} = DCF_{i,k}^{\text{внеш}} \cdot C_i \cdot \alpha_k^{\text{вод}} \cdot \tau, \quad (3)$$

где $D_{i,k}^{\text{внеш,вод}}$ – доза внешнего облучения от i -го радионуклида, содержащегося в воде, Гр/год; $DCF_{i,k}^{\text{внеш}}$ – фактор дозовой конверсии для внешнего облучения k -го референтного вида биоты от i -го радионуклида, (мкГр/ч)/(Бк/кг); C_i – удельная активность i -го радионуклида в воде, Бк/л; $\alpha_k^{\text{вод}}$ – доля времени, которую k -й референтный организм проводит в воде.

Доза внешнего облучения k -го референтного вида биоты от i -го радионуклида, содержащегося в донных отложениях исследуемого водного объекта, оценивается при консервативном приближении полубесконечной геометрии источника по формуле:

$$D_{i,k}^{\text{внеш,дон}} = 0,5 \cdot DCF_{i,k}^{\text{внеш}} \cdot C_i^{\text{дон}} \cdot \alpha_k^{\text{дон}} \cdot \tau, \quad (4)$$

где $D_{i,k}^{\text{внеш,дон}}$ – доза внешнего облучения от i -го радионуклида, содержащегося в донных отложениях, Гр/год; $DCF_{i,k}^{\text{внеш}}$ – фактор дозовой конверсии для внешнего облучения k -го референтного вида биоты от i -го радионуклида, (мкГр/ч)/(Бк/кг сырого веса); $C_i^{\text{дон}}$ – удельная активность i -го радионуклида в донных отложениях, Бк/кг сырого веса; $\alpha_k^{\text{дон}}$ – доля времени, которую k -й референтный организм проводит вблизи дна.

На этапе **интерпретации полученных результатов** осуществлено сравнение величины оценённой дозы для представительных объектов со значением рекомендуемых экологически безопасных уровней облучения объектов природной среды.

В качестве критерия сохранения благоприятной окружающей среды и обеспечения радиоэкологической безопасности в данной работе консервативно использовалось условие не превышения значений экологически безопасного уровня облучения представительных объектов биоты:

$$DB_k \leq BUOB_k, \quad (5)$$

где DB_k – годовая доза облучения для k -го представительного объекта биоты, Гр; $BUOB_k$ – безопасный уровень годового облучения для k -го представительного объекта биоты, Гр. В ка-

честве экологически безопасных уровней облучения объектов природной среды принимаются нижние границы референтных диапазонов, обозначенных в публикации МКРЗ 108 (ICRP, 2009): **БУОБ_к** составляет 0,1 мГр/сут для наземных позвоночных животных и сосны обыкновенной; 1 мГр/сут – для водных позвоночных животных и наземных растений (кроме сосны обыкновенной); 10 мГр/сут – для беспозвоночных животных и водных растений [4].

Результаты и обсуждение

В работе изучены данные радиационного мониторинга окружающей среды за 2000-2012 гг. включительно [7, 10]. Как указывалось ранее, для анализа радиозоологического состояния окружающей среды обрабатывали данные мониторинга, приведённые в ежегоднике «Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств» за 2000-2012 гг. [7], а также данные, взятые из отчёта по проекту МНТЦ № 1404 [10] для района д. Большой Бальчуг.

Имеющиеся данные авторы анализировали с целью определения статистически достоверных обобщённых значений параметров удельной активности радионуклидов в компонентах природной среды, необходимые для дальнейших расчётов дозовых нагрузок на речную биоту.

Основной вклад в объёмную активность воды р. Енисей, протекающей вблизи ФГУП ГХК (д. Большой Бальчуг), в 2000-2010 гг. вносили такие радионуклиды, как ^{32}P , ^{90}Sr , ^{60}Co , ^{137}Cs . В 2011-2012 г. – в воде регистрировали в основном ^{90}Sr (0,0033±0,0005 Бк/л), объёмные активности остальных радионуклидов были ниже предела обнаружения. В связи с чем в ходе выполнения работы были сделаны следующие предположения:

- 1) считалось, что содержание ^{60}Co после остановки реактора в воде и организме гидробионтов было незначительным,
- 2) суммарная доза облучения формировалась за счёт ^{90}Sr (все пути облучения), ^{137}Cs (все пути облучения; консервативно предполагали содержание данного элемента в воде равное пределу обнаружения) и ^{60}Co (внешняя доза облучения, обусловленная накоплением данного радионуклида в донных отложениях).

После остановки реактора анализ проб воды на содержание ^{32}P не проводили. Результаты статистического анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты статистической обработки данных радиационного мониторинга воды р. Енисей в районе д. Большой Бальчуг за 2000-2010 гг.

Параметр	^{32}P	^{60}Co	^{90}Sr	^{137}Cs
Среднее значение, Бк/л	0,12	0,0010	0,0035	0,0010
Доверительный интервал, Бк/л	0,10 – 0,13	0,0005 – 0,0016	0,0022 – 0,0048	0,0005 – 0,0018
УВ по НРБ-99/2009	57	40	4,9	11

Как видно из приведённой таблицы, удельные активности радионуклидов в речной воде были на несколько порядков меньше установленных уровней вмешательства по НРБ-99/2009 [5].

Динамика содержания основных радионуклидов в воде р. Енисей в течение изучаемого периода представлена на рис. 1, 2.

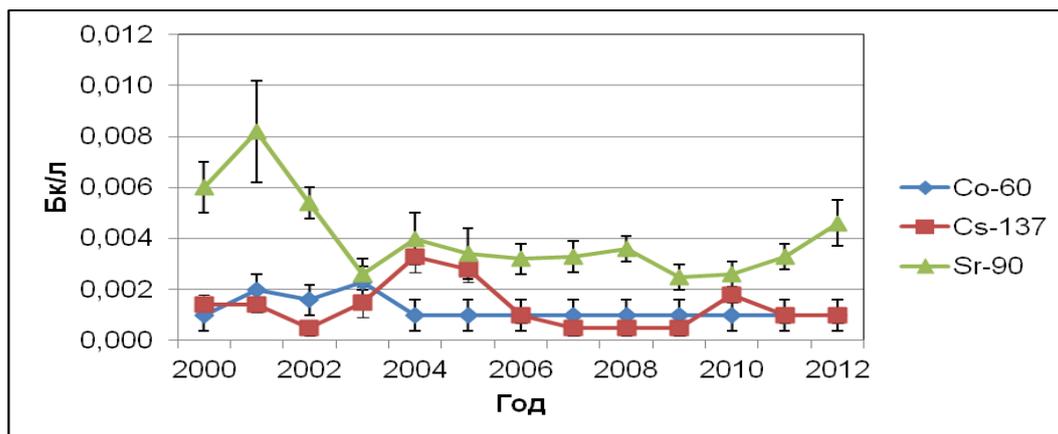


Рис. 1. Динамика содержания ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{90}Sr в воде р. Енисей в районе расположения д. Большой Бальчуг в 2000-2012 гг.

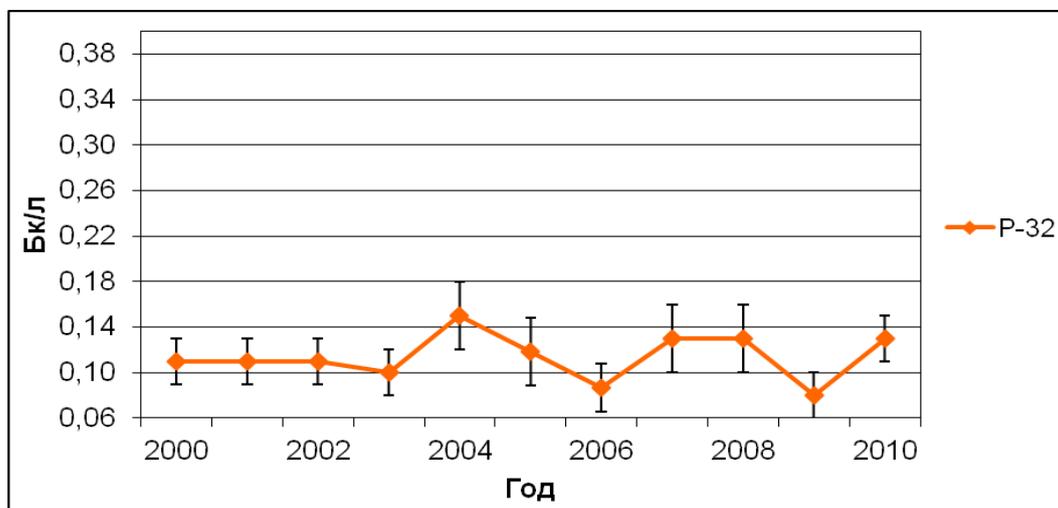


Рис. 2. Динамика содержания ^{32}P в воде р. Енисей в районе расположения д. Большой Бальчуг в 2000-2010 гг.

Согласно результатам многолетнего радиационного мониторинга 2000-2012 гг. (рис. 1, 2) прослеживалась динамика снижения содержания ^{60}Co , ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде р. Енисей в районе д. Большой Бальчуг. Относительно ^{32}P такого снижения не наблюдалось. Содержание ^{32}P в р. Енисей в 10 км ниже выпуска сбросных вод в течение изучаемого временного периода находилось практически в пределах одного уровня, что говорит о постоянном поступлении данного радионуклида в воду реки.

Результаты статистического анализа данных радиационного мониторинга по содержанию радионуклидов в воде применяли для вычисления удельных активностей основных элементов в рыбе (^{32}P , ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{137}Cs) в изучаемый период. Полученные значения использовали для расчёта дозовых нагрузок на референтные виды биоты в районе расположения ФГУП ГХК (д. Большой Бальчуг). Результаты расчётов представлены на рис. 3, 4 и в таблице 2.

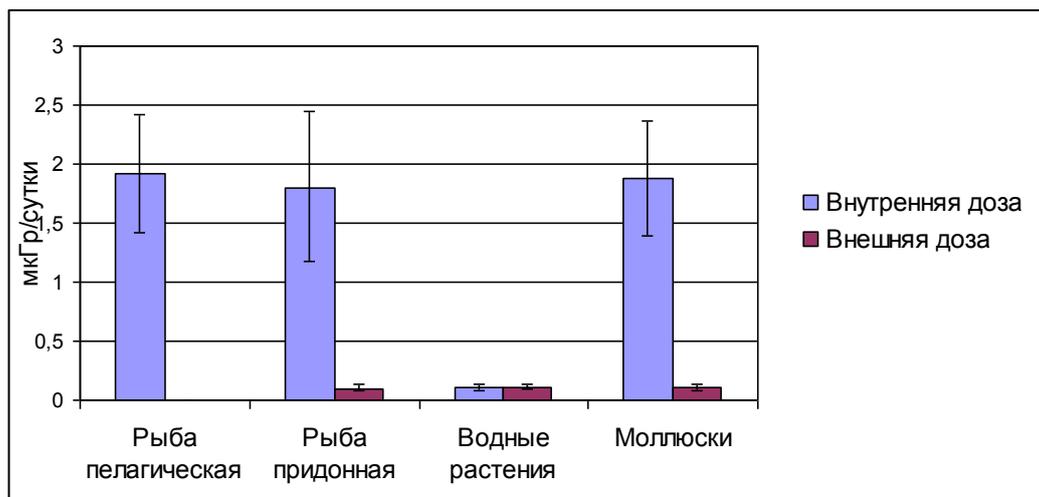


Рис. 3. Расчётные значения внутренней и внешней доз на референтные виды биоты р. Енисей в районе д. Большой Бальчуг в 2000-2010 гг., мкГр/сут.

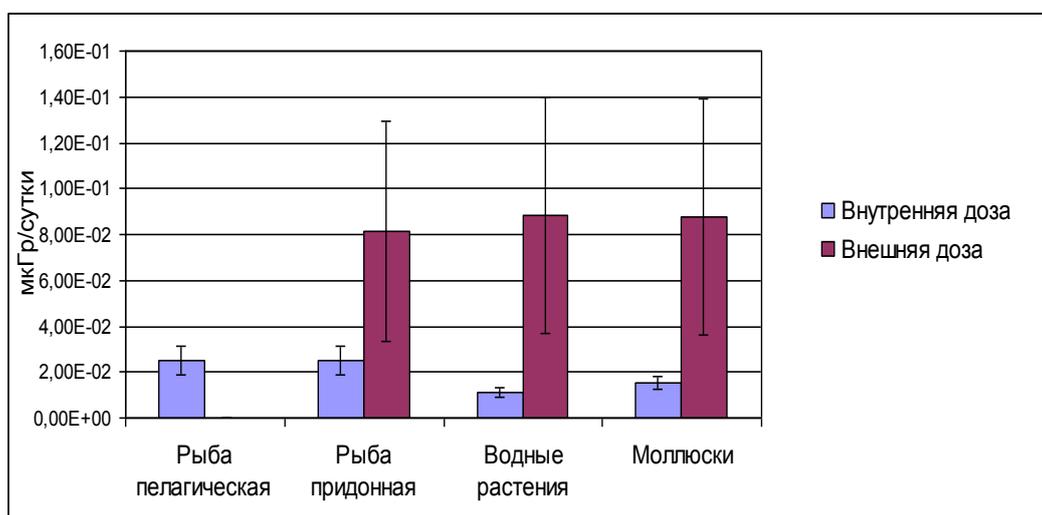


Рис. 4. Расчётные значения внутренней и внешней доз на референтные виды биоты р. Енисей в районе д. Большой Бальчуг в 2011-2012 гг., мкГр/сут.

Как видно из приведённых рис. 3 и 4, основной вклад в суммарную дозу в период до остановки последнего реактора на объекте вносило внутреннее облучение, в то время как в 2011-2012 гг. – основная доля приходилась на внешнее (за исключением пелагической рыбы).

Таблица 2

Расчётные значения дозовых нагрузок на референтные виды биоты р. Енисей в районе д. Большой Бальчуг в 2000-2012 гг., мкГр/сут

Референтный вид биоты	2000-2010 гг.		2011-2012 гг.	
	Суммарная доза	Дов. интервал	Суммарная доза	Дов. интервал
Рыба пелагическая	1,92	1,42-2,42	$2,50 \cdot 10^{-2}$	$(1,91-3,10) \cdot 10^{-2}$
Рыба придонная	1,90	1,25-2,57	$10,64 \cdot 10^{-2}$	$(5,27-16,04) \cdot 10^{-2}$
Водные растения	0,22	0,17-0,27	$9,98 \cdot 10^{-2}$	$(4,60-15,32) \cdot 10^{-2}$
Моллюски	1,99	1,47-2,51	$10,32 \cdot 10^{-2}$	$(4,91-15,70) \cdot 10^{-2}$

Результаты расчётов показывают, что в 2000-2010 гг. суммарная доза на референтные виды биоты была выше, чем в 2011-2012 г. (табл. 2).

Выводы

Проведённый анализ современного (2000-2012 гг.) воздействия ФГУП ГХК на речную биоту показал, что в 2011-2012 гг. дозовые нагрузки на референтные виды, в связи с выводом из эксплуатации последнего реактора весной 2010 г., были ниже, чем в 2000-2010 гг.

В 2000-2010 гг. основной вклад в суммарную дозу вносило внутреннее облучение, в то время как в 2011-2012 гг. ситуация изменилась. Вероятнее всего, это вызвано тем, что до остановки реактора основным дозообразующим радионуклидом для всех видов речной биоты являлся ^{32}P , обладающий наибольшим коэффициентом накопления в референтных организмах, чем другие изучаемые радионуклиды. В 2011-2012 гг. основной вклад в суммарную дозу облучения вносила внешняя доза, обусловленная накопленными в донных отложениях ^{60}Co и ^{137}Cs . Однако данной тенденции не наблюдалось для пелагической рыбы, скорее всего, это связано с тем, что в отличие от других гидробионтов, данный вид в меньшей степени контактировал с донными отложениями, и доза облучения для него формировалась ^{90}Sr и ^{137}Cs , накопленными внутри организма.

Расчётные оценки мощности дозы для гидробионтов р. Енисей в районе расположения ФГУП ГХК (д. Большой Бальчуг) были значительно ниже рекомендуемых безопасных уровней облучения водной биоты в течение изучаемых периодов (на 2-3 порядка – в 2000-2010 гг.; на 4-5 порядков – в 2011-2012 гг.). По результатам проведённого анализа можно сделать вывод, что существенного воздействия деятельность ФГУП ГХК на речную биоту в настоящее время не оказывает.

Литература

1. ГОСТ Р ИСО 5479-2002 «Статистические методы. Проверка отклонения распределения вероятностей от нормального распределения».
2. ГОСТ Р ИСО 16269-7-2004 «Статистические методы. Статистическое представление данных. Медиана».
3. ГОСТ Р ИСО 50779-22-2005 «Статистические методы. Статистическое представление данных. Точечная оценка и доверительный интервал для среднего».
4. МКРЗ – Международная комиссия по радиационной защите. Рекомендации 2007 года МКРЗ. Публикация 103. М.: ФМБЦ им. А.И. Бурназяна при поддержке ФМБА России, 2009. 314 с.
5. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009. Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523 - 09. М., 2009. 67 с.
6. Проект Требований безопасности: Радиационная защита и безопасность источников облучения: Международные основные нормы безопасности. Общие требования безопасности. № GSR, ч. 3. Вена: МАГАТЭ, 2011. 318 с.
7. Росгидромет. ГУ «НПО «Тайфун». Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств. С.-Пб.: Гидрометеиздат, 2001-2013.
8. Федеральный Закон РФ «Об охране окружающей среды» от 10 января 2002 года № 7-ФЗ.
9. **Brown J.E., Alfonso B., Avila R., Beresford N.A., Copplestone D., Pröhl G., Ulanovsky A.** The ERICA Tool //J. Environ. Radioact. 2008. V. 99, N 9. P. 1371-1383.
10. Final Project Technical Report of ISTC 1404 – Estimation and prediction of the consequences for the environment and population of radioactive contamination of the river Yenisei by discharges of the Krasnoyarsk Mining and Chemical Industrial Complex (Project Manager – S.M. Vakulovsky). Obninsk, 2003. P. 245.
11. **Ulanovsky A., Pröhl G.** Tables of dose conversion coefficients for estimating internal and external radiation exposures to terrestrial and aquatic biota //Radiat. Environ. Biophys. 2008. V. 47, N 2. P. 195-203.
12. UN – United Nations. Effects of radiation on the environment. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume II, Scientific Annex E. Effect of ionizing radiation on non-human biota. New York: United Nations, 2011. 164 p.

Analysis of radioecological impact of the Krasnoyarsk Mining and Chemical Industrial Complex on objects of river biota in 2000-2012

Lunyova K.V., Kryshev A.I.

Federal State Budget Institution "Research and Production Association "Typhoon", Obninsk

Assessment of present-day (2000-2012) radioecological impact of the Krasnoyarsk Mining and Chemical Industrial Complex (KMCIC) on objects of river biota near the Bolshoi Balchug village is adduced in present article. The results of statistical analysis of the content of main radionuclides in water of the Yenisey river during the follow up period and comparative estimates of radiation doses to referent types of water biota before (2000-2010) and after (2011-2012) decommissioning the last reactor at the KMCIC are discussed in this work. The results of comparative analysis of the dose estimates and recommended exposure limits are presented in the article.

Key words: *river biota, radioecological impact, radiation dose, the Krasnoyarsk Mining and Chemical Industrial Complex, exposure limit.*

Lunyova K.V.* – Junior Researcher; **Kryshev A.I.** – Head of Lab., D. Sc., Biol. FSBI «SPA «Typhoon».

*Contacts: 4 Pobeda str., Obninsk, Kaluga region, Russia, 249038. Tel.: (48439) 7-16-01; e-mail: kristina-ikv@yandex.ru.