

УДК 614.876:614.31]:639.21

К ОЦЕНКЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ РЫБЫ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО БАССЕЙНА

Г.Г. Онищенко¹, Н.В. Зайцева², П.З. Шур², Д.А. Кирьянов²,
В.М. Чигвинцев², А.А. Хасанова², С.Ю. Балашов²

¹Аппарат правительства РФ

²ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», Россия, 614045, г. Пермь, ул. Монастырская, 82

Представлены результаты оценки безопасности для здоровья населения Российской Федерации потребления дальневосточной промысловой рыбы в связи с аварией на АЭС «Фукусима-1». Проведена оценка содержания радионуклидов в выбранных видах промысловых рыб с учетом моделирования максимальных уровней загрязнения цезием океанской воды на путях их миграции. Сформированы сценарии потребления рыбной продукции и расчет в соответствии с ними годового поступления ¹³⁷Cs. Выполнена оценка риска для здоровья населения Российской Федерации, связанного с поступлением радионуклидов цезия с рыбной продукцией. Установлено, что в 2014 г. для населения России, потребляющего тихоокеанскую рыбу, максимальное годовое поступления цезия в организм не превысило 365 Бк, что соответствует уровню допустимого риска для здоровья. Моделирование эволюции канцерогенного риска, связанного с поступлением ¹³⁷Cs при потреблении рыбопродуктов, показало, что в течение всей жизни уровень этого риска классифицируется как минимальный. Однако мониторинг риска здоровью, связанного с загрязнением воды изотопами цезия, необходимо продолжать до полной ликвидации последствий аварии на АЭС «Фукусима-1».

Ключевые слова: оценка риска здоровью, цезий, рыба, «Фукусима-1».

В результате аварии на АЭС «Фукусима-1», имевшей место в марте 2011 г., в воды северной части Тихого океана произошел сброс значительного количества радионуклидов, которые вследствие переноса с морскими течениями дошли до берегов США и оказали влияние на качество морской воды во всей акватории. Поступление радионуклидов от аварийной станции в воды Тихого океана происходило как воздушным путём, так и в результате контролируемого и неконтролируемого сброса в океан воды, использованной для охлаждения аварийных реакторов [3]. По разным оценкам, непосредственно в океан с водой было сброшено от $1 \cdot 10^{15}$ до $41 \cdot 10^{15}$ Бк ¹³⁷Cs и такое же количество ¹³⁴Cs

[1, 3]; значительная часть выброшенных в атмосферу радионуклидов выпала на поверхность северной части Тихого океана.

Следствием поступления радионуклидов в океанские воды стало радиоактивное загрязнение морской рыбы, промысел которой ведётся как в водах Тихого океана, так и в Японском и Охотском морях, соединённых с Тихим океаном узкими проливами [1]. В пресс-релизах и месячных отчетах Министерства здравоохранения Японии регулярно публикуются материалы по содержанию изотопов цезия в морских продуктах, добываемых в японских прибрежных водах. Около 2 % проб рыбы, выловленной у восточного побережья Японии в 2012 г., превышают норма-

© Онищенко Г.Г., Зайцева Н.В., Шур П.З., Кирьянов Д.А., Чигвинцев В.М., Хасанова А.А., Балашов С.Ю., 2015
Онищенко Геннадий Григорьевич – помощник Председателя Правительства Российской Федерации, заслуженный врач Российской Федерации, академик РАН (e-mail: depart@gse.ru; тел.: 8(499) 973-27-44, 8(499) 973-17-17).

Зайцева Нина Владимировна – доктор медицинских наук, профессор, академик РАН, заслуженный деятель науки РФ, директор (e-mail: znv@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-25-34).

Шур Павел Залманович (Пермь, Россия) – доктор медицинских наук, ученый секретарь (e-mail: shur@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 238-33-37).

Кирьянов Дмитрий Александрович – кандидат технических наук, заведующий отделом математического моделирования систем и процессов (e-mail: kdn@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-18-04).

Чигвинцев Владимир Михайлович – научный сотрудник отдела математического моделирования систем и процессов (e-mail: cvm@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-18-04).

Хасанова Анна Алексеевна – магистр, специалист отдела анализа рисков (e-mail: sharaeva@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 238-33-37).

Балашов Станислав Юрьевич – заведующий лабораторией методов комплексного санитарно-гигиенического анализа и экспертиз (e-mail: stas@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-18-04).

тив Евросоюза на допустимое содержание цезия-137 и 10 % проб выше норматива Российской Федерации [1]. Это указывает на опасность для здоровья населения Российской Федерации, обусловленную поступлением радионуклидов ^{137}Cs и ^{134}Cs с рыбой и морепродуктами, обитающими в загрязненной морской воде.

Преобладающим путём поступления ^{137}Cs в организм рыб является алиментарный [6]. Между компонентами трофических сетей происходит постоянный перенос вещества, а следовательно, возможна миграция радионуклидов по трофическим цепям от одного уровня к другому [12]. В связи с этим важнейшим путем поступления радионуклидов в организм рыб является передача радиоактивных веществ по пищевым цепям.

Поступление ^{137}Cs , как и других радионуклидов, в рыбу в значительной степени зависит от её рациона и спектра питания [10]. Молодь большинства рыб и многие взрослые рыбы питаются планктоном, который способен накапливать радионуклиды до концентраций в сотни раз больших, чем в окружающей воде. Поэтому при малом содержании радиоактивных веществ в воде поступление их в организм рыб обуславливается в первую очередь загрязнённой пищей. При этом не происходит эффективного переноса радиоизотопа ^{137}Cs между трофическими уровнями зообентос – рыбы-бентофаги, однако происходит накопление данного радионуклида из биомассы рыб-бентофагов рыбами-ихтиофагами [12]. Меньшее всего ^{137}Cs регистрируется у бентофагов, планктофагов и фитофагов, а наибольшее количество ^{137}Cs характерно для ихтиофагов и рыб смешанного типа питания [2].

При попадании в водные экосистемы радиоизотопы избирательно накапливаются отдельными компонентами водоёма, тем самым создавая различные радиационные условия для каждой из экологических групп. Радионуклиды интенсивно сорбируются дном и донными отложениями, в результате чего дно становится своеобразным депо долгоживущих элементов.

В связи с тем, что радиоизотоп ^{137}Cs , имеющий длительный период полураспада, оседает на частицах осадков и скапливается на дне, а также в связи с тем, что у донных рыб накопление радиоизотопов идёт быстрее, чем у пелагических, наиболее чувствительной группой морских обитателей могут оказаться донные рыбы [19]. Измерение радиоактивности разных экологических типов рыб показало, что у донных обитателей показатели в 10–50 раз больше, чем у пелагических и подповерхностных видов [16].

По данным Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра, основу дальневосточных уловов составляют минтай, сельдь, тихоокеанские лососи, в то же время увеличивается вылов таких промысловых рыб, как сайра и тихоокеанский голубой тунец. Сайра относится к планктофагам, соответственно, для данного вида не происходит эффективного накопления изотопов ^{137}Cs в процессе питания, однако пути её миграции пролегают через районы, наиболее загрязнённые цезием, как и у тихоокеанского голубого тунца. Вместе с этим тунец относится к ихтиофагам. В отличие от сайры и тунца, миграционные пути дальневосточной сардины не проходят через области Тихого океана, на которые распространилось радиоактивное загрязнение после аварии на АЭС «Фукусима-1», однако данный вид рыб обладает смешанным типом питания, в связи с чем характеризуется эффективным накоплением радиоизотопа ^{137}Cs в трофической сети.

Таким образом, в связи с аварией на АЭС «Фукусима-1» существует опасность поступления изотопов цезия с рыбной продукцией и актуальной является оценка риска для здоровья населения Российской Федерации, связанная с потреблением этой продукции

Цель работы – оценка безопасности для здоровья населения Российской Федерации потребления дальневосточной промысловой рыбы в связи с аварией на АЭС «Фукусима-1».

Для достижения цели были решены следующие задачи:

1) выбор математической модели, описывающей процесс разбавления и переноса радионуклидов и анализ результатов натурных замеров ^{137}Cs ;

2) оценка содержания радионуклидов в выбранных видах промысловых рыб с учетом результатов моделирования уровней загрязнения цезием океанской воды на путях их миграции и натурных исследований в период до 2014 г.;

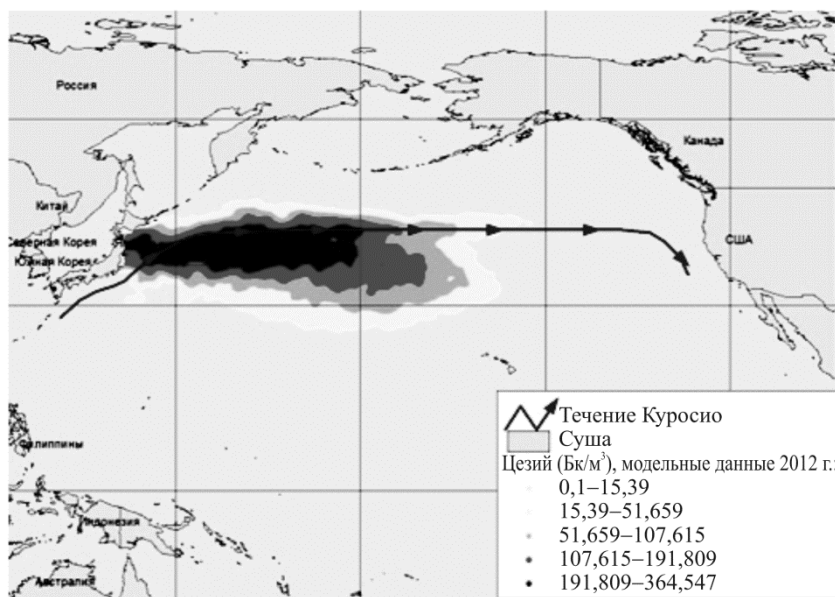
3) формирование сценариев потребления рыбной продукции и расчет в соответствии с ними суточного поступления ^{137}Cs для жителей дальневосточных субъектов Российской Федерации;

4) оценка риска для здоровья населения Российской Федерации, связанного с поступлением радионуклидов цезия с рыбной продукцией.

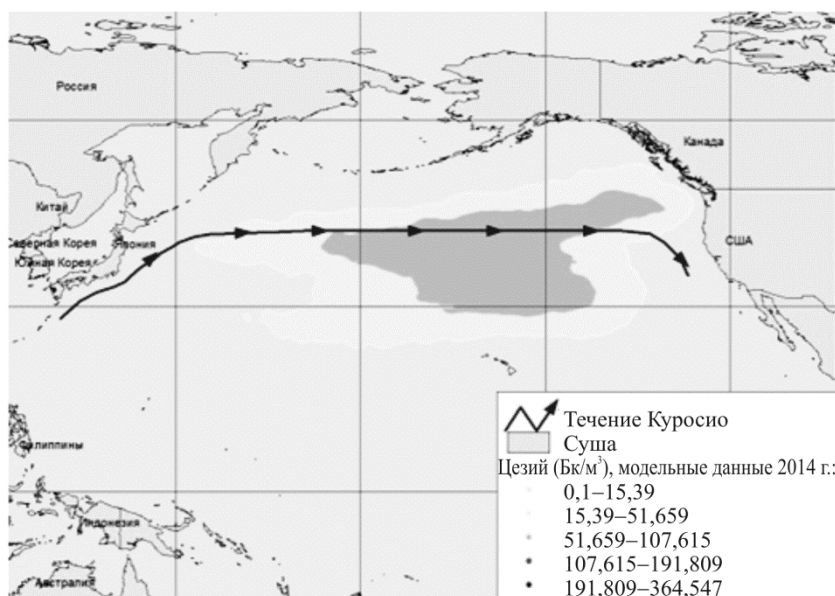
Материалы и методы. В качестве рабочей модели для процесса разбавления и переноса радионуклидов была выбрана модель, предложенная международной исследовательской

группой ученых из Испании, Австралии и Франции (Institute for Cross-Disciplinary Physics and Complex Systems, Spain; University of New South Wales, Climate Change Research Center & ARC Centre of Excellence for Climate System Science, Australia; Laboratoire d'Etude en Géophysique et Océanographie Spatiales, France) [14]. Она описывает расчеты распространения содержания радиоизотопа ^{137}Cs в части Тихого океана, подверженной влиянию сбросов в ре-

зультате аварии на АЭС «Фукусима-1». Данные, представленные в работе (рис. 1), позволяют не только охарактеризовать загрязнение северной части Тихого океана в 2012 г., но и выполнить прогноз на десять лет. Модель, учитывает все основные параметры аварийного сброса, характеристики океанских течений, рельефа дна, атмосферных явлений, что позволило выбрать ее в качестве базовой для осуществления процедуры верификации.



а



б

Рис. 1. Результаты расчетов пространственного распределения цезия ^{137}Cs : а – 2012 г.; б – 2014 г.

В качестве основных информационных материалов для нахождения значения природных замеров были использованы данные, полученные в ходе научных экспедиций в предполагаемые районы загрязнения и в организованных систематических мониторинговых исследованиях содержания радиоактивных изотопов. Источниками послужили результаты исследований ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева» поверхностных вод Японского моря и Тихого океана (вблизи места аварии), данные, полученные в ходе совместного исследования в 2011 г. акватории Тихого океана между берегами Японии и США специалистами США и Японии [15], и открытые материалы мониторинговых исследований качества морской воды, организованных Японией и США [15, 17, 18]. Всего в обработку были включены данные за 4 года по 909 замерам на различных глубинах и в различных местах Тихоокеанского бассейна [15, 17, 18].

Общая характеристика исходных данных, собранных из различных источников:

– за 2011 г. – 305 замеров (минимум – 0,3 Бк/м³, среднее – 229 Бк/м³, максимум – 4496,8 Бк/м³);

– за 2012 г. – 83 замера (минимум – 0,8 Бк/м³, среднее – 5,717 Бк/м³, максимум – 76,7 Бк/м³);

– за 2013 г. – 353 замера (минимум – 0 Бк/м³, среднее – 3,036 Бк/м³, максимум – 21 Бк/м³);

– за 2014 г. – 167 замеров (минимум – 0,4 Бк/м³, среднее – 2,213 Бк/м³, максимум – 6,9 Бк/м³).

На рис. 2 приведена географическая привязка точек контроля содержания цезия в морской воде. Анализ географии точек контроля (рис. 2) показал, что практически все точки расположены вдоль побережья Северной Америки, Японии и Курильской гряды, а также вдоль тихоокеанского течения Куроисио.

В качестве исходной информации для оценки содержания радионуклидов в отдельных видах

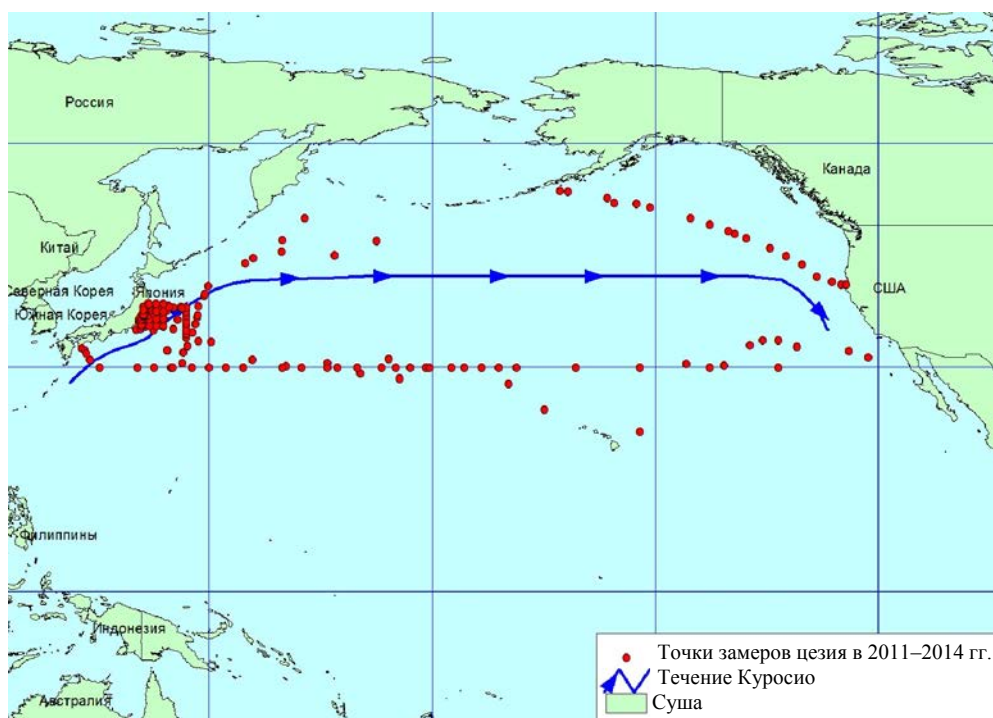


Рис. 2. Географическая привязка точек контроля содержания цезия ¹³⁷Cs в морской воде

промысловых рыб использовались результаты моделирования распространения радионуклидов цезия в акватории Тихого океана и данные природных измерений.

Для проведения оценки опасности и риска для здоровья населения Российской Федерации, связанного с поступлением радионуклидов цезия с рыбной продукцией, были выбраны виды

рыб, для которых сформированы сценарии потребления и расчет в соответствии с ними годового поступления ¹³⁷Cs.

Выбор видов рыб, потребление которых будет учитываться при разработке сценариев потребления и расчете в соответствии с ними годового поступления ¹³⁷Cs, был обусловлен маршрутами миграции и спектром питания. Маршруты

миграции выбранных видов рыб были нанесены на карты вместе с указанием концентраций ^{137}Cs , полученных по данным моделирования процесса распространения изотопов цезия, поступивших в океан вследствие аварии на АЭС «Фукусима-1», и точками натурных замеров.

При оценке потребления рыбы и рыбопродуктов в Российской Федерации были использованы значения фактического потребления в соответствии с данными Федеральной службы государственной статистики за 2013 г., а также потребления рыбы и рыбопродуктов контингентами риска – жителями населенных пунктов на островах в Сахалинской области, которые могут рассматриваться как целевая группа. Оценка опасности и риска для здоровья населения Российской Федерации, связанного с поступлением радионуклидов цезия с рыбной продукцией, проводилась в соответствии с принципами, изложенными в Р 2.1.10.1920-04. «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду»

Для расчёта концентрации радионуклидов в рыбе, с учётом полученных данных концентраций в морской воде были использованы концентрационные множители, рекомендуемые МАГАТЭ в техническом докладе TRS-422 [5].

Для расчета канцерогенного риска в каждом сценарии использовался эволюционный подход. Эволюционная модель накопления канцерогенного риска здоровью при употреблении продукции, содержащей радионуклиды, является математическим описанием процесса изменения состояния здоровья населения, находящегося под действием радиационных факторов в течение длительного времени.

Эволюционные уравнения записываются в виде рекуррентных соотношений, позволяющих организовывать итерационную расчетную процедуру по временным шагам. Система рекуррентных уравнений учитывает накопление риска канцерогенных эффектов на критические органы/системы за счет действия различных радионуклидов. Модель позволяет рассчитывать канцерогенный риск на любой заданный момент времени при помощи прогнозирования накопления риска эффектов с учетом продолжительности воздействия и возраста.

Риск заболевания раком при радиационном воздействии вычисляется по соотношению:

$$R_{t+1} = R_t + (\alpha_1 R_t + \lambda D_t) K,$$

где R_{t+1} – значение риска в момент времени $t+1$, R_t – значение риска в момент времени t , α_1 – коэффициент прироста риска за счет естественных причин, λ – коэффициент прироста риска за счет действия радиации, D_t – экспозиция радиационного фактора (зависимость дозы от времени), K – временной эмпирический коэффициент.

Коэффициенты, учитывающие эволюцию риска за счет естественных причин, определяются исходя из фоновых показателей заболеваемости и смертности от отдельных нозологий, отражающих функциональные нарушения критических органов и систем (табл. 1). Идентификация параметров моделей накопления риска нарушений здоровья за счет естественных процессов в организме проводится на основе статистических данных по заболеваемости и смертности взрослого населения.

Таблица 1

Рекуррентные соотношения для оценки риска онкологической заболеваемости

Нозология	Соотношение
Рак легкого	$R_{t+1} = R_t + (0,1255R_t + 4,12 \cdot 10^{-4} D_t) K$
Рак мочевого пузыря	$R_{t+1} = R_t + (0,135R_t + 0,55 \cdot 10^{-4} D_t) K$
Рак желудка	$R_{t+1} = R_t + (0,139R_t + 0,71 \cdot 10^{-4} D_t) K$
Рак пищевода	$R_{t+1} = R_t + (0,1R_t + 2,32 \cdot 10^{-4} D_t) K$

Для расчета радиационного риска используются эволюционные модели накопления риска. В первый год жизни значение риска принимается равным 10^{-7} .

Результаты и их обсуждение. Для оценки содержания радионуклидов в выбранных видах

промысловых рыб было выполнено наложение путей миграции рыб на полученные расчетные данные (рис. 3).

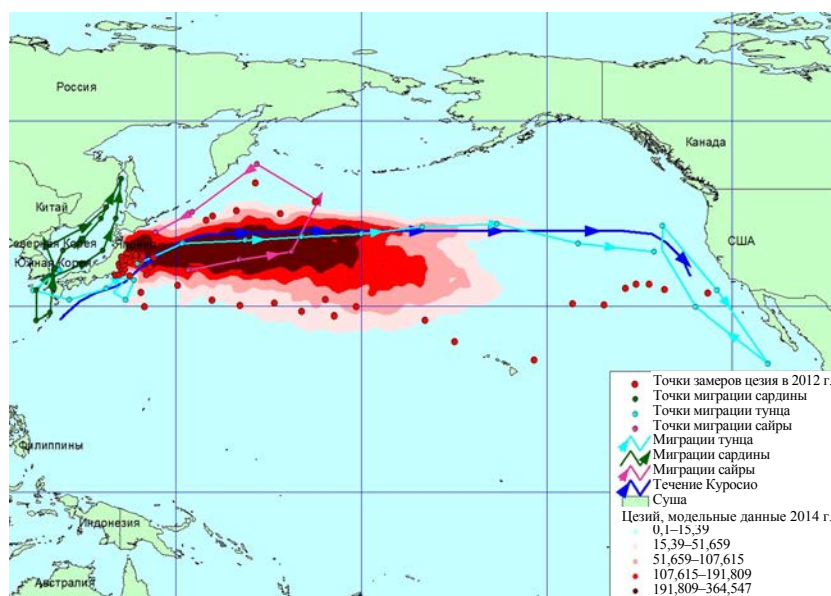
Ареалы обитания и пути миграции минтая, сельди, тихоокеанских лососей в соответствии с результатами моделирования распространения

радионуклидов характеризуются минимальными уровнями загрязнения [8]. В то же время пути миграции таких видов рыб, как сайра и тихоокеанский голубой тунец, пролегают через более загрязненные цезием районы [8, 13].

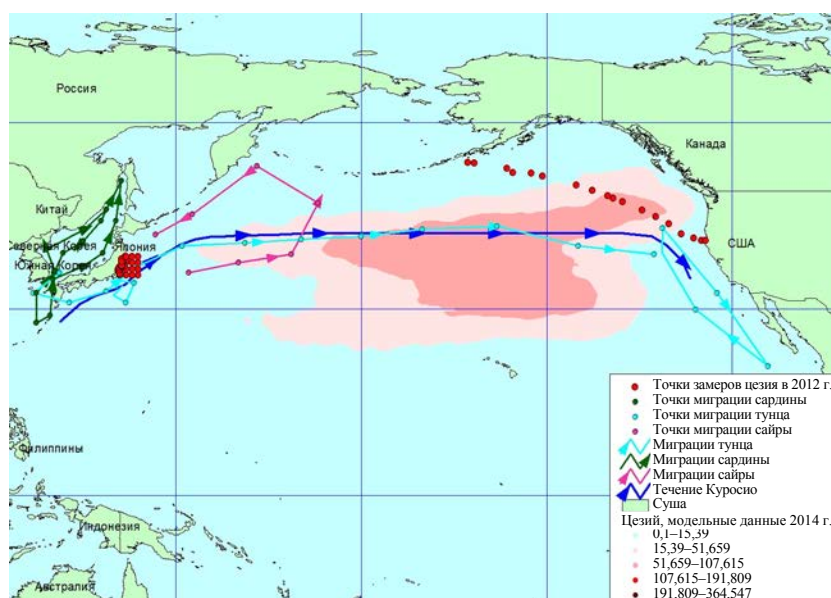
В соответствии с методическими подходами к оценке риска здоровью человека, связанного с содержанием вредных веществ в пищевых продуктах, принятыми в мировой практике [4, 18], были рассмотрены несколько сценариев поступления ^{137}Cs в организм потребляющих рыбу, выловленную в Тихом океане. Сформированные сценарии предусматривают расчет-

ные и натурные данные замеров концентраций ^{137}Cs в морской воде за 2012 и 2014 г., а также потребление рыбопродуктов в объеме 24,8 кг для населения в целом и 50,0 кг для целевых групп. При формировании сценариев рассматривалась гипотеза, предполагающая уровень инкорпорации, эквивалентный максимальной концентрации ^{137}Cs в морской воде, не изменяющийся в период прогнозирования (без учета периода полураспада изотопа).

В качестве первого сценария была рассмотрена инкорпорация, предусматривающая потребление продукта в объеме 24,8 кг в год [7]



а



б

Рис. 3. Результаты расчетов пространственного распределения цезия ^{137}Cs с наложением путей миграции рыб и точек натуральных замеров (концентрации цезия в морской воде, Бк/м³): а – в 2012 г.; б – в 2014 г.

с содержанием оцениваемого компонента согласно расчетным данным за 2012 и 2014 г. Второй сценарий рассмотрен для целевых групп населения, потребляющих до 50,0 кг рыбопродуктов [9], с концентрацией радионуклида ^{137}Cs , полученный также в результате расчетов. Третий и четвертый сценарии предусматривали использование данных натуральных замеров концентраций ^{137}Cs в воде за 2012 и 2014 г. при потреблении населением рыбопродуктов в количестве 24,8 и 50,0 кг.

Концентрации радионуклидов ^{137}Cs в зонах миграции тихоокеанского голубого тунца и сайры представлены в табл. 2 и 3.

Максимальные концентрации радионуклидов ^{137}Cs в зонах миграции тихоокеанского голубого тунца составляют: по данным моделирования – 311,9 Бк/м³ в 2012 г. (точка 4) и 72,5 Бк/м³ в 2014 г. (точка 8), по данным натуральных исследований – 5 Бк/м³ (точка 4) в 2012 г. и 2,7 Бк/м³ в 2014 г. (точка 1). Максимальные концентрации радионуклидов ^{137}Cs в зонах миграции сайры составляют: по расчетным данным – 271,8 Бк/м³ (точки 2 и 3)

в 2012 г. и 35,1 Бк/м³ (точка 3) в 2014 г., по данным натуральных исследований – 5,4 Бк/м³ (точка 4) в 2012 г. и 3 Бк/м³ (точка 7) в 2014 г.

Несоответствие оценок загрязнения морской воды ^{137}Cs по результатам моделирования и натуральных исследований свидетельствует о сохраняющейся опасности распространения изотопов цезия и необходимости продолжения мониторинговых наблюдений.

Проведенная оценка концентраций радионуклидов ^{137}Cs в выбранных видах рыб представлена в табл. 4 и 5.

Согласно расчетным данным, в голубом тунце могло содержаться 31,1 Бк/кг ^{137}Cs в 2012 г. и 7,3 Бк/кг в 2014 г. Исходя из этого годовое поступление в организм человека ^{137}Cs с голубым тунцом в 2012 г. составит 771,28 Бк, а в 2014 г. – 181,04 Бк. Для целевых групп населения (годовое потребление рыбопродуктов до 50 кг) годовое поступления ^{137}Cs в организм человека составит 1555,0 и 365,0 Бк в 2012 и 2014 г. соответственно.

Таблица 2

Концентрации радионуклидов ^{137}Cs в зонах миграции тихоокеанского голубого тунца и сайры по данным моделирования¹

Вид	Номер точки	Широта	Долгота	Концентрация в воде, Бк/м ³	
				2012 г.	2014 г.
Голубой тунец	1	131,25	35,89	0,1	0,1
	2	126,96	32,68	0,1	0,1
	3	132,86	31,07	0,1	0,79
	4	138,75	32,95	0,44	1,61
	5	143,3	34,29	29,52	3,82
	6	141,96	31,07	14,97	5,98
	7	143,84	36,96	148,36	4,84
	8	151,07	40,18	200,81	10,57
	9	161,25	40,71	311,91	22,21
	10	170,36	41,25	269,33	47,13
	11	180,0	41,79	200,81	54,08
	12	189,91	42,86	72,54	63,21
	13	201,96	43,39	35,14	72,54
	14	215,1	40,18	0,24	47,13
	15	227,41	38,84	0,1	10,57
	16	228,75	43,13	0,1	20,83
	17	234,11	30,0	0,1	2,90
	18	245,8	20,89	0,1	0,1
	19	237,6	32,68	0,1	1,15
Сайра	1	152,14	35,89	175	5,12
	2	160,18	37,5	271,81	16,56
	3	168,75	38,84	271,81	35,14
	4	173,04	47,14	2,46	5,46
	5	163,13	53,04	0,78	0,90
	6	152,68	45,27	10,57	1,38
	7	146,79	42,05	130,48	6,87

¹ Institute for Cross-Disciplinary Physics and Complex Systems, Spain; University of New South Wales, Climate Change Research Center & ARC Centre of Excellence for Climate System Science, Australia; Laboratoire d'Etude en Géophysique et Océanographie Spatiales, France.

Таблица 3

Концентрации ^{137}Cs в зонах миграции тихоокеанского голубого тунца и сайры по данным натурных исследований¹

Вид	Номер точки	Широта	Долгота	Концентрация в воде, Бк/м ³	
				2012 г.	2014 г.
Голубой тунец	4	138,75	32,95	1,8	2,7
	5	143,3	34,29	1,7	2,2
	6	141,96	31,07	1,6	1,6
	7	143,84	36,96	2,6	2
	9	161,25	40,71	5	–
	17	234,11	30,0	1,7	–
	19	237,6	32,68	1,7	–
Сайра	1	152,14	35,89	3,7	2,8
	4	173,04	47,14	5,4	–
	5	163,13	53,04	1,8	–
	6	152,68	45,27	4,3	–
	7	146,79	42,05	4,3	3

Таблица 4

Оценка концентраций ^{137}Cs в выбранных для моделирования видах рыб (по расчетным концентрациям в морской воде)

Вид	Концентрация в рыбе (Бк/кг)	
	2012 г.	2014 г.
Голубой тунец	31,1	7,3
Сайра	27,18	3,5

Таблица 5

Оценка концентраций ^{137}Cs в выбранных для моделирования видах рыб (по натурным замерам концентраций в морской воде)

Вид	Концентрация в рыбе (Бк/кг)	
	2012 г.	2014 г.
Голубой тунец	0,5	0,27
Сайра	0,54	0,3

Также рассчитано годовое поступление в организм человека ^{137}Cs по данным натурных наблюдений: при потреблении морской рыбы из расчета 24,8 кг (в соответствии с третьим сценарием) в 2012 г. инкорпорация ^{137}Cs составляет 12,4 Бк, а в 2014 г. – 6,7 Бк; при потреблении до 50,0 кг голубого тунца (четвертый сценарий) – 25,0 Бк – в 2012 г. и 13,5 Бк – в 2014 г. (табл. 6).

Результаты свидетельствуют о том, что годовая инкорпорация ^{137}Cs при всех сценариях ниже рекомендованного предела годового поступления данного изотопа цезия с пищей для населения (77 000 Бк в год) [11].

Для задач моделирования эволюционного риска было рассчитано суточное поступление ^{137}Cs в результате потребления морской рыбы в

количестве 24,8 и 50,0 кг в год. Результаты расчетов представлены в табл. 7.

Для расчёта показателей дополнительной пожизненной смертности и онкологической заболеваемости были использованы сценарии № 1–4, при которых суточное поступление ^{137}Cs в течение всей жизни равно максимальному суточному поступлению ^{137}Cs , полученному в сценарии.

В соответствии с максимальным для каждого сценария суточным поступлением цезия-137 с рыбой по результатам моделирования эволюции канцерогенного риска величина дополнительного канцерогенного риска в 80 лет для сценария № 1 составила $2,73 \cdot 10^{-6}$; для сценария № 2 – $5,48 \cdot 10^{-6}$; для сценария № 3 – $5,13 \cdot 10^{-8}$

¹ Institute for Cross-Disciplinary Physics and Complex Systems, Spain; University of New South Wales, Climate Change Research Center & ARC Centre of Excellence for Climate System Science, Australia; Laboratoire d'Etude en Géophysique et Océanographie Spatiales, France.

и для сценария № 4 – $9,52 \cdot 10^{-9}$. Пожизненный дополнительный риск составил: сценарий №1 – $7,2 \cdot 10^{-6}$; № 2 – $1,46 \cdot 10^{-5}$; № 3 – $1,37 \cdot 10^{-7}$; № 4 – $2,5 \cdot 10^{-8}$. Уровень дополнительного риска 10^{-6} для сценария № 1 достигается в 72 года, для сценария № 2 – в 66 лет, для сценариев № 3 и 4 не достигается на протяжении всей жизни (рис. 4).

Таблица 6

Годовое поступление ^{137}Cs при потреблении рыбопродуктов (голубой тунец) (Бк/г.)

Сценарий	2012 г.	2014 г.
1	771,28	181,04
2	1555,0	365,0
3	12,4	6,7
4	25,0	13,5

Таблица 7

Суточное поступление ^{137}Cs при потреблении рыбопродуктов (голубой тунец) (Бк/сут.)

Сценарий	2012 г.	2014 г.
1	2,12	0,5
2	4,26	1,0
3	0,04	0,02
4	0,007	0,04

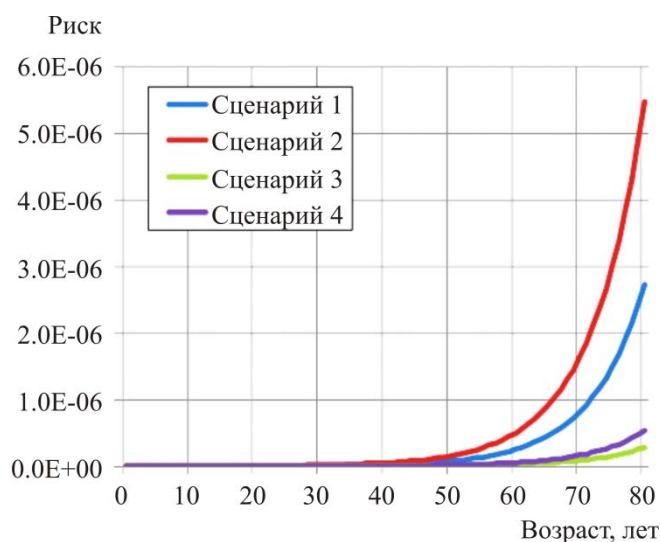


Рис. 4. Дополнительный канцерогенный риск

В соответствии с системой критериев, предложенных Всемирной организацией здравоохранения и принятых в Российской Федерации при анализе риска для здоровья, полученные величины оцениваются как минимальный риск.

Выводы. По результатам моделирования распространности ^{137}Cs ареал загрязнения охватывает значительную часть акватории Тихого океана, включая пути миграции промысловых рыб и зоны рыболовства. Несоответствие оценок загрязнения морской воды ^{137}Cs , полученных по результатам моделирования и натурных исследований, свидетельствует о сохраняющейся опасности распространения радионуклидов цезия и не-

обходимости продолжения мониторинговых наблюдений.

Оценка риска для здоровья населения Российской Федерации, связанного с потреблением рыбной продукции, проведенная по сценарию, учитывающему максимально возможное накопление радионуклидов цезия в рыбе и максимальное потребление рыбной продукции, показала, что по состоянию на 2014 г. максимальное поступление ^{137}Cs с рыбой в организм жителей дальневосточных регионов России не превысило 365 Бк в год, что существенно ниже безопасного предела годового поступления и соответствует уровню допустимого риска для здоровья.

Моделирование эволюции канцерогенного риска, связанного с поступлением цезия-137 при потреблении рыбопродуктов показало, что в течение всей жизни уровень этого риска классифицируется как минимальный.

Вместе с тем в связи с существующей опасностью загрязнения океана радионуклида-

ми цезия от АЭС «Фукусима-1» при появлении дополнительных сведений о сбросах радиоактивной воды необходимы повторные исследования по оценке риска для здоровья населения Российской Федерации.

Список литературы

1. Авария на АЭС «Фукусима-1»: организация профилактических мероприятий, направленных на сохранение здоровья населения Российской Федерации / И.К. Романович [и др.]; под ред. акад. РАН Г.Г. Онищенко. – СПб.: НИИРГ им. проф. П.В. Рамзаева, 2012. – 336 с.
2. Зарубин О.Л., Малюк И.А., Костюк В.А. Особенности содержания ^{137}Cs у различных видов рыб Каневского водохранилища на современном этапе // Гидробиологический журнал. – 2009. – № 45 (5). – С. 110–116.
3. Исследование радиоактивного загрязнения морской биоты в связи с аварией на АЭС «Фукусима-1» / В.П. Рамзаев, С.А. Иванов, Ю.Н. Гончаров, Н.М. Вишнякова, А.В. Севастьянов // Радиационная гигиена. – 2012. – Т. 5, № 4. – С. 5–11.
4. Комиссия Codex Alimentarius. Рабочие принципы анализа риска, применяемые Кодекс Алиментариус: руководство по процедуре / Комиссия Codex Alimentarius; ФАО/ВОЗ. – 19-е изд. – Рим, 2013.
5. Коэффициенты распределения в отложениях и концентрационные множители для биоты в морской среде // МАГАТЭ. – 2004. – URL: http://www.pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TRS422_web.pdf (дата обращения: 21.02.2015).
6. Полякова Н.И. Особенности накопления Cs у рыб разных трофических уровней из водоемов, загрязненных радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС: автореф. дис. ... канд. биол. наук (03.00.10) / Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН. – М., 2008. – 25 с.
7. Потребление основных продуктов питания населением Российской Федерации / Федеральная служба государственной статистики. – URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения: 25.02.2015).
8. Репин В.С. Радиационно-гигиеническая оценка возможных уровней загрязнения дальневосточных морепродуктов долгоживущими радионуклидами в связи с аварией на АЭС «Фукусима-1» // Радиационная гигиена. – 2012. – Т. 5, № 2. – С. 61–77.
9. Романович И.К., Громов А.В., Гончарова Ю.Н. Предварительный анализ данных первичного обследования радиационной обстановки в юго-восточных районах Сахалинской области после аварии на АЭС «Фукусима-1» // Радиационная гигиена. – 2011. – Т. 4, № 3. – С. 36–42.
10. Рябов И.Н. Радиоэкологические особенности рыб, принадлежащих к различным фаунистическим комплексам // IV съезд по радиационным исследованиям (радиобиология, радиоэкология, радиационная безопасность). – М., 2001. – Т. II. – С. 565.
11. СанПиН 2.6.1.2523–09. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009. – М., 2009. – 137 с.
12. Трофимова Е.А., Зотина Т.А., Болсуновский А.Я. Оценка эффективности переноса техногенных радионуклидов между компонентами трофических сетей р. Енисей // Материалы Международной молодежной школы-семинара «Геохимия живого вещества» (Томск, 2–5 июня 2013 г.). – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – С. 178–180.
13. Daniel J. Madigan, Z. Baumannand, S. Fisher. Pacific bluefin tuna transport Fukushima-derived radionuclides from Japan to California // Proc. Natl. Acad. Sci. U S A. – 2012. – Jun 12. – Vol. 109 (24). – P. 9483–9486.
14. England «Multi-decadal projections of surface and interior path ways of the Fukushima Cesium-137 radioactive plume» / V. Rossi, E.V. Seville, A.S. Gupta, V. Garcon, H. Matthew // Deep-Sea Research I. – URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr.2013.05.015> (дата обращения: 15.12.2014).
15. Fukushima-derived radionuclides in the ocean and biota off Japan / O. Buesseler Ken, R. Jayne Steven, S. Fisher Nicholas, I. Rypina Irina, Baumann Hannes, Baumann Zoa, F. Breier Crystaline, M. Douglass Elizabeth, George Jennifer, M. Macdonald Alison, Miyamoto Hiroomi, Nishikawa Jun, M. Pike Steven, Yoshida Sashiko // PNAS. – 2012. – Vol. 109. – P. 5984–5988.
16. Ken O. Buesseler. Fishing for answers off Fukushima // Science. – 2012. – Vol. 338. – P. 480–482.
17. Monitoring information of environmental radioactivity level. – URL: <http://radioactivity.nsr.go.jp/en/index.html> (дата обращения: 10.12.2014).
18. Our Radioactive Ocean. – URL: <http://ourradioactiveocean.org/results.html> (дата обращения: 10.12.2014).
19. Yoshida N., Kanda J. Tracking the Fukushima Radionuclides // Science. – 2012. – Vol. 336. – P. 1115–1116.

References

1. Romanovich I.K., Balonov M.I., Barkovskij A.N., Nikitin A.I. Avarija na AJeS «Fukusima-1»: organizacija profilaktičeskikh meroprijatij, napravlennyh na sohranenie zdorov'ja naselenija Rossijskoj Federacii [The accident at the nuclear power plant "Fukushima-1": organization of preventive measures aimed at maintaining the health of the Russian population]. Saint-Petersburg: NIIRG im. prof. P.V. Ramzaeva, 2012. 336 p. (in Russian).
2. Zarubin O.L., Malyuk I.A., Kostyuk V.A. Osobennosti sodержanija 137Cs u razlichnyh vidov ryb Kanevskogo vodohranilishha na sovremennom jetape [Features of 137Cs in different fish species Kanev Reservoir at the present stage]. *Gidrobiologičeskij žurnal*. 2009, vol. 45 (5), pp. 110–116 p. (in Russian)
3. Ramzaev V.P., Ivanov S.A., Goncharov Ju.N., Vishnjakova N.M., Sevast'janov A.V. Issledovanie radioaktivnogo zagrjaznenija morskoi bioty v svjazi s avariej na AJeS «Fukusima-1» [Investigation of radioactive pollution of the marine biota in connection with the accident at the plant "Fukushima-1"]. *Radiacionnaja gigiena*, 2012; vol. 4: pp. 5–11. (in Russian)
4. *Codex Alimentarius Commission*. Procedural Manual. Twenty-first edition, FAO / WHO, Rome, 2013.
5. Kojefficienty raspredelenija v otlozhenijah i koncentracionnye mnozhiteli dlja bioty v morskoi srede [Distribution ratios in sediments and biota concentration factors in the marine environment]. *IAEA*, 2004. Available at: http://www.pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TRS422_web.pdf
6. Polyakova N.I. *Features Cs accumulation in fish of different trophic levels of the reservoirs, contaminated as a result of the Chernobyl accident*: thesis abstract on scientific degree of candidate of biological sciences (03.00.10). Institut problem jekologii i jevoljucii im. A.N. Severtcova RAN, 2008, 25 p. (in Russian)
7. Potreblenie osnovnyh produktov pitaniya naseleniem Rossijskoj Federacii [Consumption of basic foodstuffs population of the Russian Federation. Federal State Statistics Service]. Available at: <http://www.gks.ru/> (in Russian)
8. Repin V.S. Radiacionno-gigieničeskaja ocenka vozmožnyh urovnej zagrjaznenija dal'nevostochnyh moreproduktov dolgozživushhimi radionuklidami v svjazi s avariej na AJeS «Fukusima-1» [Radiation-hygienic assessment of possible pollution levels Far East Seafood long-lived radionuclides in connection with the accident at the nuclear power plant "Fukushima-1"]. *Radiacionnaja gigiena*, 2012, vol. 2 (5), pp. 61–77. (in Russian)
9. Romanovich I.K., Gromov A.V., Goncharova Ju.N. Predvaritel'nyj analiz dannyh pervičnogo obsledovanija radiacionnoj obstanovki v jugo-vostochnyh rajonah Sahalinskoj oblasti posle avarii na AJeS «Fukusima-1» [Preliminary analysis of the data of the primary survey of the radiation situation in the south-eastern Sakhalin region after the Chernobyl nuclear power plant "Fukushima-1"]. *Radiacionnaja gigiena*, 2011, vol. 4, no. 3, pp. 36–42. (in Russian)
10. Rjabov I.N. Radiojekologičeskie osobennosti ryb, prinadlezhashhij k razlichnym faunističeskim kompleksam [Radiological features of fish belonging to different faunal complexes]. *IV sezd po radiacionnym issledovanijam (radiobiologija, radiojekologija, radiacionnaja bezopasnost')*. Moscow, 2001; vol. II. 565 p. (in Russian)
11. *Radiation Safety Standards NRB-99/2009. Sanitary rules and regulations SanPiN 2.6.1.2523 – 09*. Moscow, 2009, 137 p.
12. Trofimova E.A., Zotina T.A., Bolsunovskij A.Ja. Ocenka jeffektivnosti perenosa tehnoĝennyh radionuklidov mezhdju komponentami troficheskijh setej r.Enisej [Evaluating the effectiveness of the transfer of radionuclides between the components of food webs Yenisey]. *Materialy Mezhdunarodnoj molodezhoj shkoly-seminara «Geohimija živogo veshhestva»* (Tomsk, 2-5 ijunja 2013 g.). Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehničeskogo universiteta, 2013, pp. 178–180.
13. Daniel J. Madigan, Z. Baumannand, S. Fisher. Pacific bluefin tuna transport Fukushima-derived radionuclides from Japan to California. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2012, Jun 12; vol. 109 (24), pp. 9483–9486.
14. Rossi V., Seville E.V., Gupta A.S., Garcon V., Matthew H. England «Multi-decadal projections of surface and interior path ways of the Fukushima Cesium-137 radioactive plume». *Deep-Sea Research I*. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr.2013.05.015>
15. Ken O. Buessler, Steven R. Jayne, Nicholas S. Fisher, Irina I. Rypina, Hannes Baumann, Zoa Baumann, Crystaline F. Breier, Elizabeth M. Douglass, JenniferGeorge, Alison M. Macdonald, Hiroomi Miyamoto, Jun Nishikawa, Steven M. Pike, and Sashiko Yoshida. Fukushima-derived radionuclides in the ocean and biota off Japan. *PNAS*, 2012, vol. 109, pp. 5984–5988.
16. Ken O. Buessler. Fishing for answers off Fukushima. *Science*, 2012, vol. 338, pp. 480–482.
17. Monitoring information of environmental radioactivity level. Available at: <http://radioactivity.nsr.go.jp/en/index.html> (10.12.2014).
18. Our Radioactive Ocean. Available at: <http://ourradioactiveocean.org/results.html>.
19. Yoshida N., Kanda J. Tracking the Fukushima Radionuclides. *Science*, 2012, vol. 336, pp. 1115–1116.

TO EVALUATION OF RADIATION SAFETY DUE TO CONSUMPTION OF SPECIES FISHED OUT IN THE FAR EAST REGION

G.G. Onishenko¹, N.V. Zaitseva², P.Z. Shur², D.A. Kirianov²,
V.M. Chigvintsev², A.A. Khasanova², S.Yu. Balashov²

¹RF Government Apparatus

²FBSI "Federal Scientific Center for Medical and Preventive

Health Risk Management Technologies", Russian Federation, Perm, 82 Monastyrskaya St., 614045

Results of safety assessment for population of the Russian Federation due to consumption of the Far East region commercial fish contaminated in consequence of the Fukushima nuclear disaster are presented. Estimation of radionuclide level in certain commercial fish species taking into account maximum ¹³⁷Cs contamination rate of ocean water on the migration path was performed. Authors worked out 3 fish products consumption scenarios and calculated respective annual ¹³⁷Cs intakes. Assessment of health risk associated with ¹³⁷Cs in fish products for Russian population was carried out. It was determined that in 2014 maximum ¹³⁷Cs dose received with fish products was no more than 365 Bq/year and considered as permissible health risk level. Cancer risk evolution modeling showed that lifetime cancer risk level is minimal. Hence, monitoring of associated with ¹³⁷Cs water pollution health risk had to be continued till complete elimination of consequences of Fukushima-1 accident/

Key words: health risk assessment, cesium, fish, Fukushima-1

© Onishenko G.G., Zaitseva N.V., Shur P.Z., Kirianov D.A., Chigvintsev V.M., Khasanova A.A., Balashov S.Yu., 2015
Onishchenko Gennady Grigorievich – Assistant to Prime-Minister of the Russian Federation, Honored Doctor of the Russian Federation, Academician of the Russian (e-mail: depart @ gsen. ru; tel.: 8 (499) 973-27-44, 8 (499) 973-17-17).

Zaitseva Nina Vladimirovna – Doctor of Medicine, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Honored Scientist of Russia, Director (e-mail: znv@fcrisk.ru; tel.: 8 (342) 237-25-34).

Shur Pavel Zalmanovich – Doctor of Medicine, Scientific Secretary (e-mail: shur@fcrisk.ru; tel.: 8 (342) 238-33-37).

Kiryanov Dmitry Aleksandrovich – Ph.D. in Engineering Science, Head of the Department of Mathematical Modeling of Systems and Processes (e-mail: kdn@fcrisk.ru; tel.: 8 (342) 237-18-04).

Chigvintsev Vladimir Mikhailovich – researcher at the Department of Mathematical Modeling of Systems and Processes (e-mail: cvm@fcrisk.ru; tel.: 8 (342) 237-18-04).

Hasanova Anna Alekseevna – Master, Specialist of the Department of Risk Analysis (e-mail: sharaeva@fcrisk.ru; tel.: 8 (342) 238-33-37).

Balashov Stanislav Yurievich – Head of the Laboratory of Integrated Sanitary Analysis and Expertise (e-mail: stas@fcrisk.ru; tel.: 8 (342) 237-18-04).