

Оценка радиационных рисков вследствие потребления дальневосточной промысловой рыбы после аварии на АЭС «Фукусима-1»

Г.Г. Онищенко¹, В.С. Репин², И.К. Романович²

¹ Российская академия наук, Москва, Россия

² Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Роспотребнадзор, Санкт-Петербург, Россия

В работе представлен обзор данных по уровням сброса радионуклидов в Тихий океан после аварии на АЭС «Фукусима-1». Показано, что потенциальная опасность загрязнения воды может привести к загрязнению морепродуктов долгоживущими радионуклидами ¹³⁴Cs и ¹³⁷Cs, сброс которых в океан с места аварии продолжается до настоящего времени. Вклад ⁹⁰Sr в загрязнение воды не превышает 3%. Обзор литературных данных по моделированию распространения радиоактивного пятна показал, что благодаря течениям в Тихом океане перенос радионуклидов к полуострову Камчатка, Курильским островам, а также занос в Охотское море ожидался к 2014 г. Ожидается незначительное повышение концентрации изотопов цезия в воде и морской биоте в зоне рыболовства России FAO 61, но не выше концентраций в Черном и Балтийском морях после аварии на ЧАЭС. Данные измерений радиоактивного загрязнения рыбы, выловленной в Тихом океане, Японском и Охотском морях в 2011–2014 гг. во время морских экспедиций, организованных Русским географическим обществом, показали, что суммарное содержание изотопов цезия ни в одной из проб не превысило 0,7 Бк/кг. Прогнозные оценки риска, выполненные для консервативного сценария загрязнения воды в зонах рыболовства России и потребления морепродуктов, характерных для данного региона, свидетельствуют, что риск по шкале Всемирной организации здравоохранения минимален и не превышает риск потребления рыбы из Черного и Балтийского морей, загрязненных после аварии на ЧАЭС.

Ключевые слова: «Фукусима-1», радионуклиды, Тихий океан, рыба, радиационный риск, дальневосточные моря.

Введение

В результате аварии на АЭС «Фукусима-1» воды Тихого океана подверглись интенсивному радиоактивному загрязнению [1, 2, 3, 4, 9, 17, 23, 32]. По разным оценкам в океан в первый год после аварии было сброшено от 3,5 до 41 ПБк ¹³⁷Cs (1 ПБк=10¹⁵ Бк) и примерно такое же количество ¹³⁴Cs. В докладе научного комитета НКДАР ООН [15] на основе обобщения опубликованных данных приведены диапазонные оценки от 5 до 8 ПБк – для воздушного пути загрязнения океана и от 3 до 6 ПБк – за счет сброса радиоактивной воды в океан. Следует иметь в виду, что суммарное содержание ¹³⁷Cs в Тихом океане за счет глобальных выпадений, согласно техническому документу МАГАТЭ Tecdoc-1429 [17], оценено величиной 311 ПБк.

Наряду с изотопами цезия, зарегистрировано также поступление в океан других долгоживущих радионуклидов, среди которых радиологически значимым является только ⁹⁰Sr. По данным [16], соотношение между ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs в «фукусимском» выбросе характеризуется коэффициентом 0,0296 (R2 = 0,73), на основании чего ожидаемое содержание данного радионуклида в океане по отношению к ¹³⁷Cs, если ориентироваться на данные, представленные в докладе НКДАР ООН, не превышает 3%.

В связи с поступлением в океан долгоживущих радионуклидов ¹³⁷Cs, ¹³⁴Cs и ⁹⁰Sr возникла опасность длительного загрязнения рыбы и морепродуктов.

До аварии на АЭС «Фукусима-1» воды Тихого океана были загрязнены ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в результате испытаний ядерного оружия в атмосфере, а также вследствие ава-

рии на Чернобыльской АЭС. По данным МАГАТЭ [17], концентрация ¹³⁷Cs в 2000 г. в северных широтах океана превышала 2 Бк/м³.

Результаты исследования содержания радионуклидов в пробах морской воды, отобранных в непосредственной близости от места аварии и на расстояниях десятки, сотни и тысячи километров от АЭС «Фукусима-1», а также результаты моделирования распространения радионуклидов в водах Тихого океана были представлены в работах [8, 10, 11, 14, 23, 32, 33, 34]. Концентрация ¹³⁷Cs в сбросных каналах АЭС [14] в апреле 2011 г. достигла почти 100 000 Бк/л при фоновых концентрациях до аварии 0,001–0,002 Бк/л. На расстоянии 30 км от станции концентрация ¹³⁷Cs в морской воде в период с марта по май 2011 г. находилась в пределах 10 Бк/л.

Результаты измерений концентрации ¹³⁷Cs, проведенных в Океанографическом институте в Вудс-Холле (WHOI) в июне 2011 г., показали, что повышенные концентрации данного радионуклида (более 100 Бк/м³) регистрировались на расстояниях до 600 км от места аварии [2].

Таким образом, масштабы выброса радионуклидов и их перенос на значительные расстояния от места сброса стали предпосылками для постановки в качестве актуальной задачи оценки радиационного риска, связанного с потреблением населением России рыбы, вылавливаемой промысловыми судами России в 61 зоне FAO (Продовольственная сельскохозяйственная организация при ООН) в Тихом океане, Охотском и Японском морях.

Распространение радиоактивного загрязнения в океане после аварии на АЭС Фукусима

Схема постоянных течений в северной части Тихого океана и дальневосточных морях России, по данным ТИПРО-центра [20], указывает на отсутствие непосредственного переноса вод от восточного побережья острова Хонсю к российским берегам (рис. 1).

Вдоль Курильской гряды с севера на юг проходит мощное Курильское течение (Ойясио), от которого отдельные ветви отклоняются в открытый океан. Течение Куроисио, направленное на север, у восточного побережья о. Хонсю отклоняется на восток, в сторону открытого океана. На стыке Куроисио и Курильского течения образуется мощный фронтальный раздел.

У берегов Северной Америки Северо-Тихоокеанское течение разделяется на 2 круга, один из которых постепенно смещается в сторону Камчатки и Курильского течения, а другой – по часовой стрелке на юг и возвращается на запад. Таким образом, приближение сброшенных в воду радионуклидов от АЭС «Фукусима-1» в сторону российских берегов можно ожидать только в процессе циркуляционного переноса на расстояние более 10 000 км.

Одной из особенностей Курильского течения является то, что в проливах Курильской гряды около Камчатки тихоокеанские воды поступают в Охотское море (рис. 2).

Учитывая малую скорость тихоокеанских течений, прогнозировалось, что «фукусимские» радионуклиды окажутся вблизи российских берегов не ранее 2014–2015 гг., а, благодаря турбулентности и вихревым процессам, происходящим в океане, ожидаемые концентрации радионуклидов будут лишь в незначительной степени превышать фоновые.

Моделирование перемещения радиоактивного пятна, выполненное в работе [12] в 2011 г., показало, что ареал

радиоактивно загрязненной воды площадью несколько миллионов квадратных километров будет смещаться морскими течениями в сторону Северной Америки в течение нескольких лет. Максимальные концентрации в пятне в течение первого года будут достигать 10–100 Бк/м³. В течение второго года пятно загрязнения переместится к центру Тихого океана, и максимальные уровни концентрации ¹³⁷Cs будут достигать 10 Бк/м³. В течение третьего года пятно будет находиться ближе к берегам Северной Америки, будет наблюдаться дальнейшее разбавление и уменьшение площади ареала максимальных концентраций.

В публикациях 2014 г., то есть спустя 3 года после аварии, появились сообщения, подтверждающие, что «фукусимские» радионуклиды достигли берегов Америки [6, 7]. Специалисты Тихоокеанского побережья США и Канады обнаружили присутствие небольших следовых (менее 2 Бк/м³) количеств ¹³⁴Cs на расстоянии 100 миль от берегов Калифорнии [<http://ourradioactiveocean.org>]. Аналогичные уровни ¹³⁴Cs выявлены по сообщениям К. Buessler из Вудс-Холлского океанографического института (WHOI) в пробах воды в августе 2014 г. у берегов Канады (<http://fukushimainform.wordpress.com/>). К. Buessler представил эти результаты в ноябре 2014 г. на конференции CETAK в г. Ванкувере (<http://meetings.setac.org/frontend.php/presentation/listForPublic>).

Результаты моделирования распространения пятна радиоактивного загрязнения в Тихом океане после аварии на АЭС «Фукусима-1», представленные в работе [33] в 2012 г., свидетельствуют о том, что повышения концентрации в Охотском море можно ожидать с 2014 г., а через 5 лет после аварии возможно распространение следовых количеств «фукусимских радионуклидов» практически по всему Охотскому морю.

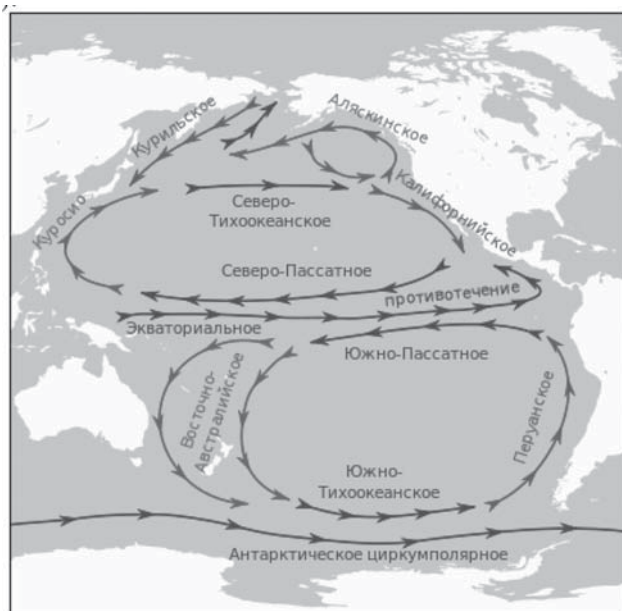


Рис. 1. Схема течений в бассейне Тихого океана (<https://ru.wikipedia.org/wiki/>)



Рис. 2. Схема течений в Охотском море. <http://www.searus.ru/ohotskoe.html>

Результаты исследований по оценке загрязнения вод дальневосточного бассейна изотопами цезия

Оценка содержания ^{137}Cs и ^{134}Cs в пробах воды в прибрежных зонах России в 2011–2012 гг. была выполнена во время морских экспедиций научных судов «Павел Гордиенко» и «Академик Шокальский» [23], в которых принимали участие сотрудники Санкт-Петербургского института радиационной гигиены имени профессора П.В.Рамзаева. Судна принадлежат ФБГУ «Дальневосточный региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт» Росгидромета. Морские экспедиции проводились под эгидой Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество» (РГО) с целью оценки радиационной обстановки в Японском море и Курило-Камчатском районе Тихого океана в связи с аварией на АЭС «Фукусима-1» и определения потенциальной опасности для дальневосточных территорий Российской Федерации. Первая экспедиция состоялась в апреле – мае 2011 г., вторая – в августе – сентябре 2012 г. Результаты представлены на рисунке 3.

Из рисунка 3 видно, что максимальный уровень ^{137}Cs – 23,7 Бк/м³ в 2011 г. наблюдался в точке 4 – к Северо-Востоку от АЭС «Фукусима-1», на расстоянии около 560 км. Во всех остальных точках Тихого океана, вдоль Курильской гряды и в Японском море концентрация ^{137}Cs не превышала 4 Бк/м³. В 2012 г. концентрация ^{137}Cs в точке 4 снизилась в 10 раз. Снижение концентрации наблюдалось и в остальных точках. Следует заметить, что повышение концен-

трации ^{137}Cs у островов Курильской гряды, полуострова Камчатка и в Японском море в 2011 г. произошло в результате воздушного распространения радионуклидов и загрязнения океана. В 2012 г. уровни содержания ^{137}Cs в этих точках снизились до уровней, характерных для пре-даварийного периода.

Исследования продвижения пятна радиоактивного загрязнения в центральную часть Тихого океана и к берегам американского континента в 2013–2014 гг. и измерения уровней загрязнения тихоокеанской воды выполнены центром радиоактивности морей и окружающей среды Вудс-Холлского океанографического института (www.ourradioactiveocean.org/results.html). Эти данные в целом подтверждают результаты моделирования. В 2013 г. пятно загрязнения с концентрацией ^{137}Cs в воде 4,8 Бк/м³ было зафиксировано в середине океана, а в 2014 г. – уже у побережья Американского материка в районе Аляскинского течения с концентрацией 4,5 Бк/м³.

Уровни загрязнения морепродуктов

Наряду с оценкой уровней загрязнения воды, в морских экспедициях научных судов «Павел Гордиенко» (2011 г.) и «Академик Шокальский» (2012 г.) [23] и «Профессор Хлюстин» (2014 г.) [38] отбирались также пробы рыбы с целью определения уровней содержания радиоизотопов цезия. На рисунке 4, по данным, опубликованным в журнале «Радиационная гигиена» [28, 38], приводятся результаты оценки суммарного содержания изотопов цезия в рыбе.

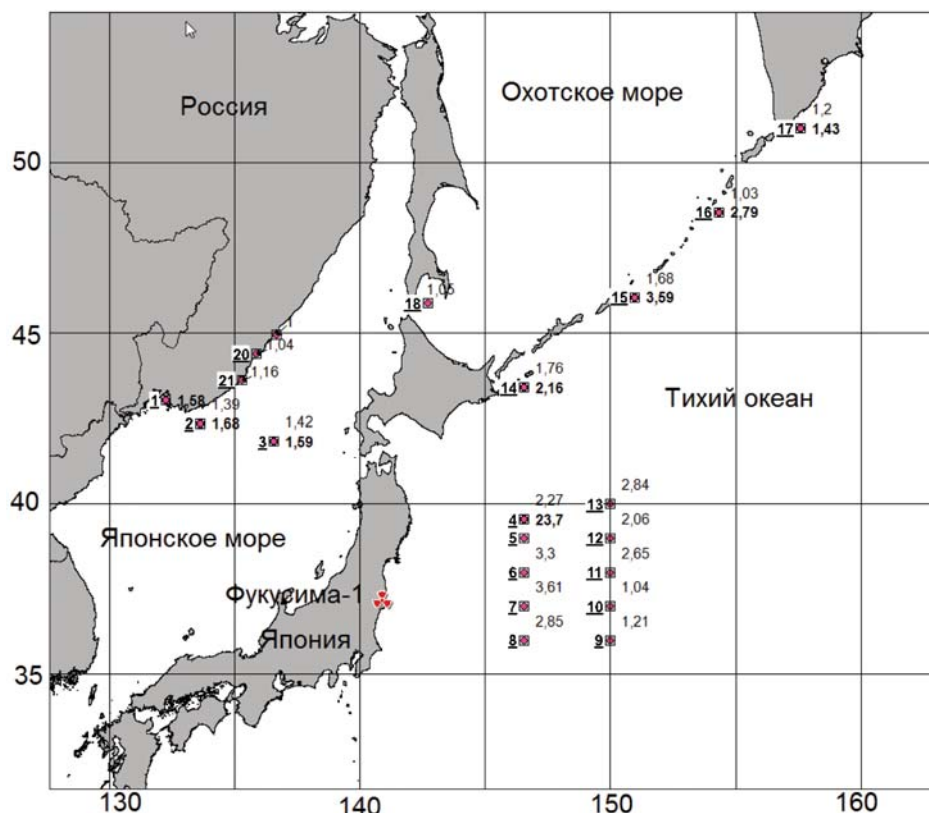


Рис. 3. Точки отбора проб воды в 2011–2012 гг. в морских экспедициях судов «Павел Гордиенко» (2011 г.) и «Академик Шокальский» (2012 г.) [23]. Цифра слева от точки – номер точки, значение справа – концентрация ^{137}Cs в пробах 2011 г. (Бк/м³), значение справа сверху от точки – концентрация ^{137}Cs в пробах 2012 г. (Бк/м³)

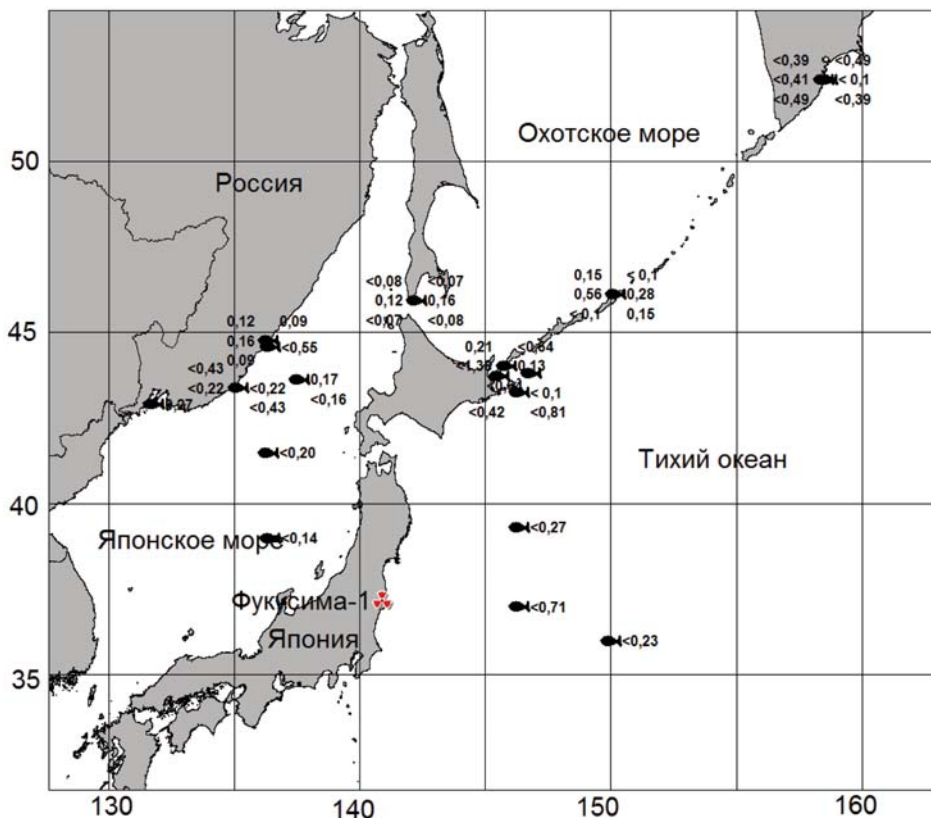


Рис. 4. Места отбора проб и результаты измерений содержания изотопов цезия в пробах рыбы по данным работ [18, 38]

Важно отметить, что концентрация изотопов цезия во всех пробах рыбы, отобранных в 2011 и 2012 и 2014 гг., не превышала 0,7 Бк/кг.

Приблизительные оценки уровней загрязнения морской биоты можно определить теоретически, используя концентрационные множители (КМ, л/кг), рекомендованные МАГАТЭ в техническом докладе TRS-422 [13] (табл. 1).

При длительном содержании радионуклидов в морской воде на предполагаемом уровне загрязнения морской воды 3 Бк/м³ (0,003 Бк/л) ¹³⁷Cs в северных зонах рыболовства (Охотское море, Тихий океан), можно ожидать, что концентрации в морской биоте, обитающей в этой

морской зоне, будут соответствовать значениям, приведенным в таблице 2.

Сопоставляя фактические данные и теоретические оценки уровней загрязнения рыбы, представленные в таблице 2, можно видеть, что они не противоречат друг другу.

Повышенный интерес к загрязнению рыбы в Японском и Охотском морях определяется в связи не только с аварией на АЭС «Фукусима-1», но и с затоплением в этих морях радиоактивных отходов, информация о которых представлена в Белой книге [31]. Таблица 3 свидетельствует о том, что ни авария на АЭС «Фукусима-1», ни затопление радиоактивных отходов к настоящему времени не оказывают влияния на уровни радиоактивного загрязнения рыбы.

Таблица 1

Концентрационные множители для биоты в морской среде (КМ, л/кг) согласно TRS-422, МАГАТЭ, 2004

Химический элемент	Рыба	Ракообразные	Моллюски	Водоросли
Цезий	100	50	60	50
Стронций	30	5	10	10

Таблица 2

Оценка ожидаемых концентраций ¹³⁷Cs (Бк/кг) в морской биоте при длительном содержании их в морской воде с концентрацией 0,003 Бк/л

Радионуклиды	Рыба	Ракообразные	Моллюски	Водоросли
Цезий-137	0,3	0,15	0,18	0,15

Иная картина с загрязнением рыбы складывается у побережья Японии. В пресс-релизах Министерства здравоохранения Японии [5] регулярно публикуются материалы по содержанию изотопов цезия в морских продуктах, добываемых в японских прибрежных водах. В таблице 3 и на рисунке 5 представлены характеристики и частотные распределения уровней содержания ^{137}Cs по данным за 2012–2015 гг.

Из таблицы 3 и рисунка 5 видно, что к началу 2015 г. доля проб рыбы с превышением норматива 100 Бк/кг,

установленного в Японии, существенно снизилась по сравнению с 2012 г. Результаты измерения радиоактивности разных экологических типов рыб в 2011–2012 гг. у побережья провинции Фукусима, по данным работы [18], показали, что наиболее загрязненными видами рыб являются донные обитатели. Концентрации цезия у них в 10–50 раз больше, чем у пелагических и подповерхностных видов, и сравнимы с таковыми для пресноводных обитателей.

Таблица 3

Динамика уровней загрязнения проб рыбы, выловленных у побережья Японии после аварии на АЭС «Фукусима-1»

Дата	Общее число проб	Число проб с превышением 1 Бк/кг	Число проб с превышением 100 Бк/кг	% проб с превышением 100 Бк/кг
Февраль 2012 г.	1299	787	115	8,8
Август 2013 г.	1695	533	21	1,2
Август 2014 г.	1669	380	8	0,5
Декабрь 2014 г. – январь 2015 г.	491	53	–	–

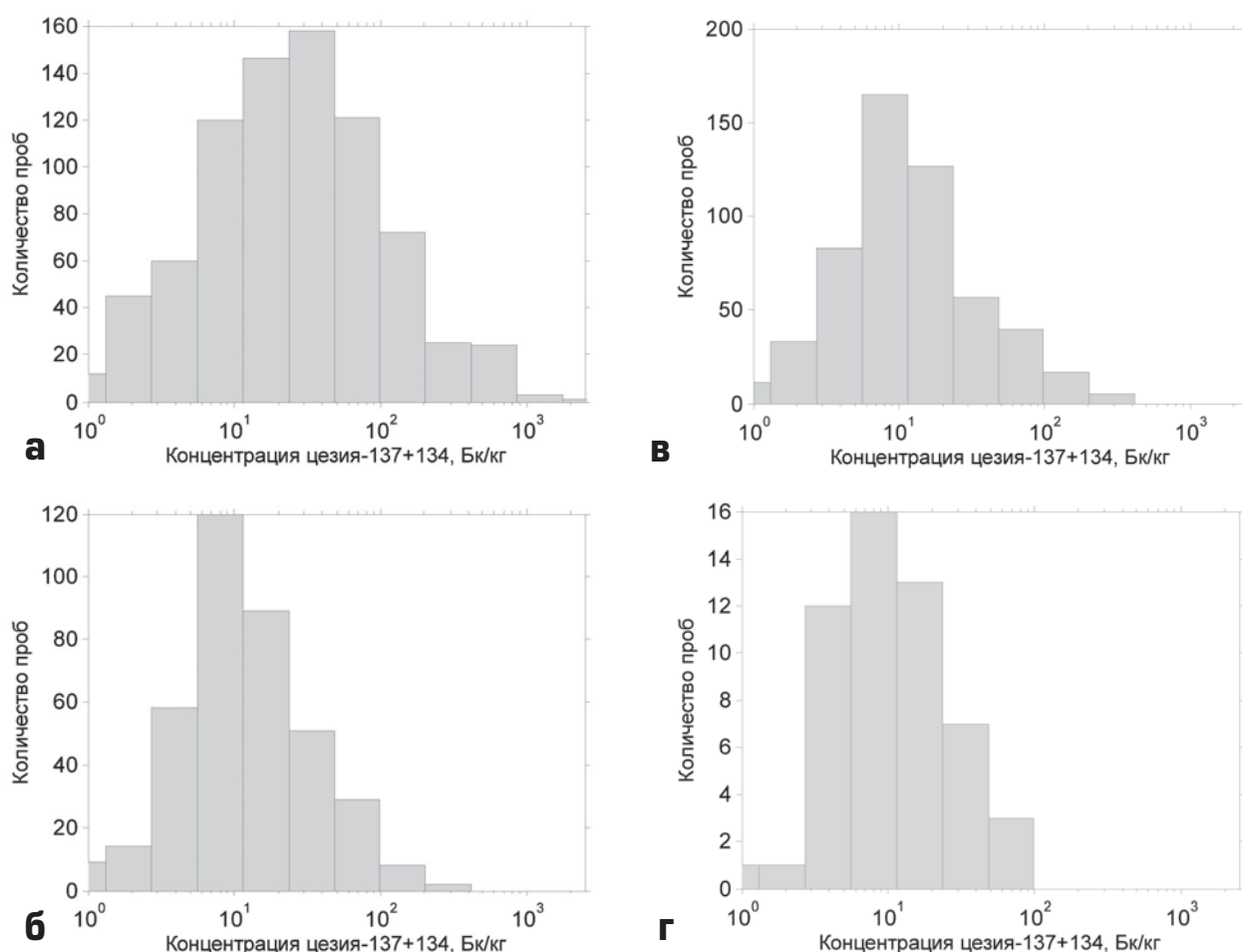


Рис. 5. Частотные распределения удельной активности ^{137}Cs в пробах рыбы, выловленной в прибрежных водах Японии. Рисунок построен на основе данных Министерства здравоохранения Японии за 2012 (а), 2013 (б), 2014 (в) и 2015 (г) гг. [5]

Уровни загрязнения придонных рыб вдоль побережья Японии отличаются. Наиболее загрязненными являются рыбы, вылавливаемые у побережья префектур Фукусима и Ибараки. В провинциях севернее (Мияги, Иватэ) и южнее (Чиба) уровни загрязнения ниже установленного в Японии допустимого содержания 100 Бк/кг, а средняя концентрация в этих провинциях в 2014 г. составляла 23 Бк/кг, тогда как в остальных провинциях была близка к 10 Бк/кг.

Аналогичная картина постепенного снижения уровней загрязнения рыбы наблюдалась после аварии на ЧАЭС в Черном море. Морские течения Черного моря соприкасаются с местом выноса вод из реки Днепр, которые, в свою очередь, подверглись и продолжают подвергаться интенсивному радиоактивному загрязнению долгоживущими изотопами цезия и стронция после аварии на ЧАЭС вследствие выноса радиоактивных веществ из зоны отчуждения, а также смыва и переноса радионуклидов с загрязненных территорий по притокам Днепра. По данным работы [27], концентрация ^{137}Cs у придонных рыб севастопольских бухт (камбала, калкан, ерш) в 1986 г. достигала 30 Бк/кг, однако в период с 1986 по 2005 г. происходило постепенное снижение концентрации до уровней, предшествовавших аварии на ЧАЭС.

Оценка радиационного риска для здоровья населения Российской Федерации за счет потребления рыбы, вылавливаемой в Дальневосточном бассейне

Мерой риска отдаленных последствий облучения человека в диапазоне малых доз является эффективная доза. В соответствии с линейной беспороговой гипотезой для оценки риска для здоровья используется номинальный коэффициент ущерба, величина которого в НРБ-99/2009 [25] принята равной $0,057 \text{ Зв}^{-1}$. В свою очередь, годовая эффективная доза при пероральном поступлении радионуклидов внутрь организма рассчитывается путем умножения активности каждого радионуклида, поступившего внутрь организма, на соответствующий дозовый коэффициент.

Основными радиологически значимыми радионуклидами в течение первых 5–6 лет после аварии на АЭС «Фукусима-1» являются изотопы ^{137}Cs и ^{134}Cs с периодами полураспада 30,07 и 2,06 года соответственно. Поскольку вклад ^{90}Sr в суммарном выбросе радиоактивности невелик (менее 3%), оценку риска целесообразно проводить только для изотопов цезия. Соотношение этих изотопов с течением времени после аварии изменяется, поскольку период полураспада ^{134}Cs существенно меньше, чем ^{137}Cs . Если на начало аварии соотношение данных изотопов в выбросе было примерно равным [15], то на момент написания данной работы (начало 2015 г.) активность ^{134}Cs составляет примерно 25% от активности ^{137}Cs .

Значения дозовых коэффициентов, используемых для расчета эффективной дозы, зависят от возраста, поэтому для обеспечения радиационной защиты населения используется понятие критической (наиболее облучаемой) группы населения. Для ^{137}Cs и ^{134}Cs критической группой населения являются взрослые жители, для которых дозовые коэффициенты, приведенные в НРБ-99/2009, равны $1,3 \cdot 10^{-8}$ и $1,9 \cdot 10^{-8} \text{ Зв/Бк}$ соответственно. Умножая дозовые коэффициенты на величину номинального коэф-

фициента ущерба, получим оценку риска отдаленных последствий на 1 Бк поступления радионуклида в организм: $7,4 \cdot 10^{-10}$ для ^{137}Cs и $10,8 \cdot 10^{-10}$ для ^{134}Cs .

Величина активности, поступившей в организм, зависит от удельной активности радионуклида в пищевом продукте и массы потребления этого продукта.

В соответствии с представленной схемой, оценку риска за счет потребления рыбы с повышенным уровнем радиоактивного загрязнения после аварии на АЭС «Фукусима-1» можно произвести с помощью следующего выражения:

$$R = m \cdot (YA_{137} \cdot r_{137} + YA_{134} \cdot r_{134}), \quad (1)$$

где m – масса годового потребления рыбы, выловленной в дальневосточных регионах добычи, кг;

YA_{137} и YA_{134} – удельная активность ^{137}Cs и ^{134}Cs соответственно, Бк/кг;

r_{137} и r_{134} – коэффициенты риска на 1 Бк поступления для ^{137}Cs и ^{134}Cs соответственно, Бк $^{-1}$.

Практическая реализация оценки риска с помощью выражения 1 сводится к выбору сценария, в соответствии с которым устанавливаются необходимые для расчетов масса годового потребления и значение удельной активности радионуклидов.

Российский рынок морепродуктов, по данным Росрыболовства за 2009 г. [24], составил 3,2 млн тонн рыбы. Структура российского вылова в 2009 г. выглядела следующим образом: на Дальневосточный бассейн приходилось 66%, на остальные зоны вылова и импорт – 34%. Крупнейшими импортерами сушеной, соленой и копченой рыбы в Россию являются Эстония, Китай, Таиланд и Вьетнам. Более половины импорта этой продукции (52%) обеспечивает Китай. Надо отметить, что объемы поставок из Китая стремительно растут в последние годы. Каждый житель России в среднем в год употребляет в пищу около 24 кг рыбы и морепродуктов. Для жителей прибрежных дальневосточных регионов России потребление рыбы выше, чем среднее по России. По данным работы [35], среднедушевое потребление рыбы в Приморском крае и Сахалинской области в 2009 г. превышало 30 кг. По результатам анкетного опроса в 2011 г. жителей населенных пунктов Малокурильское и Крабоводское на острове Шикотан [36] в Сахалинской области установлено, что среднее потребление морепродуктов (рыба, морские водоросли, моллюски) превышает 60 кг. По сообщениям, представленным на сайте ООО ФИШНЕТ [37], среднедушевое потребление морепродуктов в Японии составляет 65 кг/год. Исходя из представленных данных, в качестве умеренно консервативного уровня потребления морепродуктов можно принять для расчетов округленное значение потребления рыбы 50 кг/год жителями близлежащих к месту аварии регионов России.

Для оценки ожидаемой концентрации можно воспользоваться оценками Р. Повинес [10] о том, что авария на АЭС «Фукусима-1» в 2011 г. внесла около 10% от общей радиоактивности в водах Тихого океана. То есть, если до аварии концентрация ^{137}Cs в северной части Тихого океана была около $2,7 \text{ Бк/м}^3$, то за счет выбросов 2011 г. концентрация может возрасти до 3 Бк/м^3 . Однако необходимо учесть, что сброс радионуклидов в Тихий океан продолжается до настоящего времени. Об этом свидетельствуют ежемесячные сообщения компании ТЕРКО. Продолжается сток радиоактивной воды, которая нахо-

дится за пределами зданий энергоблоков в дренажной системе станции. Рассматривается вопрос слить в океан радиоактивную воду, скопившуюся в резервуарах. У берегов Канады и Америки в 2014 г. концентрация ^{137}Cs в воде была близка к 5 Бк/м^3 . Поскольку до аварии на АЭС «Фукусима-1» фоновая концентрация ^{137}Cs в северной части Тихого океана была около $2,7 \text{ Бк/м}^3$, то превышение концентрации изотопов цезия у берегов России, связанное с аварией, с учетом продолжающегося сброса радионуклидов, можно принять равным 1 Бк/м^3 ($0,001 \text{ Бк/л}$), из которых, $0,8 \text{ Бк/м}^3$ на начало 2015 г. относится к ^{137}Cs и $0,2 \text{ Бк/м}^3$ – к ^{134}Cs . При таких значениях концентрации изотопов цезия в воде приращение концентрации данных радионуклидов в рыбе, рассчитанное через концентрационные множители таблицы 1, будут $0,08$ и $0,02$ для ^{137}Cs и ^{134}Cs соответственно.

Исходя из принятых допущений, масса потребления и концентрации радионуклидов в рыбе величина риска, в соответствии с выражением (1), может быть оценена следующим образом:

$$R=50*(0,08*7,4\cdot 10^{-10}+0,02*10,8\cdot 10^{-10})=4,04\cdot 10^{-9} \quad (2)$$

Полученная оценка риска $4,04\cdot 10^{-9}$ свидетельствует об отсутствии опасности для здоровья, поскольку в соответ-

ствии с системой критериев, предложенных Всемирной организацией здравоохранения (табл. 4) и принятых в Российской Федерации при анализе риска для здоровья от воздействия химического фактора [26], полученная величина оценивается как минимальный риск.

Следует отметить, что риск, связанный с потреблением рыбы, выловленной у берегов провинций Фукусима и Мияги в 2012 г., мог быть на уровне 10^{-5} (суммарная концентрация ^{134}Cs и ^{137}Cs в рыбе достигала значений 1000 и более Бк/кг), тогда как в 2014 г. его величина не превышала 10^{-6} (средняя концентрация снизилась до 20 Бк/кг). Риск потребления рыбы массой 65 кг/год (среднее для Японии), с суммарным загрязнением изотопами цезия на уровне норматива 100 Бк/кг ($80 \text{ Бк/кг } ^{137}\text{Cs}$ и $20 \text{ Бк/кг } ^{134}\text{Cs}$), в соответствии с выражением (1), будет равен:

$$R=65*(80*7,4\cdot 10^{-10}+20*10,8\cdot 10^{-10})=5,25\cdot 10^{-6}, \quad (3)$$

при этом годовая доза облучения не превысит $0,1 \text{ мЗв}$.

Оценивая риски за счет потребления рыбы из дальневосточных регионов, целесообразно сопоставить их с рисками за счет потребления рыбы, выловленной в других морях и океанах. В работе [17] и на рисунке 6 представлены сравнительные данные по загрязнению воды цезием-137 в 2000 г. в 19 морях и океанах.

Таблица 4

Градации уровней риска, предложенная Всемирной организацией здравоохранения в 2000 г.

Качественный уровень риска	Значение индивидуального пожизненного риска
Высокий (De Manifestis) – не приемлем для производства и населения. Необходимо реализовать мероприятия по устранению или снижению риска	$> 10^{-3}$
Средний – допустим для производственных условий; при воздействии вредных факторов на все население необходимы динамический контроль и углубленное изучение источников и возможных последствий неблагоприятных воздействий для процедуры управления риском	$10^{-3} - 10^{-4}$
Низкий – допустимый риск. Соответственно ему устанавливаются гигиенические нормативы для населения	$10^{-4} - 10^{-6}$
Минимальный (De Minimus) – желательные величины риска при проведении оздоровительных и природоохранных мероприятий	$< 10^{-6}$

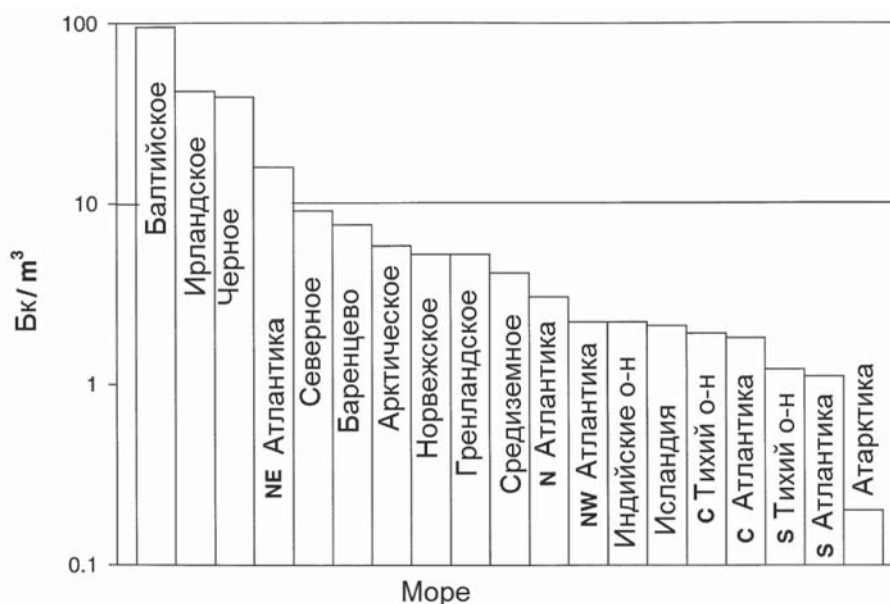


Рис 6. Оценка уровней загрязнения морей и океанов ^{137}Cs в 2000 г. по данным [17]

Эти оценки получены авторами цитируемой работы по данным, представленным в техническом документе МАГАТЭ за 1995 г. Из рисунка 6 видно, что после аварии на ЧАЭС, но до аварии на АЭС «Фукусима-1» концентрация ^{137}Cs в Черном, Ирландском и Балтийском морях и в северо-восточной части Атлантики превышала 10 Бк/м^3 ($0,01 \text{ Бк/л}$). При коэффициенте накопления, равном 100 л/кг (см. табл. 1), ожидаемые уровни содержания в рыбе должны лежать в диапазоне от 1 до 10 Бк/кг и более. Оценки риска, произведенные по аналогичной схеме для случая потребления рыбы из Черного и Балтийского моря, дают величину порядка $n \times 10^{-8}$ – $n \times 10^{-7}$, что также соответствует уровням минимального риска.

Заключение

В результате аварии на АЭС «Фукусима-1» воды Тихого океана подверглись интенсивному радиоактивному загрязнению с последующим постепенным распространением активности в зоны рыболовства России.

На основании обзора данных литературы и данных, публикуемых в ежемесячных отчетах Министерства здравоохранения Японии, наиболее высокие уровни загрязнения рыбы 100 Бк/кг и более регистрируются у побережья провинции Фукусима. В средней части Тихого океана и у побережья Аляски уровни загрязнения рыбы в 2014 г. не превышали 5 Бк/кг .

По результатам, полученным Научно-исследовательским институтом радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамаева в морских экспедициях, проведенных под эгидой Русского географического общества в 2011–2014 гг., уровни загрязнения рыбы у побережья Камчатки, у островов Курильской гряды, в Японском и Охотском морях не превысили $0,7 \text{ Бк/кг}$.

На основе имеющихся к 2015 г. данных риск для здоровья населения дальневосточных регионов за счет текущего потребления рыбы, вылавливаемой в зонах рыболовства России после аварии на АЭС «Фукусима-1», в соответствии со шкалой рисков Всемирной организации здравоохранения пренебрежимо мал и не превышает риски за счет потребления рыбы в Черном и Балтийском морях, загрязненных после аварии на ЧАЭС.

Риск за счет потребления рыбы, выловленной у побережья Японии, в 10–100 раз выше, чем риск потребления рыбы, добытой в зонах рыболовства России, но и эта величина риска классифицируется по шкале ВОЗ как минимальный риск.

Представленные в работе оценки радиационного риска, основанные на текущих данных о содержании изотопов цезия в рыбе, не учитывают уровни загрязнения и потребления других морепродуктов, в связи с чем риски могут быть недооценены.

Все расчеты рисков в данной статье проведены на основании концентрационных множителей, рекомендованных МАГАТЭ в техническом докладе TRS-422. Развитие и накопление человечеством новых научных знаний в области радиационной защиты и безопасности происходит не только в лабораторных условиях, но и при возникновении радиационных аварий. Так, например, при оценке последствий аварии на Чернобыльской АЭС получены новые научные данные по радиационным рискам ликвидаторов, по рискам новообразований щитовидной железы. В истории атомной энергетики в результате аварии

на АЭС «Фукусима-1» впервые происходит столь масштабный сброс активности в воды Мирового океана. Исследования по уточнению радиационной обстановки, путей миграции и содержанию радионуклидов в промысловых видах рыб и морепродуктах, обитающих в водах Тихого океана и дальневосточных морях, по нашему мнению, приведут к получению новых научных данных и окажут влияние как на уточнение коэффициентов накопления радионуклидов по пищевой цепочке, так и на оценку и уровень радиационного риска.

Литература

1. Fukushima Daiichi Nuclear Disaster, March (14-31), 2011 // Официальный сайт: <http://fukushima-nuclear-plant.blogspot.com/2012/02/march-14-31-2011fukushima-daiichi.html/> (дата обращения: 13.02.2015 г.).
2. Fukushima-derived radio nuclides in the ocean and biota off Japan // Официальный сайт: PNAS: 2012 109 (16) 5984-5988: <http://www.pnas.org/content/suppl/2012/03/27/1120794109.DCSupplemental/pnas.201120794S1.pdf/> (дата обращения: 13.02.2015 г.).
3. Health risk assessment from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami based on a preliminary dose estimation // WHO, 2013. – 168 p.
4. IAEA. Sources of radioactivity in the marine environment and their relative contributions to overall dose assessment from marine radioactivity (MARDOS). IAEA-TECDOC-838. IAEA, Vienna. – 1995. – 54 p.
5. Information on the Great East Japan Earthquake // Официальный сайт: <http://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/index.html/> (дата обращения: 13.02.2015 г.).
6. Jing, Chen. A report on radioactivity measurements of fish samples from the Eastcoast of Canada / Jing Chen [et al.] // Radiation Protection Dosimetry Advance Access published. – 2014. – P. 1-6.
7. Jing, Chen. Evaluation of Radioactivity concentrations from the Fukushima Nuclear Accident in Fish Products and Associated Risk to Fish Consumers // Radiation Protection Dosimetry. – vol. 157, № 1: Официальный сайт: <http://rpd.oxfordjournals.org/-content/early/by/section pp/ 1-5. Advance Access Publication 29 September 2013.> (дата обращения: 13.02.2015 г.).
8. Ohnishi, T. The Disaster at Japan s Fukushima-Daiichi Nuclear Power Plant after the March 11, 2011 Earthquake and Tsunami, and the Resulting Spread of Radioisotope Contamination / T. Ohnishi // Официальный сайт Journal Radiation Research 177(1): <http://dx.doi.org/10.1667/RR2830.1/> (дата обращения: 13.02.2015 г.).
9. Out flow of fluid containing radioactive materials to the ocean from areas near intake channel of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Unit 2 // Press Release Tokyo Electric Power Company: <http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/11041106-e.html/> (дата обращения: 19.02.2015 г.).
10. Povinec, P. Radioactivity in the Pacific. Presentation on EU-Japan meeting on the marine environment after Fukushima / P. Povinec [et al.] // Официальный сайт European commission: <https://webgate.ec.europa.eu/maritimeforum/content/2263/> (дата обращения: 13.02.2015 г.).
11. Ramzaev, V. Shipboard determination of radiocesium in seawater after the Fukushima accident: results from the 2011–2012 Russian expeditions to the Sea of Japan and western North Pacific Ocean / V. Ramzaev [et al.] / Journal of Environmental Radio-activity 135. – 2014. – P. 13–24.
12. Simulation of Radioactivity Concentrations in the Pacific Ocean // Press Release Japan Atomic Energy Agency: <http://www.mext.go.jp/english/-incident/1305758.htm/> (дата обращения 13.02.2015 г.).
13. TRS-422 «Коэффициенты распределения в отложениях и концентрационные множители для биоты в морской сре-

- де», МАГАТЭ, 2004. // Официальный сайт: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TRS422_web.pdf/ (дата обращения: 13.02.2015 г.).
14. Tsumune, D. Distribution of oceanic ¹³⁷Cs from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant simulated numerically by a regional ocean model / D. Tsumune [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2011. doi:10.1016/j.jenvrad.2011.10.007.
 15. UNSCEAR. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation / United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2013 Report. – Volume I / Report to the General Assembly, Scientific Annex A: Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident // United Nations, New York. – 2014. – 322 p.
 16. Wen, Yu Distribution and risk assessment of radionuclides released by Fukushima nuclear accident at the northwest Pacific/ Wen Yu [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity 142. – 2015. – P. 54-61
 17. Worldwide marine radioactivity studies (WOMARS). Radionuclide levels in oceans and seas. Final report of a coordinated research project. IAEA-TECDOC-1429. – 2005. – 187 c.
 18. Yoshida, Kanda. Tracking the Fukushima Radionuclides / Kanda Yoshida // Science, 2012.
 19. Annually report by Japan Chemical Analysis Center(JCAC) // Официальный сайт: <http://www.kankyo-hoshano.go.jp/en/07/07.html/> (дата обращения: 13.02.2015 г.).
 20. Анализ возможности заражения промысловых рыб в дальневосточных морях и Северо-Западной части Тихого океана // Официальный сайт: <http://www.tinro-center.ru/tinro/production/main/press/479-2011-04-06-04-02-14/> (дата обращения: 13.02.2015 г.)
 21. Итоги встречи ЕС-Япония по оценке риска для морской среды аварии на АЭС «Фукусима» // Официальный сайт European commission: <https://webgate.ec.europa.eu/maritimeforum/> (дата обращения 13.02.2015 г.)
 22. Методические рекомендации. Радиохимическое определение удельной активности цезия-137 и стронция-90 в пробах пищевой продукции, почвы, других объектов окружающей среды и биопробах (МР 2.6.1.0094-14)
 23. Никитин, А.И. Экспедиционные радиэкологические исследования в Японском море и северо-западной части Тихого океана после аварии на японской АЭС «Фукусима-1»: предварительные результаты / А.И. Никитин [и др.] // Радиационная гигиена. – 2011. – Т. 4, № 3. – С. 14–35.
 24. Новоселова, Е. Российский рынок рыбы, рыбной продукции и рыбной консервации / Е. Новоселова // Russian Food & Drinks Market Magazine. – 2009. – № 9.
 25. Нормы радиационной безопасности (НРБ – 99/2009): Санитарные правила и нормативы (СанПиН 2.6.1.2523 – 09): утв. и введ. в действие от 01 сентября 2009 г. взамен СанПиН 2.6.1.758-99. Зарегистрированы в Министерстве юстиции РФ 14.08.2009, рег. № 14534.
 26. Онищенко, Г.Г. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Г.Г.Онищенко [и др.] ; под ред. Ю.А. Рахманина, Г.Г. Онищенко. – М.: НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. – 408 с.
 27. Поликарпов, Г.Г. Радиэкологический отклик Черного моря на чернобыльскую аварию / Г.Г. Поликарпов [и др.] ; под ред. Г.Г. Поликарпова и В.Н. Егорова. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ- Гидрофизика», 2008. – 667 с.
 28. Рамзаев, В.П. Исследование радиоактивного загрязнения морской биоты в связи с аварией на АЭС «Фукусима-1» / В.П. Рамзаев [и др.] // Радиационная гигиена. – 2012. – Т. 5, № 4. – С. 5–11.
 29. Репин, В.С. Радиационно-гигиеническая оценка возможных уровней загрязнения дальневосточных морепродуктов долгоживущими радионуклидами в связи с аварией на АЭС «Фукусима-1» / В.С. Репин // Радиационная гигиена. – 2012. – Т. 5, № 2. – С. 61–70.
 30. Романович, И.К. Авария на АЭС «Фукусима-1» / И.К. Романович [и др.] / под ред. акад. РАМН Г.Г. Онищенко. – СПб.: НИИРГ им. проф. П.В. Рамзаева, 2012. – 336 с.
 31. Сивинцев, Ю.В. Техногенные радионуклиды в морях, омывающих Россию. Радиэкологические последствия удаления радиоактивных отходов в Арктические и Дальневосточные моря (Белая книга-2000) / Ю.В. Сивинцев [и др.]. – М.: ИздАТ, 2005. – 624 с.
 32. Bailly du Bois. Estimation of marine source-term following Fukushima Dai-ichi accident / Bailly du Bois [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2011, doi:10.1016/j.jenvrad.2011.11.015.
 33. Behrens, E. Model simulations on the long-term dispersal of ¹³⁷Cs released into the Pacific Ocean off Fukushima / Erik Behrens [et al.] // Environ. Res. Lett.-7 – 2012. – 034004. – P. 10.
 34. Buessler, K.O. Fishing for Answers off Fukushima / Ken O. Buessler // Science. – P. 480–482.
 35. Акулич, О.В. Сравнительный анализ конкурентоспособности рыбохозяйственных комплексов регионов Дальнего Востока / О.В. Акулич // Известия Иркутской государственной экономической академии. – 2011. – № 5. – С. 70–74.
 36. Романович, И.К. Предварительный анализ данных первичного обследования радиационной обстановки в юго-восточных районах Сахалинской области после аварии на АЭС «Фукусима-1» / И.К. Романович, А.В. Громов, Ю.Н. Гончарова // Радиационная гигиена. – 2011. – Т. 4, № 3. – С. 36–42.
 37. Официальный сайт ООО ФИШНЕТ: http://www.fishnet.ru/news/-novosti_otrasli/3661.html/ (дата обращения: 25.02.2015 г.).
 38. Библин, А.М. Уровни загрязнения морской биоты после аварии на АЭС Фукусима в Японском и Охотском морях в 2014 году / А.М. Библин, С.А. Иванов, В.П. Рамзаев // Радиационная гигиена. – 2015. – Т. 8, № 1. – С. 62–66.

Поступила 17.03.2015 г.

Онищенко Геннадий Григорьевич (Onishchenko Gennadiy Grigor'evich) – доктор медицинских наук, профессор, академик РАН. Телефон: 8(495)985-54-86. E-mail: taruntaeva_na@apr.fgov.ru.



Репин Виктор Степанович (Viktor Stepanovich Repin) – доктор биологических наук, руководитель отдела здоровья Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева. Адрес: 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8. Телефон: 8(812)232-70-25. E-mail: v.repin@mail.ru

Романович Иван Константинович (Ivan Konstantinovich Romanovich) – доктор медицинских наук, профессор, директор Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева. Адрес: 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8. Телефон: 8(812)233-53-63. E-mail: I.Romanovich@niirg.ru

G.G. Onishchenko¹, V.S. Repin², I.K. Romanovich²

Radiation risks assessment due to consumption of the far east food fish after the accident on "Fukushima-1" NPP

¹ Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia² Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Rospotrebnadzor, Saint Petersburg, Russia

Abstract. *The paper presents a review of the data on radioactivity releases to the Pacific Ocean levels after the Fukushima NPP accident. It is shown that the potential risk of the seafood contamination with the long-living radionuclides ¹³⁴Cs and ¹³⁷Cs, which continue to be released to the Pacific Ocean up to the present time. Contribution of ⁹⁰Sr to the total radioactive contamination does not exceed 3%. Review of the literature data on the modeling of radioactivity spot diffusion showed that due to the flows in the Pacific Ocean the radioactivity transfer to Kamchatka Peninsula, the Kuril Islands, and the ingress into the Okhotsk Sea was expected in 2014. It is expected a slight increase of the cesium concentration in water and sea biota in the area of Russia fishing zone FAO 61, but not higher than the concentrations in the Black Sea and Baltic Sea after the Chernobyl accident. Data on measurements of the pollution of fish caught in the Pacific Ocean, Japan and Okhotsk Seas in 2011–2014 years during the sea expeditions organized by the Russian Geographical Society, yet showed that the total content of cesium isotopes in any fish sample have not exceeded the value of 0.7 Bq/kg. The prognose risk assessment carried out for the conservative scenario of water contamination in fishing zones of Russia and seafood consumption characteristic for the region showed that this risk is minimal according to the WHO scale and does not exceed the risk from fish caught in Black Sea and Baltic Sea, contaminated after the Chernobyl accident, consumption.*

Key words: Fukushima-1, radionuclides, Pacific Ocean, fish, radiation risk, Far East Seas.

References

1. Fukushima Daiichi Nuclear Disaster, March (14-31), 2011 // Oficial'nyj sajt: <http://fukushima-nuclear-plant.blogspot.com/2012/02/march-14-31-2011fukushima-daiichi.html/> (data obrashhenija: 13.02.2015 g.).
2. Fukushima-derived radio nuclides in the ocean and biota off Japan // Oficial'nyjsajt: PNAS: 2012 109(16)5984-5988: <http://www.pnas.org/content/suppl/2012/03/27/1120794109.DCSupplemental/pnas.201120794SI.pdf/> (data obrashhenija: 13.02.2015 g.).
3. Health risk assessment from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami based on a preliminary dose estimation // WHO, 2013. – 168 p.
4. IAEA. Sources of radioactivity in the marine environment and their relative contributions to overall dose assessment from marine radioactivity (MARDOS). IAEA-TECDOC-838. IAEA, Vienna. – 1995. – 54 p.
5. Information on the Great East Japan Earthquake // Oficial'nyj sajt: <http://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/index.html/> (data obrashhenija: 13.02.2015 g.).
6. Jing, Chen. A report on radioactivity measurements of fish samples from the Eastcoast of Canada / Jing Chen [et al.] // Radiation Protection Dosimetry Advance Access published. – 2014. – R. 1–6.
7. Jing, Chen. Evaluation of Radioactivity concentrations from the Fukushima Nuclear Accident in Fish Products and Associated Risk to Fish Consumers // Radiation Protection Dosimetry. – vol. 157, № 1: Oficial'nyj sajt: <http://rpd.oxfordjournals.org/content/early/by/section pp/1-5>. Advance Access Publication 29 September 2013. (data obrashhenija: 13.02.2015 g.).
8. Ohnishi, T. The Disaster at Japan s Fukushima-Daiichi Nuclear Power Plant after the March 11, 2011 Earthquake and Tsunami, and the Resulting Spread of Radioisotope Contamination / T. Ohnishi // Oficial'nyj sajt Journal Radiation Research 177(1): <http://dx.doi.org/10.1667/RR2830.1/> (data obrashhenija: 13.02.2015 g.).
9. Out flow of fluid containing radioactive materials to the ocean from areas near intake channel of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Unit 2 // Press Release Tokyo Electric Power Company: <http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/11041106-e.html/> (data obrashhenija: 19.02.2015 g.).
10. Povinec, R. Radioactivity in the Pacific. Presentation on EU-Japan meeting on the marine environment after Fukushima / P. Povinec, Ken O. Buesseler, Steven R. Jayne [et al.] // Oficial'nyj sajt European commission: <https://webgate.ec.europa.eu/maritimeforum/content/2263/> (data obrashhenija: 13.02.2015 g.).
11. Ramzaev, V. Shipboard determination of radiocesium in seawater after the Fukushima accident: results from the 2011-2012 Russian expeditions to the Sea of Japan and western North Pacific Ocean / V. Ramzaev [et al.] // Journal of Environmental Radio-activity 135. – 2014. – R. 13–24.
12. Simulation of Radioactivity Concentrations in the Pacific Ocean // Press Re-lease Japan Atomic Energy Agency: <http://www.mext.go.jp/english/-incident/1305758.htm/> (data obrashhenija 13.02.2015 g.).
13. TRS-422 «Koefficienty raspredelenija v otlozhenijah i koncentracionnye mnozhiteli dlja bioty v morskoy srede», MAGATJe, 2004. // Oficial'nyj sajt: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TRS422_web.pdf/ (data obrashhenija: 13.02.2015 g.).
14. Tsumune, D. Distribution of oceanic ¹³⁷Cs from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant simulated numerically by a regional ocean model / D. Tsumune [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2011. doi:10.1016/j.jenvrad.2011.10.007.
15. UNSCEAR. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation / United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2013 Report. – Volume I / Report to the General Assembly, Scientific Annex A: Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident // United Nations, NewYork. – 2014. – 322 p.
16. Wen, Yu Distribution and risk assessment of radionuclides released by Fukushima nuclear accident at the northwest Pacific / Wen Yu [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity 142. – 2015. – P. 54-61
17. Worldwide marine radioactivity studies (WOMARS). Radionuclide levels in oceans and seas. Final report of a coordinated research project. IAEA-TECDOC-1429. – 2005. – 187 s.
18. Yoshida, Kanda. Tracking the Fukushima Radionuclides / Kanda Yoshida // Science, 2012.
19. Annually report by Japan Chemical Analysis Center(JCAC) // Oficial'nyj sajt: <http://www.kankyo-hoshano.go.jp/en/07/07.html/> (data obrashhenija: 13.02.2015 g.).
20. Analiz vozmozhnosti zarazhenija promyslovyh ryb v dal'nevostochnyh morjah i Severo-Zapadnoj chasti Tihogo okeana // Oficial'nyj sajt: <http://www.tinro-center.ru/tinro/>

- production/main/press/479-2011-04-06-04-02-14/ (data obrashhenija: 13.02.2015 g.)
21. Itogi vstrechi ES-Japonija po ocenke riska dlja morskoj sredy avarii na AJeS «Fukusima» // Oficial'nyj sajt European commission: <https://webgate.ec.europa.eu/maritimeforum/> (data obrashhenija 13.02.2015 g.)
 22. Metodicheskie rekomendacii. Radiohimicheskoe opredelenie udel'noj aktivnosti cezija-137 i stroncija-90 v probah pishhevoj produkcii, pochvy, drugih ob#ektov okruzhajushhej sredy i bioprobah (MR 2.6.1.0094-14)
 23. Nikitin, A.I. Jekspedicionnye radiojekologicheskie issledovanija v Japonskom more i severo-zapadnoj chasti Tihogo okeana posle avarii na japonskoj AJeS «Fukusima-1»: predvaritel'nye rezul'taty / A.I. Nikitin [i dr.] // Radiacionnaja gigiena. – 2011. – T. 4, № 3. – S. 14–35.
 24. Novoselova, E. Rossijskij rynek ryby, rybnoj produkcii i rybnoj konservacii / E. Novoselova // Russian Food & Drinks Market Magazine. – 2009. – № 9.
 25. Normy radiacionnoj bezopasnosti (NRB – 99/2009): Sanitarnye pravila i normativy (SanPiN 2.6.1.2523 – 09): utv. i vved. v dejstvie ot 01 sentjabrja 2009 g. vzamen SanPiN 2.6.1.758 – 99. Zaregistrovany v Ministerstve justicii RF 14.08.2009, reg. № 14534.
 26. Onishhenko, G.G. Osnovy ocenki riska dlja zdorov'ja naselenija pri vozdeystvii himicheskikh veshhestv, zagrjaznjajushhij okruzhajushhuj srodu / G.G. Onishhenko [i dr.] ; pod redakciej Rahmanina Ju.A., Onishhenko G.G. – M.: NII JeCh i GOS, 2002. – 408 s.
 27. Polikarpov, G.G. Radiojekologicheskij otklik Chernogo morja na chernobyl'skuju avariju / G.G. Polikarpov [i dr.] // pod red. G.G. Polikarpova i V.N. Egorova. – Sevastopol': NPC «JeKOSI-Gidrofizika», 2008. – 667 s.
 28. Ramzaev, V.P. Issledovanie radioaktivnogo zagrjaznenija morskoi bioty v svjazi s avariej na AJeS «Fukusima-1» / V.P. Ramzaev [i dr.] // Radiacionnaja gigiena. – 2012. – T. 5, № 4. – S. 5–11.
 29. Repin, V.S. Radiacionno-gigienicheskaja ocenka vozmozhnyh urovnej zagrjaznenija dal'nevostochnyh moreproduktov dolgozhivushhimi radionuklidami v svjazi s avariej na AJeS «Fukusima-1» / V.S. Repin // Radiacionnaja gigiena. – 2012. – T. 5, № 2. – S. 61–70.
 30. Romanovich, I.K. Avarija na AJeS «Fukusima-1» / I.K. Romanovich [i dr.] / pod red. akad. RAMN G.G. Onishhenko. – SPb.: NIIRG im. prof. P.V. Ramzaeva, 2012. – 336 s.
 31. Sivincev, Ju.V. Tehnogennye radionuklidy v morjah, omyvajushhij Rossiju. Radiojekologicheskie posledstvija udalenija radioaktivnyh othodov v Arkticheskie i Dal'nevostochnye morja (Belaja kniga-2000) / Ju.V. Sivincev [i dr.]. – M.: IzdAT, 2005. – 624 s.
 32. Bailly du Bois. Estimation of marine source-term following Fukushima Dai-ichi accident / Bailly du Bois [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2011, doi:10.1016/j.jenvrad.2011.11.015.
 33. Behrens, E. Model simulations on the long-term dispersal of ¹³⁷Cs released into the Pacific Ocean off Fukushima / Erik Behrens [et al.] // Environ. Res. Lett. -7 – 2012. – 034004. – P. 10.
 34. Buesseler, K.O. Fishing for Answers off Fukushima / Ken O. Buesseler // Sci-ence. – P. 480–482.
 35. Akulich, O.V. Sravnitel'nyj analiz konkurentosposobnosti rybohozajstvennyh kompleksov regionov Dal'nego Vostoka / O.V. Akulich // Izvestija Irkutskoj gosudarstvennoj jekonomicheskoi akademii. – 2011. – № 5. – S.70–74.
 36. Romanovich, I.K. Predvaritel'nyj analiz dannyh pervichnogo obsledovanija radiacionnoj obstanovki v jugo-vostochnyh rajonah Sahalinskoj oblasti posle avarii na AJeS «Fukusima-1» / I.K. Romanovich, A.V. Gromov, Ju.N. Goncharova. // Radiacionnaja gigiena. – 2011. – T. 4, № 3. – S. 36–42.
 37. Oficial'nyj sajt OOO FISHNET: http://www.fishnet.ru/news/-novosti_otrasli/3661.html/ (data obrashhenija: 25.02.2015 g.)
 38. Biblin, A.M. Urovni zagrjaznenija morskoi bioty posle avarii na AJeS Fukusima v Japonskom i Ohotskom morjah v 2014 godu / A.M. Biblin, S.A. Ivanov, V.P. Ramzaev // Radiacionnaja gigiena. – 2015. – T. 8, №1. – S. 62–66.