

УДК: 621.039.586(521):577.4(265.4)

## Экспедиционные радиэкологические исследования в Японском море и северо-западной части Тихого океана после аварии на японской АЭС «Фукусима-1»: предварительные результаты

А.И. Никитин<sup>1</sup>, В.П. Рамзаев<sup>2</sup>, В.М. Осокин<sup>3</sup>, А.С. Сергеев<sup>4</sup>, А.В. Севастьянов<sup>5</sup>,  
Р.А. Алиев<sup>6</sup>, Г.Б. Артемьев<sup>1</sup>, Г.Я. Брук<sup>2</sup>, П.С. Ваганов<sup>6</sup>, Е.Н. Вехов<sup>5</sup>, А.Ю. Вяхирев<sup>5</sup>,  
И.Н. Титов<sup>5</sup>, А.В. Федорова<sup>1</sup>, И.Ю. Филиппов<sup>5</sup>

<sup>1</sup> ГУ «НПО «Тайфун» Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Обнинск

<sup>2</sup> ФГУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург

<sup>3</sup> ФГУП «НПО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина» Государственной корпорации по атомной энергии «РОСАТОМ», Санкт-Петербург

<sup>4</sup> ФГУП «Аварийно-технический центр Минатома России», Санкт-Петербург

<sup>5</sup> ГУ Дальневосточный региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), Владивосток

<sup>6</sup> ГОСАКВАСПАС Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий России (МЧС России), Москва

*В период с 22 апреля по 20 мая 2011 г. на научно-исследовательском судне «Павел Гордиенко» (Российская Федерация) было проведено экспедиционное обследование Японского моря и Курило-Камчатского района Тихого океана. Основной целью экспедиции являлось исследование радиоактивного загрязнения воздушной и водной среды после аварии на АЭС «Фукусима-1» в Японии. В данной статье представлены предварительные результаты оценки содержания <sup>137</sup>Cs и <sup>134</sup>Cs в двадцати четырех пробах морской воды. Кроме этого, даны результаты определения содержания <sup>131</sup>I, <sup>137</sup>Cs, <sup>134</sup>Cs, и <sup>7</sup>Be в двадцати девяти пробах атмосферных аэрозолей, отобранных в рейсе. Несмотря на предварительный характер полученных результатов, проведенные исследования позволяют прийти к общему заключению о пренебрежимо малом влиянии изученных техногенных гамма-излучающих радионуклидов на радиационную обстановку в районах российского побережья Дальнего Востока. Грант на проведение исследований был выделен Попечительским советом Русского географического общества.*

Ключевые слова: радиационная авария; Фукусима-1; Дальний Восток Российской Федерации; атмосферные аэрозоли; морская вода; <sup>131</sup>I; <sup>134</sup>Cs; <sup>137</sup>Cs; <sup>7</sup>Be.

### 1. Введение

В период с 22 апреля по 20 мая 2011 г. Государственным Учреждением «Дальневосточный региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт» Росгидромета (ГУ ДВНИГМИ) под патронажем Русского географического общества на научно-исследовательском судне (НИС) «Павел Гордиенко» (87-й рейс) были проведены экспедиционные радиэкологические исследования в Японском море и Курило-Камчатском районе Тихого океана. Целью экспедиции явилась оценка опасности, которую в настоящее время могут представлять выбросы в атмосферу и сбросы в морскую воду радиоактивных веществ с аварийной АЭС «Фукусима-1» для районов побережья российского Дальнего Востока.

Аварийная ситуация на АЭС «Фукусима-1» возникла в связи с выходом из строя системы охлаждения ядерных реакторов АЭС в результате землетрясения и катастрофического цунами 11 марта 2011 г. Разрушение защитных барьеров энергоблоков привело к выбросу накопленных

радиоактивных продуктов в атмосферу и последующему их переносу с воздушными массами на большие расстояния. Радионуклиды, выброшенные с аварийной станции, были зарегистрированы в Северной Америке и Европе [1, 2]. Для охлаждения аварийных реакторов японские специалисты использовали морскую воду, которая затем сбрасывалась в прибрежную акваторию Тихого океана с крайне высокими уровнями радиоактивного загрязнения. Ожидается, что перенос радионуклидов от аварийной станции с течениями по морским и океаническим просторам будет происходить намного медленнее, чем распространение радиоактивности по воздуху, и радиоактивные продукты с аварийной станции поступят к тихоокеанским берегам США и Канады лишь через 1–2 года [1].

Мониторинг содержания продуктов аварийных выбросов (<sup>131</sup>I, <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs и др.) в приземном слое атмосферы был начат российскими службами сразу после аварии, в том числе в ряде населенных пунктов Дальнего Востока [3]. Однако российский Дальний Восток имеет обшир-

ные морские акватории, мониторинг радиоактивного загрязнения которых невозможен без проведения специальных исследований на научно-исследовательских судах. Основной задачей экспедиционных работ на НИС «Павел Гордиенко» ГУ ДВНИГМИ Росгидромета (рис. 1) был отбор проб морской воды и атмосферного воздуха для проведения оперативных бортовых и последующих береговых радионуклидных анализов. К выполнению работ были привлечены специалисты ГУ НПО «Тайфун» и ГУ ДВНИГМИ Росгидромета, ГОСАКВАСПАС МЧС России, ФГУН НИИРГ Роспотребнадзора, ФГУП «НПО «Радиевый институт им. В. Г. Хлопина» Госкорпорации «РОСАТОМ» и ФГУП «Аварийно-технический центр Минатома России» (г. Санкт-Петербург) (рис. 2, 3). Начальником экспедиции был назначен А.Н. Чилингаров, начальником рейса – А.В. Севастьянов (ГУ ДВНИГМИ), научным руководителем – А.И. Никитин (ГУ НПО «Тайфун») [4].

В настоящей статье приводятся предварительные результаты измерений объемной активности техногенных гамма-излучающих радионуклидов в аэрозолях воздуха ( $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ) и в морской воде ( $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ). Данные радиологически значимые радионуклиды обнаружены в аварийных выбросах и сбросах пострадавшей АЭС «Фукусима-1» [1]. Отметим, что из этих радионуклидов, лишь  $^{137}\text{Cs}$  присутствует в составе глобального

(фонового) радиоактивного загрязнения морских экосистем. Все измерения были выполнены непосредственно в экспедиционных условиях в судовой лаборатории, оборудованной участниками рейса собственными приборами и другими комплектующими в соответствии с задачами экспедиции.



**Рис. 1.** ИС «Павел Гордиенко» в бухте Русская (полуостров Камчатка), 7 мая 2011 г.  
Фото И. Ермаченкова



**Рис. 2.** Начальник морской экспедиции на ИС «Павел Гордиенко» А. Чилингаров торжественно вручает флаг Русского географического общества научному руководителю экспедиции А. Никитину, начальнику рейса А. Севастьянову и капитану корабля Е. Склизкову перед выходом судна в 87-й рейс в порту г. Владивосток 22 апреля 2011 года



**Рис. 3.** Научно-исследовательский коллектив рейса № 87 на НИС «Павел Гордиенко», 22 апреля – 20 мая 2011 г. В первом ряду (слева направо) – И. Титов, Г. Брук, А. Севастьянов, А. Федорова, А. Никитин, П. Ваганов, Р. Алиев; во втором ряду (слева направо) – Г. Артемьев, Е. Вехов, И. Филиппов, В. Осокин, А. Сергеев, В. Рамзаев, А. Вяхирев. Фото И. Ермаченкова

## 2. Материалы и методы

### 2.1. Общая организация работ

Наблюдения и отбор проб были проведены в период с 22 апреля по 20 мая 2011 г. в Японском море и северо-западной части Тихого океана, главным образом в районе, примыкающем к Курильским островам, а также на северной границе течения Куроиси напротив Японских островов на НИС «Павел Гордиенко» ГУ ДВНИГМИ Росгидромета. Схема маршрута экспедиционного судна приведена на рисунках 4 и 6. Поскольку экспедиционные исследования проводились под патронажем Русского географического общества (РГО), было принято решение ввести аббревиатуру общества в номера станций, т.е. тех пунктов, которые использовались для пробоотбора во время стоянки или дрейфа судна.

Основная цель работ на НИС «Павел Гордиенко» состояла в отборе проб морской воды и аэрозолей воздуха для проведения предварительных оперативных измерений на борту судна и последующей отправки проб в береговые лаборатории подразделений Росгидромета РФ, МЧС РФ, Роспотребнадзора и Госкорпорации «РОСАТОМ». Для решения поставленных задач программой рейса предусматривалось выполнение комплекса стандартных и специальных наблюдений и работ на борту НИС. Всего предполагалось провести исследования на семи станциях (в семи пунктах) (рис. 4 и 6, табл. 1). Однако сразу же после выхода в экспедиционный рейс судно было вынуждено отставать в Уссурийском заливе в течение суток, пережидая шторм, который бушевал в Японском море. С

тем чтобы не терять время, было принято решение сделать здесь контрольную станцию «РГО-тест» (43°02' N, 132°15' E), отобрать воду с поверхностного горизонта, опробовать приборы и оборудование. Отметим также, что после выполнения работ на станции РГО-7 (самая северная станция маршрута) НИС «Павел Гордиенко» продолжило свой путь на север вдоль побережья полуострова Камчатка в бухту Русская (52°24' N, 158°26' E) для пополнения запасов пресной воды и жидкого азота. Кроме того, в связи со штормовой погодой судно было вынуждено дважды изменить маршрут и преодолеть часть пути вдоль Курильской гряды по Охотскому морю.

Все научно-исследовательские работы, которые выполнялись на судне и во время высадки на берег в бухте Русская, нашли отражение в материалах съемочной группы телеканала «Россия-24» (В.А. Акиншин, О.Н. Фомичев, Е.Ю. Лебедев) и корреспондента РИА «Новости» И.О. Ермаченкова. Находящиеся на борту журналисты имели возможность получать обобщенные научные данные (в форме пресс-релизов) в течение первых суток после выполнения измерений. Поэтому участие корреспондентов в рейсе НИС «Павел Гордиенко» позволяло основным российским агентствам информировать население России о динамике радиационной обстановки в регионе обследования в режиме реального времени по теле- и радиоканалам, через интернет и печатные СМИ. Документальный фильм В. Акиншина «На волнах Фукусимы» доступен на сайте: <http://www.vesti.ru/videos?cid=1202&vid=347610>.



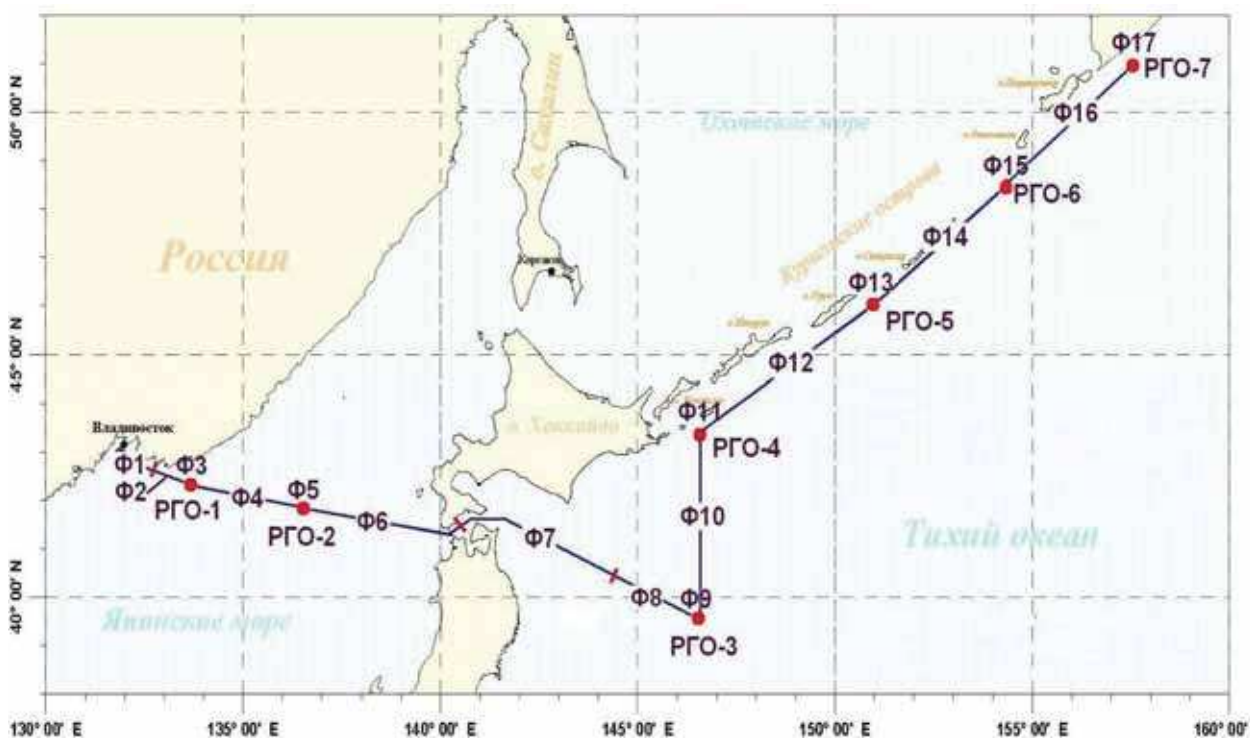


Рис. 4. Расположение станций и точек замены фильтров по маршруту движения судна от Владивостока в сторону полуострова Камчатка в период 22 апреля – 6 мая 2011 г.

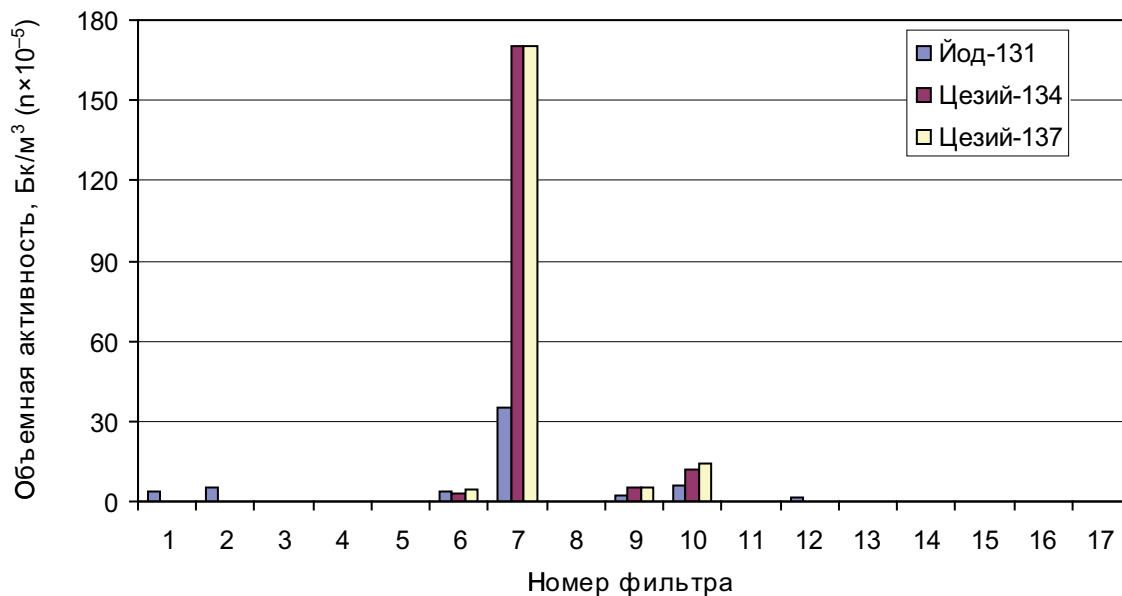
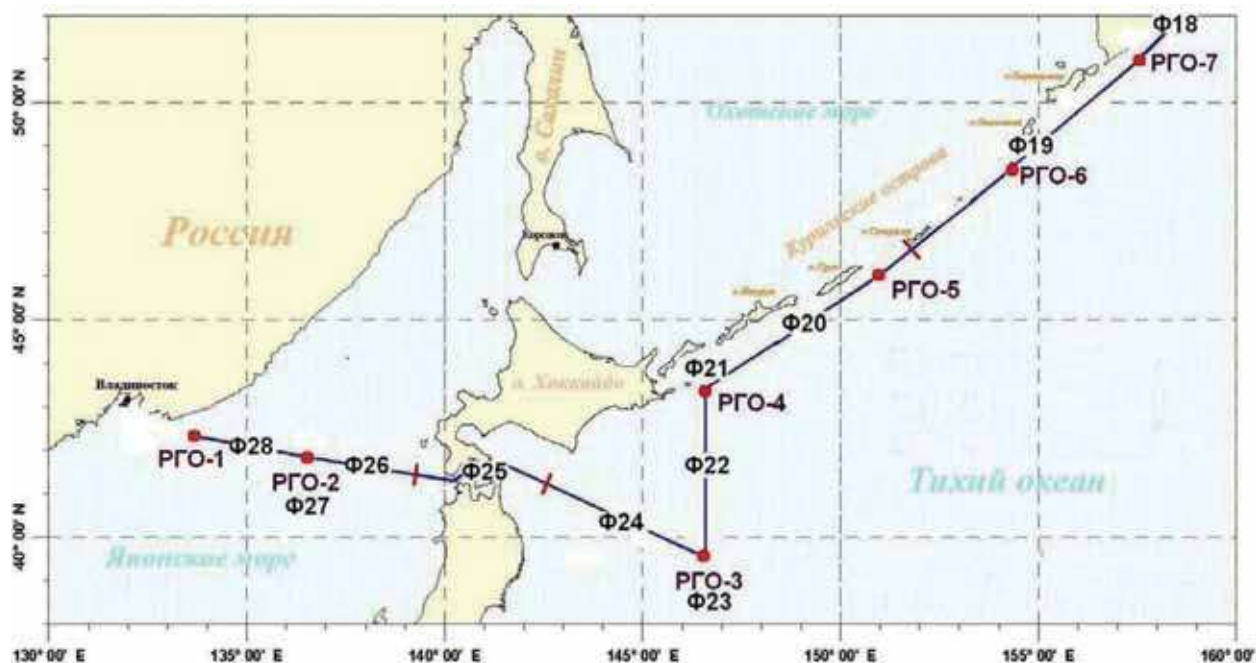
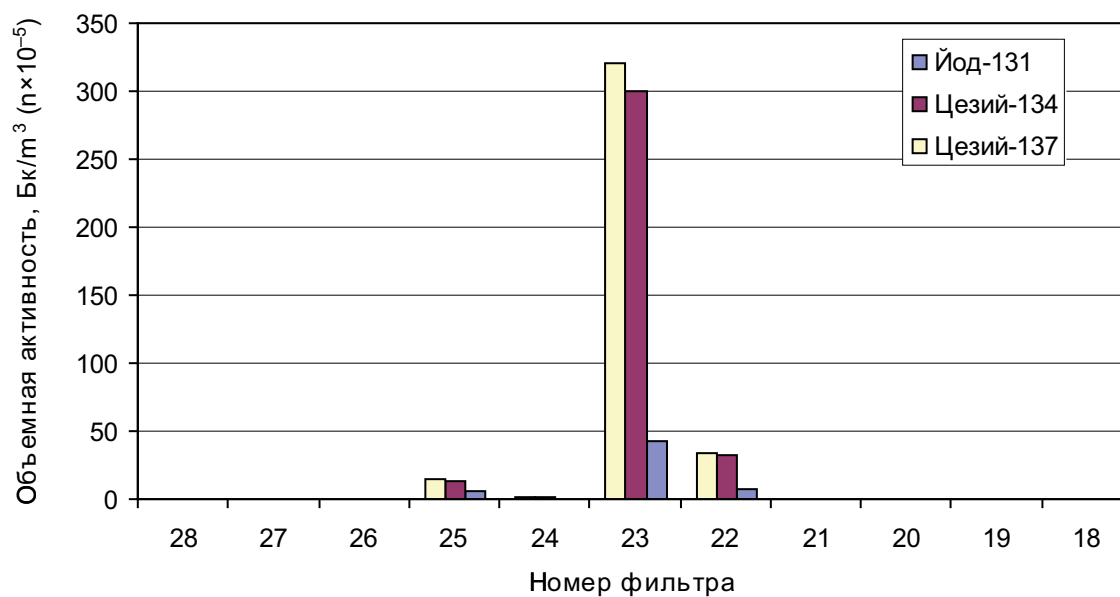


Рис. 5. Мониторинг содержания радионуклидов в приземном слое атмосферы. Техногенные радионуклиды в пробах аэрозолей, 24 апреля – 6 мая 2011 г.



**Рис. 6.** Расположение станций и точек замены фильтров по маршруту движения судна от полуострова Камчатка в сторону Владивостока в период 7–19 мая 2011 г.



**Рис. 7.** Мониторинг содержания радионуклидов в приземном слое атмосферы. Техногенные радионуклиды в пробах аэрозолей, 7–19 мая 2011 г.

Таблица 1

**Координаты морских станций, заранее выбранных для отбора проб воды и воздуха в апреле – мае 2011 г.**

Название станции	Координаты		Горизонты отбора проб воды	Количество горизонтов отбора проб воды
	Широта	Долгота		
РГО-1	42°21' N	133°38' E	0 м	1
РГО-2	41°59' N	136°35' E	0, 50, 100 м (2 раза)	6
РГО-3	39°33' N	146°33' E	0, 50, 100 м (2 раза)	6
РГО-4	43°24' N	146°33' E	0, 50, 100 м (2 раза)	6
РГО-5	46°03' N	150°58' E	0, 50, 100 м	3
РГО-6	48°33' N	154°20' E	0 м	1
РГО-7	51°00' N	157°35' E	0 м	1

*2.2. Стандартные наблюдения*

В рейсе выполнялся комплекс стандартных гидрометеорологических наблюдений по программе судовой станции 1 разряда в соответствии с [5, 6]. С целью определения вертикальной структуры вод в точках, указанных в таблице 1, выполнялось СТД-зондирование (электропроводность – С, температура – Т, давление – Д) водной толщи профилографом 19plus SEACAT (фирмы Sea-Bird Electronics, США) до глубин 250 м с дискретностью 1 м. В каждой точке, т.е. на станции, судно лежало в дрейфе 12 часов. В течение этого времени проводился отбор проб воды и воздушных аэрозолей. СТД-зондирование проводилось в начале и в конце каждой станции с обязательной отсечкой координат. Для обеспечения экспедиционных работ круглосуточно использовалась спутниковая 12-канальная система GPS-128 компании GARMIN с электронной информационной системой (ЭНИС) dKart Navigator с отображением электронных карт, разработанной для ПЭВМ класса IBM PC. Обсервации производились с точностью 15 м специалистами ГУ ДВНИГМИ.

*2.3. Специальные наблюдения*

**2.3.1. Измерение мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения в воздухе и накопленной индивидуальной дозы гамма-излучения**

Для измерений мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) гамма-излучения в воздухе использовался портативный универсальный дозиметр-радиометр МКС-АТ1117М (производство АТОМТЕХ, Беларусь). Прибор имеет внешний блок детектирования с датчиком (рис. 8), изготовленным на основе сцинтилляционной ткане-эквивалентной пластмассы. Заявленный изготовителем диапазон измерений – от 50 нЗв/час до 10 Зв/час.

Мониторинг МАЭД проводился на корме судна на второй открытой палубе ежедневно, в основном в утренние часы (7.00–8.00). В те дни, когда штормовая погода препятствовала проведению безопасных измерений, регистрация МАЭД проводилась в другие часы суток. Кроме того, на всех станциях «РГО» были выполнены дополнительные измерения МАЭД в носовой части судна, на открытой палубе в том месте, где были установлены устрой-

ства для отбора проб воды. Во время измерения датчик удерживался на высоте около одного метра под углом около 45° к поверхности палубы. Продолжительность экспозиции выбиралась таким образом, чтобы статистическая погрешность измерения не превышала 25%.

Для измерения накопленной дозы внешнего гамма-излучения применялся индивидуальный дозиметр ДКГ-РМ1621 (производство «ПОЛИМАСТЕР», Беларусь), который является прямопоказывающим многофункциональным измерителем индивидуальной эквивалентной дозы Нp(10) (ЭД) и мощности эквивалентной дозы Нp(10) (МЭД). В качестве детектора излучения используется счетчик Гейгера-Мюллера с фильтром для пространственно-энергетического формирования чувствительности. Диапазон измерения МЭД – от 0,1 мкЗв/ч до 100 мЗв/ч. Диапазон индикации МЭД – от 0,01 мкЗв/ч до 200 мЗв/ч. Диапазон измерения ЭД – от 1,0 мкЗв до 9,99 Зв. Габаритные размеры дозиметра не более 87×72×35 мм (рис. 9). Прибор постоянно находился в нагрудном кармане рабочей курки одного из научных сотрудников, принимавшего участие в экспедиции. Считывание показаний накопленной ЭД и текущей МЭД проводилось ежедневно.



**Рис. 8.** Измерение мощности дозы гамма-излучения на палубе НИС «Павел Гордиенко» с помощью дозиметра-радиометра МКС-АТ1117М. Измерения выполняет Г. Брук (датчик прибора находится в правой руке исследователя)



**Рис. 9.** Индивидуальный дозиметр гамма-излучения ДКГ-РМ1621. Видны органы управления (две серые кнопки справа), инфракрасный порт передачи информации (слева) и дисплей (в середине) на лицевой панели. Большой серый круг (детектор) размещен на стороне, обращенной во внешнее пространство при ношении дозиметра испытуемым субъектом

### 2.3.2. Отбор проб аэрозолей

На всех станциях специалистами ФГУП НПО «Радиовый институт им. В.Г. Хлопина» Госкорпорации «РОСАТОМ» и ФГУП «Аварийно-технический центр Минатома России» (г. Санкт-Петербург) производился отбор проб аэрозолей воздуха с использованием фильтровоздушной установки (ФВУ) производительностью 600 м<sup>3</sup>/час (производство ФГУП НПО «Радиовый институт им. В.Г. Хлопина» Госкорпорации «РОСАТОМ») и фильтрующей ткани Петрянова. Фильтрующая ткань типа ФПП-15-1.5. состоит из перхлорвиниловых волокон диаметром 2 мкм и имеет поверхностную плотность 30±5 г/м<sup>2</sup>. Эффективность фильтрации по частицам размером 0,34 мкм составляет 99%. Продолжительность экспозиции была равна 12 часам для каждой станции. Во время движения судна смена фильтров осуществлялась через 9–57 часов в зависимости от скорости перемещения судна, его местоположения и расстояния между станциями. ФВУ (рис. 10) была размещена в кормовой части корабля между нижней и второй открытыми палубами, что обеспечивало свободный обдув устройства атмосферным воздухом. Одновременно вторая палуба, служившая местом крепления ФВУ, препятствовала попаданию атмосферных осадков (дождя, мороси) непосредственно на фильтр. Следует, тем не менее, отметить, что в условиях штормовой погоды (осадки и сильный ветер) обнаруживалось выраженное пропитывание фильтра атмосферной влагой и морскими аэрозолями.

Всего было экспонировано и проанализировано 29 фильтров (см. рис. 4–7, табл. 3). Из этих фильтров 7 штук были экспонированы на станциях «РГО» с № 1 по № 7 при их первичном посещении во время продвижения от порта Владивосток к полуострову Камчатка и еще 3 фильтра – на станциях «РГО» № 2, 3 и 4 на обратном пути в порт Владивосток. Отрезки пути и точки (станции) экспозиции для каждого фильтра схематично представлены на рисунке 4 (путь туда) и рисунке 6 (путь обратно). Календарное время (день, месяц) и продолжительность экспозиции в часах даны в таблице 3. Объем прокачанного воздуха рассчитывался путем простого умножения продолжительности экспозиции (час) на заявленную производительность установки (600 м<sup>3</sup>/ч).



**Рис. 10.** Замена фильтра на фильтровоздушной установке. Работы выполняют В. Осокин и А. Сергеев. Фото И. Ермаченкова

Измерение активности техногенных гамма-излучающих радионуклидов в фильтрах начиналось не ранее чем через 4 часа после окончания прокачки с тем, чтобы за счет естественного процесса радиоактивного распада уменьшить содержание короткоживущих продуктов распада радона в образцах. В случаях высокой активности дочерних продуктов радона на экспонированных фильтрах гамма-спектрометрические измерения начинали спустя сутки после снятия фильтра.

### 2.3.3. Отбор и обработка проб воды

В рейсе выполнялся отбор проб морской воды для анализа на содержание в ней антропогенных (техногенных) радионуклидов, таких как <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr, <sup>239, 240</sup>Pu, <sup>238</sup>Pu и тритий. Непосредственно на судне проводилось первичное концентрирование радионуклидов из отбираемых проб – отделение взвешенного вещества, концентрирование изотопов цезия на избирательных сорбентах, радиохимическое осаждение стронция и изотопов плутония.

Отбор воды из морской толщи в рейсе выполнялся участниками экспедиции от ГУ НПО «Тайфун» и ГУ ДВНИГМИ (рис. 11) в объеме, достаточном для того, чтобы каждая из исследовательских групп смогла выполнить свою собственную программу пробоотбора в соответствии с заранее установленным планом экспедиционных работ. Дальнейшая обработка проб (пробоподготовка) проводилась каждой из исследовательских групп самостоятельно по установленным на предприятии методикам. В частности, участниками от ГУ НПО «Тайфун» обработка проб осуществлялась на основании действующих и апробированных методических документов и рекомендаций [7, 8].

В соответствии с программой рейса пробы морской воды отбирались с поверхности на каждой из 7 основных станций, указанных на рисунках 4 и 6, в координатах, приведенных в таблице 1. Координаты станций указаны с точностью до сотых долей минуты, т.к. в процессе отбора проб судно находилось в дрейфе и смещение точки отбора могло достигать нескольких морских миль. В целях оценки проникновения радиоактивного загрязнения в толщу вод на отдельных, указанных в таблице станциях производился отбор проб воды с горизонтов 50 м и 100 м. В точках 2, 3, 4 отбор проб воды повторялся на обратном пути судна во Владивосток. На станциях РГО-6 и РГО-7 дополнительно к программе рейса были отобраны пробы воды с горизонта 50 м. На станции РГО-3 (при повторном посещении 14–15 мая), помимо запланированных трех горизонтов (0 м, 50 м, 100 м), было решено опробовать горизонты 150 м и 250 м. Это решение было принято на основании анализа результатов, полученных при первом (28 апреля) посещении станции РГО-3. На остальных станциях отбор проб морской воды проводился в соответствии с программой рейса (см. табл. 1). Таким образом, в течение рейса всего было отобрано 29 проб морской воды с различных горизонтов (от 0 до 250 м) для анализа на содержание техногенных радионуклидов.

При опробовании горизонтов 0 м и 50 м использовался аппаратный комплекс для отбора проб воды с одновременным отделением взвешенного вещества и концентрированием растворенного радиоактивного цезия на избирательном сорбенте разработки ГУ НПО «Тайфун». Комплекс для отбора поверхностной морской воды состоит из погружного насоса, фильтрующей установки





**Рис. 11.** Выполнение работ по отбору проб воды с глубины 50 м на борту НИС «Павел Гордиенко». Показан момент монтажа установки «Спрут» – крепление погружаемого шланга к тросу лебедки. Работы проводят А. Никитин, Е. Вехов, Г. Артемьев и А. Севастьянов. Фото И. Ермаченкова

«Мидия» и абсорбера (рис. 12), соединенными последовательно в единую гидросистему. Фильтрующая установка «Мидия» предназначена для отделения взвешенного вещества из проб воды большого объема. Фильтрация воды происходит со скоростью 120–900 литров в час. В установке используются комбинированные фильтры, состоящие из предфильтра из фильтроткани ФПП-15-1.5. и бумажного фильтра типа «синяя лента». Использование указанных фильтров обеспечивает выделение из воды частиц крупнее 1,0 мкм.

Абсорбер предназначен для концентрирования растворенных в морской воде фракций радиоактивных примесей со скоростью до 500 л/час с одновременным счетом объема прокачанной воды. Абсорбер содержит капсулу со сменными гильзами, заполненными избирательным сорбентом, и счетчик объема пропущенной воды (рис. 12). Исследуемая вода после фильтрации на фильтрующей установке «Мидия» посредством напора, создаваемого насосом, прокачивается через капсулу с избирательным сорбентом, который извлекает растворенный в воде цезий (в частности, радиоактивные изотопы этого элемента –  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{134}\text{Cs}$ ). Сорбент изготовлен на основе разработанного в Московском текстильном институте (МТИ) волокнистого комплексита «Мтилон-Т», импрегнированного ферроцианидом меди. Сорбенты на основе этого волокна обеспечивают практически полное извлечение радиоцезия из морских вод в широком диапазоне изменения скорости прокачки.



**Рис. 12.** Фильтрующая установка «Мидия» (справа) и абсорбер на борту НИС «Павел Гордиенко» во время работ в 87-м рейсе

Для отбора проб воды ниже поверхностного горизонта, в дополнение к выше описанному пробоотборному комплексу подсоединялось устройство «Спрут», которое предназначено для переноса точки забора водных масс с поверхности моря до требуемой глубины (при благоприятных метеоусловиях и небольшом сносе судна). Устройство «Спрут» представляет собой комплект гибких шлангов,



быстро соединяемых между собой при помощи штуцеров и специальной насадки на насос. Для отбора проб воды с горизонтов 100–250 м использовали батометры Нискина (емкость 30 литров) производства США. Глубина отбора пробы воды определялась при помощи счетчика на ледбедке; при этом делались необходимые поправки на угол наклона вытравленного троса. Вода из батометров переливалась в пластиковые бочки в объеме около 100 литров. В течение первых суток после отбора эта вода прокачивалась через фильтрующую установку «Мидия» и абсорбер с сорбентом для выделения изотопов цезия.

После изъятия из капсулы спрессованный сорбент делился вручную на мелкие фрагменты (весом ~3–5 граммов), которые тщательно перемешивались и помещались в контейнер для измерения. Гамма-спектроскопические измерения начинались практически сразу после подготовки пробы, т.к., в отличие от воздушных фильтров, сорбент не содержал «мешающих» природных радионуклидов.

Всего за время экспедиции было проанализировано 24 пробы сорбента со всех опробованных станций (табл. 4) и один комбинированный фильтр со станции № 3.

Помимо отбора проб морской воды для определения содержания радиоактивного цезия, в рейсе была проведена первичная обработка проб с целью последующего количественного определения бета- и альфа-излучающих радионуклидов в условиях береговых лабораторий. В частности, был выполнен этап осаждения карбонатов щелочноземельных металлов (первичное концентрирование) для радиохимического определения  $^{90}\text{Sr}$  в пробах. Первичное концентрирование  $^{239,240}\text{Pu}$  и  $^{238}\text{Pu}$  из проб воды, основанное на осаждении плутония на гидроксиде железа, было проведено из больших (100 л) объемов морской воды (рис. 13). В качестве метки использовался  $^{242}\text{Pu}$ .



**Рис. 13.** Радиохимический анализ. Рабочий момент предварительного концентрирования изотопов плутония из пробы морской воды на борту НИС «Павел Гордиенко». Работы выполняет А. Федорова

#### 2.3.4. Бортовая гамма-спектрометрия

Оперативная гамма-спектрометрия на борту судна проводилась с использованием гамма-спектрометрического комплекса, состоящего из переносного полупроводникового

детектора (особо чистый германий) модели GEM20, SMART-1-P (фирма ORTEC, США), многоканального амплитудного анализатора digiDART (ORTEC, США) и ноутбука. Управление анализатором и определение площадей фотопиков на гамма-спектрах проводилось с использованием компьютерной программы «Maestro-32» (ORTEC, США). Энергетическое разрешение детектора составляло 1,8 кэВ на линии 1332,5 кэВ ( $^{60}\text{Co}$ ), а относительная эффективность – 20% (заявленная производителем) и 31% (измеренная). Гамма-спектрометр был предоставлен ФГУН НИИРГ.

Полупроводниковый гамма-спектрометр был использован как по прямому назначению в качестве полевого гамма-спектрометра для определения возможного фонового загрязнения корабля техногенными радионуклидами (рис. 14, 15), так и для измерения активности радионуклидов в пробах, отобранных во время рейса. Для проведения измерений проб детектор был закреплен на доске длиной около 1,5 м и толщиной 50 мм, которая использовалась в качестве опоры при размещении прибора в рабочем (вертикальном) положении (рис. 16). В качестве физической защиты кристалла детектора от внешнего гамма-излучения была задействована базисная часть свинцовой защиты, обычно применяемой ГУ НПО «Тайфун» для бортовых спектрометрических измерений с использованием сцинтилляционного (NaI(Tl)) детектора.

Для калибровки спектрометра использовали объемные (250 см<sup>3</sup>) меры активности радионуклидов ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ) специального назначения (ОМАСН). В качестве наполнителя были взяты древесные опилки (плотность 0,2 г/см<sup>3</sup>) и ионообменная смола (плотность 1,0 г/см<sup>3</sup>). Меры были изготовлены и поверены в ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева». Для калибровки спектрометра в отношении проб как меньшего, так и большего объема, во ФГУН НИИРГ были изготовлены меры объемом 150, 200, 300 и 350 см<sup>3</sup> и плотностью 1,0 г/см<sup>3</sup>. Для изготовления этих мер была использована ионообменная смола, содержащая известное количество  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{152}\text{Eu}$  и  $^{241}\text{Am}$ .



**Рис. 14.** Определение спектрального состава фона гамма-излучения в помещении № 223 НИС «Павел Гордиенко» с помощью полупроводникового гамма-спектрометра фирмы ORTEC. Спектрометр закреплен на лабораторном столе во избежание повреждений во время шторма и резких маневров судна



**Рис. 15.** Определение спектрального состава фона гамма-излучения на палубе НИС «Павел Гордиенко» (корма судна) с помощью полупроводникового гамма-спектрометра фирмы ОРТЕС. Спектрометр расположен в над местом крепления ФВУ, использованной для отбора проб аэрозолей воздуха (см. рис. 10). Измерения проводит В. Рамзаев

Продолжительность измерения одной пробы варьировалась от 5000 до 20000 секунд. Этот разброс определялся не только активностью образцов, но и особенностями организации измерительного процесса в условиях судовой лаборатории. В частности, в штормовую погоду и в ночное время измерения прекращались, а спектрометр надежно крепился в горизонтальном положении (рис. 14) во избежание повреждений при резком и неожиданном маневре судна. Кроме того, значительное число проб, подлежащих анализу за сравнительно небольшой промежуток времени (около 25 суток), накладывало неизбежные ограничения на максимальную продолжительность измерений.

Наряду с полупроводниковым детектором, для оперативного контроля гамма-радиоактивности морской воды использовали погружаемый гамма-спектрометр ГЕОХИ-МЧС. Спектрометр представляет собой сцинтилляционный детектор на основе кристалла NaI (Тl) размером 80×80 мм. В прочном корпусе, помимо сцинтиллирующего блока, находится электронный блок «Колибри», имеющий автономное питание и способный сохранять в памяти записанные спектры. Таким образом, прибор полностью автономен. В условиях рейса измерения выполнялись следующим образом: погружали прибор в ото-

бранную пробу воды объемом 40 л. В этом случае измерения проводились в геометрии, близкой к той, в которой прибор был калиброван и, кроме того, отсутствовал риск повреждения прибора в условиях сильной качки. Время набора спектра составляло в среднем 1 час.

Оценка пределов детектирования для геометрии погружения была сделана на основе результатов «холостого» опыта с использованием фонового спектра морской воды. Морская вода является излучающе-поглощающей средой, основной вклад в гамма-активность которой вносит радионуклид  $^{40}\text{K}$  ( $E_\gamma=1460,8$  кэВ). Непрерывное комптоновское распределение от квантов с этой энергией определяет предел детектирования других радионуклидов с меньшей энергией гамма-квантов, в том числе  $^{137}\text{Cs}$ . В условиях «холостого» опыта в области пика  $^{137}\text{Cs}$  (т.е. 661,6 кэВ от дочернего короткоживущего  $^{137\text{m}}\text{Ba}$ ) было набрано 9176 импульсов за 1 час. Расчет минимального заведомо детектируемого количества импульсов был сделан по формуле Курье [9]:

$$N_D = 2,71 + 4,65\sqrt{\mu_B}$$

где  $\mu_B$  – количество импульсов, зарегистрированных в «холостом» опыте.



**Рис. 16.** Полупроводниковый гамма-спектрометр в рабочем положении во время измерения одной из проб сорбента. Проба помещена в металлический контейнер, который вместе с торцевой частью детектора находится внутри свинцовой защиты и на фотографии не виден

В условиях корабельной лаборатории  $N_D$  составило примерно 450 импульсов за час или 0,125 импульсов за секунду. С учетом заявленного изготовителем коэффициента пересчета скорости счета в объемную активность для  $^{137}\text{Cs}$  ( $9 \times 10^{-5}$  имп./с на 1 Бк/м<sup>3</sup>), получаем предел детектирования  $^{137}\text{Cs}$  около 1400 Бк/м<sup>3</sup>. Хотя эта величина не столь мала, тем не менее, она примерно в 10 раз ниже, чем уровень вмешательства по  $^{137}\text{Cs}$  для питьевой воды (11 000 Бк/м<sup>3</sup>) [10]. Таким образом, указанное оборудование достаточно эффективно для экспресс-контроля аварийных выбросов. В частности, в нашем рейсе можно было сделать предварительную оценку загрязнения морской воды уже через 1,5–2 часа после прибытия на станцию.

### 2.3.5. Измерения содержания цезия-137 в организме участников экспедиции

Для проведения измерений содержания радионуклидов цезия в организме человека в полевых условиях в Санкт-Петербургском НИИ радиационной гигиены были разработаны специальные оперативные методики, позволяющие использовать для этих целей в качестве спектрометров излучения человека (СИЧ) переносные малогабаритные сцинтилляционные спектрометры [11]. Калибровка этих приборов производится ежегодно с помощью метрологически аттестованных фантомов тела человека различной массы УФ-02Т, а также путем сравнения результатов измерений отдельных индивидуумов, выполненных с помощью переносных малогабаритных сцинтилляционных спектрометров, и стационарного СИЧ, находящегося в ФГУН НИИРГ [12].

В настоящей экспедиции в качестве СИЧ мы использовали сцинтилляционный гамма-спектрометр «DigiDART» (производство фирмы ORTEC, США) с детектором NaI(Tl) размером 76×76 мм.

В положении обследуемого лица «сидя» с детектором у нижней части живота измеряли число импульсов в энергетиче-

ском диапазоне гамма-излучения 610–705 кэВ (пик  $^{137}\text{Cs}$ ). Время измерения было равно 300 секунд, относительная погрешность – до 30%, практическая чувствительность методики – около 0,3 кБк содержания радионуклида в теле человека, в зависимости от фоновой величины гамма-излучения в помещении и массы обследуемого.

Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в организме человека вычисляли по формуле [11]:

$$Q = K \times (n - K_{\phi} \times n_{\phi}),$$

где  $Q$  – содержание цезия-137 в организме обследуемого человека, кБк;

$K$  – калибровочный коэффициент, зависящий от массы тела человека, кБк×с;

$K_{\phi}$  – коэффициент экранирования внешнего гамма-фона телом человека, зависящий от его массы, отн. ед.;

$n$  – скорость счета прибора при измерении человека, с<sup>-1</sup>;

$n_{\phi}$  – скорость счета прибора при измерении фона, с<sup>-1</sup>.

## 3. Основные результаты, полученные в рейсе, и их обсуждение

### 3.1. Мощность дозы гамма-излучения в воздухе и накопленная индивидуальная доза гамма-излучения

Результаты ежедневных измерений МАЭД с помощью МКС-АТ1117М на корме корабля представлены в таблице 2. Там же приведены величины накопленной индивидуальной эквивалентной дозы и мощности дозы, определенные прибором ДКГ-РМ1621. В колонках 4 и 5 таблицы 2 указано время (в часах и сутках соответственно), прошедшее с момента обнуления показаний прибора в бухте Золотой Рог г. Владивосток 22.04.2011. Как видно из представленных в таблице 2 данных, на протяжении всего маршрута НИС «Павел Гордиенко» МАЭД оказалась намного ниже, чем величина 60 нЗв/час, зарегистрированная на берегу, на пирсе около причала г. Владивосток. Над всеми водными объектами (в Японском море, Тихом океане и Охотском море) МАЭД изменялась крайне незначительно – в пределах 18–27 нЗв/час. Эти колебания могут быть полностью объяснены статистической ошибкой измерения, которая составляла 15–25% для каждого из отдельных замеров (рис. 17). Важно подчеркнуть, что величина МАЭД, полученная на станциях «РГО» (включая станцию РГО-3), полностью укладывалась в диапазон колебаний этого показателя при движении судна. В среднем, МАЭД над поверхностью воды в обследованном регионе была даже несколько ниже, чем ожидаемая мощность дозы ионизирующей компоненты космического излучения над поверхностью океана – 32 нЗв/час [13].

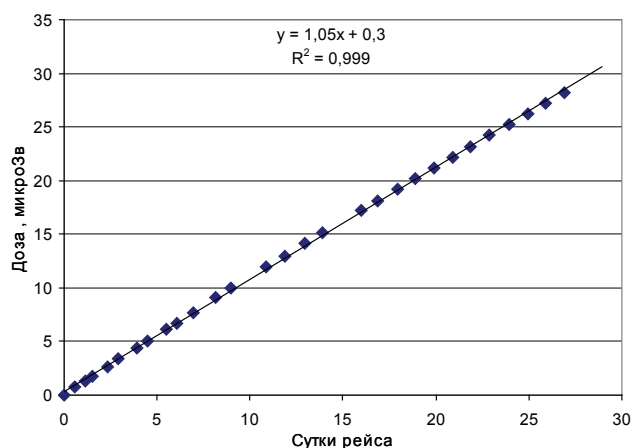
Небольшие колебания мощности дозы (в диапазоне от 40 до 60 нЗв/час) были выявлены при измерении величины этого показателя с помощью индивидуального дозиметра ДКГ-РМ1621. Интересно отметить, что зарегистрированные прибором МКС-АТ1117М значения МАЭД оказались существенно меньше, чем величины мощности дозы, определенные прибором ДКГ-РМ1621. Эти различия могут быть связаны с особенностями детекторов, используемых в данных приборах: счетчик Гейгера-Мюллера (датчик в ДКГ-РМ1621), по сравнению со сцинтилляционной пластмассой (датчик в МКС-АТ1117М), имеет больший собственный фон и отличается более «интенсивным» откликом на космическое излучение.





**Рис. 17.** Показания дозиметра-радиометра MKS-AT1117M, зарегистрированные в момент отбора пробы воды в Тихом океане на станции РГО-3 28 апреля 2011 г. Мощность дозы равна 25 нЗв/час при статистической ошибке 15%. Фото И. Ермаченкова

Динамика накопленной индивидуальной дозы подчинялась достаточно строгому линейному закону (табл. 2, рис. 18), что полностью соответствовало отсутствию каких-либо существенных колебаний со стороны МЭД и МАЭД при продвижении судна по маршруту, в том числе и на участках, близких к побережью Японии (периоды измерений: с 25 апреля по 30 апреля и с 11 мая по 16 мая). Доза, накопленная за всю морскую экспедицию (т.е. с 22 апреля по 20 мая), была равна 29 мкЗв. Это соответствует приблизительно 31–32 мкЗв за месяц или (гипотетически) 370–380 мкЗв за год. Интересно и целесообразно сравнить эту величину годовой дозы со средней дозой внешнего облучения от природных источников для населения России и Приморского края. По данным радиационно-гигиенической паспортизации за период 2001–2009 г. [14], эта доза равна 1050 мкЗв в год в среднем по России и 1150 мкЗв в год для жителей Приморского края. Таким образом, за время пребывания в морской экспедиции участники рейса накопили дозу внешнего облучения существенно меньшую (примерно в 3 раза) по сравнению с той, которую они могли бы получить, оставаясь на берегу.



**Рис. 18.** Динамика накопленной индивидуальной дозы (прибор ДКГ-PM1621, пользователь В. Рамзаев) внешнего гамма-излучения во время выполнения рейса № 87 НИС «Павел Гордиенко» в период 22 апреля – 19 мая 2011 г.

Таблица 2

**Мощность дозы внешнего гамма-излучения, зарегистрированная во время выполнения рейса № 87 НИС «Павел Гордиенко» при движении судна, на станциях и на стоянках в период 22 апреля – 19 мая 2011 г.**

Число	Месяц	Место	Время с начала рейса		Доза, микроЗв		Мощность дозы, микроЗв/час	
			Часы	Сутки	ДКГ-PM1621	ДКГ-PM1621	МКС-AT1117M	
22	апрель	На пирсе	0	0	–	–	0,060*	
22	апрель	Стоянка у пирса	0	0	0	0,06	0,030	
23	апрель	Движение	37	1,5	1,75	0,05	0,023	
23	апрель	РГО-тест	Н.р.	Н.р.	Н.р.	Н.р.	0,027	
24	апрель	Движение	56	2,3	2,66	0,04	0,020	
24	апрель	РГО-1	Н.р.	Н.р.	Н.р.	Н.р.	0,021	
25	апрель	Движение	70	2,9	3,37	0,05	0,027	
25	апрель	РГО-2	Н.р.	Н.р.	Н.р.	Н.р.	0,023	
26	апрель	Движение	94	3,9	4,40	0,04	0,018	
26	апрель	Движение	108	4,5	5,03	0,05	0,018	
27	апрель	Движение	132	5,5	6,10	0,06	0,025	
28	апрель	Движение	145	6,0	6,74	0,06	0,025	
28	апрель	РГО-3	Н.р.	Н.р.	Н.р.	Н.р.	0,025	
29	апрель	Движение	166	6,9	7,68	0,05	0,021	
30	апрель	Движение	196	8,2	9,14	0,04	0,021	
30	апрель	РГО-4	Н.р.	Н.р.	Н.р.	Н.р.	0,023	
1	май	Движение	215	9,0	9,97	0,04	0,026	
1	май	РГО-5	Н.р.	Н.р.	Н.р.	Н.р.	0,021	
2	май	Стоянка у о. Уруп	Н.р.	Н.р.	Н.р.	Н.р.	0,021	
3	май	Движение	261	10,9	12,0	0,05	0,019	
4	май	Движение	285	11,9	13,0	0,04	0,024	
4	май	РГО-6	Н.р.	Н.р.	Н.р.	Н.р.	0,020	
5	май	Движение	310	12,9	14,1	0,04	0,020	
6	май	Движение	334	13,9	15,1	0,04	0,025	
6	май	РГО-7	Н.р.	Н.р.	Н.р.	Н.р.	0,021	
6	май	Стоянка в бухте Русская	Н.р.	Н.р.	Н.р.	Н.р.	0,022	
8	май	Движение	383	16,0	17,2	0,04	0,023	
9	май	Движение	405	16,9	18,1	0,04	0,023	
10	май	Движение	430	17,9	19,2	0,05	0,025	
11	май	Движение	453	18,9	20,2	0,04	0,023	
11	май	РГО-4	Н.р.	Н.р.	Н.р.	Н.р.	0,023	
12	май	Движение	478	19,9	21,2	0,04	0,021	
13	май	Движение	502	20,9	22,2	0,04	0,024	
14	май	Движение	525	21,9	23,2	0,04	0,019	
14	май	РГО-3	Н.р.	Н.р.	Н.р.	Н.р.	0,023	
15	май	Движение	549	22,9	24,2	0,04	0,023	
16	май	Движение	574	23,9	25,2	0,04	0,022	
17	май	Движение	598	24,9	26,2	0,04	0,025	
17	май	Движение	Н.р.	Н.р.	Н.р.	Н.р.	0,019	
18	май	Движение	621	25,9	27,2	0,04	0,019	
19	май	Движение	646	26,9	28,2	0,04	0,023	

**Примечание:** \* – измерение сделано на пирсе на расстоянии 30 м от уреза воды; Н.р. – не регистрировалось.

3.2. Гамма-спектроскопические исследования с использованием погружаемого сцинтилляционного детектора

Типичный спектр гамма-излучения, зарегистрированный с помощью погружаемого сцинтилляционного детектора при исследовании проб морской воды, приведен на рисунке 19. Видно, что пик природного компонента, калия-40, присутствует, тогда как пик техногенного цезия-137 не определяется. Во всех измеренных точках радиоактивность морской воды была ниже предела детектирования по  $^{137}\text{Cs}$ , т.е.  $1400 \text{ Бк/м}^3$ .

3.3. Гамма-спектроскопические исследования с использованием полупроводникового детектора

На гамма-спектрах, записанных внутри помещений корабля (10 измерений на разных палубах), наряду с пиками от природных радионуклидов (семейств  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$ , а также  $^{40}\text{K}$ ), был обнаружен небольшой пик с энергией гамма-квантов  $661,6 \text{ кэВ}$ , принадлежащий короткоживущему радионуклиду  $^{137\text{m}}\text{Ba}$ , который является дочерним продуктом распада широко распространенного техногенного радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  (рис. 20). На спектрах, записанных на открытых палубах на корме и носу судна, данный пик не просматривался (рис. 21). Происхождение следового цезиевого загрязнения может быть связано с Чернобыльской аварией, т.к. НИС «Павел Гордиенко» строилось в Финляндии и было спущено на воду в марте 1987 г. Известно, что часть территории Финляндии оказалась существенно загрязненной Чернобыльскими выпадениями [15]. В пользу гипотезы о «чернобыльском» происхождении радиоцезия на корабле говорит и тот факт, что на второй открытой палубе, смонтированной около двух лет тому назад на корме судна из но-

вых материалов,  $^{137}\text{Cs}$  не был обнаружен. Сразу отметим, что с радиационно-гигиенической точки зрения величина цезиевого загрязнения является пренебрежимо малой – в среднем площадь фотопика с энергией  $661,6 \text{ кэВ}$  (от  $^{137\text{m}}\text{Ba}$ ) была примерно в три раза меньше по сравнению с площадью фотопика с энергией  $1460,8 \text{ кэВ}$  от природного  $^{40}\text{K}$ . Однако и эта минимальная «подсветка» от фонового  $^{137}\text{Cs}$  могла исказить результаты гамма-спектрометрического анализа отобранных образцов, поэтому использование свинцовой защиты (рис. 16), которая многократно снижала фон вокруг полупроводникового детектора, являлось абсолютно необходимым элементом такого анализа. Фоновые спектры (2 набора по 10000 с) внутри защиты были записаны при наличии пустого контейнера для проб в стандартном положении детектора (см. рис. 16). Эти фоновые спектры учитывались при анализе счетных образцов.

На рисунках 22 и 23 приведены гамма-спектры, полученные с помощью полупроводникового гамма-спектрометра в условиях судовой лаборатории НИС «Павел Гордиенко» при использовании свинцовой защиты. Отчетливо видны основные гамма-линии техногенных радионуклидов  $^{131}\text{I}$  ( $364,5 \text{ кэВ}$ ),  $^{134}\text{Cs}$  ( $604,7 \text{ кэВ}$  и  $795,8 \text{ кэВ}$ ),  $^{137}\text{Cs}$  ( $661,6 \text{ кэВ}$  от дочернего короткоживущего  $^{137\text{m}}\text{Ba}$ ) и природного радионуклида  $^{7}\text{Be}$  ( $477,6 \text{ кэВ}$ ) в спектре воздушного фильтра (рис. 22) и гамма-линии  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в спектре селективного по отношению к цезию сорбента (рис. 23). Помеченные фотопики были использованы для определения содержания радионуклидов в фильтрах и сорбентах с целью последующего расчета объемной активности. При расчете были введены поправки на присутствие в фоновом спектре (записано внутри защиты) линий  $661,6 \text{ кэВ}$  (техногенный  $^{137}\text{Cs}$ ) и  $794,7 \text{ кэВ}$  (природный  $^{228}\text{Ac}$ ).

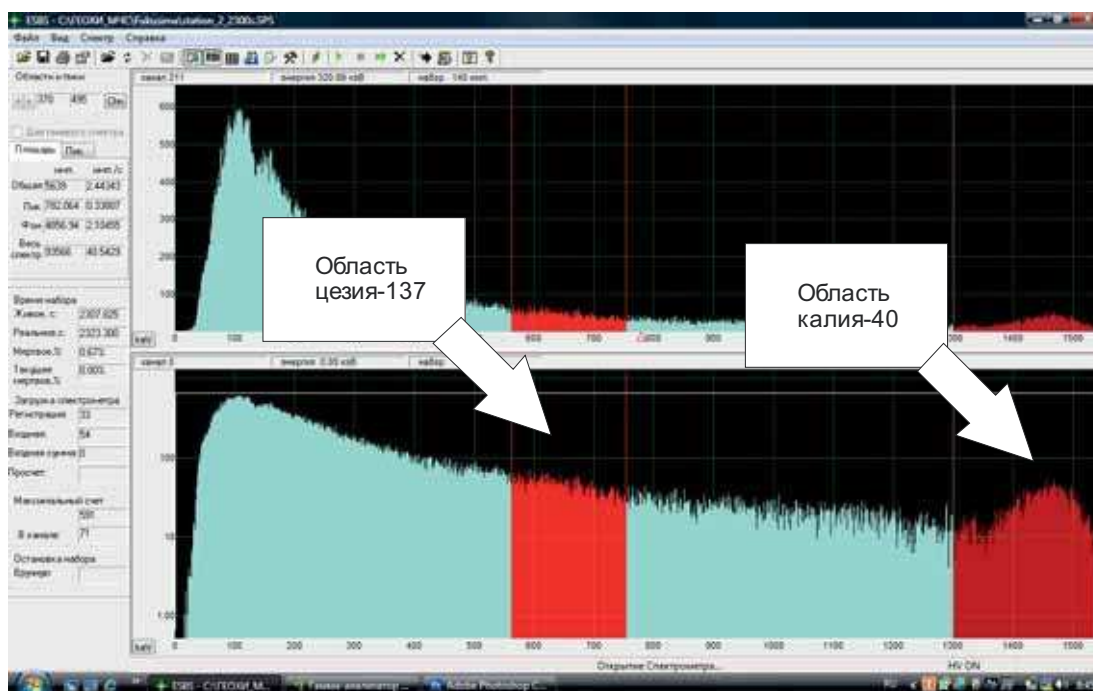


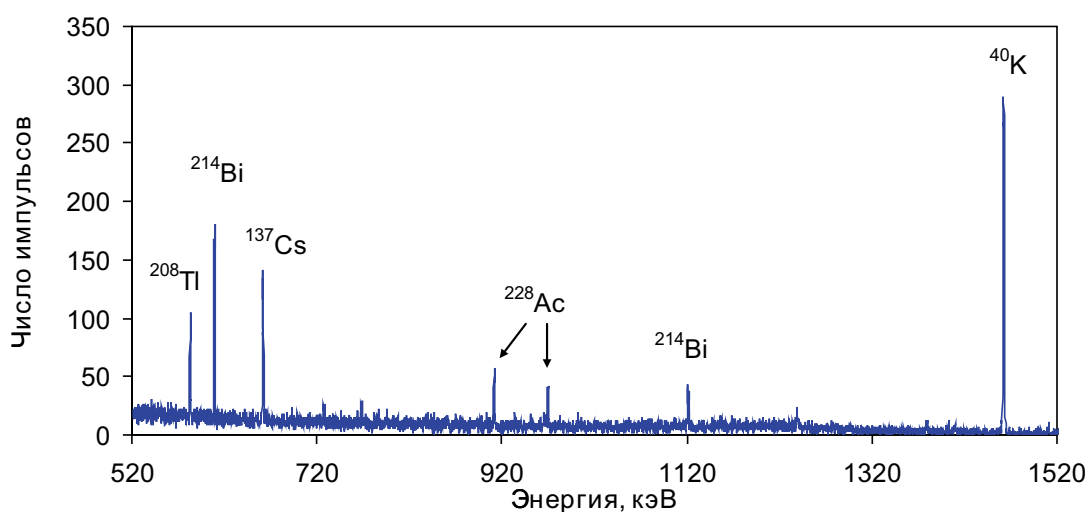
Рис. 19. Типичный гамма-спектр, зарегистрированный погружаемым детектором при исследовании морской воды (станция РГО-2). Выделены области  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{40}\text{K}$ . Время измерения – 2300 с. Вертикальная ось, показывающая число импульсов, приведена в линейном (верхний спектр) и логарифмическом (нижний спектр) масштабах



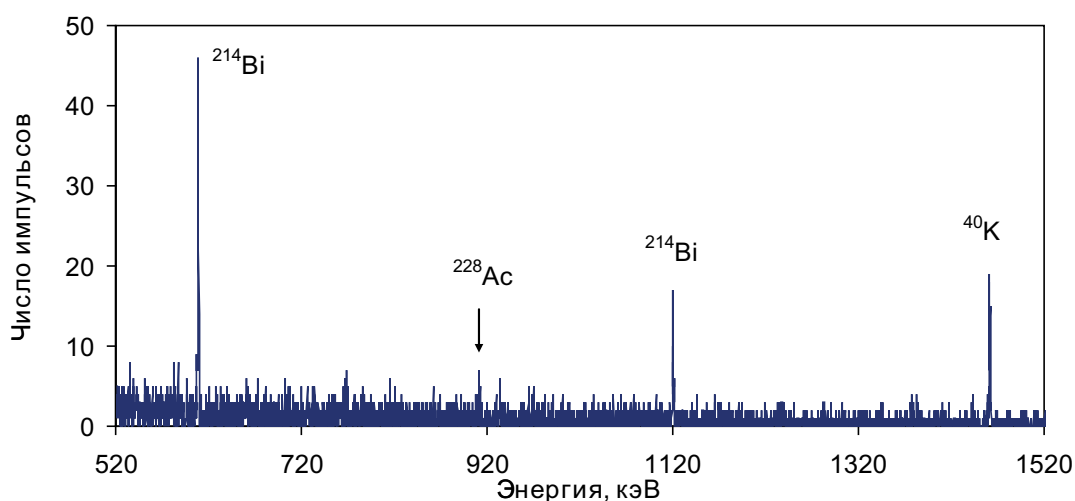
Расчет проводился с учетом величины периода полураспада радионуклида, которая была принята равной: 30 лет для  $^{137}\text{Cs}$ , 8 сут для  $^{131}\text{I}$ , 2,06 года для  $^{134}\text{Cs}$  и 53 сут для  $^7\text{Be}$  [16]. Последний радионуклид был включен в программу обработки спектров в связи с его значимостью как естественного маркера аэрозолей [17]. Показано, что для воздушных проб и свежих выпадений нормализация техногенных радионуклидов по отношению к  $^7\text{Be}$  может дать дополнительную информацию об уровнях загрязнения воздуха и подстилающей поверхности [18, 19].

Все активности даны на дату снятия фильтра (указано в таблице 3) и могут быть пересчитаны на любую другую дату с использованием периодов полураспада, указанных выше. Приведенные погрешности измерений, представ-

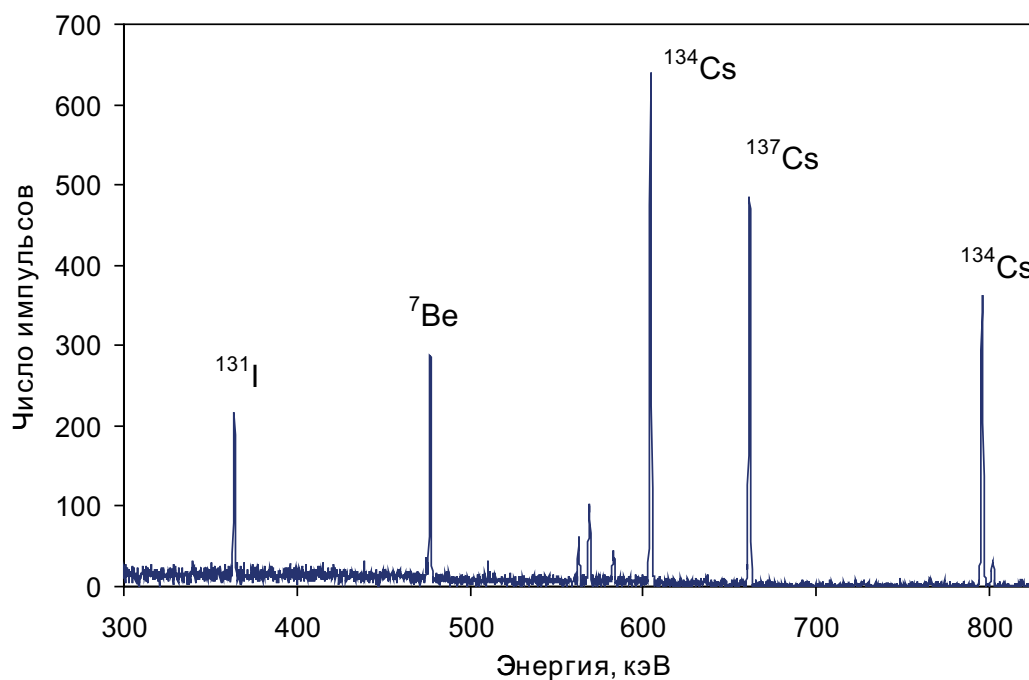
ляющие собой статистическую ошибку (1 сигма) оценки площадей фотопиков, в ряде случаев были малы – на уровне нескольких процентов (таблицы 3 и 4). Однако общая ошибка измерения, связанная с калибровкой спектрометра, погрешностью оценки содержания радионуклидов в контрольных мерах, неравномерностью распределения радионуклидов в счетных образцах, необходимостью учитывать достаточно высокий фон, и статистикой, и в этих случаях достигала 10–15 % (1 сигма). Тем не менее, в данной статье мы приводим только статистические ошибки, которые могут быть в дальнейшем напрямую использованы для оценки неопределенности вычислений соотношений радионуклидов как в отдельных пробах, так и в их совокупности.



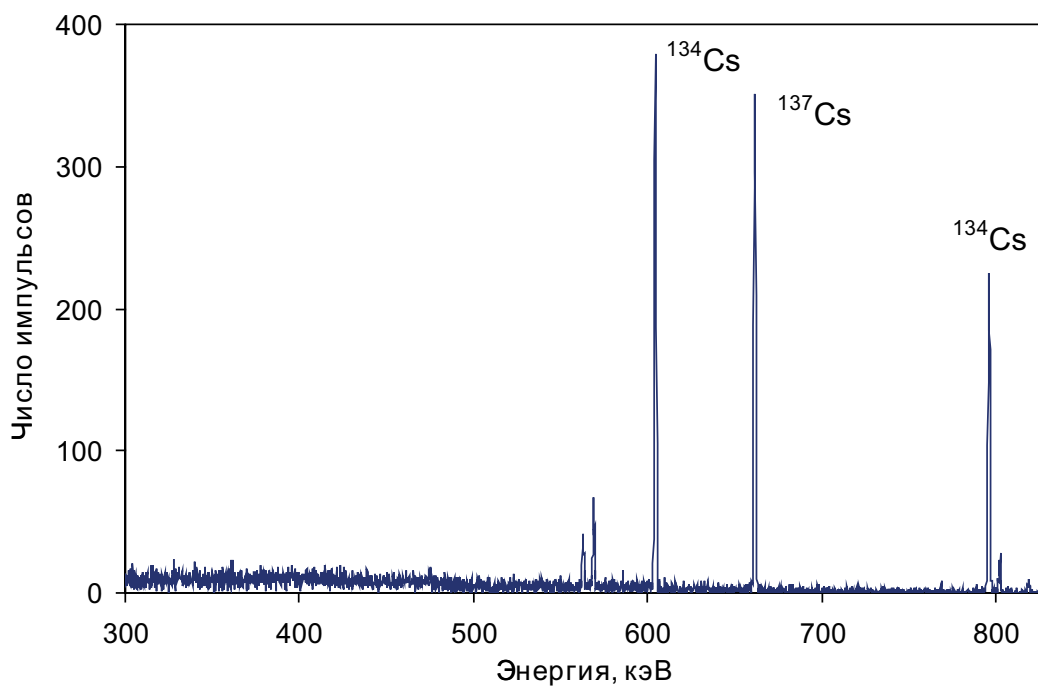
**Рис. 20.** Спектр гамма-излучения, записанный внутри корабля в помещении № 223 (см. рис. 14). Видны пики природных радионуклидов  $^{40}\text{K}$  (1460,8 кэВ),  $^{208}\text{Tl}$  (583,1 кэВ),  $^{214}\text{Bi}$  (609,3 кэВ и 1120,3 кэВ),  $^{228}\text{Ac}$  (911,0 и 969,1 кэВ). Отчетливо идентифицируется пик техногенного  $^{137}\text{Cs}$  (661,6 кэВ от дочернего  $^{137\text{m}}\text{Ba}$ ). Дата измерения – 26 апреля 2011 г.; продолжительность измерения – 14250 с.



**Рис. 21.** Спектр гамма-излучения, записанный на открытой палубе корабля (см. рис. 15). Видны пики природных радионуклидов  $^{40}\text{K}$  (1460,8 кэВ),  $^{214}\text{Bi}$  (609,3 кэВ и 1120,3 кэВ) и  $^{228}\text{Ac}$  (911,0 кэВ). Пик техногенного  $^{137}\text{Cs}$  (661,6 кэВ от дочернего  $^{137\text{m}}\text{Ba}$ ) в данном спектре не найден. Дата измерения – 24 апреля 2011 г.; продолжительность измерения – 4500 с.



**Рис. 22.** Спектр гамма-излучения воздушного фильтра Ф-7.  
 Продолжительность экспозиции – 12 часов; дата снятия фильтра – 27 апреля 2011 г.;  
 дата измерения – 28 апреля 2011 г.; продолжительность измерения – 12500 с.  
 Спектр показан после вычитания фона



**Рис. 23.** Спектр гамма-излучения селективного сорбента, использованного для определения радиоактивного цезия в морской воде. Станция – РГО-3; горизонт – 0 м;  
 объем прокачанной воды – 2389 литров; дата отбора – 28 апреля 2011 г.;  
 дата измерения – 28 апреля 2011 г.; продолжительность измерения – 6200 с.  
 Идентифицируются только пики  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$  ( $^{137\text{m}}\text{Ba}$ ). Отмечены две основные линии  $^{134}\text{Cs}$ .  
 Спектр показан после вычитания фона

Таблица 3

**Результаты бортовых измерений объемной активности (Бк/м<sup>3</sup>) <sup>131</sup>I, <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs и <sup>7</sup>Be в аэрозолях атмосферного воздуха в апреле – мае 2011 г. Ошибка измерения (±), представляющая собой статистическую ошибку (1 сигма) оценки площадей фотопиков, дана в процентах**

Дата отбора (день, месяц)	№ станции	№ фильтра	Экспозиция (час)	Объемная активность радионуклида, Бк/м <sup>3</sup> (n×10 <sup>-5</sup> )							
				<sup>131</sup> I		<sup>134</sup> Cs		<sup>137</sup> Cs		<sup>7</sup> Be	
				значение	±	значение	±	значение	±	значение	±
22.04–23.04	дв.	Ф1	24	3,7	39	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	23	32
23.04–24.04	дв.	Ф2	12,5	5,0	50	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	21	38
24.04	РГО-1	Ф3	12	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	23	43
24.04–25.04	дв.	Ф4	16	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	130	8,1
25.04	РГО-2	Ф5	12	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	160	12
25.04–26.04	дв.	Ф6	24	4,0	22	2,8	24	4,2	13	390	3,3
26.04–27.04	дв.	Ф7	24	35	4,3	170	1,2	170	1,7	490	3,2
27.04–28.04	дв.	Ф8	12	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	510	4,0
28.04	РГО-3	Ф9	12	2,0	32	5,3	12	4,9	8,8	640	3,0
28.04–30.04	дв.	Ф10	28,5	6,0	12	12	5,7	14	6,1	58	10
30.04	РГО-4	Ф11	12	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	240	7,2
30.04–01.05	дв.	Ф12	31	1,8	33	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	120	6,3
01.05–02.05	РГО-5	Ф13	11	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.
02.05–04.05	дв.	Ф14	57	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	9,3	31
04.05–05.05	РГО-6	Ф15	12	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	130	11
05.05–06.05	дв.	Ф16	24	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	170	4,9
06.05	РГО-7	Ф17	12	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	110	9,7
06.05–07.05	дв.	Ф18	24	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	86	8,4
07.05–09.05	дв.	Ф19	48	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	71	8,4
09.05–11.05	дв.	Ф20	43	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	130	4,2
11.05–12.05	РГО-4	Ф21	24	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	240	2,6
12.05–14.05	дв.	Ф22	53,5	7,8	7,4	32	2,1	34	2,8	130	4,5
14.05–15.05	РГО-3	Ф23	12	42	6,6	300	1,4	320	1,8	490	5,6
15.05–16.05	дв.	Ф24	24	н.о.	н.р.	2,2	15	1,6	14	61	10
16.05	дв.	Ф25	15,5	6,1	19	13	7,3	14	8,2	160	7,3
16.05–17.05	дв.	Ф26	24	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	290	3,3
17.05–18.05	РГО-2	Ф27	12	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	190	8,9
18.05	дв.	Ф28	8,7	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	320	13
18.05–19.05	дв.	Ф28А	16	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	480	5,2

**Примечание:** дв. – отбор пробы в движении от станции к станции; н.о. – радионуклид не обнаружен; н.р. – ошибка не рассчитывалась.

*3.4. Мониторинг содержания радионуклидов в приземном слое атмосферы*

Природный радионуклид <sup>7</sup>Be был обнаружен практически во всех фильтрах (в 28 проанализированных образцах из 29). Объемная активность этого радионуклида очень существенно варьировалась от фильтра к фильтру, причем разница между максимумом и минимумом достигала одного-двух порядков величины. По-видимому, определенную роль в колебаниях концентрации <sup>7</sup>Be в воздухе (и, следовательно, аэрозолей) в том месте, где была смонтирована ФВУ, играли погодные условия. Было отмечено, что минимальные значения в основном регистрировались для тех фильтров, которые были экспонированы

в условиях тумана или дождя (например, фильтры № 1, 2, и 3). Максимальные величины были обнаружены в фильтрах, экспонированных в те периоды, когда атмосферные осадки либо отсутствовали, либо были крайне незначительными (например, фильтры № 6, 7 и 8). Известно, что <sup>7</sup>Be поступает на подстилающую поверхность в основном с осадками [17], поэтому можно полагать, что во время дождя значительная часть <sup>7</sup>Be вымывалась из атмосферы в океан или море и поэтому, не достигала ФВУ.

Присутствие <sup>131</sup>I, <sup>134</sup>Cs и <sup>137</sup>Cs, являющихся основными дозообразующими гамма-излучателями в составе выбросов на АЭС «Фукусима-1», в атмосферных аэрозолях регистрировалось лишь вблизи побережья Японии – при



прохождении Сангарского пролива и при нахождении судна в северо-западной части Тихого океана напротив острова Хоккайдо (рис. 4–7, табл. 3). Обнаруженные здесь максимальные объемные активности радионуклидов в пробах аэрозолей приземного слоя воздуха оказались примерно в 10 тысяч раз ниже нормативов, действующих в Российской Федерации [10]: 7,3 Бк/м<sup>3</sup> для <sup>131</sup>I, 19 Бк/м<sup>3</sup> для <sup>134</sup>Cs и 27 Бк/м<sup>3</sup> для <sup>137</sup>Cs. В других районах вблизи российского дальневосточного побережья гамма-излучатели из состава выбросов на АЭС «Фукусима-1» в пробах атмосферных аэрозолей практически не регистрировались. Причем для подавляющего большинства воздушных проб из этих мест данная картина была, вероятно, никак не связана с возможной низкой концентрацией атмосферных аэрозолей в фильтруемом воздухе, так как в пробах присутствовал и надежно определялся <sup>7</sup>Be.

В заключение этого раздела необходимо заметить,

что далеко не весь йод, присутствующий в атмосферном воздухе (и в частности, в воздухе у морских побережий), содержится на аэрозолях [20]. Поэтому вполне обоснованно можно предположить, что приведенные выше значения уровней загрязнения воздуха радиоактивным йодом являются несколько заниженными. Тем не менее, даже если суммарная активность всех фракций радиоактивного йода будет превышать активность аэрозольной составляющей в несколько раз, возможная объемная активность <sup>131</sup>I окажется в тысячу раз ниже допустимого гигиенического норматива, равного 7,3 Бк/м<sup>3</sup> [10].

3.5. Продукты аварийных выбросов на АЭС «Фукусима-1» в морской воде

Результаты бортовой гамма-спектрометрии концентратов проб морской воды приведены в таблице 4 и графически представлены на рисунках 24 и 25.

Таблица 4

**Результаты бортовых измерений объемной активности (Бк/м<sup>3</sup>) радиоактивных изотопов цезия в морской воде (фильтрат) в апреле – мае 2011 г. Ошибка измерения (±), представляющая собой статистическую ошибку (1 сигма) в определении площадей фотопиков, дана в процентах**

Дата отбора (день, месяц)	№ станции	Горизонт, метр	Объем воды, литр	Объемная активность, Бк/м <sup>3</sup>				% «Фукусимского» <sup>137</sup> Cs в общей активности радионуклида в воде*
				<sup>134</sup> Cs		<sup>137</sup> Cs		
				значение	±	значение	±	
23.04	РГО – тест	0	1035	н.о.	н.р.	1,5	10	н.р.
24.04	РГО – 1	0	2291	н.о.	н.р.	1,7	6,9	н.р.
25.04	РГО – 2	0	3078	0,16	26	1,6	6,4	11
25.04	РГО – 2	50	600	н.о.	н.р.	1,6	16	н.р.
28.04	РГО – 3	0	2389	21	2,9	24	3,0	92
28.04	РГО – 3	50	100	28	7,5	30	8,1	98
28.04	РГО – 3	100	84	28	7,4	31	8,2	95
30.04	РГО – 4	0	1681	1,2	9,3	2,2	7,6	57
30.04	РГО – 4	50	904	0,61	28	1,4	8,9	46
01.05	РГО – 5	0	1833	2,9	6,0	3,6	6,7	82
01.05	РГО – 5	50	729	3,7	15	4,5	16	87
04.05	РГО – 6	0	2055	1,6	7,4	2,8	6,0	56
04.05	РГО – 6	50	1256	1,8	9,0	3,4	6,5	56
06.05	РГО – 7	0	2914	0,33	14	1,4	6,5	25
06.05	РГО – 7	50	2744	0,21	25	1,4	7,5	16
11.05	РГО – 4	0	2823	0,66	8,0	1,7	5,6	41
11.05	РГО – 4	50	2190	0,38	17	1,6	7,3	25
14.05	РГО – 3	0	1921	16	2,6	17	3,7	99
14.05	РГО – 3	50	727	17	3,1	21	4,0	85
14.05	РГО – 3	100	108	5,4	14	6,0	14	95
14.05	РГО – 3	150	110	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	н.р.
14.05	РГО – 3	250	110	н.о.	н.р.	н.о.	н.р.	н.р.
17.05	РГО – 2	0	1805	0,34	37	1,8	10	20
17.05	РГО – 2	50	1885	н.о.	н.р.	2,0	6,2	н.р.

**Примечание:** \* – отношение <sup>134</sup>Cs/<sup>137</sup>Cs в выбросе от «Фукусима-1» принято равным 0,95; н.о. – радионуклид не обнаружен; н.р. – параметр не рассчитывался.

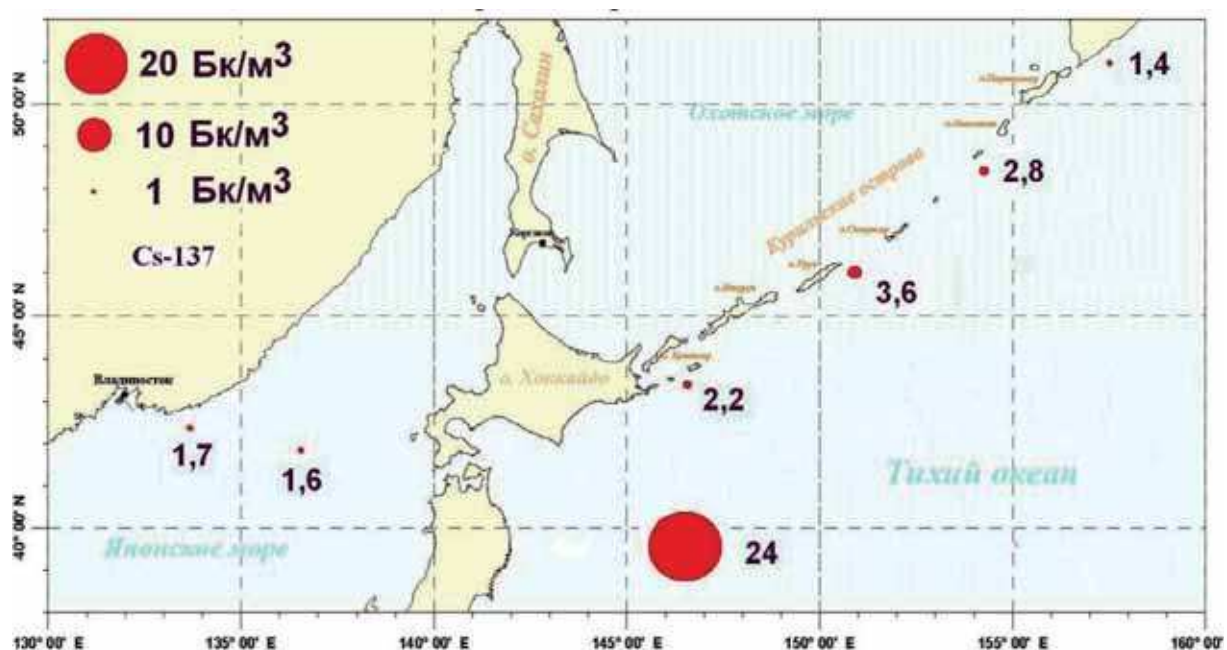


Рис. 24. Пространственное распределение  $^{137}\text{Cs}$  в поверхностных водах, на период с 24 апреля по 6 мая 2011 г., Бк/м<sup>3</sup>

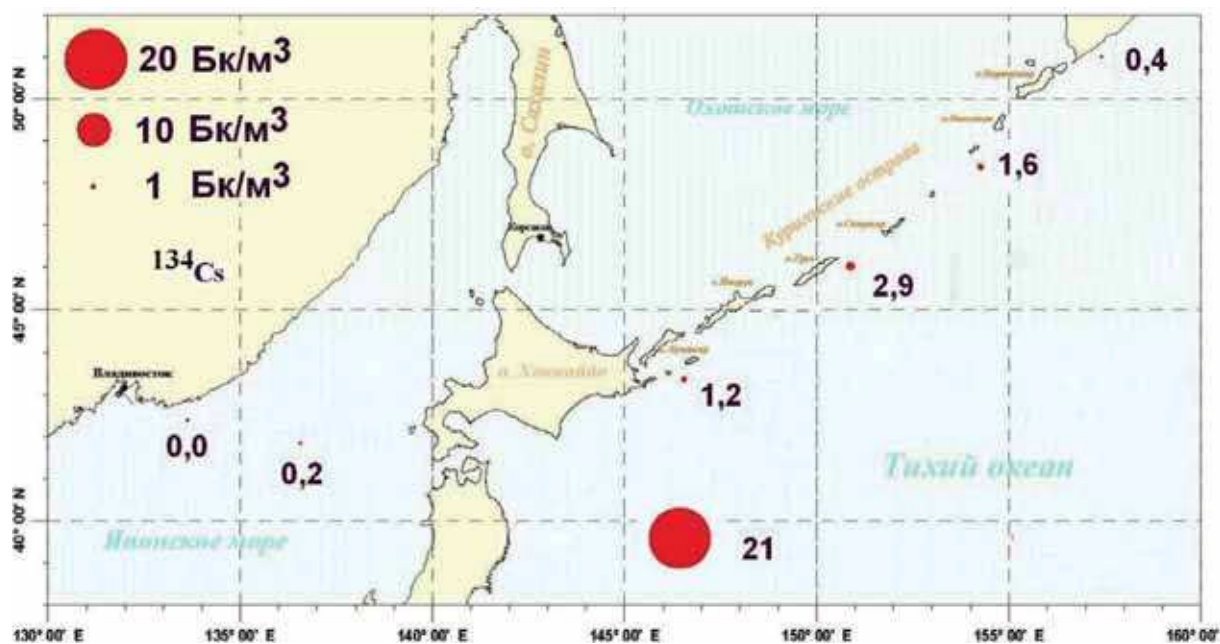


Рис. 25. Пространственное распределение  $^{134}\text{Cs}$  в поверхностных водах на период с 24 апреля по 6 мая 2011 г., Бк/м<sup>3</sup>

Присутствие (в различной степени) радионуклида  $^{134}\text{Cs}$  в морской воде было зарегистрировано практически во всех точках отбора проб по маршруту судна. Наименьшее поступление продуктов аварийных выбросов в морскую среду наблюдалось в исследованных районах вблизи российского побережья Японского моря. Здесь в морской воде были обнаружены лишь следы  $^{134}\text{Cs}$  (максимум до 0,4 Бк/м<sup>3</sup>), а содержание  $^{137}\text{Cs}$

находилось в интервале, характерном для регионального техногенного фона (1,5–2,0 Бк/м<sup>3</sup>).

Наибольшие значения объемной активности  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в морской воде были зарегистрированы на станции РГО-3, расположенной в северо-западной части Тихого океана на северной границе течения Курошио, примерно в 500 километрах от аварийной АЭС «Фукусима-1». Результаты бортовых измерений позволяют заключить, что имеет место

проникновение продуктов аварии на АЭС «Фукусима-1» в глубинные слои воды, по крайней мере, до глубин 50–100 метров. Здесь содержание  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в верхнем 100-метровом слое морской воды существенно превысило уровень регионального техногенного фона и находилось в пределах 20–30 Бк/м<sup>3</sup> по каждому радионуклиду.

Один из комбинированных фильтров со станции № 3 (горизонт 0 м, отбор 14 мая) был проанализирован с целью определения радиоактивного цезия ( $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$ ) на взвешенных частицах размером 1 мкм и более. Суммарная активность обоих радионуклидов на фильтре оказалась очень низкой – около 0,3 Бк/м<sup>3</sup>, что составляло лишь 1% от объемной активности радиоцезия в фильтрате (около 33 Бк/м<sup>3</sup> по сумме двух радионуклидов).

Низкие значения объемной активности  $^{134}\text{Cs}$  в морской воде были зарегистрированы и вдоль всей Курильской гряды. При этом в ее серединной части были обнаружены более высокие значения объемной активности  $^{134}\text{Cs}$  (3–4 Бк/м<sup>3</sup>), нежели в южной и северной частях. Максимальная зарегистрированная здесь объемная активность  $^{137}\text{Cs}$  в верхнем 50-метровом слое морской воды составила около 5 Бк/м<sup>3</sup>. Скорее всего, это связано с более ранними атмосферными выпадениями продуктов аварийных выбросов от АЭС «Фукусима-1» в Курило-Камчатском регионе, т.к. в момент нахождения нашего судна в этом регионе радиоактивные изотопы цезия не были обнаружены в воздухе (воздушные фильтры № 11–21, табл. 3, рис. 4–7). При этом вполне вероятно перемещение водных масс из районов, где имели место радиоактивные выпадения, к юго-западу с водами холодного Курильского течения.

Отметим, что содержание радионуклидов в морской воде (в отличие от питьевой воды) в Российской Федерации не нормируется, и мы имеем возможность сопоставить зарегистрированные значения объемной активности  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в морской воде лишь с уровнями вмешательства (УВ) для питьевой воды. Эти уровни, согласно НРБ-99/2009 [10], составляют 7200 Бк/м<sup>3</sup> для  $^{134}\text{Cs}$  и 11000 Бк/м<sup>3</sup> для  $^{137}\text{Cs}$ . Таким образом, полученные значения объемной активности радиоактивных изотопов цезия в морской воде в районах побережья российского Дальнего Востока более чем в 1000 раз ниже УВ для питьевой воды и не представляют опасности для населения и морской биоты.

### *3.6. Содержание $^{137}\text{Cs}$ в организме участников экспедиции*

Индивидуальные результаты СИЧ-измерений (все-го было обследовано 40 человек, пример приведен на рисунке 26), проведенных перед прибытием судна во Владивосток, оказались в основном ниже минимальной детектируемой активности (МДА) прибора. Тем не менее, полученные результаты позволяют достоверно оценить среднее для всех участников рейса содержание  $^{137}\text{Cs}$  в организме – 0,1 кБк. Такое содержание дает годовую дозу внутреннего облучения около 0,003 мЗв/год, что примерно соответствует средней годовой дозе облучения населения Российской Федерации за счет глобальных выпадений.

Таким образом, нами не установлено достоверного влияния аварии на АЭС «Фукусима-1» на формирование дозы внутреннего облучения участников рейса № 87 на научно-исследовательском судне «Павел Гордиенко».



**Рис. 26.** Проведение СИЧ-измерений на борту судна с использованием сцинтилляционного детектора и гамма-анализатора «DigiDART» (детектор удерживается в руках, при этом кристалл детектора обращен к животу обследуемого человека)

### **Заключение**

Экспедиционные исследования выполнены в соответствии с решением Росгидромета об оценке радиоактивного загрязнения воды и воздуха в связи с аварией на японской АЭС «Фукусима-1». Работы проведены под патронажем Русского географического общества в период с 22 апреля по 20 мая 2011 г. в Японском море и северо-западной части Тихого океана. В ходе рейса постоянно регистрировалась мощность дозы гамма-излучения, отбирались пробы морской воды по маршруту судна, проводился непрерывный мониторинг содержания радионуклидов в атмосфере.

Мощность дозы гамма-излучения над поверхностью морской воды за все время проведения рейса находилась в пределах 0,02–0,03 мкЗв/ч, что не превышает фоновое значения на уровне моря.

Влияние аварии на АЭС «Фукусима-1» в пробах атмосферных аэрозолей прослеживалось лишь вблизи побережья Японии. Зарегистрированные здесь максимальные объемные активности составили  $4 \times 10^{-4}$  Бк/м<sup>3</sup> для  $^{131}\text{I}$ ,  $30 \times 10^{-4}$  Бк/м<sup>3</sup> – для  $^{134}\text{Cs}$  и  $32 \times 10^{-4}$  Бк/м<sup>3</sup> – для  $^{137}\text{Cs}$ . Однако даже эти максимальные значения оказались в 10000 раз ниже нормативов, действующих в Российской Федерации. В районах вблизи российского дальневосточного побережья гамма-излучатели из состава выбросов на АЭС «Фукусима-1» в пробах атмосферных аэрозолей практически не регистрировались.

Радионуклид  $^{134}\text{Cs}$  (продукт аварийного выброса) был обнаружен в большинстве проб морской воды. Меньше всего его было найдено вблизи российского побережья Японского моря (максимум до 0,4 Бк/м<sup>3</sup>). Наибольшие значения объемной активности  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в воде были зарегистрированы в северо-западной части Тихого океана на северной границе течения Курисио, примерно в 500 километрах к северо-востоку от аварийной АЭС. Здесь содержание  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в морской воде в слое 0–50 м находилось в пределах 20–30 Бк/м<sup>3</sup>. Вдоль всей Курильской гряды обнаружены низкие концентрации  $^{134}\text{Cs}$  (4 Бк/м<sup>3</sup> и менее) в



морской воде. Максимальная зарегистрированная здесь объемная активность  $^{137}\text{Cs}$  составила около 5 Бк/м<sup>3</sup>. Хотя содержание радионуклидов в морской воде не регламентируется законодательно, отметим, что удельная активность радионуклидов цезия в пробах, отобранных в морской акватории вблизи российского Дальнего Востока, оказалась в 1000 раз ниже уровня вмешательства для питьевой воды.

Следует особо подчеркнуть, что результаты оперативно проведенных измерений на борту НИС «Павел Гордиенко» являются только предварительными. Детальные анализы всех полученных в ходе экспедиционных исследований проб морской воды и воздуха будут проведены в береговых лабораториях с последующим обменом данных, их обобщением и публикацией в течение нескольких месяцев после окончания рейса. Однако на основании полученных в рейсе данных можно заключить, что наблюдаемые в районах российского побережья Дальнего Востока уровни загрязнения гамма-излучателями из состава аварийных выбросов и сбросов на АЭС «Фукусима-1» в настоящее время опасности не представляют.

### Литература

1. Онищенко, Г.Г. Авария на АЭС «Фукусима-1»: первые итоги аварийного реагирования. Сообщение 1: общие сведения об аварии и радиационной обстановке / Г.Г. Онищенко [и др.] // Радиационная гигиена. – 2011 – Т. 4, № 2. – С. 5–12.
2. Pittauerová, D. Fukushima fallout in Northwest German environmental media / D. Pittauerová, B. Hettwig, H. W. Fischer // Journal of Environmental Radioactivity. – 2011 – Vol. 102, Iss. 9. – P. 877–880.
3. Онищенко, Г.Г. Авария на АЭС «Фукусима-1»: первые итоги аварийного реагирования. Сообщение 2: действия органов Роспотребнадзора по радиационной защите населения Российской Федерации на ранней стадии аварии / Г.Г. Онищенко [и др.] // Радиационная гигиена. – 2011 – Т. 4, № 2. – С. 13–22.
4. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Дальневосточный региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт (ГУ ДВНИГМИ). Мониторинг радиационной обстановки в районах побережья российского Дальнего Востока: предварительный отчет. – Владивосток, 2011.
5. Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 9. Гидрометеорологические наблюдения на морских станциях. Ч. 2. Гидрометеорологические наблюдения на судовых станциях, проводимые штатными наблюдателями. Книга 1. Общие методические требования к организации и обеспечению гидрометеорологических и актинометрических наблюдений на судах. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1993. – 116 с.
6. Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 9. Гидрометеорологические наблюдения на морских станциях. Ч. 2. Гидрометеорологические наблюдения на судовых станциях, проводимые штатными наблюдателями. Книга 2. Методики выполнения гидрометеорологических наблюдений на судах. СПб.: Гидрометеоиздат, 1993. – 235 с.
7. Методика контроля радиоактивного загрязнения водных объектов (МВИ.01.-7/96) / под редакцией А.И. Никитина. Согласовано: директор ЦММИ ГП «ВНИИФТРИ» В.П. Ярына, 1996 г. – Обнинск: НПО «Тайфун», 1995 г.
8. Методические рекомендации по определению радиоактивного загрязнения водных объектов / под редакцией С.М. Вакуловского. – М.: Гидрометеоиздат, 1986. – 78 с.
9. Currie, L.A. Limits for qualitative detection and quantitative determination / L.A. Currie // Analytical Chemistry. – 1968. – Vol. 40, No 3. – P. 586–593.
10. Нормы радиационной безопасности (НРБ – 99/2009): Санитарные правила и нормы (СанПиН 2.6.1.2523 – 09): утв. и введ. в действие от 01 сентября 2009 г. взамен СанПиН 2.6.1.758 – 99. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.
11. Радиационный мониторинг доз облучения населения территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС: Методические рекомендации по обеспечению радиационной безопасности. М.: Роспотребнадзор, 2007.
12. Ramzaev, V. Intercomparison of whole-body counters by using a subject who had incorporated  $^{137}\text{Cs}$  into the body / V. Ramzaev [et al.] // Radiation Protection Dosimetry. – 2002. – Vol. 98, No. 2. – P. 179–189.
13. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly with Scientific Annexes // Sources and effects of ionizing radiation – New York, 2000. – 654 pp.
14. Барышков, Н.К. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2009 году: информационный сборник / Н.К. Барышков [и др.] – СПб.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2010. – 67 с.
15. Rahola, T. Food-chain lichen-reindeer-man and body content of Cs-137 in Finnish reindeer herders from 1962 to 2002 / T. Rahola, M. Muikki.: In: P. Strand, P. Borretzen, T. Jolle (Ed.). Proceedings of the 6-th International Conference on Radioactivity in the Arctic and Antarctic. 2–6 October 2005, Nice, France. NRPA, Osteras, Norway – P. 92–95.
16. International Commission on Radiological Protection. Radionuclide Transformations. Energy and Intensity of Emission. // ICRP Publication 38. – Pergamon Press, Oxford – New York, Frankfurt. – 1983. – 1250 p.
17. Сапожников, Ю.А. Радиоактивность окружающей среды: Теория и практика. / Ю.А. Сапожников, Р.А. Алиев, С.Н. Калмыков. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2006. – 268 с.
18. Ellis, K.M. Dynamic model for radionuclide uptake in lichen / K.M. Ellis., J.N. Smith // Journal of Environmental Radioactivity. – 1987 – Vol. 5 – P. 185–208.
19. Smith, J.N. Time dependent transport of Chernobyl radioactivity between atmospheric and lichen phases in eastern Canada / J.N. Smith, K.M. Ellis // Journal of Environmental Radioactivity. – 1990 – Vol. 11 – P. 151–168.
20. Chen Sc.H. Development of analytical methodologies for iodine species in gaseous and particulate phases of the coastal atmosphere. Dissertation zur Erlangung des Grades “Doktor der Naturwissenschaften”, Universität Mainz, Mainz, Germany, 2005. – 110 pp.

### Благодарность

Авторы искренне благодарят А.Н. Чилингарова за всестороннюю помощь и поддержку, оказанную на всех этапах организации и проведения экспедиции. Авторы выражают глубокую признательность экипажу научно-исследовательского судна «Павел Гордиенко» и персонально капитану Е.А. Склизкову за высокий профессионализм и помощь в проведении научно-исследовательских работ. Авторы благодарны руководству Управлений Роспотребнадзора по Приморскому и Камчатскому краю, а также ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии» в этих регионах за помощь в подготовке и проведении экспедиции. Часть фотографий, представленных в статье, была сделана и любезно предоставлена в распоряжение авторов корреспондентом РИА «Новости» И.О. Ермаченковым.



A.I. Nikitin<sup>1</sup>, V.P. Ramzaev<sup>2</sup>, V.M. Osokin<sup>3</sup>, A.S. Sergeev<sup>4</sup>, A.V. Sevastyanov<sup>5</sup>, R.A. Aliev<sup>6</sup>, G.B. Artem'ev<sup>1</sup>, G.Ya. Bruk<sup>2</sup>, P.S. Vaganov<sup>6</sup>, E.N. Vekhov<sup>5</sup>, A.Yu. Vyakhirev<sup>5</sup>, I.N. Titov<sup>5</sup>, A.V. Fedorova<sup>1</sup>, I.Yu. Filipov<sup>5</sup>

**Radioecological investigations in the Sea of Japan and the North-West part of the Pacific Ocean after the accident at the NPP "Fukushima-1" in Japan: preliminary results**

<sup>1</sup> SPA «Typhoon» of Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (ROSHYDROMET), Obninsk

<sup>2</sup> FSO «Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after professor P.V. Ramzaev» of Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-being, Saint-Petersburg

<sup>3</sup> V.G. Khlopin Radium Institute, "Rosatom" State Nuclear Energy Corporation, Saint-Petersburg

<sup>4</sup> Emergency Technical Center of Minatom of Russia, Saint -Petersburg

<sup>5</sup> Far Eastern Regional Hydrometeorological Research Institute of Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (ROSHYDROMET), Vladivostok

<sup>6</sup> The State Rescue Service for Special-Purpose Underwater Works (GOSQUASPAS) of EMERCOM of Russia, Moscow

*Abstract. In the period from April 22 until May 20, 2011, an expedition aboard the research vessel "Pavel Gordienko" (Russian Federation) was carried out to the Sea of Japan and the Kuril-Kamchatka region of the Pacific Ocean. The main aim of the expedition was to study radioactive contamination of the atmospheric air and sea water after the accident at the NPP "Fukushima-1" in Japan. This paper provides preliminary results on the activity concentration of <sup>137</sup>Cs and <sup>134</sup>Cs in twenty four samples of sea water. The activity concentrations of <sup>131</sup>I, <sup>137</sup>Cs, <sup>134</sup>Cs, and <sup>7</sup>Be for twenty nine samples of atmospheric aerosols, which were sampled during the expedition, are also given. Despite the preliminary character of the results of this study, a generic conclusion on a negligible radiological impact of the anthropogenic gamma-ray-emitting radionuclides for the Far-Eastern sea areas of Russia can be reached. The investigations have been supported by a grant from the Russian Geographical Society.*

*Key words: radiation accident, Fukushima-1, Far East of the Russian Federation, atmospheric aerosols, sea water, <sup>131</sup>I, <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs, <sup>7</sup>Be.*

Валерий Павлович Рамзаев  
e-mail: V.Ramzaev@mail.ru

Поступила 08.08.2011 г.