

УДК 551.465

ОЦЕНКА РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЕЙ РОССИИ В СВЯЗИ СО СЛИВОМ ЗАГРЯЗНЕННОЙ ВОДЫ НА АЭС “ФУКУСИМА-1” (РЕЙС № 71 НИС “АКАДЕМИК ОПАРИН”)

© 2025 г. В. Б. Лобанов^{1, *}, В. А. Горячев¹, А. Ф. Сергеев¹, Н. Б. Лукьянова¹,
И. Ф. Алексеев¹, С. Г. Сагалаев¹, С. П. Захарков¹, Н. А. Бежин², Т. А. Гуленко¹,
В. В. Калинин¹, А. С. Комолов³, А. Э. Леусов¹, Э. А. Токарь⁴, А. О. Холмогоров¹,
В. В. Балабон^{1, 5}, А. С. Кузнецова^{1, 5}, С. П. Кукла¹, П. Г. Кушнир¹, М. А. Лебедева^{1, 6},
А. А. Легкодимов¹, А. А. Мазур¹, Д. С. Максеев¹, И. А. Прушковская¹,
В. В. Разживин¹, Д. А. Скоторенко³, Е. Н. Соколова⁶, А. М. Старцев¹,
Л. Н. Сысоров⁷, И. А. Хоменко³, Е. И. Ярошук¹

¹ Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, Россия

² Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

³ Научно-исследовательский центр “Курчатовский институт”, Москва, Россия

⁴ Сахалинский государственный университет, Южно-Сахалинск, Россия

⁵ Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

⁶ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

⁷ Владивостокский морской рыбопромышленный колледж, Владивосток, Россия

* e-mail: lobanov@poi.dvo.ru

Поступила в редакцию 28.08.2024 г.

После доработки 30.08.2024 г.

Принята к публикации 03.10.2024 г.

В экспедиции на НИС “Академик Опарин” проведена оценка радиоэкологического состояния акватории Тихого океана к востоку от Японии и Курильских островов, а также Охотского и Японского морей в связи со сливом загрязненных вод на АЭС “Фукусима-1”. Анализ первых проб поверхностных вод показал содержание трития в диапазоне от 0.36 до 0.78 тритиевых единиц (0.04–0.09 Бк/л). При этом наибольшие концентрации были обнаружены в основной ветви течения Куроисио и в районе Южных Курильских о-вов. Тем не менее, эти значения в десятки тысяч раз меньше нормы радиационной безопасности. В экспедиции подготовлены пробы воды, донных отложений и морской биоты для последующего определения радиоизотопов цезия, стронция, свинца, радия и других. Выполнен большой объем гидрологических, гидрохимических, гидробиологических, газогеохимических и рутнометрических исследований. Подняты и вновь поставлены автономные буйковые станции. Получены новые данные о состоянии и динамике вод исследуемого района, биогеохимических характеристиках и их межгодовой изменчивости в связи с изменением климата и возрастающей антропогенной нагрузкой.

Ключевые слова: “Фукусима-1”, тритий, радионуклиды, Тихий океан, Куроисио, Курильские о-ва, шельф о. Сахалин, дальневосточные моря, синоптические вихри, гидрология, биогеохимия

DOI: 10.31857/S0030157425010175, **EDN:** DOMBDO

Основной задачей экспедиционного рейса № 71 НИС “Академик Опарин” (4.06–15.07 2024 г.), организованного Тихоокеанским океанологическим институтом им. В.И. Ильичева, являлась оценка радиоэкологического состояния акватории Тихого океана к востоку от Японии и Курильских островов, Охотского и Японско-

го морей в связи со сливом загрязненных вод на АЭС “Фукусима-1”, а также получение новых данных о состоянии и динамике вод исследуемого района, биогеохимических характеристиках и их межгодовой изменчивости в связи с изменением климата и возрастающей антропогенной нагрузкой.

Научный состав экспедиции включал 30 человек, из них 10 — молодые ученые и 4 — студенты. Кроме сотрудников ТОИ ДВО РАН, в работах приняли участие представители НИЦ “Курчатовский институт”, Сахалинского и Севастопольского государственных университетов, студенты ДВФУ и СПбГУ.

Всего в экспедиции выполнена 131 станция с СТД-зондированием, из них 84 с отбором проб воды на гидрохимические параметры. Для определения содержания трития отобрано 206 проб морской воды на 41 станции, из них на 33 станциях отобраны пробы не только с поверхности, но и с подповерхностных горизонтов. Для анализа других радионуклидов на 28 станциях с помощью насосов и шлангов прокачено через системы

фильтров более 100 т воды с горизонтов 5–100 м. На 7 станциях отобрана 31 проба воды большого объема (120 л) с глубин 250–3600 м. На трех суточных станциях проведены прямые измерения содержания радионуклидов в океане с помощью погружаемых гамма-спектрометров.

Выполнен большой объем гидробиологических, газогеохимических и ртутнометрических исследований. На четырех участках общей протяженностью около 120 миль проведены измерения характеристик верхнего слоя океана с помощью буксируемой системы Smart Fish в режиме сканирования до 40 м. Поднято и вновь поставлено 3 автономных буйковых измерительных станции (АБС) на шельфе о. Сахалин на глубинах 70–250 м (рис. 1).

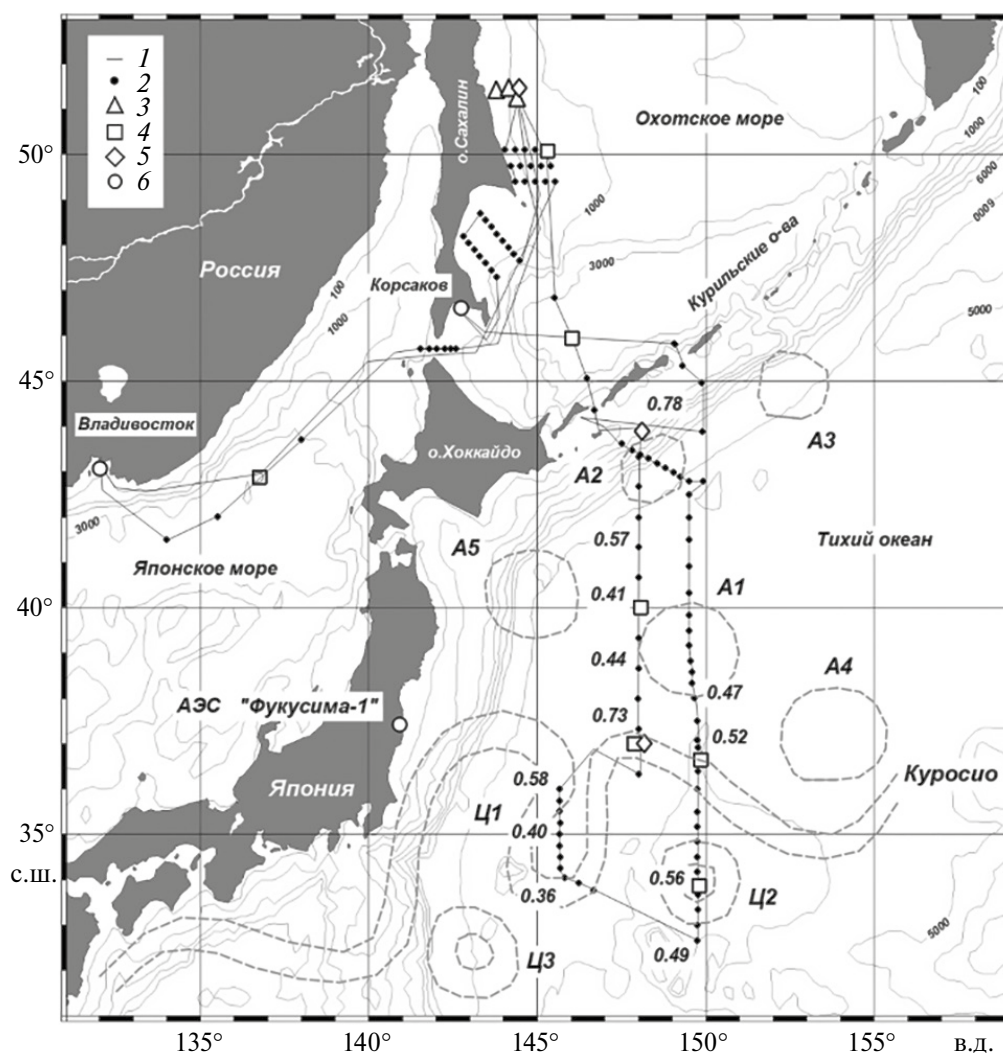


Рис. 1. Схема работ экспедиции ТОИ ДВО РАН на НИС “Академик Опарин” (рейс № 71) в июне–июле 2024 г. Цифрами указано содержание трития (в тритиевых единицах) по результатам анализа первых проб поверхностных вод. Пунктиром обозначены границы течения Курисио, циклонических (Ц1–3) и антициклонических (А1–5) вихрей. Указаны изобаты в метрах. 1 — маршрут движения судна; 2 — океанографические станции; 3 — положение АБС; 4 — станции отбора проб большого объема воды на радионуклиды с подповерхностных горизонтов; 5 — станции прямых спектрометрических измерений; 6 — порты заходов и подходов.

В качестве предварительных результатов можно указать следующее.

1. Собраны и подготовлены пробы воды для определения содержания искусственных и естественных радионуклидов в районе к востоку от Японии, включающем обширную область субарктического фронта и субтропические воды к югу от Куроисио, а также в Охотском и Японском морях.

2. Анализ первых 12 проб поверхностных вод показал содержание трития в диапазоне от 0.36 до 0.78 тритиевых единиц (1 ТЕ = 0.119 Бк/л). При этом наибольшие концентрации были обнаружены на основной ветви Куроисио (36–37° с.ш.) и в районе Южных Курильских о-вов (44° с.ш.), куда они могут переноситься антициклоническими вихрями.

3. Прямые измерения с помощью подводных высокочувствительных гамма-спектрометров указали на отсутствие линий поглощения для техногенных радионуклидов со значениями большими пределов обнаружения. Это позволяет утверждать, что активность ^{137}Cs в точках измерения не превышает 10 Бк/м³.

4. Получены данные о структуре и динамике вод в области субарктического фронта, включая основную ветвь течения Куроисио и формирующихся к югу и северу от нее интенсивных вихрей. Скорости геострофических течений в струе Куроисио превышали 100 см/с, в циклоническом вихре Ц1–170 см/с. Измерения с помощью буксируемой системы показали тонкую горизонтальную структуру полей температуры, солености и содержания кислорода на границе основной ветви Куроисио, холодного вихря и в области фронта течения Соя в проливе Лаперуза.

5. Исследование распределения растворенного в морской воде метана на восточном шель-

фе о. Сахалин выявило две крупные области дегазации в заливе Терпения и севернее, в районе 49–51° с.ш. Показано, что максимальные концентрации метана наблюдаются не в придонном слое, а на расстоянии 10–20 м над дном, что может быть результатом адвекции течениями. Среднее значение концентраций растворенного метана составило 27 нМ/л, абсолютный максимум – 89 нМ/л. Рассчитанный поток метана с поверхности океана в атмосферу в среднем по району составляет 4.8 моль/сутки с 1 км².

6. Измерения активности короткоживущих изотопов радия у берегов Сахалина указывают на повышенную активность в прибрежной зоне, что вероятно связано с поступлением вод с суши. При удалении от берега активность постепенно уменьшается.

7. Зарегистрированные в ходе рейса повышенные концентрации ртути в приводном слое атмосферы могут быть связаны с переносом из районов с сильным антропогенным влиянием, таких как Китай и Корея. Дополнительным механизмом поступления ртути в атмосферу Тихого океана, возможно, является ее эмиссия из вод течения Куроисио, характеризующихся повышенным содержанием ртути.

Источники финансирования. Экспедиция проводилась за счет средств, предоставленных Минобрнауки России. Исследования выполнялись по Программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2024–2026 гг.: темы госзадания ТОИ ДВО РАН №№ 2, 5, 6, 7, 10 и 11 (рег. №№ 120031890011-8, 121021500054-3, 121021700346-7, 121021700341-2, 119122090009-2, 12121500052-9).

Конфликт интересов. Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

ASSESSMENT OF RADIOECOLOGICAL STATE OF THE FAR EASTERN SEAS OF RUSSIA IN CONNECTION WITH A POLLUTED WATER DISCHARGE FROM FUKUSHIMA-1 NPP (CRUISE NO. 71 OF RV “AKADEMIK OPARIN”)

V. B. Lobanov^{a, *}, V. A. Goryachev^a, A. F. Sergeev^a, N. B. Lukyanova^a, I. F. Alekseev^a,
S. G. Sagalaev^a, S. P. Zakharkov^a, N. A. Bezhin^b, T. A. Gulenko^a, V. V. Kalinchuk^a,
A. S. Komolov^c, A. E. Leusov^a, E. A. Tokar^d, A. O. Kholmogorov^a, V. V. Balabon^{a, e},
A. S. Kuznetsova^{a, e}, S. P. Kukla^a, P. G. Kushnir^a, M. A. Lebedeva^{a, f}, A. A. Legkodimov^a,
A. A. Mazur^a, D. S. Makseev^a, I. A. Prushkovskaya^a, V. V. Razzhivin^a, D. A. Skotorenko^c,
E. N. Sokolova^f, A. M. Startsev^a, L. N. Sysorov^g, I. A. Khomenko^c, E. I. Yaroshchuk^a

^a V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia

^b Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

^c National Research Center “Kurchatov Institute”, Moscow, Russia

^d Sakhalin State University, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

^e Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

^f Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

^g Vladivostok Marine Fishery College, Vladivostok, Russia

* e-mail: lobanov@poi.dvo.ru

During the cruise of RV “Akademik Oparin” an assessment of radioecological state of the Pacific Ocean east of Japan and Kuril Islands as well as Okhotsk and Japan seas was conducted in connection with polluted water discharge from Fukushima-1 NPP. Results of the first samples of surface analysis showed tritium content as 0.36–0.78 tritium units (0.04–0.09 Bk/l). The highest concentrations were found in the Kuroshio Extension stream and in the area of Southern Kuril Islands. Meanwhile it is ten thousands time lower than radio security norm. In the cruise samples of water, bottom sediments and marine biota were prepared to analyze radio-isotopes of cesium, strontium, lead, radium and others. Large volume of hydrographic, chemical, biological, gas-geochemical, mercury measurements and samplings was implemented. Mooring systems were recovered and deployed again. New data on water state and dynamics of the study region, as well as biogeochemical parameters and their interannual variability in association with climate change and increasing anthropogenic load were received.

Keywords: Fukushima-1 NPP, tritium, radionuclide, Pacific Ocean, Kuroshio current, Kuril Islands, Far Eastern Seas, Sakhalin shelf, mesoscale eddies, hydrography, biogeochemistry