

ТРИТИЙ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА ГОД СПУСТЯ ПОСЛЕ НАЧАЛА СБРОСА АВАРИЙНЫХ ФУКУСИМСКИХ ВОД

**Горячев В.А., Лобанов В.Б., Сергеев А.Ф., Соколов Д.Д.,
Калюжный Д.С.**

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева, г. Владивосток
goryachev@poi.dvo.ru

С началом ядерной эры со второй половины 40-х годов прошлого века в окружающей среде появились искусственные радионуклиды: ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{90}Sr и другие и было нарушено природное равновесие трития и радиоуглерода, основным источником которых были испытания ядерного оружия. После запрета договором 1963 года испытаний в космосе, атмосфере и под водой, поступление искусственных радионуклидов снизилось, но не прекратилось. Источником искусственных радионуклидов остаются ядерные энергетические установки, предприятия по переработке отработавшего ядерного топлива, регламентированные сбросы, неконтролируемые утечки и аварийные выбросы. Последним событием, приведшим к глобальному загрязнению планеты, была ядерная авария на АЭС «Фукусима-1», произошедшая в марте 2011 г. В морской воде в первый год после аварии вблизи АЭС концентрация ^{137}Cs превышала фоновые уровни более чем в 10^6 раз [1]. Часть этой воды 1,3 млн. тонн, хотя и очищенной от основных загрязняющих радиоизотопов: цезия, стронция, плутония и т.д. до безопасных для сброса уровней, хранилась в стальных емкостях на территории станции, т.к. концентрация трития в этой воде $8 \cdot 10^5$ Бк/л не позволяет сразу сбросить ее в океан [2]. Все имеющиеся в настоящее время технологии очистки воды от трития энергозатратны и дорогостоящи. Охлаждение реакторов продолжается и объем хранимой загрязненной тритием воды продолжал бы увеличиваться, поэтому в августе 2023 г был начат сброс загрязненной воды в океан предварительно разбавляемой до 1300 Бк/л и менее.

С целью изучить современное распределение трития и оценить влияние сброса загрязненной тритием воды на его концентра-

цию в водах северо-западной части Тихого океана с декабря 2022 по сентябрь 2024 года ТОИ ДВО РАН было проведено 4 экспедиции, в которых выполнялся отбор проб воды для определения в них искусственных и естественных радионуклидов, включая тритий рис. 1.

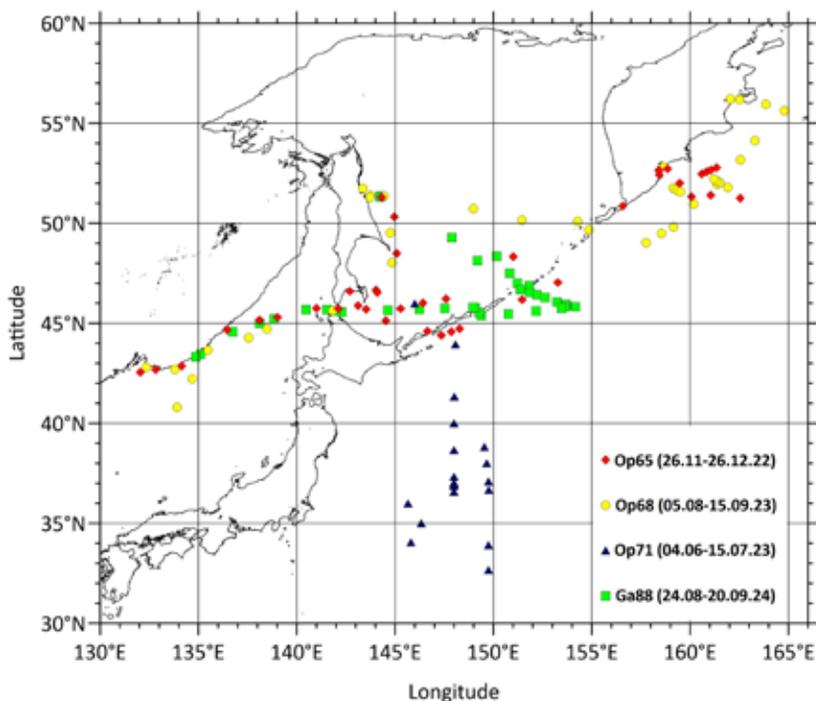


Рис. 1. – Положение станций с отбором проб на тритий

Пробы объемом 0,5–1,5 л для определения трития отбирались погружным насосом либо из проточной системы, глубинные – с помощью пробоотборной системы с батометрами Нискина объемом 10 л. Первичная подготовка проб к измерению проводилась на борту судна: пробы на тритий обессоливались в роторном испарителе, радиоизотопы: Cs-137, Ra-226, Ra-228, Be-7 концентрировались на избирательных сорбентах. На берегу в лаборатории пробы на тритий электролитически обогащались, их бета активность измерялась в жидкостном сцинтилляционном спектрометре Quantulus1220. Результаты первых двух экспедиций, рейсы НИС

«Академик Опарин» №№ 65 и 68, проходившие в периоды 26.11-26.12.2022 г и 05.08-15.09.2023 г соответственно, дали концентрации трития, характерные для обследованных акваторий до начала сброса загрязненной воды (табл. 1).

Таблица 1 – Тритий в поверхностных водах обследованных акваторий

Японское море	Концентрация ТЕ		
НИС, № рейса, период	мин.	макс.	средн.
Академик Опарин, рейс № 65, 15.12.2022	0,77	1,39	1,03
Академик Опарин, рейс № 68, 15.06.2023	0,82	2,36	1,30
Охотское море	Концентрация ТЕ		
Академик Опарин, рейс № 65, 15.12.2022	0,65	1,90	1,29
Академик Опарин, рейс № 68, 15.06.2023	0,66	1,90	1,29
Профессор Гагаринский, рейс № 88, 15.06.2024	0,53	1,19	0,76
Тихий океан	Концентрация ТЕ		
Академик Опарин, рейс № 65, 15.12.2022	0,33	0,95	0,59
Академик Опарин, рейс № 68, 15.06.2023	0,46	1,24	0,79
Академик Опарин, рейс № 71, 15.06.2024	0,30	0,78	0,52
Профессор Гагаринский, рейс № 88, 15.06.2024	0,32	0,74	0,54

Пр и м е ч а н и е . Даты в первом столбце – это среднее время за каждый период отбора проб, к которым с учетом распада приведены результаты измерений.

Наиболее показательны минимальные концентрации, т.к. они характерны для открытых областей акваторий, где распределение трития более однородно и может нарушаться либо интенсивными локальными осадками, либо подъемом глубинных вод. Максимальные же концентрации характерны для районов, расположенных вблизи берегов, подверженных влиянию пресных вод материкового стока с концентрациями на порядок выше, чем в открытых областях. Пример этого - результаты определения трития в пробах, отобранных в рейсе № 88 НИС «Профессор Гагаринский» в Охотском море, большая часть которых из открытой области. Концентрации трития в них оказались явно ниже, чем измеренные в пробах рейсов №№ 65 и 68 НИС «Академик Опарин» (табл. 1, рис. 1).

В период 04.06-15.07.2024 г. были проведены гидрологические, гидрохимические исследования в рейсе № 71 НИС «Акаде-

мик Опарин» в районе от южных Курил (44° с.ш.) по 145–150 гр. в.д. почти до южной границы Куроиси с отбором проб для измерения трития и других радионуклидов (рис. 1). Результаты измерений показали снижение концентрации трития с севера на юг в пределах 0,3–0,78 ТЕ, при средней величине 0,54 ТЕ, что соответствует 0,5 ТЕ, принятой за фон для этого района [3–6]. Но наибольшие концентрации 0,65–0,78 ТЕ измерены в трех пробах, отобранных около 37° с.ш., на северной границе основной струи Куроиси, практически на траверзе АЭС «Фукусима-1» (рис. 1, 2а). Возможно, вода с повышенной концентрацией трития захвачена течением вблизи места сброса аварийной, загрязненной тритием воды, т.к. значительно превышает среднюю концентрацию трития всех проб, отобранных вблизи 37° с.ш. Косвенно это подтверждается и относительно низкой соленостью проб с повышенными концентрациями трития (рис. 2б), характерной для прибрежных вод. Общая тенденция роста концентрации трития с широтой (рис. 1, 2а) соответствует его глобальному распределению в северной части Тихого океана.

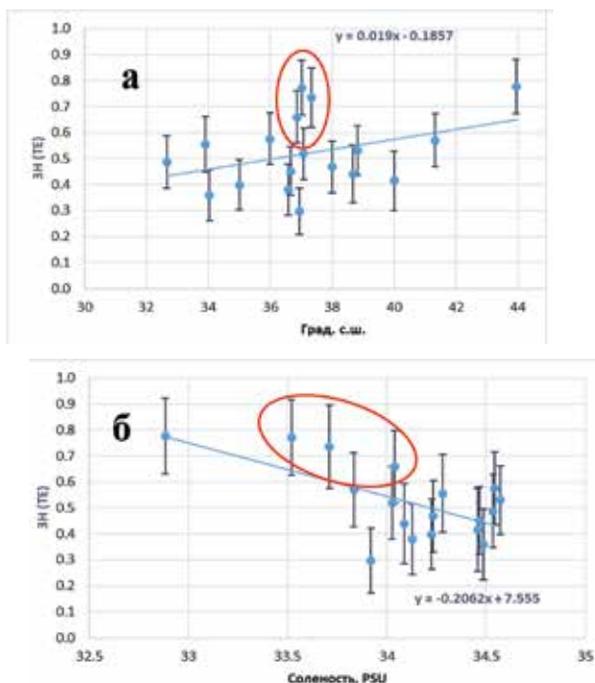


Рис. 2. Зависимость концентрации трития **а** – от широты; **б** – от солености в поверхностных пробах, отобранных в 71 рейсе НИС «Академик Опарин» 04.06-15.07.24 г.

Таким образом, спустя год после начала сброса загрязненной тритием воды с территории АЭС «Фукусима-1» повышенные концентрации этого радиоизотопа в исследованной области могут быть свидетельством ее захвата течением Куроисио вблизи места сброса и распространения на восток

Литература

1. Buessler K., Aoyama M., Fukasawa M. Impacts of the Fukushima nuclear power plants on marine radioactivity // *Environ. Sci. Technol.* 2011. 45 (23), P. 9931-9935.
2. TEPCO // *Draft Study Responding to the Subcommittee Report on Handling ALPS Treated Water.* 2020.
3. Fine R.A., Reid J.L., O'stlund H.G. Circulation of tritium in the Pacific Ocean // *J. Phys. Oceanogr.* 1981. 11. P. 3-14.
4. Povinec P.P., Wee Kwong L.L., Kaizer J., Molnar M., Nies H., Palcsu L., Papp L., Pham M.K., Jean-Baptiste P. Impact of the Fukushima accident on tritium, radio-carbon and radiocesium levels in seawater of the western North Pacific Ocean: A comparison with pre-Fukushima situation // *Journal of Environmental Radioactivity.* 2017. 166. P. 56-66.
5. Povinec P.P., Aoyama M., Biddulph D., Breier R., Buessler K., et al. Cesium, iodine and tritium in NW Pacific waters – a comparison of the Fukushima impact with global fallout // *Biogeosciences.* 2013. 10. P. 5481-5496. DOI:10.5194/bg-10-5481-2013.
6. Takahata N., Tomonaga Y., Kumamoto Y., Yamada M., Sano Y. Direct tritium emissions to the ocean from the Fukushima Dai-ichi Nuclear accident // *Geochemical Journal.* 2018. V. 52. P. 1-7.