

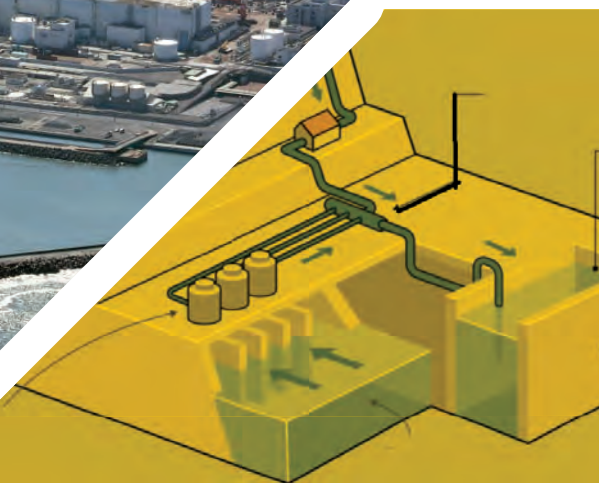


НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»



А.А. Боровой
С.Л. Гаврилов
В.А. Хвощинский



ФУКУСИМА

ПРОБЛЕМА ВОДЫ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«**КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ**»

А.А. БОРОВОЙ, С.Л. ГАВРИЛОВ,
В.А. ХВОЩИНСКИЙ

ФУКУСИМА. ПРОБЛЕМА ВОДЫ

Москва
2024

УДК 621.039.586

Боровой А.А., Гаврилов С.Л., Хвошинский В.А. **Фукусима. Проблема воды.** — М.: НИЦ «Курчатовский институт», 2024. — 44 с.: ил.

Аннотация

24 августа 2023 года на АЭС Фукусима-1 начался сброс в океан воды, загрязненной тритием. Предполагается, что эта операция продлится 30–40 лет. А общий объем воды превысит 1,5 миллиона кубометров. В предлагаемой работе рассматриваются три основных вопроса.

Что привело к накоплению такого количества радиоактивной воды. Существуют ли альтернативные пути ее хранения и захоронения. Наконец, особое внимание уделяется оценке экологической опасности этой операции и анализу реакции других стран на сброс.

Верстка: Дериглазова М.Т.

Корректор: Новикова В.В.

Дизайн обложки: Мишин М.А.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Откуда поступает и где хранится загрязненная вода	6
2. Меры по уменьшению поступления воды.....	7
3. Очистка загрязненной воды.....	10
4. Проблема трития	12
5. Дальнейшее обращение с водой	15
6. Варианты захоронения воды, загрязненной тритием.....	17
7. Разработанная ТЕРСО схема сброса воды в океан	21
8. Разрешение МАГАТЭ	26
9. Реакция японского общества на решение о сбросе	28
10. Распространение воды Фукусимы в океане и реакция стран на решение о сбросе	30
11. Реальные опасения	36
Заключение	38
Список литературы	39

ВВЕДЕНИЕ

24 августа 2023 года в час дня по местному времени Tokyo Electric Power Company, Incorporated (TEPCO) — оператор АЭС Фукусима-1 (далее — F-1) начал сброс в океан первой партии воды, загрязненной тритием. Для этого был оборудован подземный тоннель, ведущий от территории станции к месту слива (см. рис. 1, 2, 3).

Через месяц сотрудники МАГАТЭ исследовали пробы морской воды в 10 точках в радиусе 3 км от F-1. Концентрация трития в них оказалась ниже установленных нормативов, что подтвердило данные, ранее опубликованные сотрудниками TEPCO.

* * *

К этому моменту на площадке станции хранилось около 1080 баков, содержащих 1350 тысяч тонн загрязненной тритием воды. Первый сеанс сброса проходил в течение 17 дней. Во время него в море было сброшено 7800 тонн воды.

В 2023 году сброс проводился еще три раза так, чтобы общее количество воды к концу марта 2024 года достигло 31200 тонн. Это позволило опорожнить только 10 баков, поскольку все это время будет продолжаться процесс поступления в баки новых порций радиоактивной воды.

Позже темпы должны ускориться, и примерно 1/3 резервуаров будет опустошено и демонтировано в течение следующих 10 лет, что освободит место для строительства сооружений, необходимых для вывода станции из эксплуатации.

Начало сброса воды, загрязненной тритием в океан, стало решающим этапом борьбы с радиоактивной водой, продолжающейся на F-1 уже более 12 лет. Операция, по расчетам специалистов, будет продолжаться 30–40 лет.



Рис. 1. Тоннель, по которому происходит слив воды



Рис. 2. Длина тоннеля около 1 км, диаметр 2,5 м, пролегает он на 12 м ниже уровня моря



Рис. 3. 24 августа 2023 года работавшие на F-1 наблюдали за началом сброса воды в океан. 1 – труба с морской водой, 2 – бассейн хранения, 3 – направление сброса

Надо сказать, что это решение вызвало ожесточенную дискуссию как в средствах масс-медиа (сотни статей были опубликованы только за август–сентябрь 2023 года), так и в научной печати. Многие страны выразили свое несогласие с таким подходом. Споры не утихают до сих пор. В освещении этой проблемы приняли участие НИЦ «Курчатовский институт» и ИБРАЭ РАН [1, 2].

В настоящей работе мы решили вернуться к этой теме, чтобы более детально разобрать все спорные проблемы.

1. ОТКУДА ПОСТУПАЕТ И ГДЕ ХРАНИТСЯ ЗАГРЯЗНЕННАЯ ВОДА

После аварии на нижние отметки разрушенных блоков радиоактивная вода поступала и поступает из нескольких источников.

Во-первых, там остались большие объемы принесенной цунами загрязненной морской воды.

Во-вторых, систему охлаждения в пострадавших реакторах не удалось сделать полностью замкнутой, и часть воды после контакта с ядерным топливом также попадает на эти отметки.

В-третьих, свой вклад вносят грунтовые воды.

До аварии для предотвращения затопления вокруг блоков была сооружена специальная дренажная система, из которой насосами откачивалось 800–850 м³ воды за сутки.

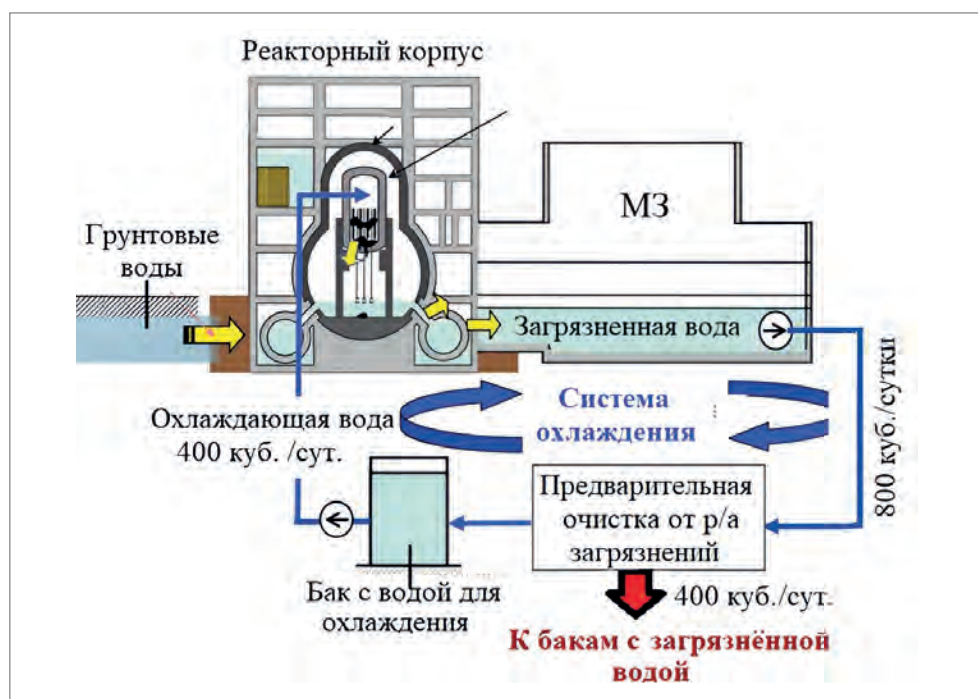


Рис. 4. Схема охлаждения реактора (середина 2015 года). Из 800 м³ загрязненной воды, попадающей на нижние отметки блока, ~400 м³ после очистки поступает в систему охлаждения, а ~400 куб. метров закачивается в баки

Авария разрушила эту систему и одновременно открыла грунтовым водам пути проникновения в нижние помещения станции. Загрязнению грунтовых вод способствует и дождевая вода, проходящая через слой почвы с радиоактивными выпадениями.

Часть собирающейся в нижних помещениях воды проходит очистку и вновь возвращается в систему охлаждения реакторов, а оставшаяся часть закачивается в баки (цистерны) (см. рис. 4). Согласно оценкам, сделанным специалистами ТЕРСО, через две недели после аварии на территории станции скопилось около 60 тыс. тонн (!) высокорadioактивной воды (в основном принесенной цунами). Следовало принять срочные меры для предотвращения попадания ее в океан. Организовать откачку воды и ее временное хранение.

Достаточно свободных емкостей в распоряжении сотрудников F-1 не было. Поэтому пришлось слить в океан ЖРО с относительно низкой концентрацией радионуклидов (собранный в баки еще до аварии) из резервуаров, которые находились в составе комплекса по обращению с отходами. А затем закачать в эти резервуары высокоактивную воду, скопившуюся на нижних отметках блоков, в траншеях и колодцах¹.

В результате в океан поступило 11500 тонн жидких отходов с полной активностью $\sim 1,5 \cdot 10^{11}$ Бк.

Кроме того, ТЕРСО использовала все возможности для скорейшей доставки на АЭС дополнительных емкостей. Уже в конце апреля началась переброска на станцию новых, специально изготовленных баков².

2. МЕРЫ ПО УМЕНЬШЕНИЮ ПОСТУПЛЕНИЯ ВОДЫ

Все последующие годы предпринимались меры по уменьшению количества радиоактивной воды, образующейся на территории станции, и устранению путей ее попадания в океан.

2014 год

В мае вступила в строй система обходного пути для грунтовых вод. На холмистой возвышенности перед АЭС был выкопан ряд дренажных колодцев. Вода из них откачивалась до ее поступления к блокам, анализировалась на загрязнения и в случае их отсутствия сбрасывалась в океан.

2015 год

Было завершено возведение водонепроницаемого ограждения (защитной стены) из стальных конструкций с береговой стороны АЭС, которое задерживало воду на площадке станции, не позволяя ей сливаться в океан (рис. 5).

¹ 4 апреля ТЕРСО получило разрешение правительства Японии на сброс. «У нас нет другого выбора, как сбросить слабо зараженную воду в океан», – заявил генсек японского кабинета министров Юкио Эдано.

² Резкое увеличение количества емкостей для воды и подводящих коммуникаций привело к появлению многочисленных утечек. Специалистам ТЕРСО постоянно приходилось их ликвидировать.



Рис. 5. «Защитная стена», ограничивающая поступление радиоактивной воды в океан



Рис. 6. «Ледяная стена», защищающая площадку с блоками от попадания грунтовых вод

В том же 2015 году вокруг блоков и непосредственно перед береговым ограждением было выкопано 46 дренажных колодцев для понижения грунтовых вод. После проверки на загрязнения вода из них сливалась в океан.

Были также предприняты все возможные меры против протечек воды из баков — улучшена конструкция самих емкостей, создана система дамб, препятствующая протечкам воды в океан, и т.п. Организованы постоянный контроль за уровнем воды в самих баках и визуальное наблюдение посредством периодических обходов на месте.

2016 год

К 2016 году было выполнено водонепроницаемое покрытие из асфальта, силиката натрия (жидкое стекло) и других материалов для частей территории станции, на которых скапливались значительные объемы дождевой воды. Эта вода также закачивалась в баки.

Полностью эта операция была закончена к апрелю 2023 года, когда водонепроницаемые материалы покрыли 95% запланированной площади АЭС (1450000 м²).

2014–2017 годы

Вокруг четырех аварийных блоков была создана так называемая «ледяная стена», строительство которой началось в 2014 году. По периметру площадки, на которой находятся блоки, были вырыты 1550 скважин глубиной более 30 метров каждая. В них по трубам циркулировала охлажденная жидкость. После начала замораживания грунт вместе с содержащейся в нем водой промерзал вплоть до пород с низкой водопроницаемостью. При замерзании ледяные колонны от отдельных скважин увеличивались в размерах и должны были образовать сплошную водонепроницаемую стену (рис. 6). Полная длина ее составила ~1,5 км.

Из бюджета на работы было затрачено ~\$300 млн, а содержание стены обходится примерно в \$9 млн в год.

Ожидалось, что объемы собирающейся под станцией воды удастся уменьшить на порядок. Однако ожидания не оправдались.

В марте 2018 года ТЕРСО опубликовала оценку эффективности ледяной стены. Согласно ей, сооружение задерживает 95 м³ грунтовых вод ежедневно. При этом оценка была сделана для зимних месяцев, а наибольшее количество осадков выпадает во время летних тайфунов. Позднее представитель компании заявил, что «трудно оценить отдельные контрмеры, потому что многие шаги осуществляются одновременно». И точных оценок эффективности стены не появилось.

2017 год

Была завершена работа по осушке и бетонированию береговых подземных технологических тоннелей, в которых ранее накопился большой объем радиоактивной воды.

Результативность всех перечисленных мероприятий иллюстрирует диаграмма на рис. 7.

Надо сказать, что совокупность описанных мероприятий привела и к заметным успехам — значительно уменьшилось неконтролируемое попадание загрязненной воды в океан.

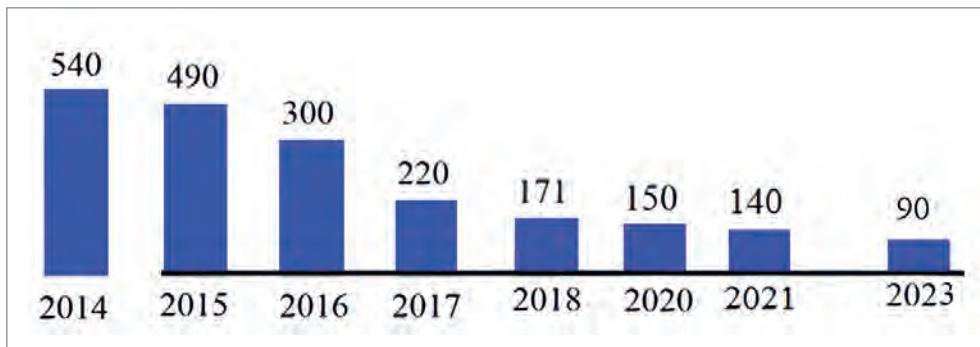


Рис. 7. Динамика среднего ежедневного поступления в баки радиоактивной воды (м³)

3. ОЧИСТКА ЗАГРЯЗНЕННОЙ ВОДЫ

С самого начала работ по ЛПА предполагалось, что хранение высокорadioактивной воды на территории станции – временная, промежуточная стадия. По мере поступления она должна очищаться до необходимых параметров, а потом скорее всего сбрасываться в океан. Это позволило бы остановить рост числа хранилищ на территории станции. Однако выполнить эти планы не удалось. Установки для очистки воды от опасных радионуклидов создавались несколько лет (вплоть до 2014 года), затем еще усовершенствовались, но и после этого проблема загрязненной воды осталась одним из основных препятствий на пути к полному выводу F-1 из эксплуатации.

В 2013 году комплекс очистки воды ALPS (Advanced Liquid Processing System)¹, уникальный по своим возможностям, включился в работу, а в 2014 году вышел на полную мощность.

Вода поступает в него, пройдя предварительную очистку от цезия и стронция с помощью систем SARRY и KURION.

ALPS очищает воду от 62 радионуклидов (всех, представляющих проблемы, кроме трития). Согласно проекту, суммарная производительность трех линий комплекса может составлять ~750 тонн в день.

Комплекс состоит из блока начальной обработки, в котором происходит обработки воды с соосаждением железа (при этом удаляются альфа-активные нуклиды и органика) и соосаждением карбонатов (удаляются щелочеземельные металлы, включая соединения стронция).

За этим следует основной блок, состоящий из различных видов адсорбционных «башен». Они содержат комбинации коллоидных адсорбционных материалов, позволяющих избавиться от различных радиоактивных загрязнений.

Общая схема одной из линий комплекса приведена на рис. 8. Фотография, сделанная внутри здания, в котором размещается ALPS, на рис. 9.

Тестовые испытания, проведенные ТЕРСО, показали, что ALPS позволяет очистить воду до уровня ниже установленных нормативных стандартов, за исключением трития (рис. 10).

Очищенная вода поступала в баки на территории АЭС.

¹ Горная вода в европейских Альпах отличается своей чистотой.

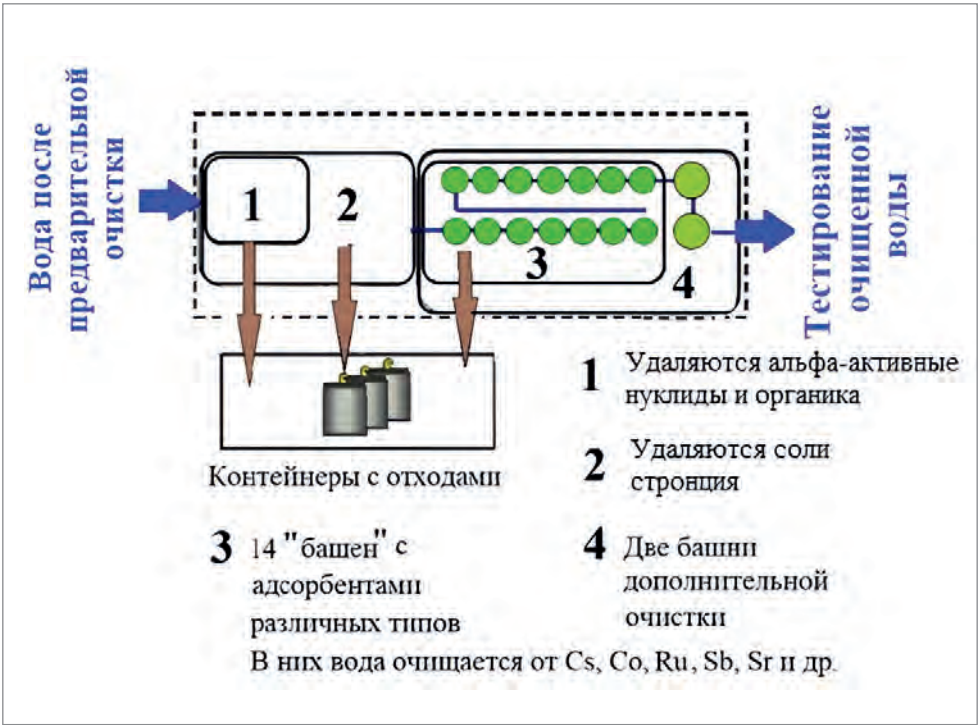


Рис. 8. Упрощенная схема очистки загрязненной воды одной из линий ALPS



Рис. 9. Внутри здания, в котором размещается ALPS

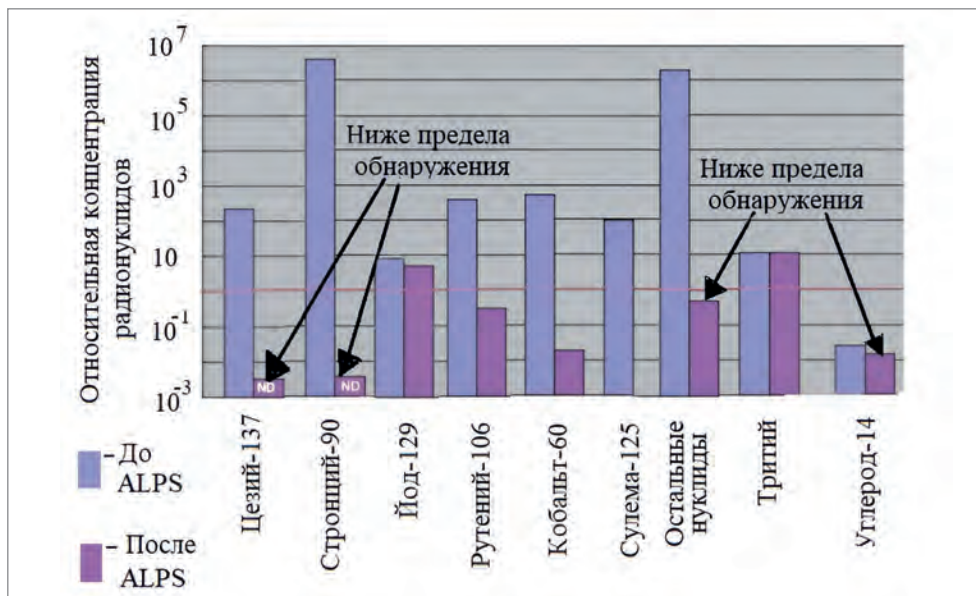


Рис. 10. Тестовые испытания. Степень очистки загрязненной воды от основных радионуклидов установкой ALPS

В мае 2023 года 3 лаборатории МАГАТЭ и 4 национальные лаборатории приняли участие в межлабораторном сравнении для проверки проведенных ТЕРСО испытаний воды, обработанной ALPS. Было установлено, что методология ТЕРСО соответствует назначению и вода в принципе может быть очищена установкой до необходимых значений.

Однако по состоянию на апрель 2023 года ~65% ее, находившиеся в баках, все еще содержали радиоактивные изотопы в концентрациях, превышающих их нормативные стандарты. Причин этого, как поясняет ТЕРСО, две.

Во-первых, задержка из-за многочисленных сбоев оборудования в процессе очистки.

Во-вторых, желание как можно скорее снизить активность воды из наиболее загрязненных баков, чтобы улучшить дозовую обстановку на площадке станции. В частности, с 2013 года до конца 2015 года приоритетом было снижение дополнительной дозы облучения на границе площадки до уровня ниже 1 мЗв/год. Это заставило сократить операцию очистки и уменьшить ее эффективность (адсорбенты, используемые для удаления радиоактивных изотопов, заменялись реже, чем требовал регламент).

Повторная очистка на комплексе ALPS началась только в 2020 году, и до 2023 года выполнить ее удалось только для трети загрязненной воды [3, 4].

4. ПРОБЛЕМА ТРИТИЯ

Как уже говорилось, при правильно организованной работе комплекс ALPS мог очистить воду от всех значимых радионуклидов до нормативных стандартов.

Ото всех, кроме трития, который по своим химическим свойствам почти идентичен химическим свойствам обычного водорода (протия). И это стало главным препятствием для сброса воды в океан.

Тритий — ^3H , чистый β -излучатель с периодом полураспада $\sim 12,32$ года. Максимальная энергия распада трития равна 18,6 кэВ, средняя энергия излучаемых β -частиц — 5,7 кэВ.

В реакторе он образуется в нескольких процессах: в основном при тройном делении, а также в реакциях — $^{10}\text{B}(n, 2\alpha)^3\text{H}$, $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$, $^7\text{Li}(n, \alpha)^3\text{H}$ или $^6\text{Li}(n, \alpha)^3\text{H}$, $^2\text{H}(n, \gamma)^3\text{H}$.

Вода на F-1, контактирующая с ядерным топливом, загрязняется тритием.

^3H образуется в верхних слоях атмосферы под действием космического излучения (около 7×10^{16} Бк в год) и попадает в океаны вместе с осадками. Его активность в природных водах составляет ~ 1 Бк/л.

Из-за того, что тритий излучает электроны малой энергии, он опасен только при попадании внутрь организма¹. Тритий попадает в него через легкие, пищевой тракт и кожу. От 5% до 6% поступающей тритиевой воды входит в органически связанные соединения (ОСС). Остальной остается в составе воды и удаляется из организма с периодом полувыведения 10–12 суток. Для ОСС этот период бывает двух видов: 40 дней и около года.

Учитывая это, считается, что воздействие ОСС в два–пять раз сильнее, чем тритиевой воды.

При обычных условиях тритий присутствует в организме человека (≤ 100 Бк/человека весом 65 кг).

Действующие нормативы содержания ^3H в питьевой воде приведены в таблице 1.

Таблица 1. Действующие нормативы содержания ^3H в питьевой воде

Уровни вмешательства для питьевой воды, НРБ 99/2009 (Россия)	Международные пределы содержания ^3H в питьевой воде (нормы ВОЗ)
7 600 Бк/л	10 000 Бк/л ²

Тритий гораздо менее вреден, чем радиоактивный цезий, который использовался для установления стандарта на радиоактивные вещества в пищевых продуктах (примерно в тысячу раз).

Каких-либо собственных нормативных стандартов на содержание трития в пищевых продуктах и питьевой воде в Японии нет.

Полная активность трития, накопленного в реакторах F-1 к моменту аварии, оценивается ТЕРСО как $3,4 \times 10^{15}$ Бк (или 3400 ТБк) (рис. 11).

По оценкам ТЕРСО, на апрель 2021 года общая активность трития, хранящегося в баках на F-1, составляла около **860 ТБк**. При этом содер-

¹ В воздухе электрон с энергией 18 кэВ пролетает в среднем около 10 см, в воде его пробег составляет несколько микрометров.

² Согласно «Руководству ВОЗ по качеству питьевой воды» (4-е издание).

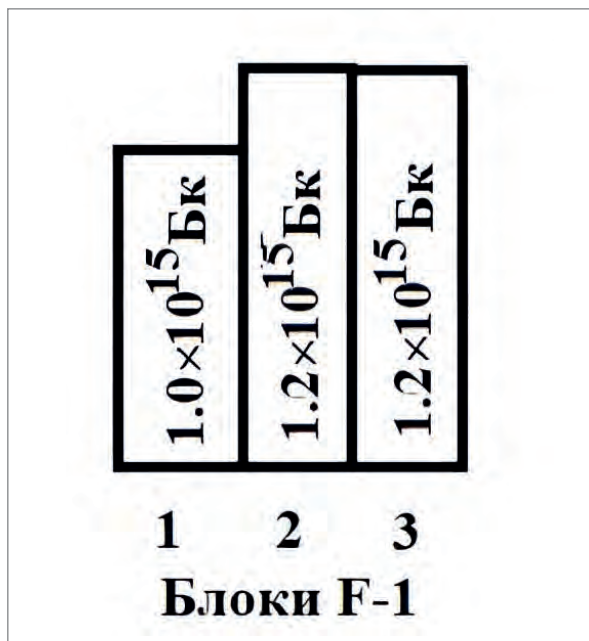


Рис.11. Активность трития, накопленного в реакторах к моменту аварии

жание изотопа в воде было крайне неравномерным, а среднее значение равнялось ~ 730000 Бк/л.

Сброс тритиевой воды делают все АЭС Японии в штатном режиме – в допустимых регуляторами пределах, которые рассчитываются исходя из дозовой нагрузки на окружающую среду и людей¹.

Для F-1 такой предел ранее был установлен в 22 ТБк в год².

Сброс трития на этой станции в океан составлял 2,0 ТБк в 2009 году, 1,6 ТБк в 2008 году и 1,4 ТБк в 2007 году (притом, что регулятор, как говорилось выше, разрешал в 10 раз больше – 22 ТБк в год).

В настоящее время ТЕРСО ориентируется на следующих **«операционных целях по сбросу воды из резервуаров временного хранения»:**

Cs-134 – 1 Бк/л или менее,

Cs-137 – 1 Бк/л или менее,

³H – **1500 Бк/л или менее.**

Эти значения находятся значительно ниже нормативных пределов концентрации радионуклидов в морской воде. Для трития она составляет всего **одну седьмую** нормы ВОЗ для питьевой воды (см. таблицу 2).

Сравнение приведенных значений – 1500 Бк/л и 730000 Бк/л показывает, что просто слить в океан очищенную ALPS, но все еще загрязненную тритием водой из баков на F-1 нельзя (см. [5]).

¹ Тритий образуется в ВВР реакторах в ядерных реакциях с поглощающими нейтроны материалами, используемыми для управления реактором.

² Для сброса воды на F-1 эксплуатационный норматив в 22 ТБк/год (по тритию) был установлен в 1979 году, когда шестой энергоблок начал свою работу.

5. ДАЛЬНЕЙШЕЕ ОБРАЩЕНИЕ С ВОДОЙ

Вопрос о том, как обращаться дальше с водой, очищенной ALPS, обсуждался с 2013 года. Для предложений и оценки различных вариантов была создана Целевая группа по обращению с тритиевой водой. Она начала свою работу в конце декабря 2013 года и опубликовала подробный отчет 3 июня 2016 года [6].

Были детально рассмотрены такие вопросы, как нормативная и техническая осуществимость предлагаемых методов, длительность проведения работ, их радиационная безопасность, ориентировочная стоимость, образование вторичных отходов и т.п.

После этого проходили многочисленные обсуждения со специалистами, встречи с представителями общественности, делались доклады руководству отрасли и контролирующим организациям.

Мы приведем здесь основные выводы, к которым пришли участники совещаний, и одобренные ими рекомендации.

Можно ли продолжать хранить воду, загрязненную тритием, в баках?

Ситуация, при которой баки оставались бы на территории станции, уже в 2021 году приближалась к критической¹ (рис. 12 и 13). По разным оценкам, но с большой вероятностью, не позднее 2024 года АЭС не смогла бы вместить их возрастающее количество, поскольку полная емкость хранилищ воды не может превышать $\sim 1,5 \times 10^6$ м³.

К тому же, занимая всю свободную площадь F-1, баки препятствуют выполнению других необходимых работ по выводу АЭС из эксплуатации.

Что касается организации хранения за пределами территории АЭС (на первый взгляд, достаточно простой выход), то тут возникает два рода трудностей — одна, связанная с объективными причинами, вторая — с субъективными.

К первой относится, прежде всего, то, что перемещение значительного количества баков с ЖРО за пределы площадки увеличит риск, связанный с разгерметизацией как их самих, так и сложных подводящих коммуникаций. Особенно при землетрясениях, которые часто происходят в зоне F-1.

Вторая причина связана с тем, что местные власти категорически против расширения области хранения высокорadioактивных отходов. Согласование проекта столкнется с большими, возможно, непреодолимыми трудностями и, во всяком случае, потребует много времени.

Рассматривая вопрос об использовании подземных резервуаров, комиссия указывает на трудности контроля за возможными утечками, особенно в случае землетрясения.

Использование надводных плавучих емкостей на территории залива также было признано неприемлемым по многим причинам, прежде всего, из-за постоянных тайфунов и цунами у побережья.

Надо еще отметить, что хранение тритиевой воды в баках в любом случае есть временная мера. Если считать, что заявленное время вывода F-1 из эксплуатации составит еще ~ 30 лет, то активность трития за счет естественного распада в баках с наиболее загрязненной водой снизится недостаточно для простого слива жидкости в океан. И придется вновь возвращаться к этому вопросу.

¹ Когда возникла необходимость в установке дополнительных баков, лесной массив на южной стороне площадки станции был вырублен, а на освоенной территории были установлены дополнительные баки. При этом использовались емкости большего размера, которые были размещены более эффективно (по сотовой схеме).



Рис. 12. По состоянию на 31 июля 2023 года на территории F-1 было 1073 баков, объем их превысил $\sim 1,3 \times 10^6 \text{ м}^3$



Рис. 13. Типовые (сварные, гораздо более прочные, чем предыдущие модели) баки на территории F-1

Окончательный вывод комиссии: «В сложившихся условиях единственным вариантом продолжения хранения в баках является хранение очищенной воды на территории станции с использованием стандартных емкостей».

6. ВАРИАНТЫ ЗАХОРОНЕНИЯ ВОДЫ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ ТРИТИЕМ

Если воду нельзя дальше хранить в баках, то следует рассмотреть возможность ее безопасного захоронения.

Целевая группа подробно рассмотрела варианты такого захоронения. Как уже говорилось, критериями отбора стали их техническая осуществимость (в том числе существование опыта применения), совместимость с существующими нормами, риск стихийных бедствий, продолжительность процесса и его стоимость, необходимые меры контроля и обеспечения безопасности.

Были предложены и подробно рассмотрены пять вариантов захоронения.

6.1. Тритиевая вода после предварительной обработки закачивается через трубопровод в глубокие слои геосферы (глубиной ~2500 м)

Проблема захоронения больших объемов жидких радиоактивных отходов существует более 60 лет. Так, в первые годы, при создании атомного оружия в СССР и США, большие объемы ЖРО просто сливали в открытые водоемы. Это привело к их загрязнению и образованию радиоактивных озер. В результате именно в Советском Союзе перешли к методам подземного глубинного захоронения. Слив происходил под высоким давлением через систему скважин, идущих на глубину до 1500 м (в зависимости от полигона) в песчаные пласты, изолированные сверху и снизу слоями глинистых пород. Таким образом, были захоронены десятки миллионов кубометров ЖРО. Насколько удавалось их локализовать?

Наблюдения и расчеты показывают, что, например, на «Опытно-промышленном полигоне» ГНЦ НИИАР радиус контура отходов составит не более 2,5–3 км от центра полигона за 200–300 лет хранения.

Однако в 2011 году в России, согласно нормами МАГАТЭ, был принят федеральный закон (№190-ФЗ) «Об обращении с радиоактивными отходами», который предписывает отправлять на захоронение отходы в твердой форме и соответствующей упаковке, исключающей выход отходов в окружающую среду.

Не известно, учитывался ли целевой группой российский опыт, но многочисленные технологические вопросы заставили отклонить этот способ. В их числе — выбор места с соответствующим типом грунта, вопросы безопасной доставки, сейсмическая опасность, возможность мониторинга и т.п. Их решение (если оно существовало) требовало слишком значительного времени.

6.2. Вода, содержащая тритий, смешивается с отвердителем (например, цементом) и в твердом виде хранится под землей

Такой метод использовался, например, на ядерных установках в Саванна-Ривер, США. Он рекомендовался рядом специалистов [7], но не был принят Целевой группой опять-таки из-за ряда технологических трудностей. Одна из них,

та, что при застывании бетон выделяет значительное количество тепла, и тритий будет испаряться в атмосферу.

6.3. Восстановление тритиевой воды до водорода путем электролиза и затем выброс его в атмосферу (гидрогенизация трития)

Технологии концентрации трития существуют. Это комбинация методов электролиза, изотопного обмена между паром воды и газообразным водородом на катализаторах и криогенной ректификации изотопов водорода. Крупнейшие установки извлечения трития из тяжелой воды были построены в Канаде (см. рис. 14).

Этот метод был отклонен как чрезвычайно дорогой и технологически не отработанный для больших объемов воды.

6.4. Выпуск в атмосферу в виде пара

Тритиевая вода испаряется, и высокотемпературный пар выбрасывается из выхлопной трубы в атмосферу.

Этот вариант был использован при работах по ликвидации последствий аварии на АЭС «Три-Майл-Айленд» (США). Там накопилось 8,7 тысяч тонн высокоактивной воды. После прохождения очистки с помощью ионообменных и цеолитовых фильтров она по всем параметрам, кроме содержания ^3H , могла бы быть сброшена в реку (после разбавления). Однако из-за протестов населе-

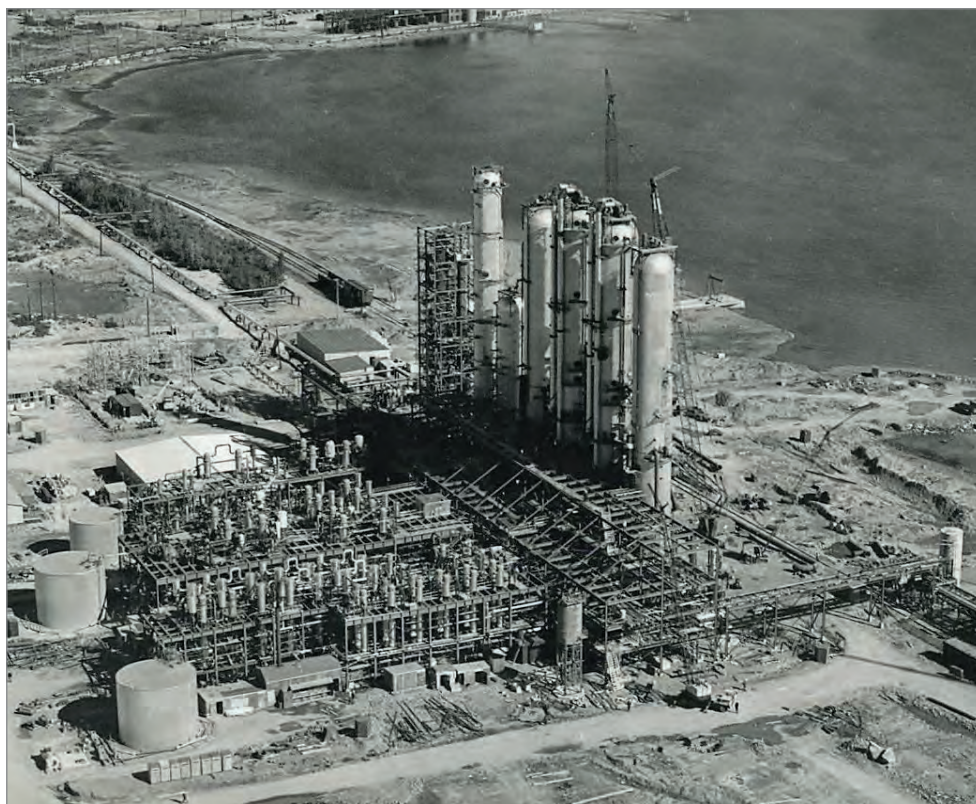


Рис. 14. Завод по разделению изотопов водорода в Канаде (AECL Glace Bay)



Рис. 15. Интегральная активность ^3H (в год) в воде, сбрасываемой в водоемы АЭС различных стран

ния городов, находящихся ниже по течению реки, от такого решения пришлось отказаться.

В результате была сооружена установка по двухступенчатому выпариванию воды. На выходе пар, содержащий тритий, выбрасывался в атмосферу, а образовавшийся остаток, содержащий 99,9% примесей, растворенных в воде, подвергался отверждению и был захоронен. Полная активность трития, выброшенного в виде пара с «Три-Майл-Айленд», оценивается в ~24 ТБк, а объем испарившейся воды в ~8700 м³.

Хотя это намного меньше, чем в случае F-1, для осуществления операции потребовалось 10 лет подготовки и еще три года для проведения непосредственно испарения.

Рассматривая этот вариант, Комиссия пришла к выводу, что такой метод будет чрезвычайно энергозатратным.

При его использовании также возникают трудности с мониторингом распространения выбрасываемых газов из-за быстрого изменения воздушных течений в атмосфере.

Кроме того, существует риск дополнительного облучения населения из-за выпадения «тритиевых дождей» в густо населенных районах.

6.5. Разбавление и слив в океан

Уже говорилось, что сброс тритиевой воды в природные водоемы¹ делают многие АЭС в мире (рис. 15) [8].

Так что установленный для F-1 верхний предел выброса – 22 ТБк в год является обычной практикой для АЭС.

¹ Тритий в охлаждающей воде реактора АЭС образуется в результате активации бора и лития, который в нее добавляют. А также дейтерия, который в ней присутствует.



Рис. 16. Заседание кабинета министров
во вторник 13 апреля 2021 года

Опыт изготовления установки для сброса существует, и она существенно проще, чем система для испарения.

Группой были сделаны оценки стоимости каждого из перечисленных методов.

Они носили порядковый характер (около 3,4 миллиарда иен или 24,4 миллиона долларов¹), но давали представление о сложности предстоящей работы. Так, эксперты считали, что «сброс в море» потребует затрат в пять раз меньше, чем «закачка в геосферу», в 10 меньше, чем «выпаривание», в 30 раз меньше, чем «сброс в форме водорода». А расходы на «отверждение и подземное захоронение» превысят «сброс» в 70 раз!

Таким образом, все приведенные выше соображения указывали на то, что контролируемый сброс в океан — наиболее реалистичный вариант захоронения тритиевой воды:

- он опробован и широко используется;
- существуют оперативные методы контроля эффективности метода;
- он может быть использован в районе с неспокойной сейсмикой;
- требует существенно меньших финансовых затрат по сравнению с остальными рассмотренными вариантами.

¹ Для справки. По данным японского правительства, вывод из эксплуатации F-1 планируется в 2051 году, общая стоимость его оценивается в 136 миллиардов долларов США.

После продолжительных обсуждений, в том числе и с привлечением общественности (правда в весьма ограниченном составе) в январе 2020 года, специальный комитет при Министерстве экономики, торговли и промышленности рекомендовал Правительству для захоронения тритиевой воды использовать контролируемый сброс в океан.

13 апреля 2021 года правительство Японии официально это одобрило, о чем сообщило национальное телевидение. По его информации, такое решение было принято на совещании глав заинтересованных министерств и ведомств во главе с премьер-министром Ёсихидэ Сугой (рис. 16).

Был также утвержден базовый план по выпуску в море более 1 млн тонн очищенной воды.

7. РАЗРАБОТАННАЯ ТЕРСО СХЕМА СБРОСА ВОДЫ В ОКЕАН

Схема очистки, разбавления и сброса воды в океан, используемая на F-1, представлена на рис. 17–20.

Последовательность операций в этой системе следующая.

Вода, очищенная от стронция, обрабатывается ALPS и накапливается в резервуаре (системе баков) для хранения и анализа.

При необходимости она подвергается вторичной очистке ALPS или мембранного оборудования обратного осмоса ото всех радионуклидов, кроме трития.

Резервуары, в которых хранится вода перед сбросом, расположены на участке АЭС, находящемся значительно выше уровня моря. Там она проходит еще раз анализ на содержание радионуклидов, перекачивается по трубам (рис. 17) на уровень моря¹, разбавляется морской водой до необходимых концентраций ³H (не более 1500 Бк/л) и поступает в тоннель.

Общее количество трития, попадающего каждый год в океан, установлено на прежнем уровне ≤ 22 ТБк.

Сброс воды может быть остановлен автоматически при нарушении заданных параметров ее очистки с помощью специального клапана (рис. 18). Для этого разработана специальная система аварийного отключения.

Процесс может быть остановлен и вручную. Это допускается в случае землетрясения с сейсмической интенсивностью не ниже 5 баллов (по семибалльной японской шкале), предупреждения о цунами, торнадо или шторме. Кроме того, процесс прерывается по причинам, которые начальник работающей смены сочтет существенными.

На рис. 19 представлен упрощенный макет системы сброса тритиевой воды, выполненный ТЕРСО для популярных изданий (см., например, [9]).

Наконец, на рис. 20 представлена более полная схема очистки загрязненной воды и подготовки ее сброса в океан.

¹ Перед разбавлением и сбросом очищенной воды ALPS концентрации всех значимых радиоактивных материалов, содержащихся в очищенной воде (в том числе и трития), проверяются, чтобы убедиться, что она соответствует установленным критериям сброса. Для обеспечения объективности результатов пробы независимо анализируются также Японским агентством по атомной энергии.



Рис. 17. Трубы для системы разбавления морской водой, идущие по площадке F-1



Рис. 18. Монтаж аварийного клапана системы сброса

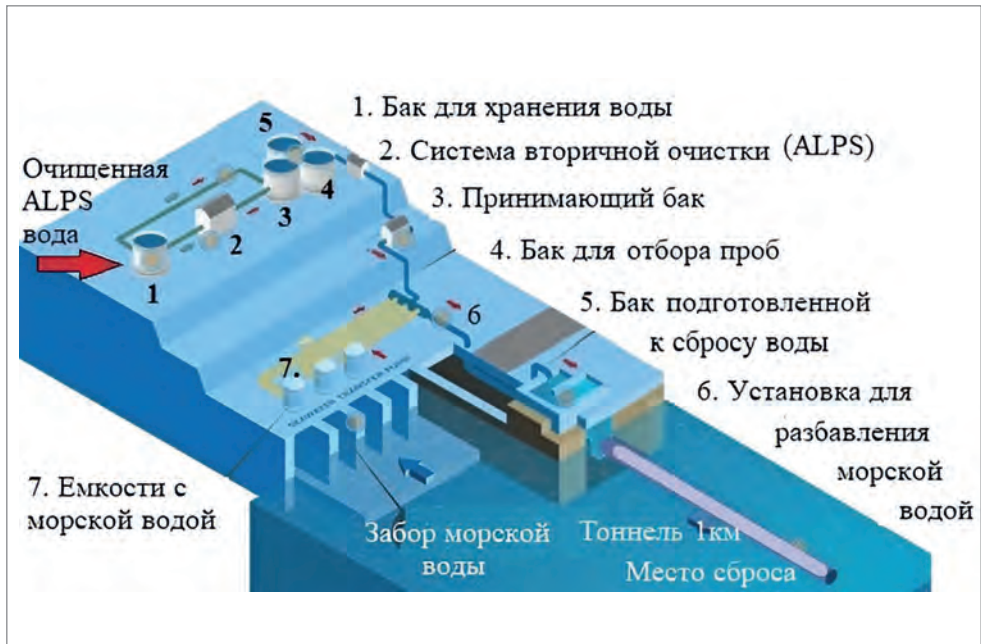


Рис. 19. Упрощенный макет системы сброса тритиевой воды.
 В прибрежной зоне завода работают два насоса для подачи морской воды, которая в коллекторе смешивается с очищенной. Последняя разбавляется в сотни раз перед сбросом

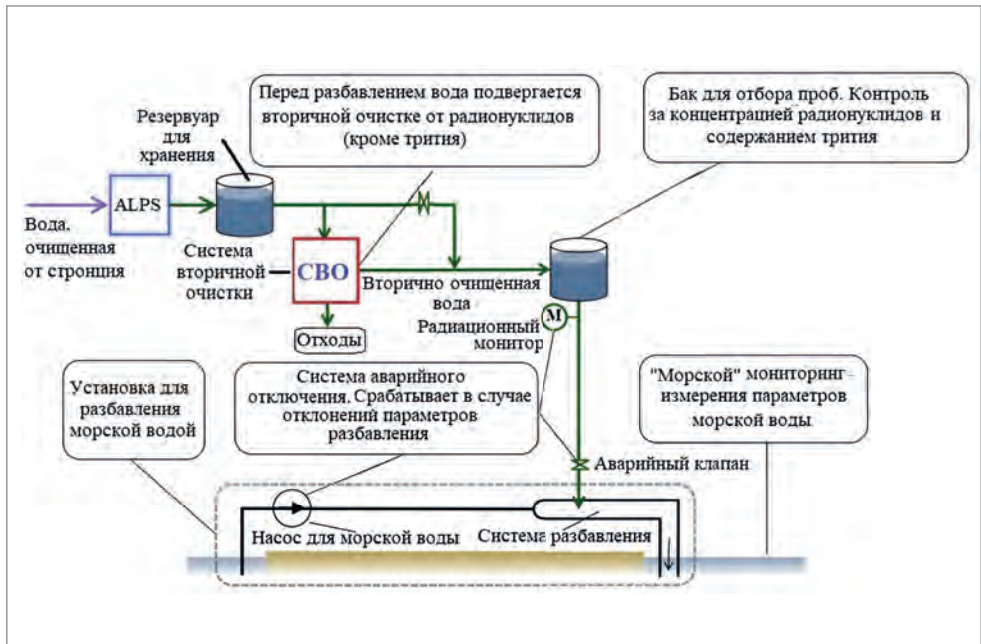


Рис. 20. Схема очистки загрязненной воды и подготовки ее сброса в океан

По сообщению ТЕРСО, к моменту начала сброса только в ~35% баков находилась вода, которая по содержанию суммы радионуклидов, кроме трития, не превышала установленные нормы (рис. 21) и была подготовлена к заливу в тоннель.

Для сброса всей накопленной воды, как считают в ТЕРСО, потребуется 30–40 лет, и этот срок согласуется со сроком вывода F-1 из эксплуатации.

При этом учитываются все факторы. В том числе непрерывающееся поступление загрязненной воды из блоков в систему ALPS и уменьшение активности трития в результате радиоактивного распада. После начала сброса был существенно расширен мониторинг морской воды (за пределами гавани), рыбы и морских водорослей [10].

На рис. 22 представлены результаты измерений активности ^3H в морской воде, проведенных 12 октября 2023 года вблизи F-1. На рис. 23 и 24 пункты мониторинга рыбы и морских водорослей, установленные после начала сброса.

Подробная информация о результатах мониторинга регулярно обновляется на веб-сайте «Информация о морском мониторинге очищенной воды ALPS».

До настоящего времени (прошел третий сброс) они не вызывают беспокойства. Японское агентство по рыболовству заявило, что анализы рыбы, добытой вблизи станции, не выявили никаких отклонений.

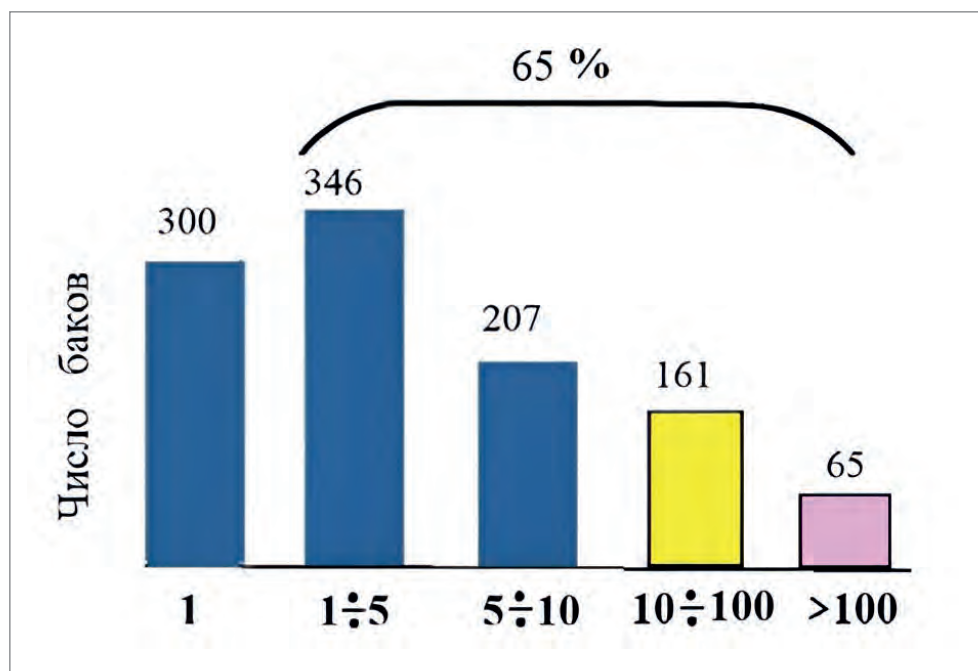


Рис. 21. Число баков, содержащих загрязненную воду.
Цифры внизу означают степень загрязнения воды радионуклидами по отношению к установленным нормам¹

¹ ТЕРСО использует упрощенный индекс, который соответствует сумме коэффициентов концентрации каждого радиоактивного нуклида (за исключением трития) по сравнению с нормативными стандартами. Если это соотношение ниже единицы, это означает, что концентрация других радионуклидов ниже нормативных стандартов.

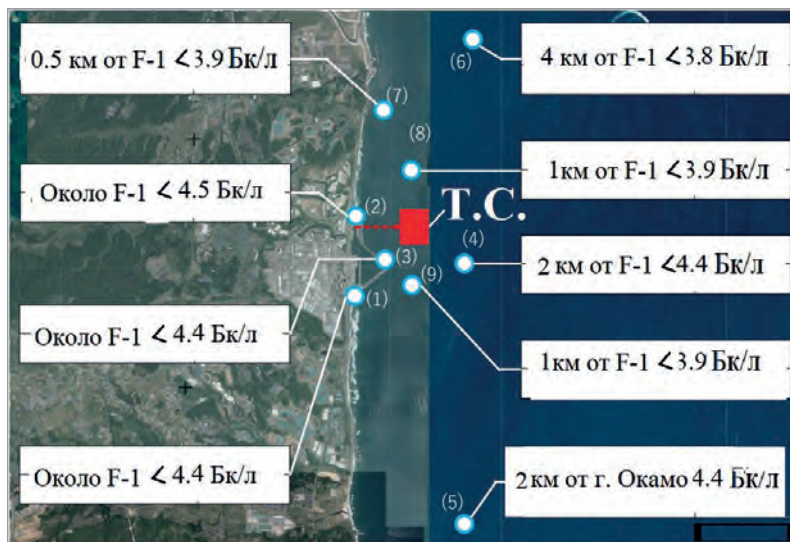


Рис. 22. Результаты мониторинга морской воды на активность ^3H , проведенного 12 октября 2023 года в окрестностях F-1. Т.С. – точка сброса

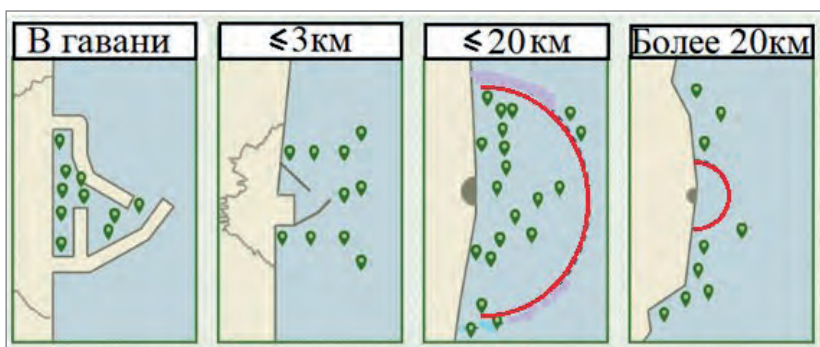


Рис. 23. Пункты мониторинга воды, установленные после начала сброса

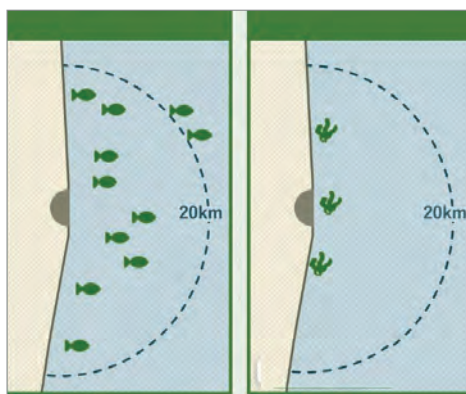


Рис. 24. Пункты мониторинга рыбы и морских водорослей, установленные после начала сброса

8. РАЗРЕШЕНИЕ МАГАТЭ

После аварии, произошедшей на F-1, Япония самым тесным образом сотрудничала с МАГАТЭ по всем вопросам, касающимся ликвидации последствий аварии. Это касалось и обращения с загрязненной водой.

Результатом совместной работы стал доклад, официально представленный генеральным директором Рафаэлем Мариано Гросси премьер-министру Японии Фумио Кисиде в июле 2023 года (рис. 25) [11].

Главный вывод, сделанный в этом документе:

«МАГАТЭ отмечает, что контролируемый постепенный сброс очищенной воды в море, который в настоящее время планируется и оценивается ТЕРСО, окажет незначительное радиологическое воздействие на людей и окружающую среду».

Генеральный директор МАГАТЭ Рафаэль Гросси также обещал, что сопровождение МАГАТЭ будет продолжаться не только на этапе сброса, но и после него. Это обеспечит выполнение международных стандартов безопасности на протяжении всего многолетнего процесса.

Доклад являлся результатом почти двухлетней работы Целевой группы МАГАТЭ (рис. 26). В ее состав входили сотрудники из всех департаментов и лабораторий Агентства, а также 11 специалистов из различных стран. Они рассмотрели планы Японии и их соответствие стандартам безопасности.

Целевая группа опубликовала шесть технических отчетов и много раз встречалась с официальными лицами правительства, руководства и сотрудниками ТЕРСО. На F-1 был создан действующий на постоянной основе офис МАГАТЭ. Он «должен предоставлять международному сообществу данные о проводимой операции в режиме реального времени».

Оценивая программу экологического мониторинга, предложенную ТЕРСО, Агентство отметило, что она «является современной, достаточно подробной и

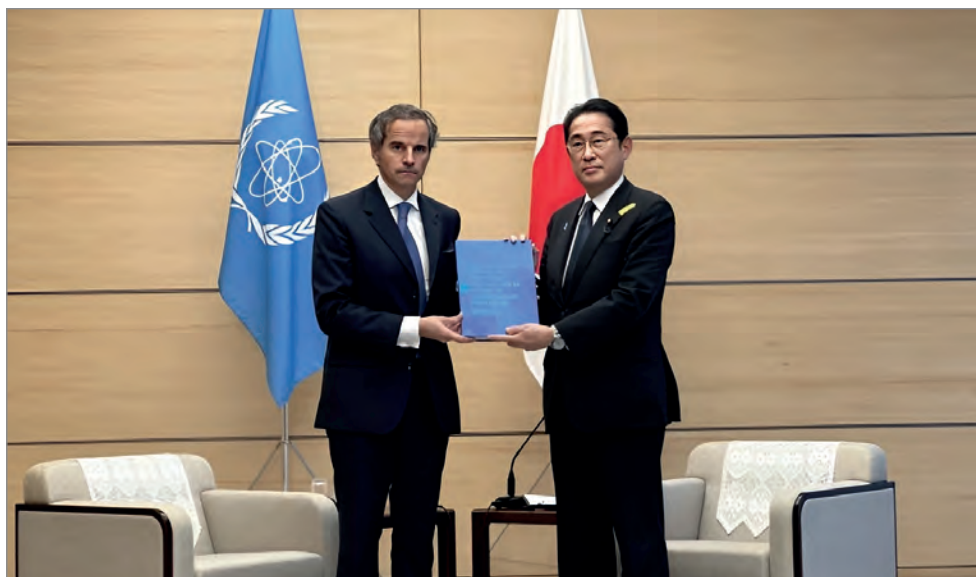


Рис. 25. Генеральный директор МАГАТЭ Р. Гросси и премьер-министр Японии Ф. Кисидой после подписания соглашения о сотрудничестве по контролю за сбросом воды на F-1



Рис. 26. Группа специалистов МАГАТЭ на площадке F-1



Рис. 27. Отдел лабораторий МАГАТЭ по охране морской среды (NAML). В его состав входят три лаборатории. Они обладают всеми необходимыми методиками для обнаружения загрязнения морской воды и ее обитателей радиоактивными изотопами

способна собирать все необходимые данные и отслеживать воздействие выбросов на окружающую среду».

Для проверки полученных данных в Агенстве существует специальный отдел (рис. 27).

9. РЕАКЦИЯ ЯПОНСКОГО ОБЩЕСТВА НА РЕШЕНИЕ О СБРОСЕ

Время от момента принятия Правительством Японии решения о сбросе (апрель 2021 года) до его реализации (август 2023 года) было использовано ТЕРСО для разъяснительной работы о безопасности этой операции.

Для понимания того, как относятся в Японии к этим планам, в конце 2020 года был произведен опрос населения (рис. 27), который показал, что большинство не поддерживает планируемый сброс загрязненной воды в океан. По прошествии 2 лет постоянных разъяснений ТЕРСО, научных и правительственных организаций Японии в марте 2023 года повторный опрос японской газеты Asahi Shimbun daily показал, что 51% из более чем 1300 респондентов поддерживают план, в то время как 41% выступили против него. Как мы видим, проделанная работа не дала значительных результатов.

Особую позицию в этом вопросе заняли члены рыболовецких артелей. Дело в том, что прибрежная зона префектуры Фукусима, расположенная на слиянии холодного и теплого течений, отличается богатым разнообразием морской жизни и большой привлекательностью для рыболовства.

Сразу после аварии на F-1 ловля рыбы у берегов Фукусимы была прекращена в целях обеспечения безопасности пищевых продуктов. В течение нескольких следующих лет проводился только так называемый «ограниченный пробный промысел», в ходе которого выяснялась степень загрязненности морепродуктов. К 2017 году продукция улова уже соответствовала нормам радиационной безопасности, однако его объем составил всего ~13% от прежнего. Причина заключалась, прежде всего, в том, что авария подорвала доверие потребителей и дистрибьюторов к реальной безопасности рыбной продукции, добываемой у берегов Фукусимы. Процесс восстановления разорванных связей проходил медленно, но постепенно объем востребованной добычи возрастал. Согласно официальной статистике, общий улов у побережья Фукусимы в 2022 году составил 5525 тонн на сумму около 3,5 миллиарда иен (26 миллионов долларов). Что составляет около 20% по объему и 40% по стоимости по сравнению с урожаями до катастрофы. И тут возникли разговоры о том, что загрязненную радионуклидами воду могут сбросить в океан недалеко от F-1. Предложение сначала высказывали специалисты, а позднее оно стало обсуждаться в печати. Рыбаков Фукусимы успокаивало только то, что еще в 2015 году ТЕРСО и правительство Японии взяли на себя обязательство в отношении загрязненной тритием воды перед Федерацией рыболовецких кооперативов префектуры Фукусима, пообещав, что «будут предприняты необходимые действия, такие как тщательные разъяснения соответствующим сторонам, в том числе связанным с рыболовством, и никакая утилизация не будет производиться без этого процесса и понимания соответствующих сторон» (см. «Обращение, представленное премьер-министру и министру экономики, торговли и промышленности 30 августа [13]).

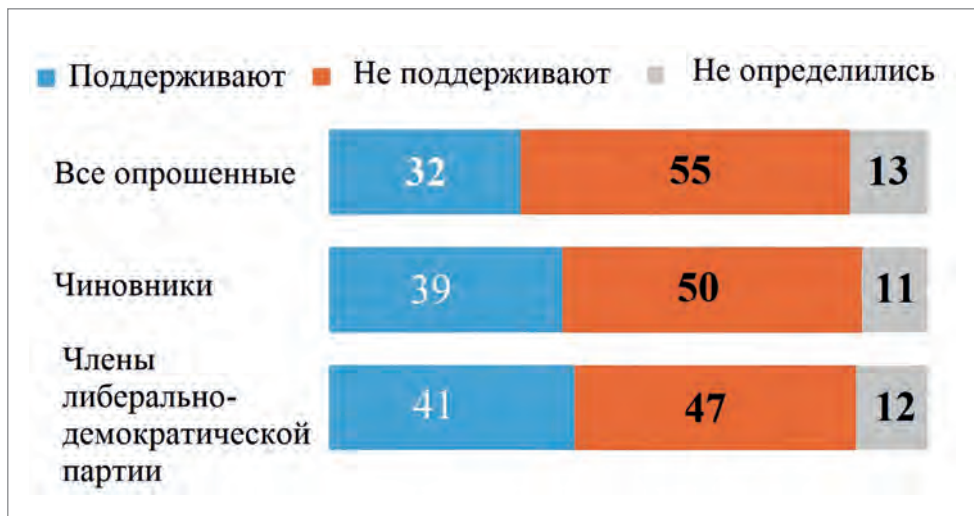


Рис. 28. Результаты опроса населения Японии о возможности сброса загрязненной воды в океан (конец 2020 года). Даже члены правящей либерально-демократической партии не поддержали ТЕРСО [12]

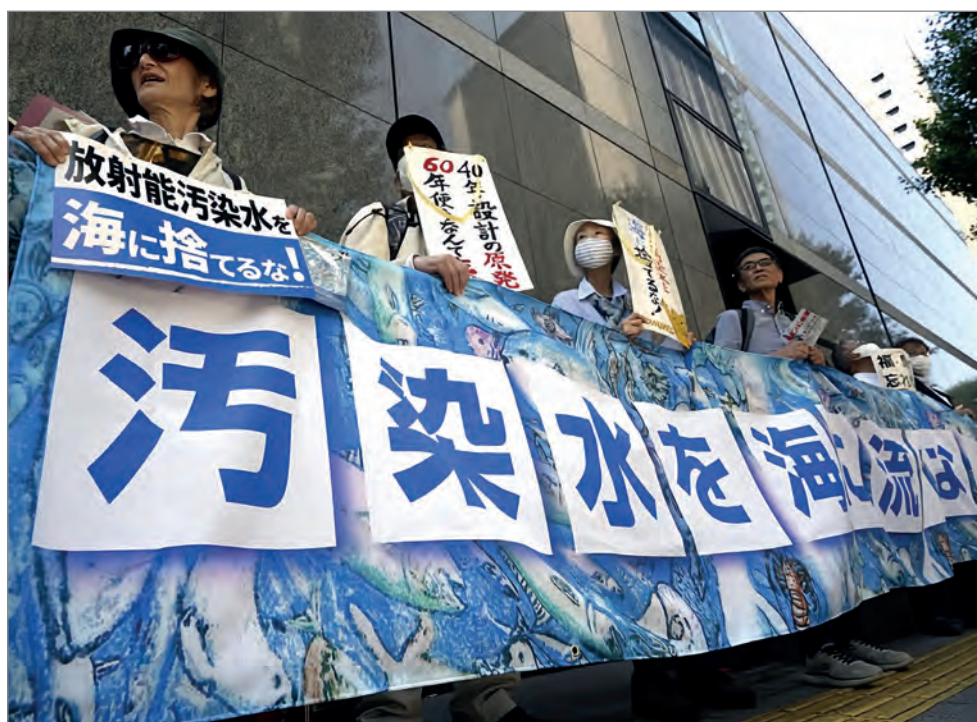


Рис. 29. Протестующие держат плакат с надписью: «Не сбрасывайте загрязненную воду в море!» возле штаб-квартиры ТЕРСО в Токио, 16 мая 2023 года

На самом деле обещание выполнено не было¹. Только за 6 дней до окончательного решения (7 апреля 2021 года) премьер-министр Суга Ёсихидэ встретился с председателями Японских рыболовных кооперативов префектуры Фукусима, чтобы запросить их поддержку для сброса. Хотя ему не удалось получить согласие, он заявил, что все равно Правительство примет решение о таком способе утилизации воды. После совещания газеты приводили слова председателя ассоциации профсоюзов рыбаков Фукусимы: «Сообщение правительства о том, что вода безопасна, не доходит до общественности, это огромная проблема. Торговые партнеры предупредили, что не смогут продавать нашу продукцию, а потребители заявили, что перестанут есть морепродукты Фукусимы, если вода будет спущена. Наши усилия за последнее десятилетие по восстановлению рыбной промышленности пропали даром»².

Поэтому протесты продолжались (см. рис. 29).

10. РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВОДЫ ФУКУСИМЫ В ОКЕАНЕ И РЕАКЦИЯ СТРАН НА РЕШЕНИЕ О СБРОСЕ

После заявления японского правительства о готовящемся в августе 2023 года сливе загрязненной тритием воды в океан десятки стран высказали свое отношение к этой операции (рис. 30, 31). При этом диапазон высказываний простирался от понимания и согласия до резких возражений и угроз обратиться в международный суд³. Все это происходило несмотря на то, что Япония почти два года проводила предварительную подготовку, а с начала 2023 года приступила к очень активным «мерам по завоеванию международного общественного мнения».

Беспокойство стран вызывали две причины. Во-первых, они опасались, что морские течения принесут к их берегам загрязненную тритием воду и морских обитателей.

Во-вторых, те страны, которые закупали в Японии рыбу и морепродукты, беспокоились о здоровье своих жителей.

Тем не менее существует механизм переноса загрязненной воды на северо-восток от Фукусимы. Он связан с отделением от основного течения теплых вихрей, которые захватывают большой объем воды теплого течения. Такие мощные вихри образуются, например, в результате столкновения более тепло-

¹ В то же время правительство учредило комитет, состоящий из экспертов из местного университета, для обсуждения технических вариантов и в течение нескольких лет проводило встречи с местными жителями, чтобы укрепить доверие к решениям специалистов.

² В результате протестов ТЕРСО инициировала процедуру выплаты компенсации местным предприятиям рыбной промышленности, репутации и деятельности которых был нанесен ущерб в результате выброса в океан воды с F-1. Позднее Правительство выделило 80 миллиардов иен (550 миллионов долларов) на поддержку рыболовства и на борьбу с ущербом репутации, спонсируя кампании Фукусимы. Однако для того, чтобы воспользоваться компенсацией, надо преодолеть сложные бюрократические процедуры.

³ Многие правительства выразили обеспокоенность, в том числе Кореи, Тайваня, Китая, России, Германии, Филиппин, Новой Зеландии, Белиза, Коста-Рики, Доминиканской Республики, Сальвадора, Гватемалы, Гондураса, Никарагуа, Панама и Мексики.



Рис. 30. F-1 в последнее утро перед началом сброса воды в океан — 23 августа 2023 года

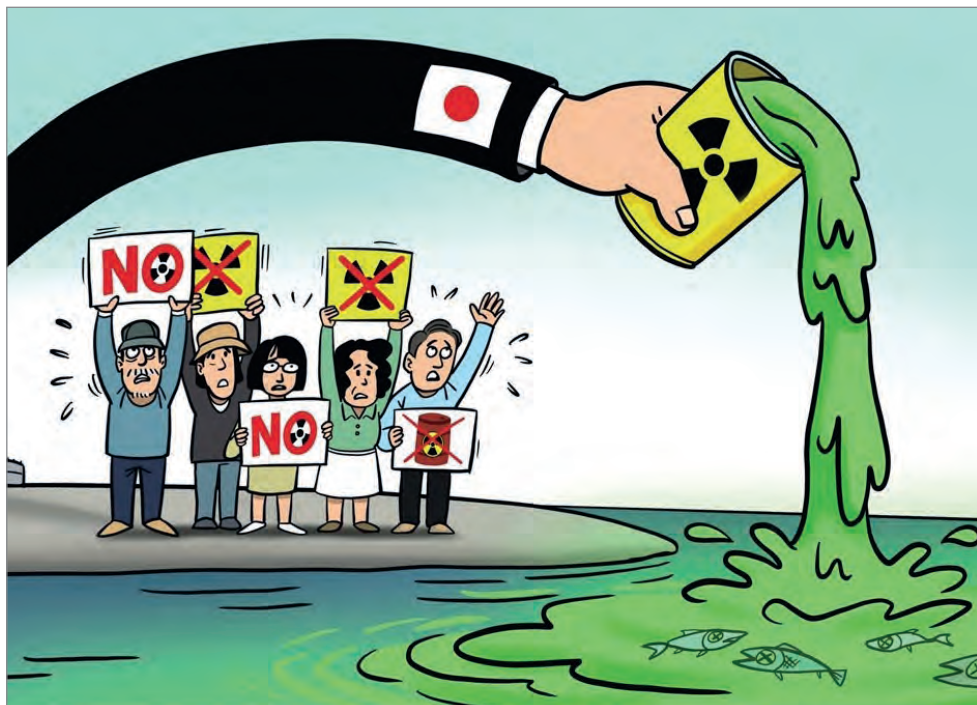


Рис. 31. Реакция стран на сброс воды Японией (карикатура в Global Times)

го Куроисио и более холодного Оясио. Диаметр вихрей простирается от десятков до сотен километров, а захваченная ими вода до глубины 200–300 м.

Многие из этих вихрей способны переносить радионуклиды на большие расстояния с высокой концентрацией и низким рассеянием. В результате небольшая часть активности из Фукусимы может попасть к берегам Кореи, Китая, Курильских островов.

Рассчитать траекторию загрязненной воды в мировом океане, время достижения ею берегов, концентрацию в воде ^3H , сброшенного F-1, — достаточно трудная задача. Попытки решить ее были сделаны в ряде работ уже после решения о сбросе. Например, в [15] были получены оценки времени распространения воды Фукусимы в бассейне Тихого океана (рис. 33).

Расчеты показывают, что за продолжительное время, пока вода Фукусимы перемещается в течениях, произойдет ее разбавление неактивной водой, и при достижении берегов она не будет представлять опасности.

Для иллюстрации этого приведем результаты расчетов, выполненных в национальном университете Сунь Ятсена (Тайвань) для Куроисио (рис. 34).

В свою очередь, оценки, сделанные корейскими учеными, показали, что концентрация трития, поступающего в воды Чеджудо (самый большой остров Южной Кореи), составит всего ~0,001 Бк на кубический метр воды через 10 лет после начала сброса вод Фукусимы.

Что касается прихода загрязненной тритием воды к берегам Российской Федерации, то можно сослаться на результаты расчетов, проведенных в Дальневосточном отделении РАН. Они говорят о том, что, по данным проведенного моделирования за 12 лет, ни в Японское, ни в Охотское моря угрозы проникновения этой воды нет [17].



Рис. 32 (см. [14]). Схема основных морских течений, по которым может распространяться загрязненная вода от F-1. Обозначения течений: 1 — Оясио, 2 — Северо-тихоокеанское, 3 — Калифорнийское, 4 — Северно-пассатное, 5 — Куроисио, 6 — Желтого моря, 7 — Цусимское (Японское море)

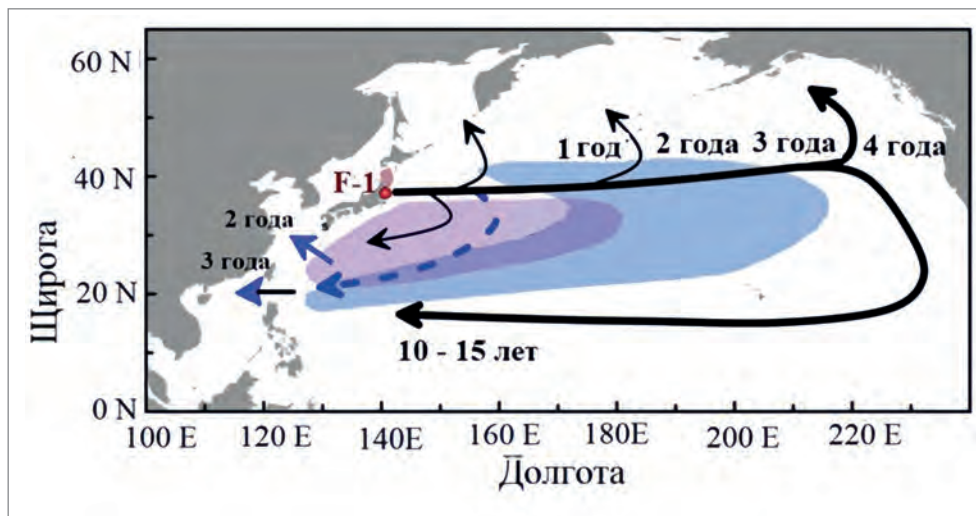


Рис. 33. Время распространения воды от Фукусимы в северной части Тихого океана. Цветом обозначены температурные области в воде

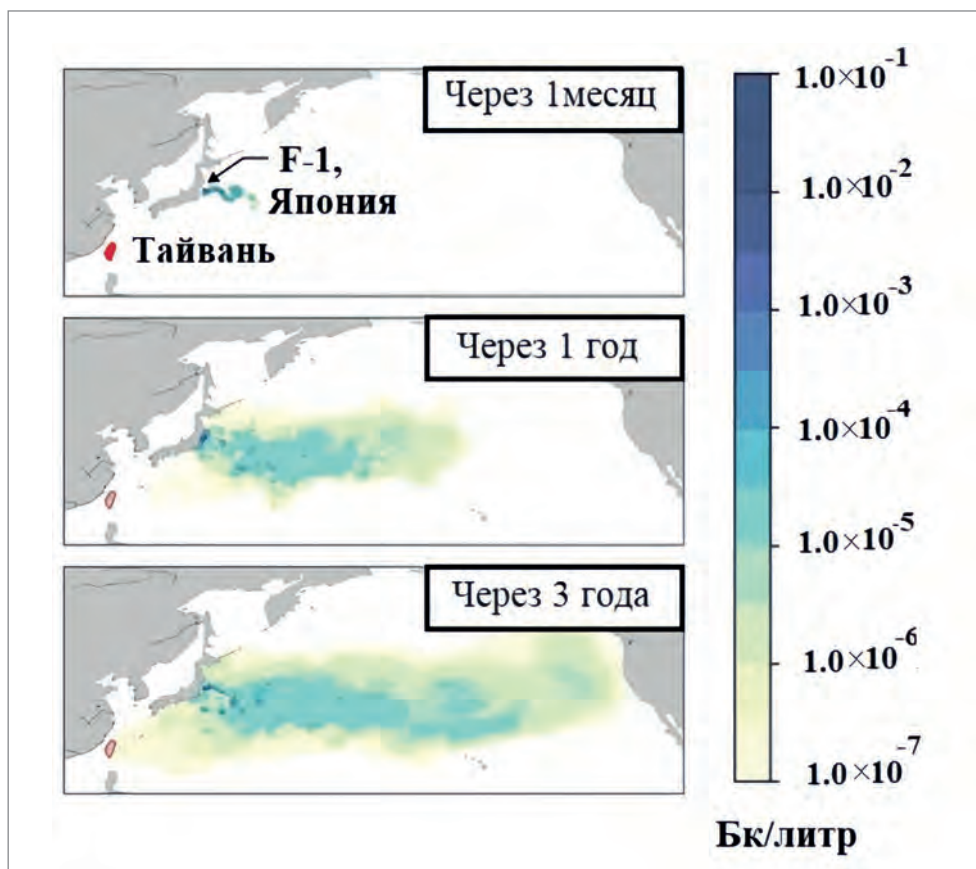


Рис. 34. Распространение тритиевой воды от F-1 по течению Куроиси и изменение концентрации ^3H в зависимости от времени после сброса [16]

Тем не менее, как уже говорилось, многие страны высказали свои претензии Правительству Японии.

Из соседей наиболее жесткую позицию занял **Китай**. «Тихий океан — не сточная канава Японии», — заявил на брифинге представитель МИД КНР Чжао Лицзянь.

«Во-первых, если загрязненная вода безопасна, почему Япония не использует ее самостоятельно? Почему вода не используется в сельскохозяйственных или промышленных целях? И почему ее не сбрасывают во внутренние озера?»

Во-вторых, является ли сброс загрязненной воды в море единственным жизнеспособным вариантом?

В-третьих, каковы будут долгосрочные глобальные последствия выброса загрязненной ядерным оружием воды в океан?

«Почему Япония не пытается построить больше резервуаров для хранения воды у себя дома?»

В целом Китай придерживается той точки зрения, что Япония должна ликвидировать последствия аварии, не выходя за собственные границы, пусть это и связано с более значительными расходами.

«Совершенно очевидно, что выбор Японией слива в океан в значительной степени основан на соображении экономических издержек, что является наиболее благоприятным для Японии, но не для соседних с ней стран и других заинтересованных сторон.

Практика Японии ставить свои собственные экономические интересы на первое место несправедлива по отношению к другим странам и международному сообществу» (из письма, переданного в МАГАТЭ 31 июля 2023 года).



Рис. 35. Ежегодный сброс трития предприятиями КНР



Рис. 36. Эффектная демонстрация (десятки лодок) южнокорейских рыбаков против сброса воды Фукусимы в океан

В официальной ноте Правительству Японии КНР заявила, что ждет от Токио консультаций по этому вопросу, детальных разъяснений и надеется на то, что будут приняты все меры к тому, чтобы свести к минимуму возможный ущерб для морской среды.

В результате Китай с 24 августа 2023 года ввел запрет на импорт всех водных продуктов из Японии¹.

Следует отметить, что сброс воды, содержащей только тритий и не загрязненной другими радионуклидами, не должен был беспокоить КНР. В непосредственной близости от Японии находятся четыре предприятия страны, суммарно сбрасывающие в океан в ~20 раз больше ³H, чем предполагаемый сброс F-1 (рис. 35).

Поэтому речь может идти о нарушениях выполнения регламента очистки воды с помощью ALPS и разбавления ее морской водой.

Глава исполнительной власти **Гонконга** Джон Ли назвал сброс «безответственным» и заявил, что город «немедленно активизирует» контроль за импортом японских морепродуктов из регионов, включая столицу Японии Токио и Фукусиму.

Южная Корея поначалу собиралась даже подавать на Японию в международный суд. Проходили многочисленные протестные митинги, в том числе наиболее масштабные — местных рыбаков (рис. 36).

Однако после вмешательства США, которые с самого начала поддерживали японские планы, мнение Правительства Южной Кореи изменилось.

Теперь Сеул заявляет, что не против сброса воды при условии соблюдения норм МАГАТЭ и предоставления необходимой информации.

¹ В 2022 году Япония экспортировала в Китай море продуктов на сумму около 600 миллионов долларов, что сделало его крупнейшим рынком для японского экспорта, а Гонконг — вторым. Согласно правительственным данным, продажи в Китай и Гонконг составили 42% всего японского экспорта морских продуктов в 2022 году.

Тем не менее за месяцы, предшествовавшие началу сброса, более 80% опрошенных южнокорейцев выступили против сброса, а более 60% заявили о намерении избегать употребления морепродуктов после начала сброса.

Тайваньский совет по атомной энергии назвал решение Японии прискорбным, отметив, что законодатели и другие лица на острове выступили против.

На форуме Тихоокеанских островов (Pacific Islands Forum – PIF) 18 их лидеров выразили «серьезную обеспокоенность» по поводу того, что сброс вод Фукусимы несет потенциальные угрозы для здоровья и безопасности людей.

Надо сказать, что у островных государств есть особые причины для беспокойства. В регионе сохранилось пагубное наследие многочисленных ядерных испытаний.

«Необходимо не спешить и еще раз все проверить», – заявили на форуме.

Эксперты PIF предложили рассмотреть возможность использования очищенной ALPS воды при производстве бетона. Японская сторона еще раз объяснила, что тепло, выделяющееся при приготовлении бетонной смеси, приведет к испарению трития, содержащегося в этой воде, в воздух. К тому же приготовленный этим способом бетон в соответствии с национальным законодательством классифицируется как радиоактивные отходы. Поэтому предложение является слишком сложным из-за технических и юридических аспектов.

Достаточно взвешенное решение приняла Россия.

Она рассчитывает, что Япония позволит проводить радиационный мониторинг в тех местах, где будет осуществлен сброс воды с F-1. Об этом заявила официальный представитель МИД РФ Мария Захарова. Она отметила, что среди других недостающих сведений официальная информация, предоставленная Японией, не включает оценку экологических рисков для Тихоокеанского региона¹.

В масс-медиа десятков стран была озвучена целая волна протестов.

Сюда, прежде всего, относятся эмоциональные высказывания, не содержащие сколько-нибудь конкретных аргументов, например: «при любой ситуации выбрасывание радиоактивных отходов в открытую среду является делом аморальным»².

11. РЕАЛЬНЫЕ ОПАСЕНИЯ

Истоки недоверия и опасений, высказываемые по поводу сброса как отдельными людьми, так и организациями вплоть до государств лежат, прежде всего, в отношении к открытости работы ТЕРСО.

Трудности, возникающие при работах по ЛПА, часто замалчивались, или о них становилось известно со значительным опозданием. Японские сайты писали: «Многие ставят под сомнение планы ТЕРСО, потому что существует высокий уровень недоверия к компании после многих лет утечек³, разливов, неисправного оборудования и нарушений норм безопасности» [18].

¹ 16 октября 2023 года в Россельхознадзоре сообщили о присоединении к временным ограничительным мерам, введенным Китаем в отношении импорта рыбы и морепродуктов из Японии. Об этом сообщается на сайте ведомства.

² Директор по программам Российского отделения Greenpeace И. Блоков.

³ Самая крупная после аварии утечка на F-1 (о которой стало известно) произошла в августе 2013 года. Тогда была зафиксирована потеря 300 тонн радиоактивной воды с концентрацией стронция около 80 миллионов беккерелей на литр.

Собственно, такая политика началась непосредственно после аварии. В течение двух месяцев ТЕРСО не сообщала общественности о расплавлении активных зон трех первых реакторов. Этот вопрос изучила независимая комиссия. В ее итоговом докладе говорится, что тогдашний президент компании М. Симидзу приказал своим подчиненным не употреблять фразу «расплавление активной зоны». Впоследствии ТЕРСО принесла за это свои извинения [19].

Приведем наиболее известный пример такой политики.

В течение многих лет компания умалчивала о том, что очищенная ALTS вода, хранящаяся на станции, содержит не только много трития. Только в 2018 году она была вынуждена прямо заявить, что в 70% воды есть такие радионуклиды, как стронций-90, кобальт-60, рутений-106 и многие другие в концентрациях, значительно превышающих допустимые, и вода нуждается во вторичной очистке.

Вместе с тем сброс, который предполагает многолетнее тщательное выполнение сложных операций по очистке, постоянный мониторинг сбрасываемой воды и радиационной ситуации в океане, может проходить только при четком исполнении регламента и максимальной открытости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вывод из предложенного материала достаточно короткий: **принятый регламент сброса тритиевой воды в океан действительно обеспечивает безопасность для окружающей среды и людей.**

Опасность может представлять только нарушение этого регламента, но это уже вопрос правильной организации работ в течение всего срока сброса.

P.S.

1. «Управление Роспотребнадзора по Приморскому краю не зафиксировало радиационного заражения в местной рыбе на фоне сброса воды с АЭС «Фукусима-1». В ведомстве уточнили, что речь идет о рыбе из любой части Тихого океана, а также об импортируемой из других стран».

(09 ноября 2023 года)

2. «Россия представила в секретариат МАГАТЭ список лабораторий, которые могут быть подключены к анализу проб, которые были отобраны Агентством в районе сброса воды с АЭС Фукусима-1. Агентство подтвердило готовность задействовать российские лаборатории в этих целях начиная с 2024 года». РИА Новости, 22 ноября 2023 года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.А. Боровой, Е.П. Велихов. Чернобыль и Фукусима. Некоторые итоги НИЦ «Курчатовский институт», © НИЦ «Курчатовский институт». М., 2021 – 76 с.
2. Чернобыль и Фукусима. Нерешенные проблемы.
3. W. Dalrymple. The ultimate water treatment system – Nuclear Engineering International.
<https://www.neimagazine.com/features/featurethe-ultimate-water-treatment-system/>
4. The Fukushima Daiichi Nuclear Accident: Current State of Contaminated Water Treatment Issues and Citizens' Reactions.
<https://cnic.jp/english/?p=4219>
5. Backgrounder On Tritium, Radiation Protection Limits, And Drinking Water Standards | NRC.gov.
<https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/tritium-radiation-fs.html>
6. Tritiated Water Task Force Report (June 2016).
https://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/decommissioning/pdf/20160915_01a.pdf
7. James Martin. Better Solution for Fukushima's Contaminated Water.
<https://nonproliferation.org/concrete-alternative-a-better-solution-for-fukushimas-contaminated-water-than-ocean-dumping/>
8. Template:Annual discharge of tritium from nuclear facilities – Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Template:Annual_discharge_of_tritium_from_nuclear_facilities.
9. Fukushima Daiichi Treated Water Release – Advanced Liquid Processing System (ALPS) | IAEA.
<https://www.iaea.org/topics/response/fukushima-daiichi-nuclear-accident/fukushima-daiichi-alps-treated-water-discharge>
10. Sea Area Monitoring Results ,Tokyo Electric Power Company Holdings, Incorporated. <https://www.tepco.co.jp/en/decommission/progress/watertreatment/monitoring/index-e.html>
11. Director General Grossi Meets Pacific Leaders on Fukushima Water Release.
<https://www.iaea.org/newscenter/multimedia/videos/director-general-grossi-meets-pacific-leaders-on-fukushima-water-release>
12. Chart: Japanese Public Largely Opposed to Fukushima Wastewater Release.
<https://www.statista.com/chart/24673/survey-fukushima-contaminated-wastewater-release/>
13. National Federation of Fisheries Cooperative Associations (ZENGYOREN). «Special Resolution on the Policy for Release of Treated ALPS Water into the Ocean» June 22, 2023.
Don't Release Contaminated Water into the Ocean!
14. G. Chen, Q. Wang, X. Chu. Accelerated spread of Fukushima's waste water by ocean circulation.
<https://doi.org/10.1016/j.xinn.2021.100119>

15. Ch. Zhao, M. Zhand, G. Wang . Ch-NC-ND license Transport and dispersion of tritium from the radioactive water of the Fukushima Daiichi nuclear plant. January 2021. Marine Pollution Bulletin 169:112515.
16. Japan's release of treated Fukushima wastewater – Focus Taiwan.
<https://focustaiwan.tw/society/202308280024>
17. Ученые рассчитали вероятность прихода радиоактивной воды с Фукусимы в Охотское море.
<https://magadanpravda.ru/lenta-novostej/o-glavnom/uchenye-rasschitali-veroyatnost-prikhoda-radioaktivnoj-vody-s-fukusimy-v-okhotskoe-more>
18. The toxic water at Japan's Fukushima nuclear plant. Posted On April 17, 2021
Author Earth Newspaper.com Comment.
<https://www.aljazeera.com/news/2021/4/13/explainer-the-toxic-water-at-japans-fukushima-nuclear-plant>
19. ТЕРСО призналась, что скрывала информацию о мелтдаунах на «Фукусиме» // Атомная энергия. Новости от 23 июня 2016 года.
<https://www.atomic-energy.ru/news/2016/06/23/66948>

© НИЦ «Курчатовский институт»

