

Нужно ли бояться «фукусимского трития»?

Ответим сразу - нет, или более осторожно, пока нет. А морепродукты есть можно без всяких сомнений. Исследования радиоэкологического состояния морских акваторий Дальнего Востока, включая район к востоку от Японии, проведенные лабораторией ядерной океанологии Тихоокеанского океанологического института в 2022-2024 гг. показывают, что уровень содержания трития в морской воде не представляет угрозы. Он близок к естественному фону и составляет около 1 тритиевой единицы (ТЕ=0.12 Бк/л), в то время как норма радиационной безопасности (НРБ) варьирует от 7700 (Россия) до 10000 (ВОЗ) Бк/л (или 64.2-83.3 тысяч ТЕ). Таким образом, зарегистрированное сейчас в океане среднее содержание трития в десятки тысяч раз ниже, чем допустимая норма. Поэтому это не должно вызывать тревоги.

Содержание трития в дальневосточных морях до начала слива накопленных вод на АЭС «Фукусима-1» было определено по результатам, полученные экспедиций ТОИ ДВО РАН в 2022-2023 гг. (рис. 1). На акватории Японского и Охотского морей и в Тихом океане концентрации трития изменяются от 0.2 до 1.6 ТЕ, за исключением одной пробы взятой в устье реки Камчатка, где эта величина возросла до 3.7 ТЕ. Это не удивительно, т.к. на суше трития больше, чем в океане, куда он попадает с речным стоком и осадками.

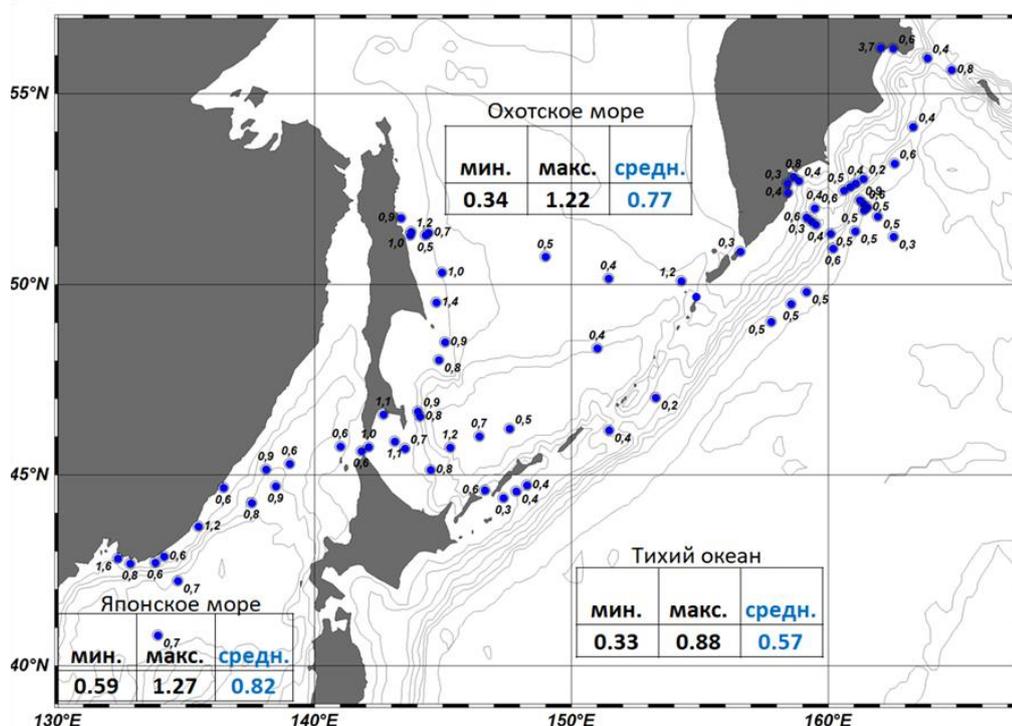


Рисунок 1 – Содержание трития в поверхностных водах по данным экспедиций ТОИ ДВО РАН на НИС «Академик Опарин» в декабре 2022 г. (рейс №65) и в августе-сентябре 2023 г. (рейс №68) (В.А. Горячев)

Действительно, карта показывает повышенное содержание трития вблизи побережья (1.0-1.6 ТЕ), где влияние речного стока более заметно. Наименьшее содержание отмечается в океане к востоку от Курильских о-вов и Камчатки (0.2-0.6 ТЕ), где сток с

суши минимален. В среднем по исследованному району содержание трития составляет 0.57 ТЕ в Тихом океане, 0.77 ТЕ в Охотском море и 0.82 ТЕ в Японском (0.068, 0.093 и 0.098 Бк/л соответственно).

Содержание трития после начавшихся сливов исследовалось в экспедиции на НИС «Академик Опарин» в июне-июле 2024 г. (рейс №71). Отбор проб был выполнен в Японском и Охотском морях и на акватории Тихого океана к востоку от Японии, от восточного побережья о. Сахалин на севере через основную ветвь течения Куроисио до субтропических вод на юге (рис. 2).

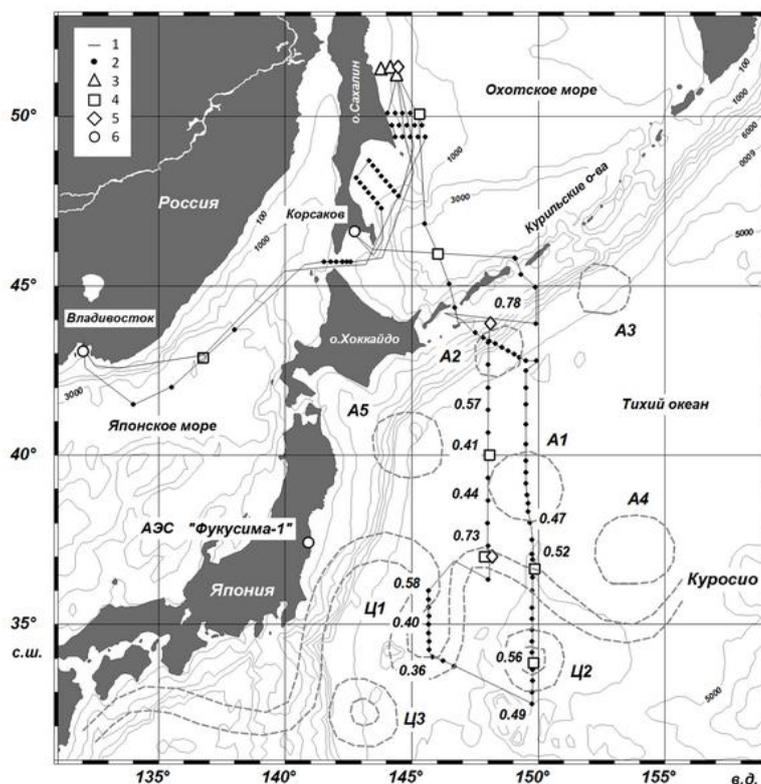


Рисунок 2 - Схема работ экспедиции ТОИ ДВО РАН на НИС «Академик Опарин» (рейс №71) в июне-июле 2024 г. Цифрами указано содержание трития (в тритиевых единицах) по результатам анализа первых проб поверхностных вод. Пунктиром обозначены границы течения Куроисио, циклонических (Ц1-3) и антициклонических (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.А. Горячев, В.Б. Лобанов, А.Ф. Сергеев)

За полтора месяца работы обследована основная ветвь Куроисио, отделяющиеся от нее на юг и на север крупные вихревые образования, и район взаимодействия течений Куроисио и Ойясио, представляющий наибольший интерес с точки зрения безопасности российской рыболовной зоны около Курильских островов. Чтобы найти в океане «фукусимский тритий» использовали результаты расчета переноса вод течениями, выполняемые сотрудниками лаборатории нелинейной динамики института по ежедневной спутниковой информации, и оперативно передаваемые на судно.

В экспедиции работали представители НИЦ «Курчатовский институт», Сахалинского и Севастопольского университетов, студенты Дальневосточного и Санкт-Петербургского университетов.

Собрано и подготовлено для последующего анализа более 120 тонн проб морской воды, не только с поверхности океана, но и различных глубин. Кроме трития, будет сделана оценка содержания и других радиоизотопов – цезия, стронция, бериллия, радия, свинца. Взяты пробы планктона и морской биоты.

Прямые измерения радионуклидов в океанской воде, выполненные сотрудниками «Курчатовского института» с помощью высокоточных гамма-спектрометров, показали, что содержания изотопа цезия-137 в океане в концентрациях более 10 Бк/л не обнаружено, что не превышает безопасную норму для питьевой воды (11 Бк/л). Лабораторный анализ первых проб подтвердил, что содержание цезия-137 в океане было около 0.1 мили Бк/л. Т.е. значительно меньше допустимой нормы и в 1000-10000 раз меньше наблюдавшихся нами в 2012 г., через год после аварии на АЭС.

Анализы первых 12 проб на содержание трития в поверхностном слое океана показали, что к востоку от Японии в зоне от Южных Курил на севере (44° с.ш.) до субтропических вод на юге (33° с.ш.) его содержание изменяется от 0.40 до 0.78 ТЕ. При этом наибольшие значения обнаружены в основной ветви Куро시오 (36° с.ш.) и около Южных Курил. Это несколько повышенные концентрации, но практически близкие к естественному фону и не должны вызывать опасений.

Пути переноса вод от АЭС «Фукусима-1» исследуются в лаборатории нелинейных динамических систем ТОИ ДВО РАН с использованием лагранжева метода и оперативной спутниковой информации. По данным спутниковых альтиметрических измерений рассчитывается поле морских течений на каждый день, а затем определяются траектории частиц воды. Такие модельные расчеты для частиц воды, «выпущенных» в районе АЭС «Фукусима-1» в период первого слива в конце августа 2023 г. и в период пятого слива в апреле 2024 г. приведены на рис. 3. Красным и синим цветом соответственно показано, куда переместятся частицы воды из района АЭС «Фукусима-1» к 20 июня 2024 г. Эти карты позволяют объяснить различие в концентрациях трития, обнаруженное в ходе экспедиции.

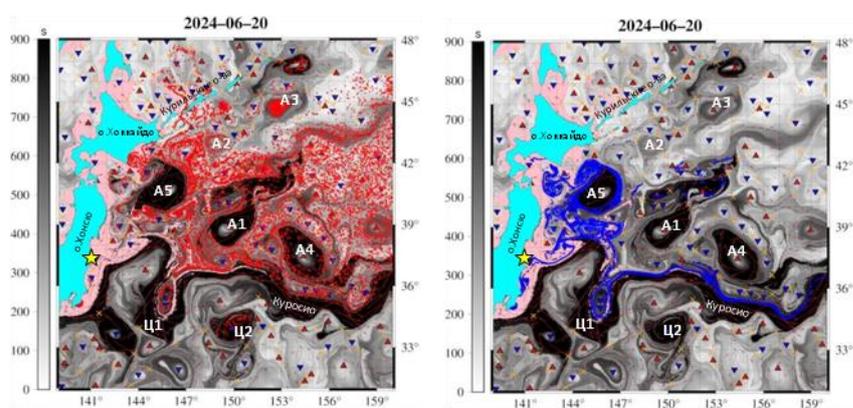


Рисунок 3 – Перенос частиц воды от района АЭС «Фукусима-1» к 20.06.2024 г. после первого слива в конце августа 2023 г. (слева) и после пятого слива в апреле 2024 г. (справа). Желтой звездой показано положение АЭС «Фукусима-1». А1-5 – теплые антициклонические вихри, Ц1-2 – холодные циклонические вихри (М.В. Будянский)

Рисунок 2 демонстрирует путь проделанный частицами воды. Чем темнее тон изображения, тем путь больше. Это означает, что частицы двигались с большей скоростью. Поэтому течение Куроисио, а также быстро вращающиеся вихри имеют черный тон окраски. Медленное течение Ойясио выглядит как светлая область в северо-восточной части района.

Течение Куроисио, мощное струйное течение, берущее свое начало около Тайваня, проходящее вдоль о-вов Рюкю, к югу от о. Хонсю, и уходящее на восток от Японии, изгибается в форме петель, называемых меандрами, и захватывает воду из района АЭС «Фукусима-1». На правом рисунке, отражающем перенос вод сравнительно недавнего слива (апрель 2024 г.) видно, что полоса синих маркеров увлекается вдоль основной струи Куроисио на восток. Другая часть вод захватывается недавно отделившимся от Куроисио теплым вихрем А5 к югу от о. Хонсю и концентрируется на его периферии. Теплые вихри формируются к северу от течения, а к югу от него формируются холодные вихри, которые также захватывают воду и переносят ее на юг в субтропические районы. Например видно, как часть синих маркеров проникает внутрь отделяющегося от Куроисио вихря Ц1.

Вихри существуют длительное время, от нескольких недель, до нескольких лет, и перемещаются на значительные расстояния. Например, в теплом вихре А3 заметна повышенная концентрация красных маркеров. За минувший год этот вихрь двигался от о. Хоккайдо до центральной части Курильского архипелага, перенося захваченную воду.

Расчеты показывают, что в результате взаимодействия ветвей Куроисио и Ойясио, вихрей и струйных затяжек красные маркеры, выпущенные в августе 2023 г довольно равномерно распределяются в зоне смещения. Но их практически нет в основной струе Куроисио, т.к. это свежая вода, пришедшая с юга, а также их нет в областях сравнительно «молодых» вихрей А1, А4 и А5, отделившихся от Куроисио в апреле-июне. Но будучи захвачены «старыми» вихрями, такими как, например А3, они могут быть вынесены далеко на северо-восток. На карте для первого слива также заметно, что красные маркеры поступают через Курильские проливы в Охотское море.

Однако следует понимать, что это расчет переноса частиц воды, а не содержание трития, или других изотопов. Для оценки их содержания необходимо отобрать в океане и проанализировать пробы воды.

Чем опасен тритий? Тритий — это радиоактивный изотоп водорода (^3H). Он входит в состав молекулы. По происхождению он может быть космогенным и техногенным. Первый образуется при взаимодействии космических лучей с атомами атмосферного азота в нижней стратосфере, затем, взаимодействуя с кислородом, формирует молекулу воды и с осадками выпадает на сушу и в океан. Но в океане он сильно разбавляется. Поэтому в водах суши и, особенно, в дожде трития значительно больше, до 5-10 ТЕ. Но это в десятки тысяч раз меньше нормы безопасности. В среднем естественный уровень содержания трития на суше - 1-5 ТЕ. Период его полураспада около 12.3 лет. Поэтому в воде из глубоких скважин, которая была изолирована от поверхности многие десятилетия, трития значительно меньше.

Техногенный тритий попал в атмосферу при испытаниях ядерного оружия (атомных и водородных бомб) в конце 1950-х – начале 1960-х годов, пока они не были запрещены в 1963 году Московским договором. Тогда концентрации трития в атмосфере возросли более чем в тысячу раз, а в океане — в два-три раза. Такая разница объясняется значительно большим объемом воды океана в сравнении с объемом атмосферной влаги, а также быстрым перемешиванием в толще вод и переносом через океанские круговороты.

Только через 60 лет, к началу 2020-х годов, содержание трития в океане вернулось

к «добомбовому уровню». Это подтверждается исследованиями ТОИ, а также данными других авторов и МАГАТЭ. Сейчас содержание трития в открытом океане составляет около 0.5-1.0 ТЕ, а в прибрежной зоне - до 1.5 ТЕ. Но работа атомных электростанций, расположенных на побережье, является дополнительным источником поступления трития.

Как всякий радиоактивный изотоп тритий может вызывать нарушения в организме человека. Но только при достаточно высоких концентрациях. Кроме того, он обладает низкой проникающей способностью и наносит вред только тогда, когда попадает внутрь организма, например, с водой или атмосферной влагой. Существуют нормы радиационной безопасности (НРБ). Для трития НРБ Всемирной организации здравоохранения составляет 10000 Бк/л; норма, принятая в России — 7700 Бк/л (83.3 и 64.2 тысяч ТЕ соответственно).

Опасны ли морепродукты? Может ли тритий накапливаться в морской биоте? Эти вопросы волнуют многих, ведь, кажется, что даже при незначительных концентрациях трития в открытом океане рыбы, кальмары и другие объекты морского промысла могут накопить его, находясь в непосредственной близости то АЭС, где концентрация должна быть значительно выше, чем в российских водах, а затем переместиться в нашу зону.

Действительно, тритий может аккумулироваться в морских организмах. Но в отличие от некоторых искусственных радиоизотопов, таких как цезий или стронций, которые накапливаются в мышцах и костях, и сохраняются там длительное время, механизмы сорбции трития пока слабо изучены. Исследования влияния трития на водные организмы проводил, например, Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана Роспотребнадзора. Они показали, что накопление возможно через переход атомов водорода в органические соединения, присутствующие в организме. Но при воздействии уровнем 500 Бк/л каких-либо эффектов в рыбах и моллюсках не отмечалось. Даже при уровне 5000-50000 Бк/л тритий быстро выводился из организма. Напомним, что максимальное содержание трития, измеренное к востоку от Японии в июне-июле 2024 г, было 0.78 ТЕ или 0.09 Бк/л, а ожидаемое у оголовка сливной трубы АЭС «Фукусима-1» - 1000 Бк/л.

Даже если рыба получит всю возможную дозу трития около слива, то он вскоре выйдет из ее организма. Но наиболее ценные виды рыб, лососевые нагуливаются далеко от Фукусимы на огромных просторах Тихого океана, где концентрации трития ничтожно малы. Кроме того, зона вблизи АЭС огорожена защитными сетками, чтобы исключить попадание донных рыб, обитающих в том месте. Ну и наконец, качество морских продуктов контролирует Роспотребнадзор, который проводит тщательный и регулярный мониторинг в портах дальнего Востока, и пока никаких тревожных сигналов не поступало.

По результатам исследований радиоцезия в рыбах, кальмарах и планктоне в районах традиционного российского промысла у Курильских островов, проведенных ТОИ ДВО РАН после аварии на АЭС в 2012 году, было установлено, что содержание радиоизотопов в тканях морских организмов повышено, но составляет всего лишь 1-10 Бк/кг, что примерно в тысячу раз меньше нормы радиационной безопасности. То есть даже после попадания в океан неочищенной воды, аварийно использованной для охлаждения реактора в марте 2011 года, морепродукты в российских водах были вполне безопасными.

Могут ли быть загрязнены донные отложения в результате продолжительного слива воды с АЭС? Да, радионуклиды могут накапливаться в осадках, что и произошло сразу после аварии на АЭС Фукусима-1» в 2011 г. Например, цезий и стронций сорбируются на взвеси и оседают на дно. Затем они покрываются слоем новых уже

чистых осадков. Тем самым радиация захоранивается в донных отложениях и очищается морская вода.

Тритий входит в состав молекул воды, которая может попадать в поровые воды донных отложений. Однако накапливаться в них он не может. Концентрация в поровых водах не превысит концентрацию в морской воде, т.к. происходит быстрый водообмен.

Накопленная вода на АЭС «Фукусима-1» была собрана из разных источников. Это вода, которая использовалась для охлаждения реакторов сразу после аварии, вода, которая попала на станцию с заплеском цунами, а также загрязненные радионуклидами грунтовые воды. Все это было собрано в специальные емкости и составило, в общем, около одного миллиона двухсот тысяч тонн. Хранить далее эту воду негде, да и опасно, если случится новое землетрясение. Поэтому она была очищена от всех имевшихся радиоизотопов, в том числе наиболее опасных, таких как цезий, стронций и кобальт с длительным периодом полураспада. Очистить от трития воду практически невозможно.

Сброс в океан запланирован на протяжении 30 лет, где она должна перемешаться с огромным объемом океанских вод и не оставить следа. Сброс будет проходить порциями по 5-8 тысяч тонн. Возможно, вблизи места слива концентрация трития в океане будет повышенной. Но на расстоянии 100, а тем более 1000 км в результате смешения с океанскими водами она будет незначительной. Даже после значительно более серьезного поступления радионуклидов в океан, случившегося во время аварии на АЭС в 2011 г., концентрации радиоцезия на расстоянии 30 км составляли 10-15 Бк/л, в 10-15 тысяч раз превышая фоновые (0,001-0,002 Бк/л). И это не вызывало какого либо ажиотажа в те годы.

Насколько известно, сейчас в накопленной на АЭС отработанной воде содержание трития составляет около 800 тысяч Бк/л. Перед сливом в океан она разбавляется морской водой так, что концентрация трития снизится до 1000 Бк/л. Попадая в океан, «фукусимская вода» разбавится еще больше. По недавним сообщениям контроль содержания трития в месте сброса показал, что уже в 200 м от места слива его концентрация составила всего 10 Бк/л.

Технологический сброс трития с других АЭС. Как известно, в процессе работы атомных электростанций тритий попадает в окружающую среду и в том числе в морскую воду. В интернете можно найти информацию о европейских АЭС, сбрасывающих воду с тритием в Северное море, а также АЭС других стран. Так по японским официальным данным, распространенным еще до начала регулярных сливов с АЭС «Фукусима-1», планируемый к сбросу объем трития составит 22 триллиона Бк, в то время как с четырех атомных электростанций Китая, расположенных на побережье Южно-Китайского и Восточно-Китайского морей ежегодно попадает в морскую среду более 400 триллионов Бк трития (рис. 4).

В заключение отметим, что приведенные выше рассуждения справедливы при выполнении всех необходимых регламентов слива и строгом контроле их соблюдения со стороны МАГАТЭ, а также экспертов из заинтересованных стран. Однако могут быть различные нештатные ситуации. Поэтому мониторинг океанских вод к востоку от Японии и в рыболовных районах, представляющих интерес для России, будет необходим на протяжении еще достаточно длительного времени.

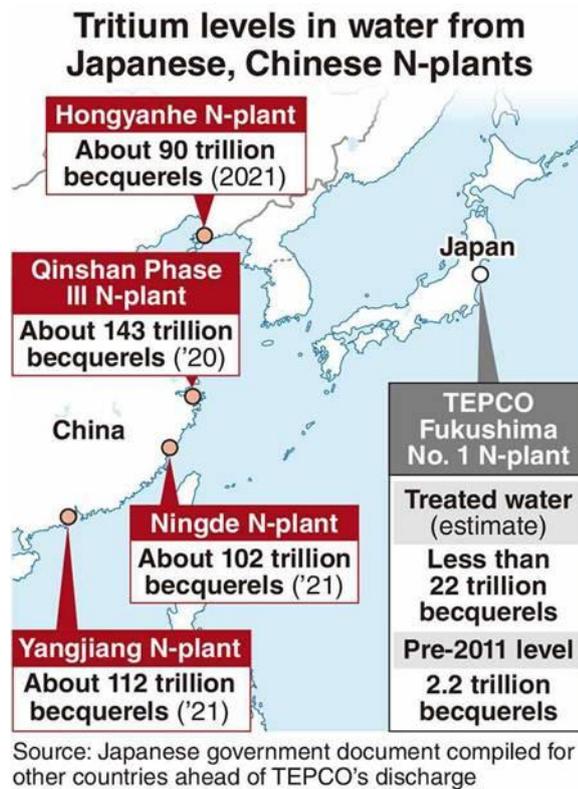


Рисунок 4 – Поступление трития в морскую воду с АЭС Китая и Японии

В.Б. Лобанов, к.г.н., заведующий лабораторией физической океанологии
В.А. Горячев, к.т.н., заведующий лабораторией ядерной океанологии
А.Ф. Сергеев, старший научный сотрудник лаборатории ядерной океанологии
М.В. Будянский, к.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник лаборатории нелинейной динамики