

# ФУКУСИМА И СИНДРОМ ВЕРСАЛЯ

В. Ф. Марарица, А. П. Чурилов, Г. Н. Белозерский, Д. О. Салычин, В. Г. Найда

Русская секция Международной академии наук (Здоровье и Экология)  
МИП «Фарматитан СПбГУ», Санкт-Петербург, Россия  
Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

## Fukushima and Versal Syndrome

V. F. Mararitsa, L. P. Churilov, G. N. Belozerskiy, D. O. Salychin, V. G. Nayda

International Academy of Science (Health and Ecology), Russian section  
Small Innovative Enterprise «Farmititan SPbSU», Saint Petersburg, Russia,  
Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

В 2011 году произошла трагическая авария на АЭС Фукусима (Япония). Если сравнивать аварии на Фукусиме и в Чернобыле, то разница примерно такая: в Чернобыле всю грязь выбросило в воздух сразу, в Фукусиме же её истечение в гораздо большем объеме продолжается медленно, растянувшись на десятилетия. И там и там информация подается общественности дозированная и неполная. Станет ли решение о сливе радиоактивной воды в океан «Версалем» двадцать первого века?! В этих «выбросах» Фукусимы содержится тритий (период полураспада 12 лет), углерод 14 (период полу-распада более пяти тысяч лет), йод — 129 (период полу-распада 16 млн. лет) и др. радионуклиды. Рассматривалось и принято решение о сливе радиоактивной воды из цистерн Фукусимы в мировой океан, а это более одного миллиона кубометров. При этом реальная ситуация о радионуклидах в цистернах на Фукусиме мировому сообществу достоверно не известна. Японские специалисты не допускают туда специалистов из других стран. Безусловно, что эта «обеззараженная» вода Фукусимы требует не слива в океан, а дополнительной серьезной переработки на основе новых, прорывных технологий. Необходима разработка современных компьютерных моделей прогнозирования последствий слива радиоактивных вод в океан.

*Ключевые слова: авария на АЭС Фукусима, слив радиоактивной воды АЭС в океан, жидкие радиоактивные отходы, экосистемы, мутации, прорывные технологии.*

In 2011, there was a tragic accident at the Fukushima nuclear power plant (Japan). If we compare the accidents at Fukushima and Chernobyl, the difference is following: in Chernobyl, all the waste was thrown into the air at once, in Fukushima, its expiration in a much larger volume continues slowly stretching out for decades. Both here and there the information is given to the public in portioned and incomplete form. Will the decision to drain radioactive water into the ocean become the «Versailles» of the twenty-first century?! This Fukushima waste contains tritium (half-life of 12 years), carbon 14 (decay time of more than five thousand years), iodine-129 (decay time of 16 million years) and other radioactive nuclides. It was considered and decided to drain the radioactive water from the Fukushima tanks which is more than one million cubic meters into the global ocean. At the same time, the real situation about radioactive nuclides in tanks at Fukushima is not reliably known to the global society. Japanese specialists prevent specialists from other countries from going there. It is beyond argument that this decontaminated water of Fukushima does not require draining into the ocean but requires additional serious processing on the basis of new, breakthrough technologies. It is necessary to develop modern computer models for predicting the consequences of the drain of radioactive water into the ocean.

*Keywords: accident at the Fukushima nuclear power plant, drain of nuclear power plant radioactive water into the ocean, liquid radioactive waste, ecosystems, mutations, breakthrough technologies.*

**Приглашение к разговору.** По существу, суть всех экологических проблем и сегодня связана с человеческим фактором — недалековидным или ограниченным различными факторами мышлением, приводящим к действиям, разрушающим окружающую среду, потенциально способным даже уничтожить человечество.

Прошло 10 лет с того трагического дня, когда цунами небывалой силы обрушилось на восточное побережье Японии и унесло множество жизней...

Произошли многочисленные разрушения, в том числе — авария на АЭС Фукусима, последствия которой не ликвидированы и по сей день. Приглашаем специалистов к разговору на страницах журнала о последствиях аварийной ситуации на Фукусиме, о планах слить радиоактивную воду Фукусимы в Мировой океан, на что уже получено принципиальное согласие правительственных чиновников Японии, об аварийных ситуациях, связанных с неконтролируемым поступлением в окружающую среду радио-

активных веществ и сверхнормативным облучением людей.

Немецкий специалист по радиации Шон Берни заявил, что радионуклиды в воде Фукусимы могут остаться опасными в течение тысячи лет и нанести ущерб человеческому генофонду [1]. Между тем, эколог Сергей Грибалева считает, что реальная ситуация на Фукусиме мировому сообществу достоверно неизвестна — японские специалисты не допускают туда специалистов из других стран [2]. С этим согласен и экс-начальник инспекции по надзору за ядерной и радиационной безопасностью объектов атомной энергетике Госатомнадзора СССР профессор Владимир Кузнецов, заявивший, что японская сторона саботировала создание международной экспертной группы по вопросу загрязнения на Фукусиме [3].

Публикаций много, мнений много, разные интересы у заинтересованных сторон. Одни хотят работать на решении этой проблемы, другие хотят продвинуть свои технологии для утилизации накопленных жидких радиоактивных отходов и т. д.

Вместе с тем, есть аспект этой трагедии о котором никто из заинтересованных сторон сегодня не говорит а, пожалуй, он самый принципиальный. Коротко его можно сформулировать так: «Отцы ели кислый виноград, а у детей на зубах оскомина» (Иер.31:29, Иез. 18:2) Люди сегодня допускают те же ошибки, что и после, например, аварии в Чернобыле (как и в случаях других техногенных аварий) ... Не говорят всей правды о возникших проблемах..., которые продолжают «доставать» нас сегодня и будут «доставать» завтра. Это об «оскоmine»! Японская сторона много говорила после аварии о тритии (12 лет период полураспада), сегодня уже упоминают углерод — 14 (пять тысяч лет период полураспада), но практически никто сегодня не говорит о йоде 129 (16 млн. лет период полураспада)... А он там есть!

Аварийные ситуации на АЭС и других объектах атомной промышленности в дочернобыльские времена происходили и в Советском Союзе. Но и о них мало писали. Эти сведения были засекречены. Наиболее крупным был взрыв накопительной емкости с радиоактивными отходами в 1957 году под Челябинском загрязнивший радионуклидами более 1000 кв. км. сельскохозяйственных угодий и лесов. Аварии на Ленинградской АЭС (1975 г.), Ингалинской и Чернобыльской АЭС (1982 г.) зарегистрированы в истории развития ядерной энергетике. Сухая статистика истории освоения мирного атома с 1949 по 1984 гг. свидетельствует что в мире произошло 296 аварийных ситуаций, связанных с несанкционированными поступлениями в окружающую среду радиоактивных веществ и сопровождающихся сверхнормативными облучениями людей. (Вестник Санкт Петербургского университета; «Человеческий фактор Чернобыля», В. Г. Владимирова, В. Г. Найди, А. П. Чурилов, Сер. 11, Вып. 2, 2011 год).

Эволюционная единица выживания (гибкий, адаптирующийся к среде организм) должна дополняться гибкой окружающей средой. По сути, единицей выживания является гибкая система «организм в своей окружающей среде». «Организм, разрушающий окружающую среду, разрушает самого себя», заметил Генри Бейтсон, — англо-американский философ, этнограф и этолог).

Очередная новость — землетрясение 13 февраля 2021 г. в Японии. Максимальная сила толчков составила 6+ по семибалльной японской шкале.

Отмечается, что на первом энергоблоке АЭС «Фукусима-2» из бассейна на пол вылилось около 160 мл воды. Из другого бассейна расплескалось около 1,4 л жидкости. На пятом энергоблоке аварийной АЭС «Фукусима-1» пролилось около 600 мл воды, а из бассейна шестого энергоблока — около 1,6 л.

Специалисты отмечают, что это не повлияет на процесс охлаждения топлива. Инцидент не представляет собой опасности для окружающей среды, так как объемы расплескавшейся воды слишком малы, а содержание радиоактивных веществ в жидкости слишком низкое. Хочется верить, что это так.

«Отцы ели кислый виноград, а у детей на зубах оскомина» (Иер.31:29, Иез. 18:2)

Размышляя о проблемах аварий на Фукусиме, в Чернобыле и др. давайте вспомним книгу Г. Бейтсона, переведенную на русский язык («Steps to an Ecology of Mind», из-во «Смысл», Москва 2000 г.) и его статью в этой книге «От Версаля до кибернетики».

В этой статье уважаемый антрополог рассуждает как важнейшие в двадцатом веке события конца Первой мировой войны, приведшие к Версальскому договору... Заметьте, ни атомная бомба, ни даже освоение космоса — не удостоились в его трактовке такого статуса. Докапываясь до узлового момента новейшей истории, Бейтсон называет Версаль?! Почему? Попробуем пересказать важную для нашего обсуждения мысль Г. Бейтсона!

По мнению Бейтсона, если мы доверяли и обнаружили что то, чему мы доверяли доверия не заслуживает, или если мы не доверяли и обнаружили что чему мы не доверяли можно доверять, мы чувствуем себя крайне плохо. Поэтому в истории важны те моменты когда изменялись общие позиции (attitudes).

Напомним обстоятельства, предшествовавшие Версальскому миру.

Первая мировая война тянулась и тянулась, но было очевидно, что немцы проигрывают. И тут у дедушки современной концепции связей с общественностью Джорджа Крила (Georg Creel) возникла идея: возможно, немцы сдадутся, если им предложить мягкие условия прекращения военных действий. Был составлен пакет мягких условий из 14 пунктов, согласно которому не предполагалось карательных мер. Эти 14 пунктов были представлены президенту США Вильсону. Вильсон был кристально честным человеком,

принял эти пункты и детально сообщил их в своих многочисленных речах: «Не будет аннексий», «не будет контрибуций», «не будет карательных мер»... и т.д.

Немцы сдались. Но британцы продолжали блокаду Германии до подписания договора, чтобы «сбить с немцев спесь» и немцы продолжали еще год помирать с голоду.

Договор готовили ярые противники немцев Клемансо и др. Про 14 пунктов Вильсона забыли. И это стало одним из величайших предательств в истории нашей цивилизации. Это событие не только привело к Веймарской Германии, следствием политических процессов в которой явилась радикализация общества, закончившаяся торжеством национал-социализма и Второй мировой войной, но и к тотальной деморализации германской политики. Вторая мировая война была неизбежна как реваншистский ответ великой нации, с которой обошлись подобным образом, но что еще важнее деморализация Германии деморализовала и остальной политический класс. «Это не мир. Это лишь перемирие на 20 лет» — пророчески указал в день подписания Версальского договора французский маршал Фердинанд Фош [Henig R., Versailles and After, 1919-33. Routledge Publ., 1995: p. 52]. Разумеется, Версаль знаменовал конец века этноцентрических империй, торжество глобального капитала, и дальнейшая история была предопределена фактором борьбы сформировавшихся после Версаля противоположных социально-экономических систем.

Но в политике, как и в науке, нет безличных сил, только живые человеческие индивиды с их психологией действуют на арене. Вместе с веком империй в становящемся все более безрелигиозном обществе ушли в прошлое такие предпосылки этичной политики как рыцарский кодекс чести и осознание греховности своих действий.

Вот почему Г. Бейтсон посчитал именно Версальский договор важнейшим событием изменившим паттерн мировой политики, и полагал, что нам придется пережить еще несколько рецидивов последствий этого предательства. Трагедия обмана, недоверия, предательства будет длиться через поколения. Кто-то попадет в одну из линий этой трагедии. С точки зрения людей, допустивших этот обман, это предательство и все понятно. Они знают, что случилось и как это произошло. Но молодежь живет в том же мире, где ненависть, недоверие, лицемерие обман (особенно на уровне международных отношений) уходят назад к «Четырнадцать пунктов» и Версальскому договору. С точки зрения нынешнего поколения непонятно, исторические события какого рода привели к этому безумию. «Отцы ели кислый виноград, а у детей на губах оскомины»... Что можно ожидать от людей в качестве последствий большого обмана? До Первой мировой войны считалось общепринятым, что легкое лицемерие и компромисс —

важные элементы повседневного общения, будучи смазкой для «шестеренок» общественной жизни. После большого обмана эта философия становится несостоятельной. Атомная бомбежка Хиросимы и Нагасаки оправдывалась общим благом, разговорами о «безоговорочной капитуляции», но, возможно, все понимали, что никаким условиям заключения мира доверять нельзя. Видимо, поэтому и судьба Хиросимы была предопределена в Версале. Как и невыполненные джентльменские обещания, данные странами НАТО советскому лидеру в обмен на вывод войск из Германии.

Сегодня к этике можно применять формальную логику, математику, и она стоит на более широком научном основании, нежели в старину, когда ее обосновывали лишь религиозные проповеди. В изменении нуждаются правила международных отношений. Необходимо уйти от тех правил, по которым люди действуют в политике со времен Версальского договора и до наших дней.

### Человеческий фактор: от Чернобыля к Фукусиме...

Если сравнивать аварии в Фукусиме и в Чернобыле, то разница примерно такая: в Чернобыле всю грязь выбросило в воздух сразу, в Фукусиме же её истечение в гораздо большем объеме продолжается медленно и печально, растянувшись на десятилетия. И там и там информация подается общественности дозированной и неполная.

Станет ли решение о сливе радиоактивной воды в океан «Версальем» двадцать первого века?! При этом подобные катастрофы имеют такой уровень сложности и масштаб, что люди не могут с этим справиться ни в момент аварии, ни в период устранения ее последствий, и допускают множество ошибок — независимо от страны и правящего класса.

Эксперты предложившие слить радиоактивную воду с «Фукусимы» в море (поскольку емкости для ее хранения скоро иссякнут) назвали это безопасной процедурой, которая применяется и на обычных атомных реакторах. Благодаря подобным «экспертам» мы постепенно привыкаем и к таким «безопасным процедурам» и на уже «обычных атомных реакторах» ... Возникает вопрос — а как долго без необратимых последствий для биосферы может продолжаться применение этих «безопасных процедур на обычных атомных реакторах»?!

По поводу процедур на «обычных атомных реакторах». По мнению экспертов, катастрофы в Чернобыле и Фукусиме — цветочки в сравнении с тем, что может произойти при аварии на временном хранилище отработанного ядерного топлива, а постоянных могильников пока нет нигде.

Если сложить все радиоактивные отходы европейских атомных электростанций на площадке раз-

мером с футбольное поле, башня получится высотой без малого в километр. Это сравнение привел Бен Вилер (Ben Wealer) — один из авторов опубликованного доклада «The World Nuclear Waste Report 2019. Focus Europe». Отходов — более 2,5 миллиона кубометров, в том числе — 60 тысяч тонн высокорadioактивного отработанного топлива. Так, более 80% отработанных топливных стержней находятся на так называемом «мокром хранении»: размещены в огромных резервуарах, где их охлаждает вода. Без охлаждения они бы самовоспламенились. Именно такая угроза нависла над Японией в 2011 году в результате аварии на АЭС Фукусима-1. Самый большой риск, рассказал на представлении упомянутого доклада в Берлине Майкл Шнайдер (Mykle Schneider), немецкий ученый, консультирующий, в частности, Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ), представляли не расплавившиеся активные зоны реакторов в первом, втором и третьем блоке, а четвертый блок, ядерный реактор которого был вообще отключен. В здании блока на «мокром хранении» находились 135 тонн отработанного топлива. От землетрясения и взрыва водорода здание пострадало. Если бы вода ушла, то последствия самовозгорания этого топлива были бы куда более катастрофичными. Так что катастрофы в Чернобыле и Фукусиме, считает Шнайдер, это цветочки в сравнении с тем, что может произойти в случае аварии на «мокром хранилище» высокорadioактивных отходов «обычных атомных реакторов».

В интервью «Сливать воду с «Фукусимы» в океан японцев заставил «американский путь» — ДВО РАН с академиком Валентином Сергиенко 23 сентября 2019 года был поднят вопрос о недопустимости слива радиоактивных вод Фукусимы в океан. «Правительство Японии официально заявило весной 2021 г. о возможности слива в Тихий океан всех накопленных за эти годы охлаждающих вод с разрушенной АЭС «Фукусима». По официальным данным, емкости для хранения жидкости переполнятся уже в ближайшее время и другого способа избавиться от опасной жидкости, по мнению японских экспертов (оставим это на их совести), будто бы нет. Заявление вызвало протест японских рыбаков. Также резко отрицательно отреагировали официальные представители Китая, КНДР, Южной Кореи и всего международного сообщества».

Сегодня мы присоединяемся к этим протестам. Реализация этой «возможности» может привести к экологической катастрофе. Мы поддерживаем Председателя президиума ДВО РАН, академика, Валентина Сергиенко, специалиста в области химии и спектроскопии в том, что сложившуюся ситуацию можно разрешить иным способом.

У нас есть основания полагать что заверения японской стороны о том, что охлаждающие воды на Фукусиме содержат в основном «только изотоп водорода тритий» требуют дополнительного изучения.

Очевидно, что и сливать большие объемы вод, содержащих тритий в открытые водоемы нельзя, а для принятия оптимального решения необходимы анализы того какие радионуклиды еще хранятся в емкостях, тем более что в этих водах не могут не присутствовать радиоактивные: йод-129 и йод-131, углерод 14.

После катастрофической аварии на АЭС «Фукусима» в марте 2011 года расплавленное урановое топливо в трех реакторах, по прежнему, находится на площадке в горячем состоянии. Чтобы сохранить безопасную температуру плавленого ядерного топлива, ТЕРСО вынуждена постоянно закачивать свежую воду в поврежденные реакторы. Прощедшая вода становится высокорadioактивной и, смешиваясь с естественно поступающими грунтовыми водами, переходит в фильтрующую систему, призванную её обеззаразить. Формально обеззараженная вода в настоящее время хранится в более чем 900 стальных резервуарах общим объемом более 1 млн. кубометров. Ранее ТЕРСО обещала, что усовершенствованная система обработки жидкости (ALPS) будет работать под управлением Hitachi Ltd и способна при обеззараживании воды от 62 радионуклидов довести ее до уровней ниже разрешенных законом пределов. Единственный нуклид, который, как было заявлено, находится в очищенной воде, — тритий (radioактивный водород). Однако в сентябре 2018 года ТЕРСО была вынуждена признать, что около 80% воды, хранящейся в резервуарах Фукусимы, по прежнему содержит различные радионуклиды (Какие?!), значительно превышающие разрешенные законом концентрации. Это означает, вопреки утверждениям Hitachi, что система ALPS последовательно не смогла обеззараживать воду от опасных радионуклидов (таблица).

**Концентрации трития (H-3), радиоактивного стронция (Sr-90) и радиоактивного йода (I-129), обнаруженные в воде, обработанной в ALPS-системе (Бк/л) [4].**

	Total β	H-3	Sr-90	I-129
Maximum value in ALPS-treated water (FY 2017)	454	1593000	141	62
Notification concentration in influent	—	600000	30	9

В частности, концентрация радиоактивного йода-129 в «обеззараженной» воде в 7 раз превышает предельно допустимый уровень (таблица). Как и тритий, йод-129 является бета-излучающим радионуклидом. Но, в отличие от трития, йод-129 — это долгоживущий изотоп. Он избирательно концентрируется в целевом органе человека — щитовидной железе и вызывает её рак, а также способствует аутоиммунным тиреопатиям. Выброс йода-129 в прибрежную океа-

ническую воду приведет к его мгновенному включению в пищевые цепи морских организмов и, в скором времени — в состав морепродуктов. В связи с этим, высокое потребление морепродуктов в традиционной кухне Японии и ряда стран региона делает йод-129 особо опасным радионуклидом. Сошлемся, например, на [Строев Ю.И., Чурилов Л.П. Самый тяжелый элемент жихни (к 200-летию открытия йода). Биосфера, 2012. — т. 4. — № 3. — с. 343–372].

И здесь важны следующие обстоятельства:

1. Период полураспада  $^{129}\text{I}$  (16 миллионов лет) является достаточно большим, чтобы представлять перманентную опасность для человека в обозримом будущем, в отличие от трития (период полураспада 12 лет).

2. Изотоп  $^{129}\text{I}$  является источником бета-излучения, имеющим таргетированный орган поражения (щитовидная железа). Поэтому  $^{129}\text{I}$  несёт опасность не меньшую, чем широко известный и комментируемый в прессе  $^{137}\text{Cs}$ . Тем более опасен  $^{129}\text{I}$  по сравнению с тритием.

3. Однако, в отличие от  $^{137}\text{Cs}$ , проблема  $^{129}\text{I}$  в сточных водах Фукусимы не затрагивается в публичной прессе. Единственную ссылку нам удалось найти в ежегодном отчёте ТЕРСО за 2013 год (см. рисунок): далее никаких упоминаний о радиоактивном йоде в открытых источниках нет.

занят ликвидацией последствий аварии на Фукусиме, не существует сорбентов, способных эффективно сорбировать йод из сточных вод. Очевидно, что используемые в настоящее время адсорбенты фирмы Kurion, Inc. (Silver Impregnated Zeolite = AGZ; Silver Impregnated Herschelite = AGH) неэффективны [7].

4. Адсорбенты фирмы Kurion, Inc имеют ряд серьёзных ограничений, а также ограниченную адсорбционную способность. Кроме того, адсорбенты этой фирмы не способны работать с йодом  $^{129}\text{I}$ .

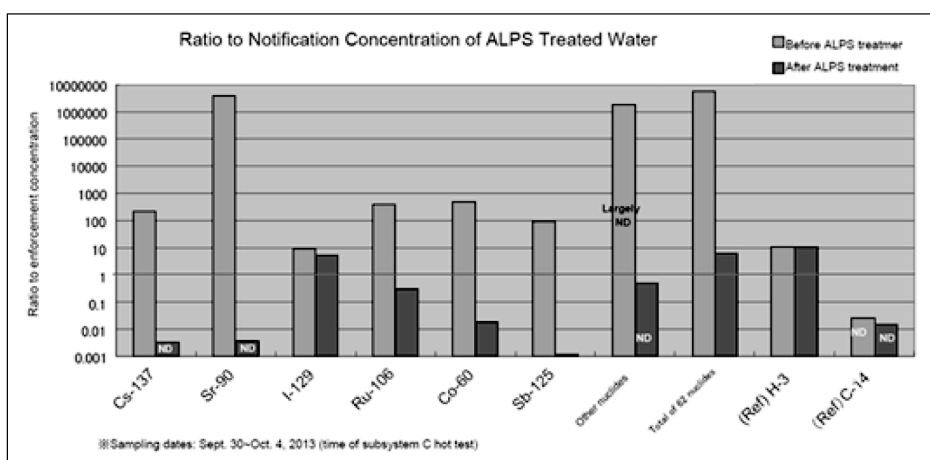
5. Для комплексного подхода к решению проблемы загрязнения жидких материалов предлагается обратить внимание на адсорбент ЛНТ-9, который по реакционной способности превосходит японский аналог. Кроме того, авторы утверждают, что этот адсорбент способен работать с изотопами более чем 50 элементов [8].

Сброс радиоактивных вод в больших объемах в зонах рыболовства — прямая угроза для здоровья и безопасности населения, потребляющего рыбу и морепродукты, — а значит угроза прибыльной работе и существованию соответствующих предприятий рыболовства. Регион, о котором идет речь, один из наиболее богатых морскими ресурсами и имеет исторически наиболее высокоразвитую индустрию и культуру рыболовства и добычи морепродуктов в мире.

Мы приглашаем специалистов продолжить обсуждение проблемы, поднятой в этом письме, со всеми заинтересованными сторонами на страницах журнала.

Проблемы радиоактивной воды Фукусимы, и в более широком плане — радиэкологии йода многогранны и требуют для принятия адекватных решений о сливе радиоактивной воды в океан научного обоснования, в частности — разработки компьютерной модели биогеохимического круговорота йода в глобальном масштабе, как основы краткосрочного и долгосрочного прогнозирования.

Международные профильные организации, институты и общественность должны иметь полную информацию о радионуклидном составе воды, которую предполагают слить в Мировой океан. С высокой вероятностью первично обеззараженная вода Фукусимы потребует дополнительной серьезной переработки на основе новых, прорывных технологий, прототипы которых на основе геонического подхода уже созданы, о чем, например, в журнале «Биосфера» [8] авторы писали ранее.



Доклад ТЕРСО о наиболее опасных изотопах, содержащихся в водах на АЭС Фукусима (2013) ([https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/140424/140424\\_02\\_008.pdf](https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/140424/140424_02_008.pdf))

Состояние зараженной воды: изменение производительности удаления в нагретом состоянии.

Из этого можно сделать вывод, что проблема накопления  $^{129}\text{I}$  в сточных водах Фукусимы существует, но вероятно замалчивается из-за отсутствия её реализуемого для тех, кто несет ответственность за этот объект, решения. Реальной проблемой очистки сточных вод Фукусимы является именно  $^{129}\text{I}$  [5, 6]. Накопление  $^{129}\text{I}$  в сточных водах Фукусимы связано с тем, что в настоящее время в распоряжении тех, кто

Литература

1. <https://greenpeace.ru/news/2020/10/29/greenpeace-protestuet-protiv-sbrosa-radioaktivnoj-vody-c-fukusimy-v-okean/>
2. <http://russian-greens.ru/node/5838>
3. Газета «Московский комсомолец» №28028 От 22 июля 2019 года
4. Гражданский ядерный Информационный центр, Токио (NUKE INFO), 186 (Sep/Oct 2018), <http://cnic.jp>
5. [https://www.researchgate.net/publication/258758047\\_Iodine129\\_concentration\\_in\\_seawater\\_near\\_Fukushima\\_before\\_and\\_after\\_the\\_accident\\_at\\_the\\_Fukushima\\_Daiichi\\_Nuclear\\_Power\\_Plant](https://www.researchgate.net/publication/258758047_Iodine129_concentration_in_seawater_near_Fukushima_before_and_after_the_accident_at_the_Fukushima_Daiichi_Nuclear_Power_Plant)
6. <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es304460k>
7. <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00223131.2014.924885>
8. *Кривовичев С.В., Николаев А.И., Яковенчук В.Н., Покровский Ю.Г., Чурилов Л.П., Марарица В.Ф., Демидов Ю.Т.* Экологические проблемы арктического побережья и титано-силикаты Кольских Хибин: от бионики к геонике. Биосфера. 2019; 11 (4).

Сведения об авторах:

**Марарица Валерий Федорович** — к. филос. н.,  
зам. директора МИП «Фарматитан СПбГУ», Санкт-Петербург, Россия.

**Чурилов Леонид Павлович** — к.м.н., зав. кафедрой патологии  
Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург, Россия;

**Белозерский Геннадий Николаевич** — д. ф.-м. н.,  
профессор кафедры геоэкологии и природопользования  
Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург, Россия;

**Салыгин Даниил Олегович** — студент медицинского факультета  
Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург, Россия;

**Найда Василий Григорьевич** — Председатель Совета МОО «Союз «Чернобыль-Квант»  
Калининского административного района и член Совета Санкт-Петербургского отделения  
ООО инвалидов «Союз-Чернобыль» России, Санкт-Петербург, Россия