



**Стокгольмская конвенция
о стойких органических
загрязнителях**

Distr.: General
31 October 2019

Russian
Original: English

Комитет по рассмотрению стойких органических загрязнителей
Пятнадцатое совещание
Рим, 1-4 октября 2019 года

**Доклад Комитета по рассмотрению стойких органических
загрязнителей о работе его пятнадцатого совещания**

Добавление

**Оценка регулирования рисков в отношении
перфторгексановой сульфоновой кислоты (ПФГСК), ее
солей и родственных ПФГСК соединений**

На своем пятнадцатом совещании своим решением КРСОЗ-15/1 Комитет по рассмотрению стойких органических загрязнителей принял оценку регулирования рисков в отношении перфторгексановой сульфоновой кислоты (ПФГСК), ее солей и родственных ПФГСК соединений на основе проекта, содержащегося в записке секретариата (UNEP/POPS/POPRC.15/2), который был пересмотрен во время совещания. Принятый текст оценки регулирования рисков изложен в приложении к настоящему добавлению. Он официально не редактировался.

Приложение

Перфторгексановая сульфоновая кислота (ПФГСК), ее соли и родственные ПФГСК соединения

ОЦЕНКА РЕГУЛИРОВАНИЯ РИСКОВ

Октябрь 2019 года

Содержание

Резюме.....	4
1. Введение.....	5
1.1 Удостоверяющие сведения о ПФГСК, ее солях и родственных ПФГСК соединениях.....	5
1.2 Выводы Комитета по рассмотрению СОЗ, информация, представленная в соответствии с приложением E.....	7
1.3 Источники данных.....	7
1.4 Статус данного химического вещества в рамках международных соглашений и организаций....	7
1.5 Регулирование риска на национальном и региональном уровнях.....	7
2. Резюме информации, касающейся оценки регулирования рисков.....	10
2.1 Выявление возможных мер регулирования.....	13
2.2 Действенность и эффективность возможных мер регулирования в решении задач по уменьшению рисков.....	15
2.2.1 Техническая осуществимость.....	16
2.2.2 Издержки и выгоды, связанные с осуществлением мер регулирования.....	16
2.3 Информация об альтернативах (продуктах и процессах) в соответствующих случаях.....	16
2.3.1 Альтернативные вещества, имеющие конкретные виды применения.....	17
2.3.1.1 Фторированные огнетушительные пены.....	18
2.3.1.2 Нанесение металлических покрытий.....	21
2.3.1.3 Текстильные изделия, включая кожу и обивочные материалы.....	22
2.3.1.4 Полировочные составы и чистящие/моющие средства, включая покрытия, пропитку/обработку (для защиты от сырости, грибка и т.д.).....	24
2.3.1.5 Производство электроники и полупроводников.....	24
2.3.2 Другие виды применения.....	24
2.4 Резюме информации о последствиях для общества, связанных с осуществлением возможных мер регулирования.....	24
2.4.1 Здравоохранение, включая общественное здравоохранение, санитарию окружающей среды и гигиену труда.....	25
2.4.2 Сельское хозяйство, в том числе аквакультура и лесоводство.....	26
2.4.3 Экономические аспекты и социальные издержки.....	27
2.4.4 Прогресс в направлении достижения цели устойчивого развития.....	29
2.5 Прочие соображения.....	30
2.5.1 Доступ к информации и просвещение общественности.....	30
2.5.2 Состояние потенциала в области мер регулирования и мониторинга.....	30
3. Обобщение информации.....	31
3.1 Резюме информации, содержащейся в характеристике рисков.....	31
3.2 Резюме информации, содержащейся в оценке регулирования рисков.....	32
3.3 Предлагаемые меры регулирования рисков.....	33
4. Окончательное заключение.....	33
Литература.....	34

Резюме

1. В мае 2017 года Норвегия представила предложение о включении перфторгексановой сульфоновой кислоты (ПФГСК), ее солей и родственных ПФГСК соединений в приложения А, В и/или С к Стокгольмской конвенции. На своем тринадцатом совещании в октябре 2017 года Комитет по рассмотрению стойких органических загрязнителей (КРСОЗ) изучил это предложение (UNEP/POPS/POPRC.13/4) и принял решение КРСОЗ-13/3. Комитет постановил учредить межсессионную рабочую группу для подготовки проекта характеристики рисков для ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений с целью его рассмотрения на своем четырнадцатом совещании в сентябре 2018 года. Комитет утвердил характеристику рисков (UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1) и учредил межсессионную рабочую группу для подготовки оценки регулирования рисков, содержащей анализ возможных мер регулирования в отношении ПФГСК в соответствии с приложением F к Конвенции, для рассмотрения на своем пятнадцатом совещании.
2. Вещества, охватываемые настоящей оценкой регулирования рисков, включают ПФГСК (КАС № 355-46-4), ее соли и родственные ПФГСК соединения, определяемые как любое химическое соединение, содержащее химический фрагмент $C_6F_{13}SO_2$ в качестве одного из структурных элементов и потенциально способное разлагаться с образованием ПФГСК.
3. Ранее это вещество производилось в основном компанией «3М», которая прекратила производство перфторалкильных сульфоновых кислот (ПФСК) C_6 , C_8 и C_{10} в 2002 году. Информация о нынешнем мировом объеме производства ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК составов носит ограниченный характер. Было обнаружено несколько производителей в Китае, однако данные об объемах производства носят конфиденциальный характер. ПФГСК, ее соли и многие родственные ПФГСК соединения были включены в национальные кадастры химических веществ с указанием исторических/текущих объемов производства, импорта и/или видов применения продуктов, содержащих эти вещества.
4. ПФГСК, ее соли и родственные ПФГСК соединения намеренно используются по крайней мере в следующих видах применения: 1) водные пленкообразующие пены (ВПП) для пожаротушения; 2) нанесение металлических покрытий; 3) текстильные изделия, кожа и обивочные материалы; 4) полировочные составы и чистящие/моющие средства; 5) покрытия, пропитка/обработка (для защиты от сырости, грибка и т.д.); и 6) при производстве электроники и полупроводников. Кроме того, другие потенциальные категории применения могут включать применение в качестве пестицидов, антипиренов, для производства бумаги и упаковочных материалов, в нефтяной промышленности и в качестве гидравлических жидкостей. ПФГСК, ее соли и родственные ПФГСК соединения используются в потребительских товарах, содержащих определенные перфторалкильные и полифторалкильные вещества (ПФАВ). Непреднамеренное производство ПФГСК осуществляется в ходе процессов электрохимического фторирования (ЭХФ) некоторых других ПФСК. Во многих видах применения ПФГСК используется в качестве заменителя перфтороктановой сульфоновой кислоты (ПФОС).
5. Ограниченная информация о видах применения ПФГСК и родственных ПФГСК соединений указывает на то, что они схожи с видами применения для ПФОС и перфтороктановой кислоты (ПФОК). Оценка альтернатив ПФОС, ее солям и перфтороктановому сульфонилфториду (ПФОСФ), а также ПФОК свидетельствует о том, что для всех видов применения имеются и используются технически осуществимые альтернативы. Кроме того, за время проведения оценки КРСОЗ не было представлено запросов о предоставлении исключений в отношении ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений, что говорит о возможности перехода на химические альтернативы и использования нехимических технических решений.
6. Некоторые виды деятельности в рамках Стратегического подхода к международному регулированию химических веществ (СПМРХВ) на глобальном уровне сосредоточены на сборе и обмене информацией о перфторированных химических веществах и на оказании поддержки процессу перехода на более безопасные альтернативы. В Соединенных Штатах Америки (США) предпринимаются добровольные усилия по отказу от использования длинноцепных ПФАВ и родственных соединений (включая ПФГСК). В 2017 году в Европейском союзе (ЕС) ПФГСК и ее соли были отнесены к веществам, вызывающим крайнюю озабоченность (ВВКО), и внесены в список кандидатов Постановления ЕС о регистрации, оценке, разрешении и ограничении применения химических веществ (REACH). В 2018 году был начат процесс подготовки ограничения в ЕС.
7. Выбросы ПФГСК в окружающую среду происходят на всех этапах ее жизненного цикла, но считаются самыми высокими в течение срока службы и на этапе отходов. В то же время было показано, что значительные высвобождения ПФГСК также происходят на производственных предприятиях.
8. Имеющиеся знания позволяют предположить, что промышленные предприятия могут заменить ПФГСК, ее соли и родственные ПФГСК соединения без каких-либо значительных социально-экономических издержек. Кроме того, поскольку ожидаются существенные выгоды в плане, например, сокращения расходов по смягчению последствий и очистке, предполагается, что совокупные преимущества от запрещения или ограничения использования ПФГСК перевесят планируемые расходы. По оценкам, ожидаются высокие

расходы на восстановление учебно-тренировочных полигонов и аэропортов, где использовались огнетушительные пены, полигонов для отходов (особенно для промышленных и опасных отходов), а также на удаление ПФАВ (включая ПФГСК) из питьевой воды и источников воды вблизи этих объектов. Принятие мер регулирования в отношении ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений поможет избежать таких расходов в будущем.

9. В случае глобального уничтожения ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений можно рассчитывать на благоприятное воздействие на здоровье людей и состояние окружающей среды. Таким образом, наиболее эффективной мерой контроля могло бы стать включение этих веществ в приложение А к Конвенции без каких-либо исключений в отношении производства и использования.

1. Введение

1.1 Удостоверяющие сведения о ПФГСК, ее солях и родственных ПФГСК соединениях

10. Удостоверяющие сведения о ПФГСК указаны в характеристике рисков (UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1) и соответствуют решению, принятому на тринадцатом совещании КРСОЗ (решение КРСОЗ-13/3). Удостоверяющие сведения о химическом веществе включают следующие данные:

- а) перфторгексановая сульфоновая кислота (КАС № 355-46-4, ПФГСК);
- б) любое вещество, которое содержит химический фрагмент $C_6F_{13}SO_2$ в качестве одного из структурных элементов и потенциально разлагается с образованием ПФГСК.

11. В группу ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений входит целый ряд химических веществ, включая линейные и разветвленные изомеры. ОЭСР разработала новый список перфторированных и полифторированных химических веществ, включающий 4730 соединений, и этот список включает родственные/прекурсорные/полимерные ПФГСК ([http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ENV-JM-MONO\(2018\)7&doclanguage=en](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ENV-JM-MONO(2018)7&doclanguage=en)). Кроме того, предложение об ограничении, разработанное в рамках инициативы REACH, охватывает 147 соединений ПФГСК (ЕСНА 2019b). Этот неисчерпывающий перечень из 147 соединений был приложен к письму с просьбой о предоставлении информации в соответствии с приложением F, которое было направлено секретариатом Сторонам и наблюдателям в сентябре 2018 года. Этот перечень ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений, а также полимеров и смесей был составлен из базы данных ПФАВ, выявленных ОЭСР, и дополнения II (Неисчерпывающие перечни перфторгексановой сульфоновой кислоты и родственных ей веществ, указанных в докладе М-792 Норвежского агентства по охране окружающей среды) приложения к документу UNEP/POPS/POPRC.14/INF/4.

12. В таблице 1 ниже приводятся удостоверяющие сведения о химическом веществе ПФГСК, а в таблице 2 указаны отдельные смоделированные и установленные экспериментальным путем физико-химические свойства ПФГСК.

Таблица 1. Удостоверяющие сведения о ПФГСК

Номер КАС:	355-46-4
Наименование по ИЮПАК:	1,1,2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,6-тридекафторгексан-1-сульфоновая кислота
Номер ЕС:	206-587-1
Наименование ЕС:	Перфторгексан-1-сульфоновая кислота
Молекулярная формула:	$C_6F_{13}SO_3H$
Молекулярный вес:	400,11
Синонимы:	ПФГСК ПФГкС Перфторгексансульфоновая кислота; 1,1,2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,6-тридекафторгексан-1-сульфоновая кислота; Тридекафторгексан-1-сульфоновая кислота; 1-гексансульфоновая кислота, 1,1,2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,6-тридекафтор-; 1,1,2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,6-тридекафтор-1-гексансульфоновая кислота; Тридекафторгексансульфоновая кислота

Торговые наименования для ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений:	RM70 (КАС № 423-50-7), RM75 (3871-99-6) и RM570 (КАС № 41997-13-1) (родственные ПФГСК соединения, ранее производимые компанией «Miteni SpA», Италия). Фторсодержащее химическое поверхностно-активное вещество марки «FC-95 Fluorad» (КАС № 3871-99-6) содержит ПФГСК-К, ранее производимое компанией «3М».
---	--

Таблица 2. Обзор соответствующих физико-химических свойств ПФГСК¹

Свойство	Значение	Примечание
Физическое состояние при 20°C и 101,3 кПа	Сплошной белый порошок для ПФГСК-К	Как указано в ЕЧА, 2017а (данные компании)
Температура плавления	320 К (41°C)	Kim et al., 2015
Температура кипения	238-239°C	Kosswig, 2000 (данные измерений)
pK _a	-3,45 -3,3±0,5 -5,8±1,3	Wang et al., 2011a (COSMOtherm) ACD/Percepta 14.2.0 (Classic) ACD/Percepta 14.2.0 (GALAS)
Давление пара	58,9 Па (0,0046 мм рт. ст.)	Wang et al., 2011a (COSMOtherm)*
Растворимость в воде	1,4 г/л (ПФГСК-К; 20-25°C) 2,3 г/л (недиссоциированная)	Campbell et al., 2009 (данные измерений) Wang et al., 2011a (COSMOtherm)*
Коэффициент разделения воздух-вода, K _{aw} (логарифмическое значение)	-2,38	Wang et al., 2011a (COSMOtherm)*
Коэффициент разделения n-октанол-вода, K _{ow} (логарифмическое значение)	5,17	Wang et al., 2011a (COSMOtherm)*
Коэффициент разделения октанол-воздух, K _{oa} (логарифмическое значение)	7,55	Wang et al., 2011a (COSMOtherm)*
Коэффициент разделения органический углерод/вода, K _{ow} (логарифмическое значение) (подвижность)	2,05 2,40 2,31 (диапазон 1,8-2,76)	Guelfo and Higgins, 2013 (данные измерений) D'Agostino & Mabury, 2017 (данные измерений) Chen et al., 2018 (на основе данных наблюдений)

* Оценочные данные Wang et al. (2011a) относятся только к нейтральной форме ПФГСК. Следует отметить, что ввиду своего низкого pK_a в природных условиях ПФГСК присутствует в форме аниона. Таким образом, для описания разделения как нейтральной, так и анионной формы ПФГСК в окружающей среде оценочные коэффициенты разделения для нейтральной формы необходимо преобразовать с учетом соответствующих коэффициентов распределения, как это предложено в Schwarzenbach et al. (2002) и Wang et al. (2011a).

13. В литературе сообщается об аналитических методах обнаружения ПФГСК, которые могут применяться для измерения содержания ПФГСК и ПФАВ в целом практически во всех природных средах (подробную информацию см. в UNEP/POPS/POPRC.14/INF/4). Что касается анализа изделий и видов продукции, несмотря на отсутствие стандартизированных аналитических методов, для ПФОС в твердых изделиях с нанесенным покрытием и пропиткой, жидкостях и огнетушительных пенах можно использовать действующий стандарт CEN/TS 15968 для определения уровней ионных форм ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений. В стандарте ИСО 23702-1: 2018 09 15 «Кожа – органические соединения фтора – часть 1» описывается выявление и количественное определение экстрагируемых нейтральных, ионных, длинноцепных, среднецепных и короткоцепных перфторированных и полифторированных веществ в коже и окрашенной коже. Стандарт ИСО 25101 описывает аналитический метод для ПФОК и ПФОС в воде. Также была начата работа по международной стандартизации для 27 ПФАВ для воды (<https://www.anses.fr/en/system/files/EAUX2018SA0027EN.pdf>). В отношении летучих нейтральных родственных ПФГСК соединений Herzke et al. (2012) сообщают об обнаружении ПФГСК и родственных соединений с помощью другого аналитического метода (GC/PCI-MS). Отсутствие стандартизированных методов для ПФГСК и доступных аналитических сертифицированных стандартов для родственных ПФГСК соединений затрудняет надзор за продуктами, представленными на рынке. Также отсутствуют стандартные методы выявления отдельных родственных ПФГСК веществ. Вместе с тем на рынке доступны нестандартные методы выявления общих прекурсоров ПФГСК, такие как общие экстрагируемые

органические соединения фтора (ЭОФ) или общие окисляющиеся прекурсоры (ООП) (например, https://www.eurofins.se/media/1568225/top_precursor_short_facts_170613.pdf).

1.2 Выводы Комитета по рассмотрению СОЗ, информация, представленная в соответствии с приложением Е

14. В мае 2017 года Норвегия представила предложение о включении перфторгексановой сульфоновой кислоты (ПФГСК), ее солей и родственных ПФГСК соединений в приложения А, В и/или С к Конвенции. На своем тринадцатом совещании Комитет рассмотрел это предложение (UNEP/POPS/POPRC.13/4) и постановил учредить межсессионную рабочую группу для подготовки проекта характеристики рисков в отношении ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений (решение КРСОЗ-13/3). На своем четырнадцатом совещании Комитет утвердил характеристику рисков (UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1) и решил, что ПФГСК, ее соли и родственные ПФГСК соединения в результате их переноса в окружающей среде на большие расстояния могут приводить к серьезным неблагоприятным последствиям для здоровья человека и состояния окружающей среды, что служит основанием для принятия мер в глобальном масштабе (решение КРСОЗ-14/1). Комитет учредил межсессионную рабочую группу для подготовки оценки регулирования рисков, содержащей анализ возможных мер регулирования в отношении ПФГСК в соответствии с приложением F к Конвенции, для рассмотрения на своем пятнадцатом совещании.

1.3 Источники данных

15. Оценка регулирования рисков была подготовлена с использованием материалов в характеристике рисков (UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1) и информации, представленной Сторонами и наблюдателями в соответствии с приложением F. Информацию представили следующие Стороны и наблюдатели: Германия, Индия, Канада, Республика Корея, Соединенное Королевство (СК), Швеция, Япония, Европейская ассоциация воспроизводства и печати изображений («И&П Европа»), Международная сеть по ликвидации СОЗ (МСЛС) и Общественное движение Аляски против токсичных веществ (АКАТ). Вся информация, представленная в соответствии с приложением F, размещена на веб-сайте Конвенции².

16. Использовалась научная литература, полученная из научных баз данных, таких как «Сеть науки» ИНИ и «PubMed», а также другая общедоступная информация, например правительственные отчеты, оценки риска и опасности, информационные бюллетени промышленных предприятий и т.д.

1.4 Статус данного химического вещества в рамках международных соглашений и организаций

17. В рамках СПМРХВ перфторированные химические вещества были отнесены к вопросу, вызывающему обеспокоенность. Усилия направляются на сбор и обмен информацией о перфторированных химических веществах и на оказание поддержки процессу перехода к более безопасным альтернативам (<http://www.saicm.org/tabid/5478/Default.aspx>). Недавно ОЭСР представила обзор подходов к снижению риска для ПФАВ, применяемых в разных странах (ОЭСР, 2015). Ответы опрошенных стран показали, что практика снижения риска для ПФАВ в основном фиксируется существующими национальными и/или региональными нормативными положениями и касается преимущественно длинноцепных ПФАВ и их прекурсоров и солей. Хотя способы снижения риска неодинаковы в разных странах, зачастую используется сочетание добровольных и нормативных подходов.

1.5 Регулирование риска на национальном и региональном уровнях

18. В 2017 году в Европейском союзе ПФГСК и ее соли были отнесены к веществам, вызывающим крайнюю озабоченность (ВВКО), и включены в перечень кандидатов REACH в связи с их стойкостью и способностью к биоаккумуляции (ЕСНА, 2017а). ПФГСК удовлетворяет критериям особо стойких и особо биоаккумулируемых (оСоБ) веществ. Токсичность и экотоксичность не являлись предметом оценки. Определение в качестве вещества оСоБ означает, что производители, импортеры и участники цепи снабжения должны минимизировать выбросы и воздействие этих веществ на окружающую среду и людей в течение всего их жизненного цикла независимо от дальнейшего нормативного регулирования рисков. После включения в перечень кандидатов у поставщиков возникает обязательство сообщать информацию о содержании ПФГСК свыше 0,1% в продукции в соответствии со статьей 33 REACH (информация в соответствии с приложением F, представленная Германией). В качестве последующей меры Норвегия представила предложение о внесении поправки в приложение XVII REACH с целью ограничения производства, использования и выпуска в оборот ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений, с датой представления 12 апреля 2019 года (ЕСНА, 2019 а, b).

² <http://chm.pops.int/TheConvention/POPsReviewCommittee/Meetings/POPRC14/POPRC14Followup/PFHxSInfoSubmission/tabid/7826/Default.aspx>.

19. Некоторые из родственных ПФГСК соединений (не сама ПФГСК) включены в канадский национальный перечень веществ (НПВ) (Environment Canada, 2013) – реестр веществ, произведенных ранее или производимых в настоящее время в Канаде, ввозимых или используемых на ее территории в коммерческих масштабах. Все, кто намеревается импортировать в Канаду или производить там какое-либо вещество, не включенное в НПВ (такое как ПФГСК, ПФГСФ или родственные ПФГСК соединения, еще не вошедшие в НПВ), должны представить уведомление, требуемое в соответствии с Правилами уведомлений о новых веществах. Эти правила призваны не допускать новые вещества на канадский рынок без проведения экологических оценок и оценок для здоровья человека. В рамках этой процедуры предусмотрена возможность применения мер регулирования для смягчения любых рисков для окружающей среды и здоровья человека. В Соединенных Штатах запрещены новые виды применения химических веществ из этой группы без предварительной оценки нового вида применения Агентством по охране окружающей среды Соединенных Штатов Америки (АООС США) (United States Government, 2002; 2007). В 2009 году АООС США опубликовало план действий в отношении длинноцепных ПФАВ (которые определяются как ПФСК с длиной цепи более C₅ и перфторкарбокисильные кислоты (ПФКК) с длиной цепи более C₇), включая ПФГСК, ее соли и прекурсоры. Все длинноцепные ПФАВ были определены как потенциально стойкие, способные к биоаккумуляции и токсичные (U.S. EPA, 2009). В феврале 2019 года АООС США опубликовало расширенный план действий в отношении ПФАВ, в котором изложены дополнительные шаги, предпринимаемые АООС для более полного понимания и более тщательного регулирования ПФАВ, включая ПФГСК (U.S. EPA, 2019). В штате Вашингтон недавно был принят законопроект, запрещающий использовать перфторированные химические вещества для упаковки пищевых продуктов (<https://www.foodpackagingforum.org/news/washington-state-bans-pfass-in-food-packaging>), а также ограничивающий их применение в огнетушительных пенях и средствах индивидуальной защиты (<https://ecology.wa.gov/Waste-Toxics/Reducing-toxic-chemicals/Addressing-priority-toxic-chemicals/PFAS/Toxics-in-firefighting>).

20. В Австралии в рамках Национальной программы уведомления и оценки в отношении промышленных химикатов (НИКНАС) был разработан план действий для оценки и регулирования химических веществ, способных разлагаться до ПФКК, ПФСК и сходных химических веществ. Основное предположение, описанное в этом плане действий, заключается в том, что химические вещества с перфторированной цепью, оканчивающейся сульфонильной группой, будут разлагаться до перфторалкильных сульфонов (с той же длиной цепи) (NICNAS 2017, a, b, c и d).

21. И в ЕС, и на глобальном уровне отсутствует согласованная классификация или маркировка для ПФГСК. При этом в Австралии родственные ПФГСК соединения включены в Кадастровую многоуровневую рамочную основу для оценки и приоритизации (КМОП), которая учитывает оценки как в области здравоохранения, так и экологии (NICNAS, 2017c). В соответствии с планом мероприятий НИКНАС по оценке и регулированию химических веществ, способных разлагаться до перфторированных карбокисильных кислот, перфторалкильных сульфонов и аналогичных химических соединений, при отсутствии информации по конкретному химическому веществу, для оценки системной опасности калийной соли ПФГСК, аммиачной соли ПФГСК, диэтаноламмония ПФГСК и ПФГСФ для здоровья применяется информация об опасности ПФОС. С точки зрения рисков для здоровья человека в рамках Согласованной на глобальном уровне системы классификации опасности и маркировки химической продукции (СГС) было установлено, что калийная соль ПФГСК, аммиачная соль ПФГСК, диэтаноламмоний ПФГСК и ПФГСФ относятся к следующим категориям: токсичные при проглатывании – кат. 3 (H301), вызывающие серьезное раздражение глаз – кат. 2A (H319), наносящие вред органам в результате длительного или многократного воздействия при проглатывании – кат. 1 (H372), предположительно вызывающие рак – кат. 2 (H351). С точки зрения экологических рисков эти химические вещества были отнесены к хронически токсичным для водной среды – кат. 4 (H413) (NICNAS, 2017a). В ЕС промышленными кругами была представлена информация о собственной классификации для ПФГСК и ряда родственных ПФГСК соединений по острой токсичности класса опасности 4 (H302, наносит вред при проглатывании; H312, наносит вред при контакте с кожей; и H332, вреден при вдыхании) или разъеданию кожного покрова подкласса опасности 1B (H314, вызывает серьезные ожоги кожных покровов и повреждения глаз), с направлением уведомления в Реестр классификации и маркировки согласно законодательству ЕС (<https://echa.europa.eu/sv/information-on-chemicals/cl-inventory-database/-/discli/notification-details/10265/1400492>).

22. В Австралии также были выявлены 26 требующих первоочередного внимания оборонных объектов, на которых подземные воды загрязнены ПФАВ, включая ПФГСК (<http://www.defence.gov.au/Environment/PFAS/Publications/Default.asp>). В отношении ПФОС, ПФОК и ПФГСК Австралия ввела обоснованные с медицинской точки зрения ориентировочные значения, выраженные как допустимое суточное поступление (ДСП), на уровне 0,02 мкг/кг м.т./сут. (суммарно), а ДСП для ПФОК составляет 0,16 мкг/кг м.т./сут. Эти значения применяются при обследовании загрязненных участков и проведении оценок риска для здоровья человека (Australia Gov., 2019).

23. В Норвегии ПФГСК, ее соли и родственные ПФГСК соединения недавно были включены в национальный перечень приоритетных веществ (Prioritetslista, <http://www.miljostatus.no/prioritetslisten>) и на национальном уровне была поставлена цель обеспечить поэтапный отказ от их использования к 2020 году.

24. Впервые информация о ПФАВ, включая ПФГСК, должна быть передана в Реестр продуктов Шведского агентства по химическим веществам в феврале 2020 года. Это должно быть сделано независимо от концентрации веществ, хотя саму концентрацию указывать не нужно (KemI, 2018).
25. Агентство по химическим веществам Швеции опубликовало стратегию сокращения объемов использования ПФАВ (KemI, 2016, 2018b). Следует минимизировать и в конечном счете ликвидировать виды применения ПФАВ, которые могут приводить к загрязнению окружающей среды. Предпринимаемые с этой целью действия включают осуществление в приоритетном порядке мер в отношении видов применения, которые могут приводить к существенным прямым высвобождениям в окружающую среду. В стратегии предложены критерии того, каким образом ПФАВ-содержащие огнетушительные пены могут использоваться в Швеции, и сделан вывод о том, что присутствует потребность в создании национального законодательства, регулирующего использование огнетушительных пен, содержащих высокофторированные вещества.
26. В 2014 году АООС Дании опубликовало исследование загрязнения подземных вод из-за воздействия точечных источников перфторалкильных веществ, в том числе ПФГСК и родственных ПФГСК соединений. С учетом сделанных в нем выводов о загрязнении подземных вод было начато исследование, направленное на оценку и выработку предложений в отношении критериев качества, основанных на безопасности для здоровья. В результате этого исследования было установлено основанное на суммарном критерии предельное значение токсичности питьевой воды для 12 ПФАВ (перфторбутановая сульфоновая кислота (ПФБС), ПФГСК, ПФОС, перфтороктансульфонамид (ПФОСА), 6:2 фтортеломерная сульфоновая кислота (6:2 ФТС), перфторбутановая кислота (ПФБК), перфторпентановая кислота (ПФПеК), перфторгексановая кислота (ПФГкК), перфторгептановая кислота (ПФГпК), ПФОК, перфторнонановая кислота (ПФНК) и перфтордекановая кислота (ПФДК)). Это предельное значение составляет 0,1 мкг/л питьевой воды и является суммарным критерием присутствия всех 12 ПФАВ (Denmark, 2018). Такое же основанное на суммарном критерии предельное значение относится и к подземным водам. Национальное агентство по вопросам продовольствия Швеции установило рекомендуемые пределы для питьевой воды на уровне 0,09 мкг/л на основе суммарного присутствия 11 ПФАВ (ПФБС, ПФГСК, ПФОС, 6:2 ФТС, ПФБК, ПФПеК, ПФГкК, ПФГпК, ПФОК, ПФНК и ПФДК) (Sweden, 2018). В предложении о новой Европейской директиве по питьевой воде, которое находится на рассмотрении, предлагается задать предельное значение для группы ПФАВ. Предложены значения на уровне 0,1 мкг/л для отдельных ПФАВ и 0,5 мкг/л суммарно для перфторалкильных и полифторалкильных веществ (химическая формула: $C_nF_{2n+1}-R$) (Europe, 2018). Консорциум по воде и почве правительства Германии определил «пороги значимости» (ПЗ) для оценки подземных вод, загрязненных ПФАВ (van der Trenck et al., 2018). ПЗ служат критериями для принятия решения относительно целесообразности мер по восстановлению загрязненных грунтовых вод. Пороговое значение для ПФГСК составило 0,1 мкг/л. В 2017 году «Trinkwasserkommission» (Комиссия по питьевой воде) в Германии предложила ориентировочное значение для ПФГСК в питьевой воде 0,1 мкг/л (Trinkwasserkommission, 2017).
27. В нескольких штатах США были введены предельные значения для питьевой воды, которые включают ПФГСК. В штате США Массачусетс рекомендуется предел 0,07 мкг/л суммарно или по отдельности для ПФОК, ПФОС, ПФГСК, ПФНК и ПФГпК в питьевой воде (Mass. Gov), рекомендованные Департаментом по вопросам здравоохранения Миннесоты ориентировочные значения составляют 0,027 мкг/л ПФГСК (ДЗМ), а в американском штате Вермонт предел совокупного содержания ПФОК, ПФОС, ПФГСК, ПФГпК и ПФНК в питьевой воде рекомендуется на уровне 0,02 мкг/л (Health Vermont). В штате Нью-Гэмпшир также предлагается предел содержания в питьевой воде на уровне 0,018 мкг/л, а в штате Мичиган норматив для анализа питьевой воды составляет 0,084 мкг/л ПФГСК (<https://www4.des.state.nh.us/nh-pfas-investigation/?p=1044>, https://www.michigan.gov/documents/pfasresponse/Health-Based_Drinking_Water_Value_Recommendations_for_PFAS_in_Michigan_Report_659258_7.pdf). Кроме того, Министерство здравоохранения Канады установило норматив для анализа питьевой воды, равный 0,6 мкг/л для ПФГСК (Government of Canada, 2018).
28. АООС США комбинирует нормативные и добровольные подходы, включая Правила о новом использовании веществ в значительных количествах и добровольную программу контроля ПФОК 2010/2015 (OECD, 2015). АООС США установило безопасные для здоровья рекомендуемые уровни ПФОК и ПФОС в питьевой воде. Кроме того, посредством органов, учрежденных согласно Правилу о контроле за нерегулируемыми загрязняющими веществами в рамках Закона о безопасной питьевой воде, АООС США проводит мониторинг содержания шести ПФАВ, включая ПФГСК, в готовой питьевой воде для понимания ее содержания в системах снабжения питьевой водой в США. Эти данные о содержании находятся в открытом доступе (<https://www.epa.gov/dwucmr/third-unregulated-contaminant-monitoring-rule>).
29. Помимо этого, в 2018 году Республика Корея включила ПФГСК наряду с ПФОС и ПФОК в качестве предварительных параметров мониторинга питьевой воды. Предварительные предельные значения для питьевой воды составляют 0,48 мкг/л для ПФГСК, 0,07 мкг/л суммарно для ПФОС и ПФОК (информация, представленная Республикой Корея в соответствии с приложением F). В Австралии рекомендованные значения, основанные на критериях безопасности для здоровья, установлены на уровне 0,07 мкг/л ПФОС и ПФГСК совместно для питьевой воды и 2,0 мкг/л для вод, используемых для отдыха (Australian Government,

2019). Данное значение для питьевой воды было также принято в качестве временного рекомендованного значения в Новой Зеландии (<http://www.mfe.govt.nz/node/24415>).

30. Правительство Дании не рекомендует использовать ПФАВ и органические соединения фтора в бумаге и установило ориентировочный предел для ПФАВ в упаковочных материалах для пищевых продуктов на уровне 0,35 мкг/дм² бумаги для органических соединений фтора (Denmark, 2015).

31. В последнее время внимание уделяется дальнейшим мерам в отношении ПФАВ. Более 200 ученых подписали «Мадридское заявление», содержащее призыв к глобальному поэтапному отказу от всех ПФАВ (Blum et al., 2015), а также было опубликовано «Цюрихское заявление о дальнейших мерах в отношении ПФАВ» (Ritscher et al., 2018). Цюрихский документ был подготовлен по итогам семинара-практикума 2017 года и содержит ряд рекомендаций для будущей оценки и регулирования ПФАВ, одобренных группой из более чем 50 международных ученых и регулирующих органов (Ritscher et al., 2018). В обзоре рекомендованных уровней содержания ПФОК и ПФОС в питьевой воде, представленном в Cordner et al. (2019), подчеркивается необходимость разработки предельного значения содержания ПФАВ как класса химических веществ (в дополнение к отдельным соединениям) по аналогии с полициклическими ароматическими углеводородами и диоксинами.

2. Резюме информации, касающейся оценки регулирования рисков

32. Присутствие ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений обусловлено антропогенными факторами их производства, использования и утилизации, поскольку эти вещества не встречаются в природной среде. Как указано в характеристике рисков и приведенной в ней литературе, мониторинг окружающей среды свидетельствует о том, что ПФГСК повсеместно встречается в природной среде (UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1). Во многих исследованиях сообщалось об обнаружении ПФГСК в таких экологических нишах, как поверхностные воды, глубинные морские воды, питьевая вода, стоки водоочистных сооружений, осадок, грунтовые воды, почва, атмосфера, пыль, а также биота и население по всему миру (UNEP/POPS/POPRC.14/INF/4). Наряду с ПФОС, ПФОК и ПФНК, ПФГСК является одним из наиболее часто обнаруживаемых ПФАВ (UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1 и список литературы), но, несмотря на это, объем информации о текущих объемах ее производства и применения весьма ограничен. На сегодняшний день проведено ограниченное число исследований, направленных на изучение именно высвобождений ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений в окружающую среду, и, как следствие, отсутствует информация об объемах высвобождений.

33. Ранее самым крупным мировым производителем ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений была компания «3М», годовой объем производства которой в США в 1997 году составлял порядка 227 тонн ПФГСК (3М, 2000a). В 2000-2002 годах «3М» прекратила производство ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений (3М, 2000a). По сообщениям, ряд производителей в Китае и Италии (после банкротства компании производство в Италии было прекращено в ноябре 2018 года) выпускали ПФГСК и ее прекурсоры (Stockholm Convention, 2012; Miteni, 2018; Pan et al., 2018), возможно, в качестве заменителя ПФОС и ее прекурсоров (Löfstedt et al., 2016; Huang et al., 2015; Ma et al., 2018; Zhou et al., 2019). Информация о производстве в Китае хорошо согласуется с экологическими данными, в частности высокими уровнями ПФГСК в озерах и реках в Азии (Ma et al., 2018; Pan et al., 2018; Cui et al., 2018). Например, в исследовании Ma et al. (2018) было установлено, что ПФГСК является основным ПФАВ в озере Тайху и водах впадающих в него рек. Уровни ПФГСК (45,9-351 нг/л) превысили уровни ПФОС в озере Тайху, и это увеличение уровней ПФГСК было связано с производством и использованием ПФГСК в качестве альтернативы ввиду недавнего введения в действие норм регулирования ПФОС в Китае (Ma et al. 2018). Общий приток ПФАВ в озеро составлял 1255 кг в год, и его основными компонентами были ПФГСК (611 кг/год), ПФОС (227 кг/год), ПФОК (182 кг/год) и ПФГКК (84,4 кг/год). В другом исследовании сообщалось о повышении концентрации в близлежащих реках и озерах (озера Таи и Чао) в Китае. Расчетное количество ПФГСК в этих реках составило 21,6 тонны в 2016 году, по сравнению с 0,09 тонны в 2013 году (Pan et al., 2018). Недавно были получены сведения о том, что среднее содержание ПФГСК в двух реках (Фэнь и Вэй) в Китае было значительно выше, чем ПФОС, что может быть обусловлено ростом производства и применения ПФГСК в качестве альтернативы ПФОС (Zhou et al., 2019). Среди всех ПФАВ ПФГСК отличается наиболее высокой интенсивностью сброса по массе на уровне 116 и 37 кг/год в двух реках. Кроме того, отмечалось, что высокое относительное соотношение ПФГСК к ПФОС может объясняться использованием ПФГСК в качестве заменителя ПФОС при производстве текстильных изделий, защитного покрытия для ковров и фторполимеров (Zhou et al., 2019).

34. ПФГСК, ее соли и/или многие родственные ПФГСК соединения были включены в кадастры химических веществ (Австралии, Новой Зеландии, Канады, Китая, ЕС, Японии, стран Северной Европы³ и США) с указанием исторических/текущих объемов производства, импорта и/или видов применения продуктов, содержащих эти вещества (см. характеристику рисков UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1). ПФГСК,

³

Норвегия, Швеция, Дания, Финляндия, Исландия, Гренландия и Фарерские острова.

ее соли и родственные ПФГСК соединения намеренно используются по крайней мере в следующих видах применения: 1) ВПП для пожаротушения; 2) нанесение металлических покрытий; 3) текстильные изделия, кожа и обивочные материалы; 4) полировочные составы и чистящие/моющие средства; 5) покрытия, пропитка/обработка (для защиты от сырости, грибка и т.д.); и 6) при производстве электроники и полупроводников. Другие потенциальные категории применения могут включать применение в качестве пестицидов, антипиренов, для производства бумаги и упаковочных материалов, в нефтяной промышленности и в качестве гидравлических жидкостей (UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1).

35. Отсутствует информация относительно видов применения в категориях 4) и 5), однако имеются признаки того, что эти виды применения могут быть связаны с очисткой, полировкой, герметиками, покрытиями и т.д., как в секторе строительства, так и технического обслуживания автомобилей. Недавно полученная информация из Республики Корея и дальнейшие обследования позволили выявить использование полимера, содержащего ПФГСК (скорее всего, непреднамеренно, в качестве одного из компонентов полимера-ПФОС, КАС № 127133-66-8), в аэрозоле для нанесения автомобильного покрытия, производимого в ЕС и импортируемого в Республику Корея (RPA 2019). В 2016 году была представлена информация об импорте в эту страну 20 тонн данного полимера в составе этого вида продукции в 2013-2015 годах (информация, представленная Республикой Корея в соответствии с приложением F). Кроме того, в ходе работы над характеристикой рисков ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений было обнаружено, что одно родственное ПФГСК соединение присутствовало в продукте для грунтовки и обработки полов, производимом североамериканской компанией, однако сегодня этот продукт отсутствует в продаже (см. характеристику риска UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1). Имеются свидетельства того, что ПФГСК, или ее соли, или родственные ПФГСК соединения (КАС № неизвестен) используются в добавке в растворе для обработки солнечных батарей в Республике Корея. Согласно информации, представленной Республикой Корея в соответствии с приложением F, на водоочистном сооружении, находящемся по соседству с производственным предприятием, на котором применяется раствор для обработки солнечных батарей, было зафиксировано неожиданное повышение концентраций ПФГСК. С 2012 года Республика Корея осуществляет мониторинг ПФАВ на 70 водоочистных сооружениях на всей территории страны. В 2016 году концентрации ПФГСК варьировались от 0,002 мкг/л до 0,013 мкг/л, однако в 2017 году содержание ПФГСК неожиданно увеличилось до 0,454 мкг/л на сооружении, находящемся в источниках реки Накдонг (информация, представленная Республикой Корея в соответствии с приложением F). Это согласуется с обнаружением ПФГСК в пробах водопроводной воды, поступающей из той же реки, в ходе исследования, в котором концентрации ПФГСК были наиболее высокими и варьировались от необнаруживаемых (н.о.) до 190 нг/л (Park et al., 2018). После принятия корректирующих мер, включая замену раствора для обработки на предприятии, концентрации ПФГСК снизились до уровней предыдущих лет. Этот раствор импортировался в страну, а в самой стране ПФГСК, ее соли и родственные ПФГСК соединения не производятся (информация, представленная Республикой Корея в соответствии с приложением F).

36. Кроме того, высокие концентрации ПФГСК были обнаружены в нескольких образцах продуктов-заменителей ПФОС из Китая. Как указывается в докладе https://www.switchmed.eu/en/documents/huang_pfos-substtution-in-china.pdf (Huang et al., 2015), «Эти продукты используются главным образом в поверхностно-активных веществах для ВПП, например VF-230 (5082 мг/л), VF-9126 (1771 мг/л) и VF-9128 (583 мг/л)». Фактически, производитель указанных выше ВПП покупал «не содержащие ПФОС» фторуглеродные поверхностно-активные вещества для производства ВПП у других поставщиков с гарантией того, что этот продукт не содержит ПФОС. Однако содержанию ПФГСК в этих продуктах внимание не уделялось, и такая информация не указывалась при продаже этого товара, который в дальнейшем использовался в ВПП (VF-230, VF-9126 и VF-9128) (https://www.switchmed.eu/en/documents/huang_pfos-substtution-in-china.pdf; Huang et al., 2015).

37. ПФГСК, ее соли и родственные ПФГСК соединения не зарегистрированы в соответствии с регламентом REACH Европейского законодательства по химическим веществам. Однако, поскольку в реестре по классификации, маркировке и упаковке (КиМ)⁴ Европейского агентства по химическим веществам находится около 68 зарегистрированных уведомлений/собственных классификаций о КиМ для группы веществ ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений, эта информация свидетельствует о том, что в Европе объем использования каждого соединения ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений, в отношении которых были представлены уведомления, не превышает 1000 кг в год. Однако регламент REACH освобождает от регистрации и оценки полимеры с длиной цепи ≥ 3 (мономеры), что может говорить о присутствии существенного дополнительного источника высвобождений ПФГСК в результате использования полимеров, содержащих родственные ПФГСК соединения (в боковых цепях или присутствующие непреднамеренно), в различных видах применения. Мономеры или другие соединения, непреднамеренно присутствующие в полимере, вес которых превышает 2% в пересчете на массу (м./м.), а общее количество составляет 1 тонну в год или более, должны быть зарегистрированы в соответствии с регламентом REACH (статья 6 (3)). Вместе с тем, проводится пересмотр дальнейших мер регулирования полимеров на рынке, как

4

<https://echa.europa.eu/information-on-chemicals/cl-inventory-database>.

это описано в регламенте REACH (статья 138 (2)). Республика Корея (информация, представленная в соответствии с приложением F) сообщала, в частности, об использовании полимеров, содержащих родственные ПФГСК соединения, в аэрозолях для нанесения автомобильных покрытий.

38. В информации, представленной Соединенным Королевством в соответствии с приложением F, сообщается, что в ответ на просьбу о предоставлении информации одна компания по обработке отходов указала, что ПФГСК, ее соли и родственные ПФГСК соединения применяются в текстильных изделиях, средствах для защитной обработки ковров, коже, бумаге, пестицидах, электролитическом покрытии, огнетушительных пенах, фоточувствительных материалах и некоторых синтетических материалах. ПФГСК также обнаруживалась в типографских чернилах и герметиках. Хотя, согласно информации, представленной Соединенным Королевством в соответствии с приложением F, в Соединенном Королевстве это химическое вещество не используется или не производится в качестве сырьевого продукта, предполагается, что некоторый объем будет присутствовать в товарах повседневного использования (информация, представленная Соединенным Королевством в соответствии с приложением F).

39. Кроме того, следует отметить, что данные об объемах и видах применения ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений передаются компетентным органам в Дании, Швеции и Норвегии, однако такие сведения преимущественно относятся к конфиденциальной деловой информации (SPIN, 2018; Norwegian Environment Agency M-961/2018). Недавно проведенный анализ источников в прибрежных районах Бохайского залива в Китае показал, что ПФГСК ассоциируется с составами жидкостей для гидравлических систем, предприятиями по выпуску ВПП, гальванизацией, производством и обработкой фторполимеров и материалов и продуктов, контактирующих с пищей (Liu et al., 2019). Кроме того, ПФГСК выявляется в ряде потребительских товаров, таких как различные виды текстиля, включая обивочные материалы, ковры, электротехнические изделия и строительные материалы (Becanova et al., 2016).

40. Несколько поставщиков имеют возможность предлагать ПФГСКФ (КАС № 423-50-7) в качестве сырья для производства ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений (https://www.lookchem.com/product_High-quality-Perfluorohexane-Sulphonyl-Fluoride/14315526.html) и рекламируют его для следующих видов применения; «этот продукт является одним из наиболее важных сырьевых материалов для получения фторсодержащих поверхностно-активных веществ. Фторсодержащие поверхностно-активные вещества широко применяются при производстве текстильных изделий, кожи, бумаги, пестицидов, в гальванизации, нефтепромысловом деле, пожаротушении, изготовлении фоточувствительных материалов, синтетических материалов и в других областях». В Китае было выявлено в общей сложности шесть производителей или розничных поставщиков (<https://www.lookchem.com/newsell/search.aspx?key=423-50-7&countryId=1&businessType=Manufacturers>, дата посещения – 1 октября 2019 года), имеющих возможности для производства ПФГСКФ. Более того, ряд производителей и/или поставщиков ПФГСК (КАС № 355-46-4) зарегистрированы на следующей веб-странице (<https://www.lookchem.com/newsell/search.aspx?p=1&key=355-46-4&ad=>, дата посещения – 1 октября 2019 года), что говорит о ее возможном использовании и наличии.

41. ПФГСКФ может образовываться непреднамеренно в качестве побочного продукта в ходе процесса электрохимического фторирования (ЭХФ) при производстве перфтороктанового сульфонилфторида (ПФОСФ) (Gramstad and Haszeldine, 1957; Jiang et al., 2015; 3M 2000b). Если производители не удаляют ПФГСКФ из ПФОСФ, он будет оставаться в качестве загрязнителя и потенциально вступать в реакцию с образованием ПФГСК, как показано, например, в работах 3M, 2015; Herzke et al., 2012; Huang et al., 2015. Вероятное отношение выхода ПФГСКФ к выходу ПФОСФ при производстве ПФОСФ находится в диапазоне от 4% (Gramstad and Haszeldine, 1957) до 14,2% (данные от китайского производителя; Ren, 2016). Это подтверждается измерением соотношения ПФГСК к ПФОС в коммерческой продукции ПФОС, а именно 3,5-9,8% в продукте «FC-95» компании «3M» (3M, 2015) и 11,2-14,2 % в трех продуктах из Китая (Jiang et al., 2015). Среди примесей ПФГСК при производстве ПФОС по технологии ЭХФ «3M» также были обнаружены разветвленные изомеры ПФГСК, например 18% разветвленных изомеров в 4,7% примеси ПФГСК в одной из партий (Benskin et al., 2010). По нашим сведениям, не ясно, является ли ПФГСКФ побочным продуктом в текущем производстве ПФОСФ. Boucher et al. 2019 указали, что непреднамеренно произведенные ПФГСКФ (после очистки продуктов ПФОС) перерабатываются в продукцию и применяются как указано в пункте 31.

42. Недавно был опубликован глобальный кадастр выбросов ПФСК C₄-C₁₀ и связанных с ними прекурсоров (Boucher et al., 2019). В нем приводятся и обобщаются имеющиеся сведения о жизненном цикле сырьевого ПФГСКФ и его производных с использованием данных о производстве за прошлые годы. С помощью той же методологии для разработки и удостоверения кадастра выбросов, что и в более раннем исследовании ПФОСФ (Wang et al., 2017), был составлен кадастр ПФГСКФ, и он использовался в качестве источника информации для глобальной модели экологической судьбы с учетом баланса масс «CliMoChem» для оценки концентраций в окружающей среде, которые затем сопоставлялись с полевыми замерами. В эту модель не были включены данные о прошлом и текущем объеме намеренного производства ПФГСКФ и его производных, поскольку не было найдено общедоступной информации об их объемах производства. Кадастры оценочных выбросов включают в себя все глобальные совокупные выбросы в течение жизненного

цикла продуктов на основе ПФГСК. Сообщается о глобальных выбросах из отдельных категорий источников за различные периоды времени. За период 2016-2030 годов совокупные глобальные выбросы в результате производства, использования и удаления, разложения родственных ПФГСК соединений и разложения ПФГСК оцениваются в 2-89 тонн ПФГСК. По оценкам, наибольшие выбросы ПФГСК за этот период происходили в результате использования и удаления (1-21 тонна) и разложения родственных ПФГСК соединений (1-66 тонн). Отсутствие количественных данных по веществам при проведении расчетов для кадастров вызвало необходимость делать оценки и предположения, что, в свою очередь, привнесло в результаты долю неопределенности (Boucher et al., 2019).

43. Сообщаемые полевые концентрации хорошо согласуются с концентрациями ПФГСК, полученными с помощью моделей. Согласно результатам, следует ожидать, что повышенные концентрации ПФГСК и его производных (таких как ПФГСК и родственные ПФГСК соединения) в окружающей среде будут сохраняться в течение десятков лет и что оценочные пиковые концентрации в районах, удаленных от регионов, служащих источниками, еще не достигнуты. Эти расчетные тенденции, скорее всего, характерны для широких географических масштабов; вместе с тем, не поддающиеся в настоящее время количественной оценке выбросы в результате преднамеренного производства продуктов на основе ПФГСК в Китае (и, возможно, в других странах) могут повысить уровни местного воздействия в некоторых районах и не отражаются в текущем исследовании (Boucher et al., 2019).

44. Таким образом, информация, приведенная в этом разделе, показывает, что ПФГСК весьма широко распространена в окружающей среде в глобальном масштабе (более подробную информацию см. в UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1 и UNEP/POPS/POPRC.14/INF/4). В прошлом основные объемы выбросов ПФГСК и родственных ПФГСК соединений были, скорее всего, связаны с ее случайным присутствием в ПФОС, производимой путем ЭХФ. Возможно, еще продолжаются выбросы и высвобождения ПФГСК в результате производства и использования ПФОС. Кроме того, ПФГСК может также присутствовать в запасах ПФОС или содержащих ПФОС продуктах/химических смесях, которые еще не утилизированы. Вместе с тем, последние данные, в частности из Азии, свидетельствуют о том, что ПФГСК заменила ПФОС во многих областях применения. На это указывает большое число новых публикаций, в которых сообщается об обнаружении ПФГСК как основного ПФАВ в сбросах в реки и озера, особенно в городских районах и вблизи промышленных объектов в Азии. Сообщается, что эти выбросы ПФГСК могут быть связаны с такими видами деятельности, как обработка текстильных изделий (Park et al., 2018; Ma et al., 2018; Zhou et al., 2019), электронная и химическая отрасли промышленности (Park et al., 2018), производство полупроводников (Lin et al., 2010), завод по производству фотопленки (Cui et al., 2018), защитное покрытие для ковров (Zhou et al., 2019) и производство фторполимеров (Zhou et al., 2019). Эти исследования свидетельствуют о том, что ПФГСК намеренно используется в этих областях применения и промышленных процессах и не присутствует в качестве случайного загрязнителя при производстве ПФОС. Кроме того, ПФГСК используется в ВПП, и недавно была выпущена в оборот в качестве продукта-замениителя ПФОС в Азии. Количественные данные о преднамеренном производстве ПФГСК, который служит сырьем для производства ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений, носят конфиденциальный характер. В связи с этим не представляется возможным оценить кадастр выбросов в результате намеренного производства, использования и удаления ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений. Кадастр выбросов, приведенный в настоящий момент в публикации Boucher et al. (2019), охватывает только непреднамеренное производство, использование и удаление ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений.

2.1 Выявление возможных мер регулирования

45. Для выявления возможных мер регулирования в течение всего жизненного цикла следует рассмотреть наиболее важные области применения и возможные пути выбросов. Выбросы ПФГСК могут происходить тремя возможными путями:

- a) производство, использование и удаление ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений;
- b) присутствие в качестве примеси в других перфторалкильных сульфоновых кислотах (например, ПФОС); и
- c) в качестве продукта разложения родственных ПФГСК соединений, в том числе из полимеров с боковыми цепями, содержащими фрагмент $C_6F_{13}SO_2$.

46. Как упоминалось в пункте 34, были выявлены следующие виды применения: 1) ВПП для пожаротушения; 2) нанесение металлических покрытий; 3) текстильные изделия, кожа и обивочные материалы; 4) полировочные составы и чистящие/моющие средства; 5) покрытия, пропитка/обработка (для защиты от сырости, грибка и т.д.); и 6) при производстве электроники и полупроводников. Другие потенциальные категории применения могут включать применение в качестве пестицидов, антипиренов, для производства бумаги и упаковочных материалов, в нефтяной промышленности и в качестве гидравлических жидкостей. На основе имеющейся информации можно предположить, что высвобождение ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений, скорее всего, происходит в основном в результате применения для ВПП,

обработки текстиля, кожи и обивочных материалов и производства электроники и полупроводников. Этот вывод подтверждается в работе, представленной Китаем в рамках Базельской конвенции (2013), в которой сообщается, что ПФГСК была обнаружена и определена в качестве альтернативы ПФОС в следующих областях применения; 1) ВПП; 2) водоотталкивающие средства; 3) средства для отделки тканей (Huang et al., 2015). Вместе с тем нельзя исключать высвобождения в результате других видов применения, таких как бытовое и коммерческое использование, например, полировочных составов и чистящих/моющих средств.

47. Конвенцией предусмотрены различные подходы, которые можно использовать для обеспечения «запрещения или ограничения производства, использования, импорта и экспорта», как это изложено в статье 3:

a) ПФГСК, ее соли и родственные ПФГСК соединения могут быть включены в приложение А с конкретными исключениями или без них и с конкретной частью приложения А, содержащей подробное изложение конкретных мер; или

b) ПФГСК, ее соли и родственные ПФГСК соединения могут быть включены в приложение В с приемлемыми целями/конкретными исключениями и с конкретной частью приложения В, содержащей подробное изложение конкретных мер; и/или

c) ПФГСК, ее соли и родственные ПФГСК соединения могут быть включены в приложение С в качестве непреднамеренно образующихся стойких органических загрязнителей (СОЗ) для устранения потенциального образования и непреднамеренных выбросов из антропогенных источников, например вследствие возможного непреднамеренного образования ПФГСК при сжигании.

48. В ходе подготовки этой оценки регулирования рисков не поступило никаких заявок на предоставление исключений от Сторон или наблюдателей. Заявки на предоставление исключений не подавались, и представляется, что для всех видов применения имеются и используются технически осуществимые альтернативы. Таким образом, не выявлены причины для включения ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений в приложение В к Конвенции. При этом к настоящему времени не была представлена или доступна информация о непреднамеренном производстве ПФГСК при сжигании, что говорит об отсутствии необходимости во включении в приложение С. Это указывает на возможность полного поэтапного отказа от ПФГСК для всех видов применения и отсутствие необходимости в предоставлении исключений для производства и использования. Таким образом, возможная мера регулирования заключается в том, чтобы включить ПФГСК, ее соли и родственные ПФГСК соединения в приложение А к Конвенции без каких-либо исключений в отношении производства и использования.

49. Меры регулирования, связанные с включением в приложение А без исключений для ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений могут быть обеспечены путем: 1) запрещения производства, использования, импорта и экспорта; 2) восстановления загрязненных участков; 3) экологически обоснованного регулирования отходов и старых запасов; 4) запрещения повторного использования и рециркуляции отходов или запасов.

50. Включение ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений в приложение А без исключений будет осуществлено в соответствии с примечанием i) к приложению А. Это будет означать, что ПФГСК, ее соли и родственные ПФГСК соединения могут присутствовать в других веществах только в качестве непреднамеренного микрозагрязнителя.

51. По оценкам, одним из главных источников выбросов ПФГСК является использование и утилизация (Boucher et al., 2019). В разделе с дополнительной информацией в работе Boucher et al. (рисунок S6) приводится обзор возможных путей в потоках отходов, которые могут приводить к выбросам ПФГСК в окружающую среду. Показано, что помимо прямых выбросов в результате использования основными путями выбросов ПФГСК в окружающую среду являются сточные воды (газы, стоки и шлам) и твердые отходы (свалки, обработка земель). Восстановление почвы, загрязненной ПФГСК, с использованием существующей в настоящее время технологии, является чрезвычайно сложным, если вообще возможным (Naturvardsverket, 2019; CRC Care, 2017). Кроме того, при переходе на альтернативное химическое вещество пользователи должны промыть оборудование для производства и хранения, и возникает необходимость в удалении этих жидких отходов экологически безопасным образом. Во многих исследованиях ПФГСК была обнаружена в стоках водоочистных установок (ВОУ) и промышленных предприятий (Lin et al., 2010; Eriksson et al., 2017; UNEP/POPS/POPRC.14/INF/4, таблица 1.5). Кроме того, сообщалось об образовании ПФГСК в результате разложения родственных ПФГСК соединений в ВОУ (Eriksson et al., 2017), а также о доле выбросов ПФГСК из стоков ВОУ (Norwegian Environment Agency, M-806/2017). Если объем выбросов из стоков является высоким, на ВОУ должны быть приняты меры регулирования как указано в разделе 2.4.1.

52. После включения ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений в Конвенцию должны выполняться положения пункта 1 d) ii) статьи 6. Это означает, что отходы должны удаляться таким образом, чтобы содержащиеся в них СОЗ уничтожались или необратимо преобразовывались и не проявляли свойств СОЗ или удалялись иным экологически безопасным образом, в том случае, если уничтожение или

необратимое преобразование не являются экологически предпочтительным вариантом или содержание СОЗ низкое. Сторонам следует также рассмотреть меры по сокращению выбросов и использование наилучших имеющихся методов и наилучших видов природоохранной деятельности (НИМ/НПД) на этапе регулирования отходов (UNEP, 2007). Кроме того, Стороны должны приложить усилия для выработки соответствующих стратегий по выявлению участков, загрязненных ПФГСК. В случае выявления загрязненных участков и проведения работ по их восстановлению такие работы должны вестись экологически безопасным образом.

2.2 Действенность и эффективность возможных мер регулирования в решении задач по уменьшению рисков

53. Для сокращения выбросов ПФГСК необходимо рассмотреть меры регулирования на всех этапах жизненного цикла. Выбросы ПФГСК в окружающую среду происходят на всех этапах ее жизненного цикла, но считаются самыми высокими в течение срока службы и на этапе отходов. Вместе с тем, также было показано, что обширные выбросы ПФГСК образуются от производственных установок, особенно в Китае (см., например, Cui et al., 2018; Ma et al., 2018). Таким образом, наиболее эффективной мерой регулирования для ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений является полное запрещение производства, использования, импорта и экспорта. Лучше всего это обеспечить путем включения ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений в приложение А к Стокгольмской конвенции без каких-либо исключений. Меры в соответствии со статьей 6 будут касаться экологически обоснованного регулирования запасов и отходов и очистки загрязненных участков (если такие работы будут проводиться), например на производственных предприятиях, аэропортах, военных базах и других источниках или вблизи них.

54. Согласно информации, представленной Сторонами и наблюдателями в соответствии с приложением F, не было выявлено важнейших видов применения ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений и не было направлено никаких заявок на предоставление исключений. Таким образом, должно быть возможно прекратить производство и использование и, соответственно, остановить выбросы и высвобождения с производственных предприятий и объектов, использующих ПФГСК, ее соли и родственные ПФГСК соединения в их продукции (например, для обработки текстильных изделий и кожи, при производстве полупроводников и т.д.).

55. По данным обследования, проведенного Глобальной группой ОЭСР/ЮНЕП по ПФХВ, двумя важными факторами сокращения риска, связанного с ПФАВ, являются расширение научных знаний и рост числа международных инициатив в поддержку перехода на более безопасные альтернативы (OECD, 2015). В ходе разработки и осуществления мер по уменьшению риска, связанного с ПФАВ, могут возникнуть некоторые сложности (OECD, 2015). Частично они могут быть связаны с мерами регулирования, которые необходимо осуществить для достижения цели сокращения рисков для ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений. Отсутствует достаточная информация об источниках (производство и использование) ПФГСК и особенно родственных ПФГСК соединений. Это, в свою очередь, затруднит выявление промышленных процессов (т.е. обработка текстиля, кожи и других поверхностей, производство электроники и полупроводников и т.д.) и продуктов, в которых используются эти химические вещества. Отрасль промышленности, на которую ориентированы эти усилия, не предоставила достаточной информации об источниках (производство и использование) и промышленных процессах и продуктах, в которых применяется ПФГСК. Кроме того, в настоящее время отсутствуют стандартизованные аналитические методы обнаружения и количественной оценки отдельных родственных ПФГСК соединений, и это затрудняет выявление соединений в химических смесях и продуктах (аналитические методы для ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК веществ описываются в разделе 1.1). Отсутствие информации о содержании химических веществ в продуктах в целом будет затруднять отделение этих продуктов в потоке отходов и во время обработки отходов. В целях улучшения обмена информацией о химических веществах, содержащихся в продуктах, была разработана программа в рамках СПМРХВ <http://www.saicm.org/Implementation/EmergingPolicyIssues/ChemicalsInProducts/tabid/5473/language/en-US/Default.aspx>.

56. Кроме того, очень часто ПФАВ добавляются в продукты в низкой концентрации, в результате чего может не применяться требование об информировании о содержании вещества. Например, при регистрации в соответствии с REACH в ЕС поставщики обязаны представлять информацию о веществах, если их концентрация в изделиях превышает 0,1% (см. раздел 1.5), и превышении порогового значения 1000 кг/год, но эти значения могут не достигаться, если концентрация ПФАВ в рассматриваемом продукте очень низка (см. раздел 2, пункт 34) или если полимеры освобождены от регистрации. В работе Kotthoff et al. (2015) сообщается, что в некоторых потребительских товарах (чистящие средства, материалы и продукты, контактирующие с пищей) содержание ПФАК было низким, а в других продуктах, таких как лыжная мазь, образцы кожи и текстильные изделия для наружного использования, оно было более высоким.

57. Как уже говорилось ранее и будет обсуждаться в следующем разделе, ПФГСК, ее соли и родственные ПФГСК соединения во многом используются в тех же видах применения, что и ПФОС (подробную информацию см. в разделе 2). При осуществлении мер регулирования в отношении ПФГСК, ее солей и

родственных ПФГСК соединений большую пользу могут принести опыт, руководящие принципы и кадастры, сложившиеся в рамках программы работы по ПФОС.

58. Для отслеживания эффективности осуществляемых мер регулирования будет необходимо рассмотреть вопрос о ведении деятельности по наблюдению за рынком и мониторингу окружающей среды.

2.2.1 Техническая осуществимость

59. Несмотря на отсутствие четкого обзора использования ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений, предполагается, что многие виды преднамеренного применения будут схожими с ПФОС (более подробная информация приводится в характеристике рисков для ПФГСК; UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1) и в некоторых случаях с ПФОК. Это также подробно рассматривается в резюме раздела 2. Таким образом, из «Доклада об оценке альтернатив перфтороктановой сульфоновой кислоте (ПФОС), ее солям и перфтороктановому сульфонилфториду (ПФОСФ)» (UNEP/POPS/POPRC.14/4 и UNEP/POPS/POPRC.14/INF/8) можно почерпнуть полезную информацию о возможных альтернативах/альтернативных методах также и для ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений. В докладе об оценке указывается, что технически осуществимые альтернативы имеются для всех областей применения ПФОС, что говорит о возможности перехода на химические и нехимические альтернативы. Многие из предложенных альтернатив могут также относиться к ПФГСК. Вместе с тем следует отметить, что ранее для некоторых видов применения (огнетушительные пены и обработка текстильных изделий и кожи) использовалась ПФГСК, и она указана в качестве альтернативы ПФОС (UNEP/POPS/POPRC.12/INF/15/Rev.1).

60. Информация, полученная от промышленных предприятий в ходе процедуры, проведенной КРСОЗ в отношении ПФОС, ее солей и ПФОСФ, указывает на то, что проходит процесс замещения ПФОС и что выявлено лишь несколько видов применения, в которых все еще необходима ПФОС. Эти виды применения связаны с использованием ПФОС (или родственных ПФОС соединений) в качестве ингибитора тумана в твердых металлических покрытиях в замкнутых системах и приманки для насекомых для борьбы с муравьями-листорезами. На своем девятом совещании Конференция Сторон (КС-9) постановила отнестись ингибиторы тумана в твердых металлических покрытиях к ограниченному по времени конкретным исключениям и оставить приманки для насекомых для борьбы с муравьями-листорезами в качестве приемлемой цели, но ограничить сферу применения сельским хозяйством (решение СК-9/4). Кроме того, приемлемая цель для производства и применения ПФОС, ее солей и ПФОСФ в огнетушительных пенах была преобразована в ограниченное по времени конкретное исключение в отношении использования огнетушительных пен для подавления паров жидкого топлива и тушения пожаров жидкого топлива (пожары класса В) в установленных системах, включая мобильные и стационарные системы. Такое же решение было также принято в отношении ПФОК, ее солей и родственных ПФОК соединений, используемых в ВПП (решение СК-9/12). Для ПФОК было согласовано несколько других ограниченных по времени исключений, например, в отношении применения ПФОК, ее солей и родственных ПФОК соединений в текстильных изделиях для обеспечения жиро- и водоотталкивающих свойств для защиты работников от опасных жидкостей, которые представляют собой угрозу для их здоровья и безопасности (решение СК-9/12), но и в этом случае происходит переход на другие химические и нехимические альтернативы.

61. Как указано в разделе 2.3, существует большое количество нефторированных химических альтернатив для всех возможных видов применения ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений, включая ряд технических решений для ликвидации ПФГСК.

2.2.2 Издержки и выгоды, связанные с осуществлением мер регулирования

62. Поскольку не было получено заявок на предоставление исключений, ожидается, что расходы, связанные с осуществлением мер регулирования в отношении производства и применения, будут ограничены. Дорогостоящие меры регулирования, принятые в отношении ПФОС и ПФОК, могут также быть эффективными и для ПФГСК в связи с предполагаемыми аналогичными видами применения (например, замена и уничтожение ВПП). Кроме того, предполагается, что объемы имеющихся запасов будут минимальными и ПФГСК в качестве непреднамеренного побочного продукта в продуктах ПФОС будет ликвидирована в результате поэтапного отказа от ПФОС. В связи с тем, что затраты на очистку питьевой воды и загрязненных участков от ПФАВ, как известно, весьма высоки, принятие мер регулирования в отношении ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений будут способствовать предотвращению таких расходов в будущем (более подробная информация о расходах представлена в разделе 2.4.3).

2.3 Информация об альтернативах (продуктах и процессах) в соответствующих случаях

63. В целом отсутствуют опубликованные данные об удостоверяющих сведениях, свойствах и эффективности альтернатив ПФАВ для большинства видов применения, поскольку эти данные, как правило, относятся к конфиденциальной деловой информации. Несмотря на ряд запросов, соответствующая отрасль

промышленности не предоставила информацию о производстве и применении ПФГСК (Norwegian Environment Agency M-961/2018, ЕСНА, 2019b). Тем не менее, во многих областях применения существуют и используются альтернативы, что говорит о том, что они одобряются отраслью и, следовательно, должны быть пригодными для применения (UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1). Таким образом, эта оценка альтернатив ПФГСК основана на общих видах применения, упомянутых в характеристике рисков (UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1), и том предположении, что функции ПФГСК в этих видах применения идентичны функциям ПФОС и в некоторых случаях ПФОК или очень похожи на них.

2.3.1 Альтернативные вещества, имеющие конкретные виды применения

64. К альтернативам ПФГСК, ее солям и родственным ПФГСК соединениям относятся химические вещества-заменители и альтернативные методы, включая нехимические альтернативы, такие как изменения конструкции или продукта. Необходимо приложить все возможные усилия, чтобы не допустить замены на другие стойкие и/или токсичные химические вещества.

65. Неудачной мерой признается такая замена, «когда токсичное химическое вещество заменяется другим химическим веществом, которое впоследствии оказывается непригодным, поскольку выясняется, что оно тоже является стойким, способным к биоаккумуляции и токсичным (СБТ) веществом, или служит поводом для иной озабоченности» (U.S. National Research Council, 2014). Снижение вероятности неудачной замены ПФГСК и родственных соединений на аналогичные перфторалкильные кислоты (ПФАК) и родственные соединения является непростой задачей, поскольку это крупный класс химических веществ (OECD 2018) и информация о свойствах большинства из этих веществ весьма ограничена. Эта проблема, заключающаяся в решении вопросов, связанных с обширным классом химических веществ, может быть решена путем применения основанного на группировке подхода, признанного важным методом снижения вероятности неудачных замен и предложенного ЕАХВ (ЕСНА, 2017b) и национальными директивными органами ряда стран (Ritscher et al., 2018; Cordner et al., 2016). Во многих случаях длинноцепные ПФАК, их соли и родственные соединения могут быть заменены короткоцепными ПФАК, их солями и родственными соединениями (короткоцепные ПФАК определяются как перфторкарбоксильные кислоты (ПФКК) C₂-C₇ и ПФСК C₃-C₅) и другими фторированными альтернативами, которые считаются безопасными для предполагаемых видов применения промышленными предприятиями (Fluorocouncil, 2015). Хотя ПФАК с более короткими цепями в целом характеризуются меньшей способностью к биоаккумуляции, они являются стойкими и отличаются более высокой водорастворимостью и мобильностью, что еще больше затрудняет сдерживание и контроль за распространением этих веществ в окружающей среде по сравнению с длинноцепными ПФАК (Arp et al., 2017; Neumann et al., 2017; Kotthoff and Bücking, 2018).

66. Некоторые короткоцепные ПФАК и другие фторированные альтернативы обладают схожим с ПФОК и ПФОС потенциалом токсичности с учетом поправки на биодоступность (Gomis et al., 2018). Короткоцепные ПФАВ (ПФКК C₂-C₇ и ПФСК C₄) составляют более 80% от обнаруживаемых ПФАВ в пробах дождевых осадков, и только на ПФАВ C₂-C₃ приходится свыше 40% от общего объема ПФАВ в пробах воды и дождевых осадков в Торонто (Yeung et al., 2017). На рынке появились новые фторированные соединения для замены длинноцепных ПФАК, их солей и родственных соединений. В поверхностных водах по всему миру обнаруживаются несколько новых перфторэфировых карбоксильных и сульфоновых кислот (ПФЭКК и ПФЭСК), включая гексафторпропиленовые оксидные димерные и тримерные кислоты (ГФПО-ДК, также известная под торговым наименованием «GenX», и ГФПО-ТК), 4,8-диокса-3-Н-перфторнонаноат аммония (также известный под своим торговым наименованием ADONA), хлорированная полифторированная эфирная сульфоновая кислота (6:2 Хл-ПФЭСК) и ее водородный аналог (6:2 В-ПФЭСК) (Pan et al., 2018). ADONA также выявляется в человеческой крови у населения, проживающего в районах, где этим веществом загрязнена водопроводная вода (Fromme et al., 2017). Отмечается загрязнение водных источников короткоцепными ПФАК (Gebbinck et al., 2017; Braunig et al., 2019). ПФКК и другие ПФАВ, такие как ПФЭКК и ПФЭСК, были выявлены в природных водах, собранных в районах, где ранее наблюдалось загрязнение перфторированными соединениями (Strynar et al., 2015).

67. В настоящее время несколько короткоцепных альтернативных веществ проходят оценку в соответствии с REACH, так как предположительно они являются СБТ или оСоБ веществами (например, ADONA и родственные ПФГпК соединения (ЕСНА CoRAP list)), и/или идет процесс подготовки к нормативному регулированию связанных с ними рисков (ПФГпК, ПФБС, ПФГкК (реестр намерений и инструментарий для координации общественной деятельности (ИКОД) ЕАХВ)). ГФПО-ДК в июле 2019 года была признана веществом, вызывающим высокую степень озабоченности, в связи с ее стойкостью, мобильностью, возможностью переноса на большие расстояния в окружающей среде, наблюдаемым вредным воздействием, низкой возможностью всасывания и высокой растворимостью в воде, что делает это вещество полностью биодоступным путем поглощения с (питьевой) водой⁵. В связи с этим вероятно, что использование некоторых из этих веществ будет в дальнейшем ограничено. Кроме того, нередко эффективность применения

⁵

<https://echa.europa.eu/candidate-list-table/-/dislist/details/0b0236e1833efc3e>.

этих соединений ниже, что приводит к росту объемов их применения и увеличению выбросов на этапах использования и удаления продукта (Schellenberger et al. 2019).

68. Ранее КРСОЗ уже рассматривал вопрос о неудачных заменителях ПФАВ в отношении ПФОК и ПФОС в рекомендациях по альтернативам ПФОС (решение КРСОЗ-14/3) и рекомендациях по включению ПФОК (решение КРСОЗ-14/2) в рамках Стокгольмской конвенции. На КС-9 было принято решение о том, что особое замечание о недопущении применения короткоцепных ПФАВ (в огнетушительных пенах) делаться не будет, поскольку короткоцепные ПФАВ образуют крупный класс химических веществ с различными химическими и физическими свойствами и КРСОЗ не пересматривал данные по этому классу. Вместо этого была принята следующая формулировка: «призывает Стороны и другие субъекты использовать альтернативы ПФОК, ее солям и родственным ПФОК соединениям в тех случаях, когда такие альтернативы имеются в наличии, являются целесообразными и действенными, учитывая при этом, что фторсодержащие огнетушительные пены могут иметь негативные экологические, медицинские и социально-экономические последствия в силу их стойкости и мобильности» (решение СК-9/5 (ПФОС) и решение СК-9/12 (ПФОК)). Альтернативные короткоцепные ПФАВ демонстрируют более высокую растворимость в воде и экологическую мобильность по сравнению с длинноцепными ПФАВ (Baduel et al., 2017; Barzen-Hanson and Field, 2015). В целях недопущения неудачной замены на другие ПФАК основное внимание в следующих разделах уделяется в первую очередь нефторированным химическим альтернативам и нехимическим альтернативным методам.

69. В таблице 3 приводится обзор выявленных категорий использования и имеющихся альтернатив ПФГСК, а далее в отдельных разделах представлена информация по каждому виду применения и альтернативам для него в тех случаях, когда упор делается на нефторированные химические и технические решения. (Фторированные альтернативы указываются только для тех областей применения, в которых не доказана пригодность нефторированных химических альтернатив и альтернативных методов для всех видов применения в категории использования.)

Таблица 3. Обзор альтернатив

Вид применения	Наличие альтернативы	Тип альтернативы
Огнетушительные пены	Да	Нефторированные и фторированные химические альтернативы
Нанесение металлических покрытий	Да	Химические альтернативы (нефторированные и фторированные химические альтернативы) и технические решения
Текстиль	Да	Химические альтернативы (нефторированные и фторированные химические альтернативы) и технические решения
Полировочные, чистящие и моющие средства	Да	Нефторированные химические альтернативы
Покрытие, пропитка/обработка	Да	Нефторированные химические альтернативы
Электроника и полупроводники	Да	Нефторированные и фторированные химические альтернативы

2.3.1.1 Фторированные огнетушительные пены

70. Фторированные огнетушительные пены, включая водные пленкообразующие пены (ВПП) представляют собой весьма эффективные пены, предназначенные для борьбы с пожарами высокоопасных горючих жидкостей. ВПП образуют тонкий слой, отделяющий легковоспламеняющуюся жидкость или огнеопасные твердые вещества от богатого кислородом воздуха. Водяная пленка между топливом и пеной охлаждает поверхность топлива, действует в качестве барьера для пара и способствует распределению пены по топливу. Обычно ВПП получают путем сочетания синтетических углеводородных поверхностно-активных веществ с фторированными поверхностно-активными веществами и используют в качестве огнетушительных пен класса В, предназначенных для тушения пожаров жидкого углеводородного топлива. Фторсодержащие пены в этом классе называются ВПП, фторпротеиновыми пенами (ФП) или пленкообразующими фторпротеиновыми пенами (ПФПП). Основу не содержащих фтор (F3) огнетушительных пен класса В образуют патентованные смеси углеводородных поверхностно-активных веществ.

71. Перфторированные вещества (такие как ПФОС и ПФГСК), используемые в ВПП, производятся специально путем ЭХФ, на основе фтористого водорода в качестве исходного сырья наряду с органическими материалами (Buck et al., 2011). При производстве фторсодержащих веществ путем ЭХФ можно получать как разветвленные, так и линейные продукты, а также продукты с различной длиной цепи (Buck et al., 2011). Продукты, содержащие ПФОС, могут включать 1-10% ПФГСК (Wang et al., 2017 (дополнительная информация)); рассматривается в характеристике рисков; UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1), если ее не очистить и не удалить непреднамеренную ПФГСК. Полный поэтапный отказ от ВПП, содержащих ПФОС, также будет способствовать снижению выбросов ПФГСК и родственных ПФГСК соединений в окружающую среду.

72. ПФГСК и родственные ПФГСК соединения выявляются в ВПП (D'Agostino and Mabury, 2014; Keml, 2015; Favreau et al., 2017) и обнаруживаются в почве и грунтовых водах, затронутых деятельностью по обучению обращению с ВПП, чаще всего в результате использования пен, содержащих ПФОС и случайные примеси ПФГСК (Barzen-Hanson et al., 2017; Gobelius et al., 2018; Banzhaf et al., 2017). Тем не менее, ранее на рынке присутствовали и ВПП, содержащие ПФГСК в качестве активного перфторированного соединения (таблица 8, ЕСНА, 2019b). С учетом длительного срока хранения концентратов ВПП, достигающего 10-20 лет, запасы уже заправленных ВПП все еще могут содержать ПФГСК. Кроме того, некоторые составы ВПП, произведенные в Китае в 2015 году, содержат ПФГСК в качестве заменителя ПФОС (https://www.switchmed.eu/en/documents/huang_pfos-substitution-in-china.pdf). По данным компании «Еврофё» (Европейский комитет производителей противопожарного оборудования и пожарных автомобилей), европейские и североамериканские предприятия по производству огнетушительных пен в полном объеме осуществили добровольную программу контроля АООС США и полностью ликвидировали производство ВПП на основе C_8 , хотя их запасы все еще сохраняются (<http://chm.pops.int/Portals/0/download.aspx?d=UNEP-POPS-POPRC13FU-SUBM-PFOA-FFFC-3-20180112.En.pdf>). Это говорит о том, что уже после введения в действия «нормы C_6 » фторсодержащие пены, изготовленные до 2015 года, могут содержать перфторированные вещества C_8 (Eurofeu, 2018). В пене, соответствующей «норме C_6 », присутствуют фторсодержащие поверхностно-активные вещества, полученные методом теломеризации, и, таким образом, не должно быть ПФГСК (FFFC, 2017).

Альтернативы ПФГСК в огнетушительных пенах для тушения пожаров класса В

73. Существуют две основные категории альтернатив, которые следует рассмотреть в этом разделе: а) не содержащие фтора альтернативы и б) короткоцепные фторсодержащие альтернативы.

а) Не содержащие фтора альтернативы

74. Ряд производителей огнетушительных пен предлагает не содержащие фтора пены, которые могут отвечать стандартным критериям противопожарной эффективности класса В (см. таблицу 6 в UNEP/POPS/POPRC.14/INF/8). Единственным исключением является военная спецификация США (MIL-F-24385), в которой не только описываются стандарты эффективности, но и оговаривается присутствие фторсодержащих химических веществ. Однако Департамент военно-морского флота Соединенных Штатов, отвечающий за эту военную спецификацию, на протяжении нескольких лет рассматривает вопрос об изменении стандарта спецификации так, чтобы он основывался на показателях эффективности, а не на указании конкретных химических веществ и свойств (IPEN, 2018). В октябре 2018 года Сенат Соединенных Штатов утвердил пятилетнее продление полномочий для Федерального управления гражданской авиации, которое изменило нормы эффективности огнетушительных пен, с тем чтобы разрешить использование не содержащих фтора пен в гражданских аэропортах (U.S. Congress, 2018).

75. Не содержащие фтора пены в настоящее время применяются в гражданских аэропортах в Австралии, Дании, Норвегии, Швеции и в крупнейших пересадочных центрах, например, в лондонских Хитроу и Гэтвике, Дубае, Штутгарте, Эдинбурге, Окленде (IPEN, 2018). В гражданских аэропортах Норвегии эта замена касается как стационарных, так и мобильных систем. В Норвегии не содержащие фтора пены были внедрены на нескольких военных объектах. Кроме того, в нефтегазовом секторе в Норвегии ведется внедрение не содержащей фтора пены (как в море, так и на суше), и представители этого сектора удовлетворены ею и уверены в ее эффективности (личное сообщение от компании «Экинор» и Норвежской ассоциации нефти и газа, Norwegian Environment Agency, 2019).

76. Институт борьбы с пожарами и стихийными бедствиями города Хейротсберг в Германии провел тестирование шести не содержащих фтора спиртоустойчивых огнетушительных пен и одной пены, содержащей ПФАВ, на предмет определения их способности тушить пожары пяти различных полярных жидкостей, которые могут входить в состав биодизеля (Keutel and Koch, 2016). Авторы пришли к выводу, что имеются не содержащие фтора пены, показатели эффективности которых сопоставимы с пенами, содержащими ПФАВ. В оценке регулирования рисков ПФОК также отмечается, что, по данным штата Квинсленд (2016) в Австралии, многие не содержащие фтора пены признаны отвечающими самым строгим нормам в области пожаротушения и демонстрируют более высокие рабочие характеристики по сравнению с пленкообразующими фторированными пенами в различных условиях и что не содержащие фтора пенообразующие составы широко используются в аэропортах и на других объектах, в том числе на нефтяных и газовых платформах.

77. В конце 1990-х годов консорциум «ЛЭСТФАЙР», включающий 16 нефтяных компаний, приступил к осуществлению проекта по изучению рисков, связанных с открытыми резервуарами большого диаметра (более 40 м) для хранения топлива с плавающей крышей. В 2018 году «ЛЭСТФАЙР» провел испытание шести новых ВПП только с C_6 и двух не содержащих фтора пен на крупных резервуарах, и по результатам его экспериментов (на основе отдельных пен, прошедших испытания) был сделан вывод о том, что ни одна из пен нового поколения (как содержащая, так и не содержащая фтор) не может считаться полным аналогом для замены какого-либо состава, использовавшегося ранее. При рассмотрении целесообразности альтернатив

необходимо учитывать как их противопожарные свойства, так и совместимость с существующими в системе методами контроля и применения. Предполагается, что эксплуатационные характеристики альтернативных пен будут зависеть от конкретного состава и типа оборудования для их применения. Таким образом, невозможно утверждать, что все фторсодержащие альтернативы C_6 более эффективны, чем все не содержащие фтора альтернативы, и наоборот (Ramsden, 2018).

78. В открытом доступе представлено относительно мало информации о химической структуре или свойствах не содержащих фтора альтернатив. Было найдено несколько производителей, а также коммерческих не содержащих фтора пен, имеющих сертификат безопасности, данные о точных составах которых не разглашаются ввиду конфиденциального характера деловой информации (см. таблицу 6 в UNEP/POPS/POPRC.14/INF/8). Вместе с тем, более подробную информацию можно получить из патентов на не содержащие фтора пены. Например, в патенте компании «Солберг» перечислены следующие ингредиенты: бутиловый эфир диэтиленгликоля, ксантановая камедь, крахмал, карбонизированный сахар, диэтанолламинлаурилсульфат, натриевый дециловый этоксисульфат, кокамидопропилбетаин, кокамидопропилгидроксисултан, натриевый октилсульфат, натриевый децилсульфат, алкилполиглюкозид (патент US20080196908). (Упрощенно: карбонизированное сахаридное соединение, структурообразователь или неорганическая соль, поверхностно-активное вещество и вода.)

79. Преимущества использования не содержащих фтора пен связаны с сокращением долгосрочных последствий для окружающей среды, при этом краткосрочное воздействие, связанное с острой токсичностью вследствие биохимической потребности в кислороде (БПК) и химической потребности в кислороде (ХПК), существенно не отличается от воздействия, оказываемого содержащими фтор пенами (IPEN, 2018). Не содержащие фтора пены подвергаются биологическому разложению, а ВПП содержат стойкие фторсодержащие вещества (<https://echa.europa.eu/fluorine-free-foams>).

б) Короткоцепные фторсодержащие альтернативы

80. По данным Коалиции пенного пожаротушения (FFFC, 2017), все современные составы ВПП содержат фторированные поверхностно-активные вещества на основе фтортеломеров, а короткоцепные (C_6) фторированные поверхностно-активные вещества (т.е. короткоцепные ПФАВ с ПФКК с длиной цепи менее C_7 или ПФСК с длиной цепи менее C_6) являются основными фторсодержащими химическими веществами, используемыми в ВПП на основе фтортеломеров в течение последних 25 лет. Путем теломеризации, которая наряду с ЭХФ представляет собой важный процесс производства перфторированных веществ, обычно синтезируется вещество с двумя нефторированными атомами углерода между функциональной группой и перфторалкильной цепью (Buck et al., 2011). Исследования показывают, что в природе фтортеломеры в конечном счете разлагаются до перфторированных кислот, и, например, известно, что 6:2 ФТС разлагаются до ПФГпК и ПФГкК, но не до ПФГСК (Wang et al., 2011b). На рынке присутствуют несколько сертифицированных ВПП класса В, основанных на фторсодержащих поверхностно-активных веществах, полученных путем теломеризации (см. таблицу 5 в UNEP/POPS/POPRC.14/INF/8). (Просьба обратить внимание, что в настоящий момент ряд перфторированных веществ с короткой длиной цепи изучается на предмет соответствия законодательству ЕС (обзор приводится в разделе 2.3, пункт 68)). По сравнению с пенами C_8 , для достижения эффективного противопожарного эффекта необходимо использовать повышенные концентрации фторсодержащих поверхностно-активных веществ C_6 или олигомерных поверхностно-активных веществ (Tuso patent 2014).

81. Что касается водной среды, то и поверхностные, и грунтовые воды во многих регионах загрязнены ПФАВ (включая ПФГСК) и, следовательно, представляют опасность для здоровья человека и окружающей среды. Одним из основных источников загрязнения ПФАВ признаются учебно-тренировочные противопожарные полигоны, где применялись ВПП, содержащие ПФАВ (они нередко расположены в аэропортах и на военных учебно-тренировочных полигонах) (Gobelius et al., 2018; Banzhaf et al., 2017; Hu et al., 2016; IPEN 2018). Для участков с активным применением химических веществ характерны значительное воздействие на окружающую среду и высокие расходы на восстановление. Кроме того, альтернативные короткоцепные ПФАВ с ПФКК с длиной цепи менее C_7 или ПФСК с длиной цепи менее C_6 (включая их прекурсоры) отличаются относительно более высокой водорастворимостью и повышенной мобильностью в окружающей среде (Baduel et al., 2017; Barzen-Hanson and Field, 2015). Особое внимание также уделяется подходу «от образования до захоронения» (Ramsden, 2017). В Квинсленде, Австралия, сейчас все чаще регулируются и пены, содержащие только C_6 ($\leq C_6 = 99,995\%$ ПФАВ) (Queensland Government, Australia 2016). В Квинсленде, Австралия, их не разрешается выпускать непосредственно в окружающую среду, а необходимо полностью локализовать на месте и утилизировать как регулируемые отходы (Queensland Government, Australia 2018).

82. В связи с опасениями по поводу загрязнения окружающей среды предприятия по производству пен разработали руководящие принципы по наилучшей практике (FFFC, 2016), касающиеся использования фторсодержащих пен, которые включают, например, следующие рекомендации:

- a) фторсодержащие пены класса В должны применяться только в ситуациях, представляющих значительную опасность пожара горючих жидкостей;
- b) перед принятием решения о применении фторсодержащей пены класса В при конкретной опасности возгорания горючих жидкостей следует установить, не могут ли другие нефторсодержащие методы обеспечить необходимое гашение и противодействие повторному возгоранию;
- c) необходимо провести оценку альтернативных методов и средств заблаговременно до чрезвычайной ситуации, которая требует незамедлительного принятия ответных мер;
- d) используйте для учебно-тренировочных целей пены, не содержащие фторированных поверхностно-активных веществ;
- e) используйте методы испытания с использованием суррогатных жидкостей, не содержащих фторированные поверхностно-активные вещества, для проверки стационарных систем и систем дозирования пен на транспортных средствах;
- f) обеспечьте локализацию, обработку и надлежащую утилизацию пенного раствора – не высвобождайте его непосредственно в окружающую среду. Разработайте планы сбора стоков пожарной воды для использования фторсодержащих пен класса В.

83. Кроме того, Коалиция пенного пожаротушения предоставляет следующую информацию: использование пены класса В не рекомендуется для опасностей класса А (древесины) или класса С (электрических) при наличии минимальной опасности пожара горючей жидкости или ее отсутствии. При наличии опасности пожара горючей жидкости области воздействия класса С должны быть обесточены, поскольку пена содержит воду, способную проводить электричество. Примеры ситуаций, в которых не требуются пены класса В, включают, не ограничиваясь ими, лесные пожары, пожары в жилых и нежилых помещениях, компьютерные залы и телекоммуникационные объекты, рестораны и предприятия общественного питания и защиту производственных помещений. Кроме того, пены класса В могут не требоваться при опасностях небольших пожаров горючих жидкостей, таких как автомобильные пожары без значительного разлива топлива, в тех случаях, когда можно использовать большое количество воды или сухой химический огнетушитель.

84. Признание этих фактов послужило поводом для принятия следующего решения КС-9, которое гласит: «также призывает Стороны и других субъектов использовать альтернативы перфтороктановой сульфоновой кислоте, ее солям и перфтороктановому сульфонилофториду в тех случаях, когда такие альтернативы имеются в наличии, являются целесообразными и действенными, учитывая при этом, что фторсодержащие огнетушительные пены могут иметь негативные экологические, медицинские и социально-экономические последствия в силу их стойкости и мобильности» (СК-9/5). Такая же рекомендация была принята в отношении ПФОК (решение СК-9/12).

2.3.1.2 Нанесение металлических покрытий

85. В ходе оценки альтернатив ПФОС обсуждалось несколько альтернативных вариантов, включая нефторированные химические альтернативы и технические решения (см. таблицу 3 в UNEP/POPS/POPRC.14/INF/8).

86. Твердые металлические покрытия используются для защиты металлических компонентов от коррозии и износа. К примерам промышленных видов применения твердого хромового покрытия относятся промышленные ролики, гидравлические цилиндры и коленчатые валы. Когда важно придать металлическим деталям прочность и твердость, на поверхность обрабатываемого изделия из металла или металлического сплава гальваническим способом наносят тонкий слой хрома. В этих видах применения деталь погружают в ванну с хромовой кислотой (гексавалентный хром, Cr (VI)). Подавители пара представляют собой химические вещества, добавляемые в хромовую ванну для уменьшения количества хрома, улетучивающегося с поверхности. Cr (VI) является канцерогеном для человека, и подавители пара (тумана) уменьшают профессиональное облучение, что снижает риск онкологических заболеваний дыхательной системы. Химические подавители паров (тумана) представляют собой поверхностно-активные вещества, снижающие поверхностное натяжение раствора для нанесения покрытия, и за счет контроля поверхностного натяжения пузырьки технологического газа уменьшаются и поднимаются медленнее, чем более крупные пузырьки, что снижает вероятность выделения тумана в воздух, а капли попадают обратно в гальваническую ванну.

87. Общедоступная информация о ПФГСК не позволяет определить масштабы использования этого вещества для нанесения металлических покрытий. Вместе с тем, был найден ряд патентов (Dainippon, 1979, 1988; 3M, 1981; Hengxin, 2015), касающихся применения ПФГСК, ее солей и различных родственных ПФГСК соединений в качестве подавителей тумана при нанесении металлических покрытий, что указывает на их возможное применение (обзор проведен в Norwegian Environment Agency M-961/2018). Вероятно, что как минимум компания «Хубэй хенгзин» из Китая продавала калийную соль ПФГСК для металлизации и ПФГСФ

в качестве сырья для различных видов гальванического покрытия (декоративного и т.д.) (Hengxin, 2019). Следует отметить, что производство (включая импорт) или обработка двух солей ПФГСК (тридекафторгексансульфоновая кислота, соединение с 2,2'-иминодиэтанолами (1:1); КАС № 70225-16-0 и калия N-этил-N-[(тридекафторгексил)сульфонил]глицинат; КАС № 67584-53-6) для использования в качестве компонента травильного раствора, включая поверхностно-активное вещество или подавитель дыма, применяемого для нанесения покрытия в процессе производства электронных приборов, не должны рассматриваться как новый вид применения в значительных количествах, о котором необходимо сообщать в соответствии с правилом АООС США о новых видах применения веществ в значительных количествах в отношении таких химических веществ, как перфторалкильные сульфонаты и длинноцепные перфторалкильные карбоксилаты (US EPA, 2013). Кроме того, вероятно, что в результате непреднамеренного производства ПФГСК в процессе ЭХФ (Wang et al., 2017) содержащие ПФОС подавители пара/тумана, используемые для металлизации, включают случайные примеси ПФГСК, ее солей и/или родственных ПФГСК соединений.

Нехимические альтернативные методы

88. Доступен ряд альтернативных технологий, позволяющих не использовать химические вещества и предотвращать высвобождение хрома (Cr) (VI) во время нанесения металлических покрытий (таблица 3 в документе UNEP/POPS/POPRC.14/INF/8). К ним относится размещение над гальванической ванной шариков с нанесенным ПТФЭ и покрытий из сетки или мягких материалов. При этом эффективность этого подхода по сравнению с подавителями тумана остается неясной (см. раздел 2.5.3 в документе UNEP/POPS/POPRC.14/INF/8). Для улавливания аэрозолей при нанесении хромового покрытия также используются устройства контроля, такие как составные сетчатые прокладки (ССП) или газоочистители для хромовой кислоты (<https://www.monroenvironmental.com/air-pollution-control/packed-bed-wet-scrubbers/>). Руководящие принципы НИМ/НПД для использования ПФОС (UNEP 2017b) относят эти методы к альтернативам применению устройств контроля на основе ПФОС, и отмечается, что факторы, ограничивающие доступность этих устройств контроля, отсутствуют и такие устройства представлены на рынке в Канаде (UNEP/POPS/POPRC.12/INF/15/Rev.1). С помощью системы СПП выбросы хрома собираются и переносятся сетчатой прокладкой из мягкого материала, в которой частицы хрома конденсируются и накапливаются главным образом за счет физических процессов. Система СПП обычно состоит из нескольких слоев сетчатых прокладок. Первые слои задерживают крупные частицы, промежуточные слои удаляют частицы меньшего размера, а последние слои улавливают микроскопические частицы. Система СПП эффективно удаляет капли и устраняет выбросы тумана хромовой кислоты. По нашим сведениям, не известно, может ли использование СПП приводить к росту отходов хромовой кислоты, и неясны связанные с этим риски/расходы. К дополнительным альтернативным методам относится хромирование на основе нанотехнологий (<http://www.greencoat.it/>), 2-слойная система, разработанная компанией «Хаузер текно коатинг» (<https://www.hauzertechnocoating.com/en/>), и система «Гексагон», в которой используются смарт-резервуары, способные удерживать антикоррозийные химические вещества, ранее несовместимые с покрытиями (<https://www.hexigone.com/>). Однако неясно, можно ли применять эти методы при нанесении твердых и декоративных металлических покрытий.

Химические альтернативы

89. В работе Poulsen et al. (2011) показана возможность использования подавителей тумана, не содержащих ПФОС, для недекоративного твердого хромового покрытия (Cr VI) в замкнутых системах. Фторированный альтернативный состав Fumetrol® 21 компании «Атотек» на основе 1Н,1Н,2Н,2Н-перфтороктановой сульфоновой кислоты (6:2 фтортеломерная сульфоновая кислота; КАС № 27619-97-2) уменьшает выбросы Cr (VI). Это альтернативное полифторалкильное химическое вещество в итоге разложится до смеси перфторкарбоксильных кислот с алкильными цепями, содержащими не более шести перфторированных атомов углерода. Также продолжаются попытки использовать Cr (III), в том числе для твердых хромовых покрытий с целью разработки экологически безопасной альтернативы гексавалентному хрому в хромировании (<https://www.pfonline.com/blog/post/nucor-invests-in-environmentally-friendly-chrome-plating>). Также имеются такие не содержащие фтора альтернативы, как алкилсульфонат и олеамин (ЕСНА, 2019с).

2.3.1.3 Текстильные изделия, включая кожу и обивочные материалы

90. Для текстильных изделий широко применяются средства для отделки на основе ПФАВ, которые обеспечивают водо-, жиро- и грязеотталкивающие свойства при сохранении воздухопроницаемости. По данным компании «Хубэй хенгзин», родственное ПФГСК соединение [N-метил-перфторгексан-1-сульфонамид] этилакрилат (КАС № 67584-57-0) используется в средствах, придающих жиротталкивающие и водоотталкивающие свойства изделиям из кожи и текстиля (Hengxin, 2019). Использование ПФАВ в текстильной промышленности составляет около 50% глобального использования ПФАВ (Danish EPA, 2015). По данным исследования, проведенного правительством Дании (Danish EPA, 2015), в докладе упоминаются пять групп альтернативных перфторированных химических веществ: 1) парафины; 2), стеариновая

кислота-меламин; 3) силикон; 4) дендримеры; и 5) нано-материалы. В докладе сделан вывод о наличии нефторированных альтернатив, обеспечивающих длительную гидрофобность, однако спектр нефторированных химических альтернатив, придающих жиро- и грязеотталкивающие свойства, ограничен (Danish EPA, 2015). К водоотталкивающим средствам, не содержащим фторуглеродов, предназначенным для отделки текстильных изделий, относятся такие коммерческие продукты, как BIONIC-FINISH®ECO и RUCO Dry® ECO, выпускаемые фирмой «Рудольф кеми лтд.» , Геретсрид/Германия; Purtex® WR, Purtex® WA, Purtex® AP, продаваемые компанией «Фройденберг груп», Вайнхайм/Германия; и esogepel® фирмы «Шёллер текнолоджис АГ», Зевелен/Швейцария. Также имеются средства для обработки поверхностей текстильных и ковровых изделий, на основе акрилата, метакрилата и адипината (UNEP/POPS/POPRC.13/7/Add.2).

91. В ходе потребительского исследования, направленного на изучение различий характеристик длинноцепных (C_8) ПФАВ-содержащих отталкивающих химических средств, ПФАВ-содержащих отталкивающих химических средств с более короткой цепью (C_6) и нефторированных отталкивающих химических средств для обработки одежды для наружного использования, была поставлена задача провести новое сравнение предлагаемых в настоящее время на рынке тканей с отталкивающими свойствами для одежды для наружного использования, а также оценку их отталкивающих характеристик как с точки зрения водонепроницаемости, так и жиротталкивающих свойств (Hill et al., 2017). Сегодня нефторированные химические средства отвечают требованиям покупателей одежды для наружного использования в отношении водоотталкивающих свойств. Авторы полагают, что использование ПФАВ для обработки одежды для наружного использования чрезмерно усложнено технически и обеспечивает жиротталкивающие свойства, превышающие требования потребителей. В другом исследовании полимеры с фторированными боковыми цепями (ПФБ) и нефторированные водоотталкивающие средства на основе полидиметилсилоксанов или углеводородов показали превосходные водоотталкивающие свойства и долговечность в ряде случаев, в то время как короткоцепные ПФБ были более надежной альтернативой по сравнению с длинноцепными ПФБ с точки зрения водонепроницаемости (Schellenberger et al., 2018). Жиротталкивающие свойства и долговечность, обеспечиваемые ПФБ, значительно снижаются при уменьшении длины перфторалкильной цепи. Нефторированные альтернативы были неспособны отталкивать жиры, что может ограничить их потенциал для замещения в текстильной промышленности, где необходимы отталкивающие свойства для неполярных жидкостей, например для хирургических халатов и простыней, в операционных комнатах, для одежды врачей и медсестер и лабораторного персонала, которые должны быть защищены от крови и физиологических жидкостей как переносчиков инфекций и вирусов (Schellenberger et al., 2018). Это согласуется с информацией, представленной в оценке альтернатив ПФОС, обновленной в 2018 году (UNEP/POPS/POPRC.14/INF/8). Вместе с тем, эксперименты, проведенные в ходе этого же исследования, показали, что определенную степень защиты от пятен могут обеспечить некоторые не содержащие фтора и даже биоразлагаемые стойкие водоотталкивающие средства (Schellenberger et al., 2018).

2.3.1.4 Полировочные составы и чистящие/моющие средства, включая покрытия, пропитку/обработку (для защиты от сырости, грибка и т.д.)

92. Некоторые продукты можно найти в сети интернет, однако представлено мало информации о содержании и удостоверяющих сведениях о химических веществах в этих продуктах. Например, пропитка марки «Импрегно» для каменных поверхностей представляет собой не содержащее фтора водоотталкивающее и грязеотталкивающее средство (<https://impregno.de/>).

93. В открытом доступе имеется мало информации об использовании ПФГСК в чистящих, моющих и/или полировочных составах. Как сообщается, одно родственное ПФГСК соединение (КАС № 67584-53-6, [N-этил-N-(тридекафторгексил)сульфонил]глицин, соль калия) применялось в полировочных составах и чистящих/моющих средствах, по крайней мере, в период между 2000 и 2015 годами в Дании, Норвегии и Швеции (SPIN, 2018).

94. Как сообщается, одно родственное ПФГСК соединение (КАС № 67584-61-6, 2-[метил[(тридекафторгексил)сульфонил]амино]этилметакрилат) использовалось для пропитки/обработки для защиты от сырости, грибка и т.д. по крайней мере в четырех продуктах в период между 2003 и 2009 годами в Дании (SPIN, 2018). Кроме того, также было обнаружено, что это же родственное ПФГСК соединение (КАС № 67584-61-6) зарегистрировано в той же категории применения в Норвегии в 2011 году.

95. Совет по фтору сообщил (см. UNEP/POPS/POPRC.14/INF/8), что многие глобальные поставщики предлагают «нефторированные» альтернативы, включая:

- a) углеводородные отталкивающие средства на основе воска, содержащие парафино-металлические соли;
- b) гидрофобные модифицированные полиуретаны (гидрофобные модифицированные сверхразветвленные полиуретаны, которые называют дендримерами);
- c) продукты на основе полисилоксанов;

d) репелленты на основе смол, состоящие из меламиновых смол, модифицированных жирными кислотами.

2.3.1.5 Производство электроники и полупроводников

96. В ряде исследований сообщается о высвобождениях и выбросах ПФГСК в полупроводниковой промышленности (рассматривается в характеристике рисков ПФГСК; UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1), что говорит о том, что ПФГСК заменила ПФОС в этом виде применения. Обследования позволили выявить, что ПФГСК является основным компонентом ПФАВ в сбрасываемых отходах завода по производству полупроводников в провинции Тайвань в Китае (Lin et al., 2009). Эти сведения дополнительно подтверждаются опубликованной информацией, которая указывает на использование ПФГСК в полупроводниковой промышленности. Наряду с ПФОС (128,7 нг/л) ПФГСК (133,3 нг/л) является одним из основных загрязнителей в месте сброса сточных вод завода по изготовлению полупроводников. Обе ПФСК присутствуют в сточных водах в схожих объемах, что говорит о том, что ПФГСК является основным веществом, используемым в этом производстве (Lin et al., 2010). ПФАВ (например, ПФОС или ПФГСК) не сохраняются в полупроводниках, но если ПФАВ не удалить из сточных вод до их сброса, они будут следовать маршруту сточных вод и высвободятся в окружающую среду.

97. Отсутствует другая доступная информация о конкретных процессах при производстве электроники и полупроводников, в которых используется ПФГСК, и в связи с этим необходимо пересмотреть всю имеющуюся информацию об альтернативах ПФОС при производстве электроники и полупроводников. По данным руководства по альтернативам ПФОС (UNEP/POPS/POPRC.9/INF/11/Rev.1), небольшие количества соединений на основе ПФОС необходимы для следующих важнейших видов применения в фотолитографических процессах при производстве полупроводниковых чипов:

- a) ультратонкие рельефы/фоторезисты в качестве фотокислотных генераторов и поверхностно-активных веществ;
- b) антибликовые покрытия в качестве поверхностно-активных веществ с уникальными свойствами.

98. ПФГСК, как и ПФОС, может использоваться в качестве поверхностно-активного вещества при производстве полупроводниковых соединений и вымываться в ходе последующей промывки.

99. В ходе оценки альтернатив ПФОС было выявлено несколько нефторированных химических альтернатив (UNEP/POPS/POPRC.14/INF/8/Add.1). Следующие альтернативы были отнесены к категории веществ, потенциально не обладающих характеристиками СОЗ: амилацетат, анизол, n-бутилацетат, этиллактат, метил-3-метоксипропионат и эфир метиловый пропиленгликоля и кислоты уксусной. Научные источники свидетельствуют о том, что возможно разработать не содержащую ПФОС фоторезистивную систему (Ayothi et al., 2006). Кроме того, в некоторых патентах описываются не содержащие фтора фоторезистивные составы в качестве альтернативы использованию ПФОС/ПФАВ (см. UNEP/POPS/POPRC.12/INF/15/Rev.1). В 2010 году в рамках поэтапного отказа от ПФАВ компания «Ай-Би-ЭМ» объявила о выходе не содержащего фтора фотокислотного генератора и отметила, что процесс, в котором не используется фтор, отвечает требованиям к эксплуатационным характеристикам как для сухого, так и для влажного воздействия (<https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/7639/1/Design-synthesis-and-characterization-of-fluorine-free-PAGs-for-193/10.1117/12.846600.short>), а «Фуджи» описывает применение фоторезистов «не содержащих ПФОС и ПФАВ» в полупроводниковой промышленности (https://www.fujifilmusa.com/products/semiconductor_materials/photoresists/krf/index.html#features).

2.3.2 Другие виды применения

100. В дополнение к вышеупомянутым областям применения другие возможные категории использования могут включать пестициды, антипирены, бумагу, нефтяную промышленность, а также посуду для приготовления пищи. Кроме того, информация из различных источников свидетельствует о том, что ПФГСК была обнаружена в материалах, контактирующих с пищей, герметиках, клеях, строительной пене и покрытиях, а также в некоторых областях применения в зданиях и строительстве (см. таблицу 1.9 в UNEP/POPS/POPRC.14/INF/4).

101. Европейская ассоциация воспроизводства и печати изображений («И&П Европа»), которая объединяет всех основных производителей фотографических продуктов (фотопроизводство и фотографическая промышленность) в Европейском союзе, представила уведомление о том, что ее члены не используют ПФГСК, ее соли или родственные ПФГСК соединения (информация, представленная «И&П Европа» в соответствии с приложением F).

2.4 Резюме информации о последствиях для общества, связанных с осуществлением возможных мер регулирования

102. Можно ожидать, что глобальное сокращение или ликвидация ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений благоприятно скажется на здоровье людей и состоянии окружающей среды. При оценке влияния этих ограничений на здоровье человека и состояние окружающей среды важно принимать во внимание конкретные характеристики ПФГСК. Эти вещества относятся к СОЗ и, таким образом, обладают определенными свойствами, касающимися способности ПФГСК проявлять стойкость в окружающей среде. Таким образом, за счет стойкости в окружающей среде и в результате переноса на большие расстояния, ПФГСК присутствует в окружающей среде в глобальном масштабе, включая отдаленные районы, где ее выбросы пренебрежимо малы. Кроме того, ПФГСК способна накапливаться в живых организмах, что, наряду с ее токсикологическими свойствами, может приводить к неблагоприятным последствиям для здоровья человека и окружающей среды в результате вероятности продолжительного воздействия. Также сообщалось, что ПФГСК отличается максимальным периодом полураспада в сыворотке крови человека по сравнению с любыми другими ПФАВ. Таким образом, регулирование рисков, создаваемых этими веществами, основывается на научных данных и предупредительных мерах в соответствии с пунктом 9 статьи 8 Стокгольмской конвенции.

2.4.1 Здравоохранение, включая общественное здравоохранение, санитарную окружающую среду и гигиену труда

103. Ликвидация производства, использования, импорта и экспорта ПФГСК и родственных ПФГСК соединений путем включения в приложение А без каких-либо исключений благоприятно скажется на здоровье людей и состоянии окружающей среды благодаря уменьшению и в конечном итоге ликвидации выбросов. Как указано в характеристике рисков, ПФГСК значительно загрязняет окружающую среду, включая организм человека и дикую природу (UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1). В результате воздействия ПФГСК у людей и животных наблюдаются самые разнообразные последствия. Они могут включать негативное влияние на работу печени, метаболизм липидов и липопротеинов, эндокринные нарушения, изменения уровня холестерина, липопротеинов, триглицеридов и щелочной фосфатазы в сыворотке, воздействие на репродуктивную систему, а также влиять на развитие мозга и иммунной системы. В ходе некоторых эпидемиологических исследований было продемонстрировано влияние на реакцию антител к вакцинации. ПФГСК обнаруживается в крови, пуповинной крови и грудном молоке (UNEP/POPS/POPRC.14/6/Add.1). Период полураспада ПФГСК в организме человека крайне продолжителен (Olsen et al., 2007), и она передается от одного поколения другому через плаценту и грудное молоко (Winkens et al., 2017).

104. Было установлено, что существенным источником воздействия на человека является питьевая вода, и в районах с загрязненной питьевой водой наблюдаются тенденции к росту уровней ПФГСК в человеческой крови (Li et al., 2018). В силу широкого применения ПФАВ в ВПП и учений, которые ранее проводились на открытой местности, а в некоторых странах проводятся так и сейчас, а также с учетом стойкости ПФАВ, источники питьевой воды загрязнены во многих странах на всех континентах (Gobelius et al., 2018; Banzhaf et al., 2017; Mak et al., 2009; Kabore et al., 2018; Zafeiraki et al., 2015; Boiteux et al., 2012; Ericson et al., 2009, более подробная информация приводится в таблице 1.6 в документе UNEP/POPS/POPRC.14/INF/4). По оценкам исследования, проведенного в 2014 году, из приблизительно 10 миллионов жителей Швеции питьевая вода для 3,6 миллиона человек была загрязнена ПФАВ, включая ПФГСК (Banzhaf et al., 2017). В 2010-2015 годах ПФГСК была обнаружена в питьевой воде в 23 штатах США на 134 предприятиях водоснабжения, обслуживающих 5,5 миллиона человек (База данных РГЭ по водопроводной воде). ПФГСК была выявлена в 55 общественных источниках воды из 4920, и ее уровни превышали минимальный отчетный уровень (МОУ=0,03 мкг/л), а 207 из 36 971 проб содержали ПФГСК (U.S. EPA, 2017).

105. Во многих странах для защиты населения были установлены предельные значения для некоторых ПФАВ в питьевой воде (см. раздел 1.5). В 2014 году Шведское агентство по химическим веществам и Шведское управление по контролю за продуктами питания и лекарствами создали национальную сеть ПФАВ для органов власти, ученых, окружных административных советов, муниципалитетов и поставщиков воды. Сеть нацелена на решение проблемы присутствия ПФАВ в питьевой воде и рассматривает решения по удалению этих веществ из почвы и питьевой воды, а также по созданию новых инициатив, включая исследования перфторированных веществ. Эта сеть служит платформой для обмена контактной информацией и оказания поддержки различным субъектам в стране (KemI, 2014).

106. Традиционные методы очистки воды, такие как коагулирование соединениями железа или глиноземом, микрон- или ультрафильтрация/фильтрация через зернистый слой, аэрация, окисление (например, перманганатом, ультрафиолетом/перекисью водорода) и дезинфекция (например, озонирование, применение двуокиси хлора, хлорирование и хлорирование с аммонизацией), как правило, неэффективны для удаления ПФАВ (Woone et al., 2019). Было показано, что при дезинфекции воды с помощью хлорирования и озонирования идет разложение прекурсоров из группы четырех цвиттерионных/катионных

полифторалкильных амидов и сульфонамидов до ПФОК и ПФОС (Xiao et al., 2018). В стоках отмечались повышенные уровни отдельных ПФАВ по сравнению с водами, поступающими в ВОУ. Для ПФГКК, ПФОК, ПФГСК и ПФОС был выявлен чистый прирост массы в сбросах по сравнению с поступающими водами во всех ВОУ, и средняя величина прироста составила 83%, 28%, 37% и 58%, соответственно (Eriksson et al., 2017). Содержание прекурсоров и промежуточных веществ в поступающих водах и осадке в сочетании с чистым приростом массы стойких ПФКК и ПФСК в стоках из ВОУ, вошедших в исследование, подтверждает гипотезу о том, что разложение прекурсоров является значимым фактором загрязнения окружающей среды ПФАВ (Eriksson et al., 2017).

107. Ряд методов доказал свою эффективность для удаления ПФАВ из воды, хотя они связаны с высокими затратами, см. раздел 2.4.4. Эти методы могут также использоваться для стоков ВОУ с целью сокращения выбросов в окружающую среду. Наночистота в деионизированной воде позволяет удалять более 95% ПФГСК в присутствии искусственных грунтовых вод и слоя загрязнений на фильтрационной мембране, что точнее отражает реальные условия. Было показано, что удаление выбранных ПФАВ, включая ПФГСК, обеспечивает микро- или ультрафильтрация в сочетании с методом обратного осмоса. Ионообменная смола может успешно удалять более 97% ПФГСК, хотя она менее эффективна для ряда других короткоцепных соединений ПФАВ (пересмотрено в Arvaniti and Stasinakis, 2015). Путем анионного обмена (АО) и обработки гранулированным активированным углем (ГАУ) удаляются преимущественно длинноцепные ПФАВ и ПФАВ, сравнимые с ПФКК, в то время как метод обратного осмоса позволяет удалять значительную часть всех ПФАВ, включая самые маленькие ПФАВ, такие как перфторбутановая кислота (Appleman et al., 2014). Кроме того, было показано, что и ГАУ, и АО более эффективны для удаления линейных ПФСК по сравнению с разветвленными, что свидетельствует о том, что разработчики и операторы процессов обработки ГАУ и АО должны учитывать их избирательный характер при удалении ПФАВ и связанную с ними десорбцию короткоцепных ПФКК в ходе совместного удаления нескольких ПФАВ (McCleaf et al., 2017).

108. Значительным источником воздействия является пыль, особенно с точки зрения профессионального воздействия, но также и для детей младшего возраста, которые часто пытаются попробовать все на вкус и в силу этого подвергаются повышенному воздействию пыли. Было установлено, что крупнейшими источниками воздействия ПФГСК на человека на китайском заводе по производству фторсодержащих родственных ПФОС составов были пыль внутри помещений (67,3%) и продукты питания (31,6%) (Gao et al., 2015). Концентрации ПФГСК в сыворотке варьировались в диапазоне 12,8-10 546 нг/мл, а уровни в пыли в помещениях колебались от необнаруживаемых до 257 201 нг/г (среднее значение 15 726 нг/г) (Gao et al., 2015). В другом исследовании на заводе по производству фторсодержащих химических веществ в том же районе концентрации ПФГСК в сыворотке у членов семей профессиональных работников находились в диапазоне 4,33-3164 нг/мл, уровень ПФГСК в пыли в жилых домах, относящихся к заводу, составлял от 0,44 до 708 нг/г, и оба эти показателя были значительно выше, чем у обычных жителей, проживающих рядом с заводом. Кроме того, содержание ПФГСК в продуктах питания колебалось от 0,067 до 0,448 нг/г сырой массы, а содержание ПФГСК в питьевой воде колебалось от необнаруживаемых значений до 3,2 нг/л (Fu et al., 2015). Воздействие может быть снижено за счет проветривания, средств индивидуальной защиты (СИЗ) и строгих процедур смены защитной одежды в различных зонах.

109. Запрет ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений будет благоприятен для пожарных. Содержание ПФГСК в сыворотке крови пожарных находилось в диапазоне 49-326 нг/мл, в то время как в контрольной группе эти показатели варьировались в диапазоне 0,2-22 нг/мл (Rotander et al., 2015a). Уровни ПФОС и ПФГСК тесно коррелируют друг с другом, и наибольшие уровни ПФОС и ПФГСК были на порядок выше по сравнению с населением в целом в Австралии и Канаде. Уровни ПФОС (и ПФГСК) у участников исследования, проработавших десять лет или менее, были аналогичны показателям для населения в целом или лишь ненамного выше. Это совпадает с поэтапным отказом от ВПП компании «3М» в 2003 году на всех учебных объектах и использованием не содержащей фтора пены после 2010 года и указывает на то, что в последние годы воздействие ПФОС и ПФГСК в ВПП сократилось (Rotander et al., 2015b).

2.4.2 Сельское хозяйство, в том числе аквакультура и лесоводство

110. Поэтапный отказ от ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений благоприятно скажется на сельском хозяйстве и снизит риск прямого и косвенного воздействия на человека и окружающую среду. Исследования показывают, что распространение ПФАВ в сельскохозяйственных почвах происходит главным образом в результате орошения загрязненной водой, использования загрязненного осадка сточных вод или промышленных отходов для оструктурирования почвы (Ghisi et al., 2019). ПФАВ (включая ПФГСК) поглощаются растениями в различной степени в зависимости от их концентрации, длины цепи, функциональной группы, вида и сорта растений, питательной среды (гидропоника или почва) и характеристик почвы и биологических твердых веществ (пересмотрено в Ghisi et al., 2019). Использование биологических твердых веществ (очищенный осадок из ВОУ) для удобрения почвы может повысить уровни ПФАВ в сельскохозяйственных культурах. ПФГСК и родственные ПФГСК соединения были обнаружены в осадке и стоках ВОУ (таблица 1.5, UNEP/POPS/POPRC.14/INF/4). Наблюдалось поглощение ПФГСК растениями из

почвы, содержащей ПФАВ (Wen et al., 2014). Кроме того, было показано, что растения проводят биологическое преобразование прекурсоров, например пшеница обеспечивает биотрансформацию ПФОСА до ПФОС, ПФГСК и ПФБС (Zhao et al., 2018).

111. Как указано в характеристике рисков, в исследованиях сообщалось о присутствии ПФГСК в продовольственных товарах (EFSA 2012; Gebbink et al., 2015; Noorlander et al., 2011, Food Standards Australia New Zealand, 2016; таблица 1.7 в документе UNEP/POPS/POPRC.14/INF/4). ПФГСК и другие ПФАВ были обнаружены во фруктах и овощах из Европы (Herzke et al., 2013 и D'Hollander et al., 2015). В Австралии в пробах, полученных из окружающей среды в основном на загрязненных участках, наиболее высокие средние значения верхней границы ПФГСК были обнаружены в мясе крупного рогатого скота, крольчатине и яйцах (Food Standards Australia New Zealand, 2016). К другим продуктам питания с высокими концентрациями относятся ракообразные, рыбная печень и баранина (Food Standards Australia New Zealand, 2016). Исследования ростков пшеницы, пророщенных на почве, загрязненной ВПП, указывают на биодоступность и биоаккумуляцию ПФГСК (Bräunig et al., 2019).

112. В связи с использованием ПФГСК и других ПФАВ в ряде промышленных и бытовых видов применения эти вещества регулярно обнаруживаются в стоках ВОУ и фильтрах свалок (Hamid et al., 2018; Arvaniti and Stasinakis, 2015, см. таблицу 1.5 в UNEP/POPS/POPRC.14/INF/4). В исследовании Allred (et al., 2014) сообщается, что в фильтрате со свалок было обнаружено несколько прекурсоров ПФГСК (ФГСУК, МеФГСУК, ЭтФГСУК), что указывает на то, что эти прекурсоры ПФГСК и/или их исходные соединения, вероятно, используются в широком спектре видов применения, поскольку на свалки поступают бытовые и коммерческие отходы, строительный мусор и обломки зданий после сноса, биологические твердые вещества со станций очистки сточных вод и неопасные промышленные отходы. Сообщалось о выбросах ПФГСК в атмосферу из свалок и ВОУ, а также о ее накоплении в листве вокруг свалок (Ahrens et al., 2011; Tian et al., 2018).

113. ПФГСК обнаруживается в различных водных видах (см. таблицу 1 в UNEP/POPS/POPRC.14/INF/4). Поэтапный отказ от ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений также благоприятно скажется на аквакультуре, особенно в тех районах, где водные виды служат важным источником продуктов питания, а потребление рыбной продукции является одним из путей воздействия ПФГСК на местное население. Высокие уровни ПФАВ и ПФГСК в сыворотке крови наблюдались у работников рыболовных хозяйств на озере Тангсун и в рыбопродуктах для питания населения, проживающего у озера Байяндянь, расположенного рядом с предприятием по производству фторсодержащих химических веществ (Zhou et al., 2014; Cui et al., 2018).

2.4.3 Экономические аспекты и социальные издержки

Запрещение использования

114. Имеющаяся в настоящее время информация свидетельствует о том, что ПФГСК, ее соли и родственные ПФГСК соединения используются сейчас или, возможно, использовались ранее во многом в тех же категориях применения, что и ПФОС, ее соли и родственные соединения. Для ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений не было представлено никаких заявок на предоставление исключений. Кроме того, ожидаемые объемы имеющихся запасов должны быть минимальными, и ПФГСК в виде непреднамеренного побочного соединения в продуктах ПФОС будет ликвидирована в результате поэтапного отказа от ПФОС. Таким образом, имеющиеся знания позволяют считать, что промышленные предприятия могут заменить ПФГСК, ее соли и родственные ПФГСК соединения во всех нынешних видах применения без значительных социально-экономических издержек (RPA, 2019). В некоторых странах уже введены те или иные нормы регулирования длинноцепных ПФАВ, включая ПФГСК (см. раздел 1.5).

115. Расходы на правоприменение могут быть объединены с расходами на обеспечение соблюдения других ограничений в отношении ПФАВ, например для одновременного выявления присутствия в изделиях ПФОС, ПФОК, ПФКК C₉-C₁₄ и ПФГСК и родственных соединений. Методы, выбранные Европейским комитетом по стандартизации (СЕН) для ПФОС, могут использоваться для обнаружения ионных форм ПФГСК и ее солей (см. раздел 1.1., где приводится более подробная информация об аналитических методах и сложностях). Таким образом, расходы, связанные с обеспечением соблюдения ограничений, касающихся именно ПФГСК, будут небольшими в абсолютном выражении. Вместе с тем, можно ожидать, что возникнут некоторые расходы на создание потенциала. Кроме того, некоторые трудности в области правоприменения будут связаны с низкими уровнями ПФГСК (как и других ПФАВ) в продуктах. Важное значение придастся разработке аналитических методов, способных проводить четкое различие между веществами, на которые распространяется включение, и веществами, на которые оно не распространяется (аналогичные вопросы обсуждались в КОР/КСЭА в случае с ПФКК C₉-C₁₄ и предложении об ограничении ПФОК в соответствии с REACH (ЕСНА, 2018, 2015)).

116. Исследование Oosterhuis et al. (2017) было направлено на поиск информации, которую можно было бы использовать для разработки критериев оценки соразмерности мер регулирования ПФОК, ПФОС и других веществ, схожих с СОЗ. В нем рассматривались оценки рентабельности применяемых или планируемых мер

регулирования. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что раньше меры регулирования, направленные на сокращение объемов применения или выбросов, с затратами менее 1000 евро/кг вещества, как правило, не отклонялись, но если затраты на осуществление таких мер превышали 50 000 евро/кг вещества, то, скорее всего, эти меры не утверждались. Вместе с тем, не представлялось возможным увязать решение об отклонении или принятии мер с каким-либо критерием соразмерности, поскольку четкие заявления о «несоразмерных расходах» делаются крайне редко.

117. Исследование на основе ограниченных данных, имеющихся по ПФГСК, ее солям и родственным ПФГСК веществам, свидетельствует о том, что расходы, связанные с утилизацией ВПП, содержащих ПФГСК в качестве основного фторсодержащего активного ингредиента, будут, скорее всего, адекватными (RPA, 2019).

Контроль сбросов и выбросов

118. Для районов с притоком воды, загрязненной ПФАВ, или с загрязненной почвой характерны высокие медицинские расходы (оцениваемые в 2,8-4,6 млн. евро для стран Северной Европы) и расходы на очистку (оцениваемые в диапазоне от 46 млн. до 11 млрд. евро для стран Северной Европы) (NCM, 2019). По мнению МСЛС, издержки использования ВПП за весь их жизненный цикл намного перевешивают затраты, связанные с не содержащими фтора пенами, уже только из-за юридических и финансовых последствий использования фторсодержащих пен (IPEN, 2018). Например, правительство Австралии в 2018 году объявило о выделении 73,1 млн австрал. долл. (50,7 млн. долл. США) на цели оказания поддержки пострадавшим от загрязнения ПФАВ, из которых 55,2 млн. австрал. долл. (38,3 млн. долл. США) будет выделяться в течение пяти лет для обеспечения доступа населения к безопасной питьевой воде. Правительство израсходовало более 100 млн. австрал. долл. (69,4 млн. долл. США) на осуществление деятельности по изучению и регулированию ПФАВ и восстановительные работы. Некоторые принятые меры направлены на борьбу с последствиями загрязнения для здоровья человека, например информационно-просветительская работа среди населения, службы помощи, консультационные услуги и программа добровольного анализа крови и соответствующее эпидемиологическое исследование для пострадавших общин.

119. ПФГСК характеризуется максимальным периодом полураспада в организме человека среди всех ПФАВ, для которых известен данный показатель, и присутствует в большинстве проанализированных проб окружающей среды и биоты (см. UNEP/POPS/POPRC.14/INF/8). Отсутствует метод стоимостной оценки последствий, вызванных ПФГСК, для здоровья человека и окружающей среды, так как еще не установлены количественные причинно-следственные связи между уровнями ПФГСК и различными конечными показателями здоровья и, кроме того, их будет трудно отделить от показателей других ПФАВ, оказывающих аналогичное воздействие, таких как ПФОС. Вместе с тем, в социально-экономическом анализе, проведенном в исследовании Северного совета, сделан вывод о том, что издержки бездействия велики, а ежегодные расходы, связанные с охраной здоровья, оцениваются на уровне 2,8-4,6 млрд. евро для стран Северной Европы³ и 52-84 млрд. евро для всех стран Европейского экономического пространства (ЕЭП). Общие расходы для стран Северной Европы, не связанные со здравоохранением, составляют, по оценкам, от 46 млн. до 11 млрд. евро (NCM, 2019). Доклад основан на оценке денежного выражения нескольких отдельных конечных показателей здоровья, связанных с воздействием ПФАВ, включая рак почек, общую летальность и гипертонию. Последствия для детей, такие как низкий вес при рождении и инфекции (дни с повышенной температурой тела вследствие воздействия на иммунную систему), не оценивались в денежном выражении. В докладе также был установлен денежный эквивалент немедицинских расходов, включая обработку источников питьевой воды и восстановление загрязненных почв. Расходы, связанные с загрязнением питьевой воды ПФАВ в двух конкретных случаях, оцениваются в размере 1 млн. евро в год для фильтрации воды с помощью древесного угля в Уппсале и 3 млн. евро для налаживания новой системы водоснабжения в Роннеби – небольшом городе, где в 2013 году было обнаружено, что из-за высоких уровней ПФАВ непосредственно пострадали примерно 5000 семей (Keml, 2016). Кроме того, присутствуют социальные издержки, связанные с тем, что воздействие ПФАВ, включая ПФГСК, через питьевую воду приводит к росту проблем медицинского характера, а также уровня тревожности у пострадавшего населения.

120. По причине широкого использования ВПП одним из крупнейших источников попадания ПФАВ (особенно ПФОС) в окружающую среду является рассеивание из загрязненных почв. Поскольку ПФГСК часто присутствует в ВПП на основе ПФОС, она распространяется в окружающей среде вокруг учебно-тренировочных пожарных полигонов. В Норвегии и многих других странах аэропорты и прилегающие к ним районы особенно сильно загрязнены ПФАВ из-за требований регулярно проводить проверку оборудования и отработку тушения пожаров. В Норвегии было обследовано 50 аэропортов, и в большинстве из них были обнаружены ПФОС, а также ПФГСК и другие ПФАВ, содержание которых варьировалось от низких и небольших остаточных количеств в почве до сильно загрязненных участков, откуда эти вещества рассеивались в близлежащие озера и фьорды. В нескольких аэропортах принимаются меры по восстановлению, однако точный размер соответствующих затрат остается неясным. Известно, что фильтры с активированным углем (АУ), которые предполагается использовать, легко засоряются, если вода содержит какие-либо частицы, например гумусовые вещества. В зависимости от частоты замены фильтров расходы на

это решение по восстановлению могут доходить до 50 млн. норв. крон (6,5 млн. долл. США) на одном участке (аэропорт Эвенес) за 30 лет. Расходы на установку системы очистки воды и насосов оцениваются в размере 14 млн. норв. крон (1,8 млн. долл. США). Одним из главных факторов неопределенности для оценки расходов является срок, в течение которого ПФОС вымоется из почвы настолько, чтобы проточная вода не оказывала негативного воздействия на озеро или фьорд, в которые она поступает (Alling et al., 2017). В случае надлежащего проведения работ по восстановлению это поможет защитить ресурсы питьевой воды, а также ресурсы дикой природы и запасы рыб в поверхностных водоемах, таких как озера и внутренние водные ресурсы. Вместе с тем необходимо провести мониторинг воды, отложений и биоты для оценки улучшения, достигнутого за счет осуществления деятельности по восстановлению.

Регулирование отходов и запасы

121. Как уже отмечалось, по оценкам, сделанным в работе Boucher et al. (2019), одним из главных источников выбросов ПФГСК является использование и утилизация. В дополнительной информации, прилагаемой к этой публикации, приводится схематичный обзор судьбы продуктов на основе ПФГСК во время их использования и утилизации (Boucher et al., 2019, S2.1.3). В этом обзоре показаны возможные пути в потоках отходов, которые могут приводить к выбросам ПФГСК в окружающую среду (рисунок S6). К ним относятся выбросы из сточных вод (газы, стоки и шлам) и твердых отходов (свалки, обработка земель).

122. В соответствии с пунктом 1 d) ii) статьи 6, в случае включения ПФГСК в Стокгольмскую конвенцию продукты, содержащие ПФГСК, должны удаляться таким образом, чтобы содержащиеся в них СОЗ уничтожались или необратимо преобразовывались и не проявляли свойств СОЗ или удалялись иным экологически безопасным образом. Специальное регулирование и удаление отходов, связанное с ПФГСК, может быть сопряжено с большими расходами. В связи с предыдущим использованием в качестве пропитки для текстильных изделий это может негативно сказаться на соответствующем потоке отходов. Кроме того, широкое применение в нескольких категориях продуктов отразится на бытовых отходах, отходах от электротехнического и электронного оборудования (ОЭЭО) и отслуживших свой срок транспортных средств (ОТС). Сложности могут быть связаны с потенциалом сжигания при высоких температурах. Для развивающихся стран ЮНИДО рекомендовала целый ряд эффективных методов, не включающих сжигание, в том числе подходящих для уничтожения ПФАВ, таких как химическое восстановление в газовой фазе и измельчение в барабанно-шаровой мельнице (UNIDO, 2007). В обновленных общих технических руководящих принципах экологически обоснованного регулирования отходов, состоящих из стойких органических загрязнителей (СОЗ), содержащих их или загрязненных ими, в рамках Базельской конвенции химическое восстановление в газовой фазе указано как метод, позволяющий уничтожить все СОЗ (UNEP/CHW.14/7, таблица 4). Было показано, что в результате электрохимического окисления разрушаются ПФАК С₄-С₈ (АЕСОМ, 2018). Кроме того, для сжигания при высоких температурах может применяться совместное сжигание в цементных печах, что присуще большинству стран. Вместе с тем, отсутствует достаточно подробное описание продуктов пиролиза или сжигания, температур, при которых они образуются, и степени уничтожения (U.S. Air Force, 2017). Неизвестны расходы, связанные с утилизацией отходов. Технические руководящие принципы по ПФОС (применение, запасы и отходы) в значительной степени применимы также и для отходов, содержащих ПФГСК (UNEP 2017 a, b; 2015).

123. Ранее КРСОЗ разработал ряд рекомендаций по регулированию потоков отходов, содержащих ПФОС. В решении КРСОЗ-6/2 излагается ряд мер по снижению рисков в краткосрочной, среднесрочной и долгосрочной перспективе. Поскольку способы применения ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений схожи с ПФОС, эти рекомендации во многом применимы и к ПФГСК. К ним относится следующая: «Использовать наилучшие имеющиеся методы и наилучшие виды природоохранной деятельности в отношении технологий уничтожения отходов, содержащих ПФОС, в рамках существующего производства и промышленного применения ПФОС. Никакое захоронение этих отходов не должно разрешаться, если не обеспечена надлежащая очистка ПФОС-содержащего фильтрата. Обеспечить безопасное хранение в случае отсутствия легкодоступных технологий уничтожения. Проверить в срочном порядке свалки, где захоронены отходы производителей ПФОС или промышленных потребителей ПФОС (целлюлозно-бумажная промышленность, производство ковров, текстильная промышленность, хромирующие производства и другие производства, использующие ПФОС). Должна быть проанализирована питьевая вода из водоемов и колодцев в окрестностях этих свалок, а также в районе производства и использования ПФОС».

124. Также разработаны подробные рекомендации по снижению риска, связанного с использованием, имеющимися запасами, рециркуляцией изделий, потребительскими товарами, удаленными на муниципальные свалки, и высвобождениями из загрязненных участков (решение КРСОЗ-6/2).

2.4.4 Прогресс в направлении достижения цели устойчивого развития

125. Прекращение использования ПФГСК согласуется с планами по устойчивому развитию, предусматривающими снижение выбросов токсических химических веществ, в которых химическая безопасность увязывается с устойчивым развитием и сокращением нищеты. Вопросы экологически

обоснованного регулирования химических веществ и всех видов отходов на протяжении всего их жизненного цикла затрагиваются в резолюции 70/1 Организации Объединенных Наций и являются одной из целей в области устойчивого развития, сформулированных в «Повестке дня в области устойчивого развития на период до 2030 года». Перфторированные химические вещества и переход на более безопасные альтернативы признан в рамках СПМРХВ как вопрос, вызывающий озабоченность. В Общепрограммной стратегии (ОПС) СПМРХВ также говорится, что «химические вещества или виды применения химических веществ, которые вызывают чрезмерные или нерегулируемые риски для здоровья человека и окружающей среды, исходя из научно обоснованной оценки рисков и с учетом затрат и выгод, а также наличия более безопасных заменителей и их эффективности, более не производятся или не используются в рамках таких видов применения». В ОПС также высказывается предположение, что СОЗ могут быть одной из групп химических веществ, оценка которых должна быть произведена в приоритетном порядке с целью содействия переходу на более безопасные альтернативы.

2.5 Прочие соображения

126. Включение ПФГСК в приложение А без исключений предусматривает необходимость распространения информации о мерах регулирования, и, таким образом, оно должно быть эффективным и приемлемым, в том числе для стран, располагающих ограниченной инфраструктурой для регулирования химических веществ. Информация об альтернативах доступна и может предоставляться при такой необходимости. Что касается мониторинга окружающей среды и биомониторинга, то ПФГСК может включаться в существующие программы мониторинга других СОЗ, в частности ПФОС и ПФОК.

2.5.1 Доступ к информации и просвещение общественности

127. На веб-страницах нескольких Сторон, наблюдателей и НПО представлены информация и сведения для просвещения общественности, касающиеся ПФАВ, например:

- a) ОЭСР; портал о перфторированных и полифторированных химических веществах. <http://www.oecd.org/chemicalsafety/portal-perfluorinated-chemicals/>;
- b) ЕАХВ: Европейское агентство по химическим веществам. <https://echa.europa.eu/> (поиск по номеру КАС);
- c) АРТВЗ; Агентство регистрации токсических веществ и заболеваний. <https://www.atsdr.cdc.gov/pfas/index.html>;
- d) Австралия: <https://www.pfas.gov.au/>, <http://www.defence.gov.au/Environment/PFAS/Publications/Default.asp>, <http://www.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/Content/ohp-pfas-hbgy.htm>;
- e) Министерство окружающей среды и продовольствия Дании: <https://mst.dk/>;
- f) Агентство по охране окружающей среды Швеции: <http://www.swedishepa.se/Global-links/Search/?query=PFAS>;
- g) Норвежское агентство по вопросам охраны окружающей среды; <http://www.environment.no/>;
- h) информация об инициативах в рамках Закона об охране окружающей среды Канады, 1999: <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/canadian-environmental-protection-act-registry/general-information/fact-sheets.html>;
- i) информация об оценке и регулировании веществ в Канаде: <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/canadian-environmental-protection-act-registry/general-information/fact-sheets/management-process.html>;
- j) штат Аляска: Отдел по предотвращению разливов и реагированию. Загрязненные участки: <https://dec.alaska.gov/spar/csp/pfas-contaminants>;
- k) доступ к данным, представленным членами Совета по фтору: <https://fluorocouncil.com/health-environment/scientific-studies/>;
- l) Германское агентство по окружающей среде: <https://www.umweltbundesamt.de/>;
- m) Шведское агентство по химическим веществам: <https://www.kemi.se/en/chemical-substances-and-materials/highly-fluorinated-substances>;
- n) Национальное агентство по вопросам продовольствия, Швеция: <https://www.livsmedelsverket.se/en/food-and-content/oonskade-amnen/miljogifter/pfas-in-drinking-water-fish-risk-management>;
- o) правительство штата Квинсленд, Австралия: Безопасное для окружающей среды регулирование огнетушительных пен – оперативная политика: <https://www.qld.gov.au/environment/pollution/management/disasters/investigation-pfas/operational-policy>;

р) раздел веб-сайта АООС США, посвященный ПФАВ: <https://www.epa.gov/pfas>.

2.5.2 Состояние потенциала в области мер регулирования и мониторинга

128. ПФГСК включена в несколько действующих программ мониторинга.

129. Канада отслеживает ПФГСК в воздухе и/или осадках среди прочих веществ в рамках Глобальной сети пассивного отбора атмосферных проб (ГСПОАП) (мониторинг в воздухе с 2009 года), Северной программы по загрязняющим веществам (СПЗВ) в Арктике (мониторинг в воздухе с 2006 года) и Мониторинга и наблюдения бассейна Великих озер (БВО) согласно Плану регулирования химических веществ (ПРХВ) (мониторинг в осадках и воздухе с 2006 и 2019 годов, соответственно).

130. По линии Германского экологического обследования (ГерЭО) и Германского банка образцов окружающей среды (БООС) проводится мониторинг в человеческой крови, особенно в плазме крови. Данные о временных тенденциях для ПФГСК имеются за период 1982-2010 годов (Schröter-Kermani, 2013). В настоящее время осуществляется проект, который позволит включить в анализ временных тенденций период с 2013 по 2019 год (информация, представленная Германией в соответствии с приложением F). В США ПФГСК включена в исследование по биомониторингу NHANES (https://www.cdc.gov/biomonitoring/PFAS_FactSheet.html). ПФАВ, включая ПФГСК, включены в Шведскую программу экологического контроля (Шведское агентство по охране окружающей среды) и Шведскую программу медицинского мониторинга (Каролинский институт). Мониторинг ПФГСК и других перфторированных соединений в организме человека также осуществляется в Канаде, например, в рамках СПЗВ в Арктике, Канадского обследования мер здравоохранения (КОМЗ) и Канадского обследования по вопросам воздействия содержащихся в окружающей среде химических веществ на здоровье матери и ребенка (ВОСХВМР). В рамках КОМЗ проводился мониторинг ПФГСК у населения Канады в целом в период 2007-2009, 2009-2011, 2016-2017 и 2018-2019 годов (Government of Canada, 2013; Haines et al., 2017). В ходе Национального обследования окружающей среды Кореи (НООСК) в 2018 году был начат мониторинг пяти видов ПФАВ, включая ПФГСК (информация, представленная Республикой Корея в соответствии с приложением F).

131. Европейская совместная программа по биомониторингу человека «НВМ4ЕУ», координируемая Германским агентством по окружающей среде, отнесла перфторированные и полифторированные вещества к приоритетным и будет осуществлять сбор данных об их воздействии и последствиях в масштабах всего ЕС до 2021 года. По линии Европейской инициативы в области биомониторинга человека «НВМ4ЕУ» будет измеряться ПФГСК в сыворотке крови европейских подростков в возрасте от 12 до 19 лет из всех регионов Европы (Schoeters et al., 2018).

132. Норвегия ведет ежегодный мониторинг воздушной, пресноводной, морской и наземной биот, включая ПФГСК (<http://www.miljodirektoratet.no/no/Tema/Miljoovervakning/Naturovervakning/Giftfritt-miljo/>).

133. Информация о мониторинге ПФАВ, включая ПФГСК, доступна по Европе, Северной Америке и Азии. ПФГСК необходимо добавить в существующие глобальные программы мониторинга СОЗ с тем, чтобы отслеживать эффективность потенциальных действий.

3. Обобщение информации

3.1 Резюме информации, содержащейся в характеристике рисков

134. На своем четырнадцатом совещании в 2018 году Комитет по рассмотрению СОЗ утвердил характеристику рисков и сделал вывод о том, что ПФГСК, ее соли и родственные ПФГСК соединения в результате их переноса в окружающей среде на большие расстояния могут приводить к серьезным неблагоприятным последствиям для здоровья человека и окружающей среды, которые служат основанием для принятия мер в глобальном масштабе.

135. ПФГСК, ее соли и родственные ПФГСК составы используются, помимо прочих видов применения, в качестве поверхностно-активных веществ, водоотталкивающих и пятнозащитных покрытий для ковров, бумаги, кожи и текстильных изделий, а также в огнетушительных пенах, нередко в качестве заменителей ПФОС. ПФГСК непреднамеренно производится в ходе процессов ЭХФ, используемых при производстве других веществ ПФАВ, например, ПФОС. Информация о нынешнем мировом объеме производства ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК составов носит ограниченный характер. Ранее это вещество производилось в основном компанией «ЗМ». Было обнаружено несколько производителей в Китае, однако данные об объемах производства не разглашаются.

136. ПФГСК отличается крайне высокой стойкостью в окружающей среде. В ходе многочисленных исследований были выявлены повышенные уровни ПФГСК в почве, воде и различных видах биоты. Опираясь на перекрестное сопоставление выводов о стойкости перфторбутансульфоновой кислоты (ПФБК), ПФОС и ПФОК, можно сделать заключение, что ПФГСК не разлагается в естественных условиях и обладает высокой

стойкостью в воде, почве и отложениях. Кроме того, ионы ПФГСК относительно хорошо растворимы в воде и связываются с белками в целевых организмах. С учетом выявленного связывания белка, обусловленного биоаккумуляцией, стандартные КБА/КБК для водных организмов являются менее значимыми признаками биоаккумуляции для ПФАВ, включая ПФГСК. Вместе с тем, происходит биомагнификация, и известные для ПФГСК коэффициенты биомагнификации (КБМ) и коэффициенты трофической магнификации (КТМ) превышают единицу (КБМ находятся в диапазоне 1,4-48, а КТМ – в диапазоне 0,1-4,3), в том числе для организмов в арктических пищевых цепях. Оценочное время полувыведения ПФГСК из сыворотки у людей выше, чем для других ПФАВ, и составляет в среднем 8,5 года (в диапазоне от 2,2 года до 27 лет).

137. ПФГСК широко распространена в окружающей среде и биоте по всему миру. В исследованиях сообщалось о воздействии в отдаленных районах, что может объясняться переносом в окружающей среде на большие расстояния. ПФГСК обнаруживается в воде, снеге, воздухе и биоте (включая людей) в отдаленных районах. Основным механизмом переноса в отдаленные районы, такие как Арктика, в настоящее время, скорее всего, являются океанические течения. Вместе с тем, нельзя исключать возможность переноса ПФГСК и родственных ПФГСК соединений через атмосферу, поскольку ПФГСК выявлялась в снеге, дождевой воде и воздухе, а также в лишайнике. Вероятно, что ПФГСК и родственные ПФГСК соединения переносятся в удаленные районы по воздуху и что родственные ПФГСК соединения разлагаются с образованием ПФГСК на месте.

138. Люди подвергаются воздействию ПФГСК в основном при потреблении пищи и питьевой воды, однако также и внутри помещений при контактах с пылью или потребительскими товарами, содержащими ПФГСК или ее прекурсоры. Среди всех ПФАВ ПФГСК занимает третье место после ПФОС и ПФОК по частоте выявления в пробах крови у населения по всему миру. ПФГСК присутствует в пуповинной крови и грудном молоке. Грудное молоко может быть важным источником воздействия на младенцев, находящихся на грудном вскармливании, поскольку известно, что ПФГСК выводится при лактации. Загрязнение питьевой воды может приводить к существенному повышению уровней ПФГСК в сыворотке вследствие длительного периода выведения у человека. Использование питьевой воды для приготовления пищи может способствовать повышению фоновых уровней, присутствующих в пищевых продуктах.

139. У грызунов в результате воздействия ПФГСК наблюдались различные последствия для печени. Как у грызунов, так и у человека отмечалось влияние на метаболизм липидов и липопротеинов в печени и изменение уровня холестерина, триглицеридов и липопротеинов в сыворотке. В ходе контролируемых лабораторных экспериментов на мышах и крысах наблюдались нейротоксические и нейродеструктивные эффекты, а ряд исследований указывает на связь между поведенческим угнетением у детей и воздействием определенных ПФАВ (включая ПФГСК) в пренатальном периоде и детском возрасте. Сообщалось о последствиях для системы тиреоидных гормонов у крыс, однако результаты исследований говорят о том, что ПФГСК также может влиять на щитовидную систему птиц, белых медведей и человека. Кроме того, ряд эпидемиологических исследований свидетельствует о том, что необученная и формирующаяся иммунная система может быть уязвима перед воздействием определенных ПФАВ и ПФГСК.

140. Данные недавно проведенных исследований белых медведей на Шпицбергене (Норвегия) свидетельствуют о повышении уровня ПФГСК в плазме. ПФАВ, включая ПФГСК, способствуют мультистрессорным последствиям, наблюдаемым у белых медведей Шпицбергена, что указывает на риск неблагоприятных последствий для видов дикой природы. Совокупное воздействие ПФАВ с другими СОЗ влечет за собой непредсказуемые последствия и может вызывать повышенную токсичность у видов, испытывающих значительный стресс.

3.2 Резюме информации, содержащейся в оценке регулирования рисков

141. Ограничение или запрещение использования ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений благоприятно скажется на здоровье людей и состоянии окружающей среды благодаря уменьшению выбросов и последующего воздействия на человека и окружающую среду.

142. ПФГСК, ее соли и родственные ПФГСК соединения представляют собой синтетические вещества, которые, по имеющимся сведениям, не встречаются в природе. Перфторалкансульфоновые кислоты (ПФСК) С₆, С₈ и С₁₀ производились главным образом компанией «ЗМ» в период с 1958 года в США и с 1971 года в Бельгии, вплоть до 2002 года. По сообщениям, производство ПФГСК компанией «ЗМ» в США в период с 1958 по 1997 год составило примерно 228 тонн в год. После поэтапного прекращения производства компанией «ЗМ» выпуск этого вещества продолжался на одном предприятии в Италии, которое рекламировало ПФГСК и ее прекурсоры до подачи заявления о банкротстве в ноябре 2018 года. При этом основное производство и применение переместилось в Азию и увеличилось после 2002 года при наличии, по крайней мере, нескольких производителей в Китае. Непреднамеренное производство ПФГСК осуществляется в ходе процессов электрохимического фторирования (ЭХФ) при производстве других ПФСК. Продукты на основе ПФОСФ могут содержать до 10% ПФГСК в качестве случайных примесей, если она не удаляется для повышения чистоты.

143. По имеющейся информации, использование ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений пересекается с категориями применения родственных ПФОС, а иногда и ПФОК соединений, и во многих областях применения ПФГСК или родственные ПФГСК соединения могли бы использоваться в качестве заменителей ПФОС и в некоторых случаях ПФОК. Было выявлено преднамеренное использование, по крайней мере, в следующих видах применения: 1) ВПП для пожаротушения; 2) нанесение металлических покрытий; 3) текстильные изделия, кожа и обивочные материалы; 4) полировочные составы и чистящие/моющие средства; 5) покрытия, пропитка/обработка (для защиты от сырости, грибка и т.д.); и 6) при производстве электроники и полупроводников. К другим потенциальным категориям применения могут относиться применение в качестве пестицидов, антипиренов, для производства бумаги и упаковочных материалов, в нефтяной промышленности и в качестве гидравлических жидкостей. Также ПФГСК, ее соли и родственные соединения используются в потребительских товарах, содержащих определенные ПФАВ.

144. По данным регулярной оценки альтернатив ПФОС в рамках Стокгольмской конвенции, альтернативы существуют для всех потенциальных видов применения, которые также могут быть актуальными в отношении ПФГСК, ее солей и родственных соединений. Альтернативы включают как фторсодержащие, так и не содержащие фтор вещества, а также альтернативные (нехимические) технические решения. Информация о наличии, доступности и цене альтернатив, а также сведения о мерах регулирования и использовании в различных странах показывают, что социально-экономические издержки введения запрета на использование ПФГСК считаются небольшими и компенсируются преимуществами ликвидации/регулирования. По оценкам, предполагаются высокие расходы на восстановление загрязненных участков, таких как предыдущие и действующие учебно-тренировочные пожарные полигоны и аэропорты, где использовались огнетушительные пены, полигоны для промышленных и опасных отходов, а также на удаление ПФАВ, включая ПФГСК, из питьевой воды и источников воды, загрязненных ПФГСК (и другими ПФАВ). Принятие мер регулирования в отношении ПФГСК, ее солей и родственных соединений поможет избежать таких расходов в будущем.

145. Выбросы ПФГСК в окружающую среду происходят на всех этапах ее жизненного цикла, но считаются самыми высокими в течение срока службы и на этапе удаления отходов. ПФГСК повсеместно присутствует в таких различных экологических средах, как поверхностные и глубинные морские воды, питьевая вода, установки для очистки сточных вод (БОУ) и фильтрат со свалок, осадок, грунтовые воды, почвы, атмосфера, пыль, а также биота (включая дикую природу) и население во всем мире. Важнейшее значение для снижения уровней содержания в окружающей среде будут иметь эффективные меры регулирования обращения с отходами. Согласно статье 6 Конвенции, отходы должны удаляться таким образом, чтобы содержащиеся в них СОЗ уничтожались или необратимо преобразовывались и не проявляли свойств СОЗ или удалялись иным экологически безопасным способом, в том случае, если уничтожение или необратимое преобразование не являются экологически предпочтительным вариантом или содержание СОЗ низкое. Ограниченные знания о текущем использовании ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений, а также отсутствие в настоящее время стандартизованных аналитических методов обнаружения и количественной оценки отдельных родственных ПФГСК соединений затрудняют выявление этих соединений в химических продуктах и смесях. Отсутствие информации о содержании этих соединений в потребительских товарах/продуктах будет затруднять отделение этих продуктов в потоке отходов и во время обработки отходов. Для новых продуктов, только выходящих в оборот на рынке, импортер должен иметь возможность запросить эту информацию, однако в отношении продукции, уже представленной на рынке, получить такие сведения труднее. Вместе с тем, эта ситуация касается не только ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений, но и других регулируемых ПФАВ.

3.3 Предлагаемые меры регулирования рисков

146. Заявок на предоставление исключений представлено не было. В настоящее время отсутствует информация о непреднамеренном производстве ПФГСК в результате сжигания, что говорит об отсутствии необходимости включения в приложение С. Таким образом, предлагаемая мера регулирования для обеспечения «запрещения или ограничения производства, использования, импорта и экспорта» заключается во включении ПФГСК, ее солей и родственных ПФГСК соединений в приложение А к Конвенции без каких-либо исключений.

4. Окончательное заключение

147. Решив, что перфторгексановая сульфоновая кислота (КАС № 355-46-4, ПФГСК), ее соли и родственные ПФГСК соединения в результате их переноса в окружающей среде на большие расстояния могут приводить к серьезным неблагоприятным последствиям для здоровья человека и/или состояния окружающей среды, что служит основанием для принятия мер в глобальном масштабе; подготовив оценку регулирования рисков и рассмотрев варианты регулирования с учетом информации о наличии альтернатив; Комитет по рассмотрению СОЗ рекомендует Конференции Сторон Стокгольмской конвенции, в соответствии с пунктом 9 статьи 8 Конвенции, рассмотреть вопрос о включении перфторгексановой сульфоновой кислоты

(КАС № 355-46-4, ПФГСК), ее солей и родственных ПФГСК соединений в приложение А без конкретных исключений.

Литература

- 3M (3M Canada Company) (2015). Material Safety Data Sheet - FC-95 Fluorad Brand fluorochemical surfactant (inactive).
http://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=SSSSSuUn_zu8IZNU4xtxoY_BPv70kDVFNVu9lxtD7SSSSSS-- (last accessed: 4 February 2019).
- 3M (Minnesota Mining and Manufacturing Co. USA) (2000a). Letter to Charles Auer. Re: Phase-out Plan for PFOSF-Based Products. U.S. EPA Administrative Record 226, No. 600 (AR226-0600).
- 3M (Minnesota Mining and Manufacturing Co. USA) (2000b). Sulfonated Perfluorochemicals in the Environment: Sources, Dispersion, Fate and Effects. U.S. EPA Administrative Record 226, No. 545 (AR226-0545).
- 3M (Minnesota Mining and Manufacturing Co. USA) (1981). Patent: Mist suppressant. Patent No. GB 2077765.
- AECOM, (2018). AECOM's Promising New PFAS Treatment Technology DE-FLUOROTM Shows Complete Destruction of PFAS. <https://www.aecom.com/wp-content/uploads/2018/10/PFAS-Info-Sheet.pdf>.
- Ahrens L, Shoeib M, Harner T, Lee SC, Guo R, Reiner EJ (2011). Wastewater treatment plant and landfills as sources of polyfluoroalkyl compounds to the atmosphere. *Environ. Sci. Technol.* 45: 8098-8105.
- Appleman TD, Higgins CP, Quiñones O, Vanderford BJ, Kolstad C, Zeigler-Holady JC, Dickenson ER (2014). Treatment of poly- and perfluoroalkyl substances in U.S. full-scale water treatment systems. *Water Res.* 51:246-55. doi: 10.1016/j.watres.2013.10.067.
- Allred BM, Lang JR, Barlaz MA, Field JA (2014). Orthogonal zirconium diol/C18 liquid chromatography-tandem mass spectrometry analysis of poly and perfluoroalkyl substances in landfill leachate. *J Chromatogr A.* 1359:202-11.
- Alling V, Hartnik T, Bjærtnes O (2017). Two case studies for remediation of PFAS contaminated fire-fighting sites in Norway. *Proceedings from the Cleanup Conference 2017.* <http://www.cleanupconference.com/wp-content/uploads/2017/10/CleanUp-2017-presentations-for-downloading.pdf>.
- Arp HPH, Brown TN, Berger U, Hale SE (2017). Ranking REACH registered neutral, ionizable and ionic organic chemicals based on their aquatic persistency and mobility. *Environ. Sci. Process. Impacts* 19, 939-955.
- Arvaniti OS and Stasinaki AS (2015). Review on the occurrence, fate and removal of perfluorinated compounds during wastewater treatment. *Sci Tot Environ.* 524-525; 81-92.
- Australian Government, Department of Health (2019). Health Based Guidance Values for PFAS for use in site investigations in Australia – September 2019. <https://www1.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/Content/ohp-pfas-hbgv.htm>.
- Ayothi R, Chang SW, Felix N, Cao HB, Deng H, Yueh W, Ober CK (2006) New PFOS free photoresist systems for EUV lithography, *Jour Photopolymer Science and Technol* 19:515-520.
- Baduel C, Mueller JF, Rotander A, Corfield J, Gomez-Ramos M-J (2017). Discovery of novel per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) at a fire fighting training ground and preliminary investigation of their fate and mobility. *Хемосфера.* 185: 1030-1038.
- Banzhaf S, Filipovic M, Lewis J, Sparrenbom CJ, Barthel R (2017). A review of contamination of surface-, ground-, and drinking water in Sweden by perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFASs). *Ambio.* 46(3):335-346.
- Barzen-Hanson KA, Roberts SC, Choyke S, Oetjen K, McAlees A, Riddell N, McCrindle R, Ferguson PL, Higgins CP, Field JA (2017). Discovery of 40 Classes of Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Historical Aqueous Film-Forming Foams (AFFFs) and AFFF-Impacted Groundwater. *Environ Sci Technol.* 51(4):2047-2057.
- Barzen-Hanson KA, Field JA (2015). Discovery and Implications of C 2 and C 3 perfluoroalkyl sulfonates in aqueous film-forming foams and groundwater. *Environ. Sci. Technol. Lett.* 2, 95-99. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.estlett.5b00049>.
- Bečanová J, Melymuk L, Vojta Š, Komprdová K, Klánová J (2016). Screening for perfluoroalkyl acids in consumer products, building materials and wastes. *Chemosphere.* 164:322-329.
- Benskin JP, De Silva AO, Martin JW (2010). Isomer profiling of perfluorinated substances as a tool for source tracking: a review of early findings and future applications. *Rev Environ Contam Toxicol.* 208:111-60.
- Blum A, Balan SA, Scheringer M, Trier X, Goldenman G, Cousins IT, Diamond M, Fletcher T, Higgins C, Lindeman AE, Peaslee G, de Voogt P, Wang Z, Weber R. The Madrid Statement on poly and perfluoroalkyl substances (PFASs). *Environ Health Perspect* 2015, 123(5), A107-A111.

- Boiteux V, Dauchy X, Rosin C, Munoz JF (2012). National screening study on 10 perfluorinated compounds in raw and treated tap water in France. *Arch Environ Contam Toxicol* 63(1):1-12.
- Boone JS, Vigo C, Boone T, Byrne C, Ferrario J, Benson R, Donohue J, Simmons JE, Kolpin DW, Furlong ET, Glassmeyer ST (2019). Per- and polyfluoroalkyl substances in source and treated drinking waters of the United States. *Sci Total Environ.* 653:359-369. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.245.
- Boucher JM, Cousins IT, Scheringer M, Hungerbühler K, Wang Z (2019). Toward a Comprehensive Global Emission Inventory of C₄-C₁₀ Perfluoroalkanesulfonic Acids (PFASs) and Related Precursors: Focus on the Life Cycle of C₆- and C₁₀-Based Products. *Environmental Science & Technology Letters* 2019 6 (1), 1-7.
- Bräunig J, Baduel C, Barnes CM, Mueller JF (2019). Leaching and bioavailability of selected perfluoroalkyl acids (PFAAs) from soil contaminated by firefighting activities. *Sci Total Environ.* 646:471-479. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.231.
- Buck RC, Franklin J, Berger U, Conder JM, Cousins IT, de Voogt P, Jensen AA, Kannan K, Mabury SA, van Leeuwen SP (2011). Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in the environment: terminology, classification, and origins. *Integr Environ Assess Manag.* 7(4):513-41.
- CRC CARE (2017) Assessment, management and remediation guidance for perfluorooctanesulfonate (PFOS) and perfluorooctanoic acid (PFOA) – Part 5: management and remediation of PFOS and PFOA, CRC CARE Technical Report no. 38, CRC for Contamination Assessment and Remediation of the Environment, Newcastle, Australia.
- Campbell TY, Vecitis CD, Mader BT, Hoffmann MR (2009). Perfluorinated surfactant chain-length effects on sonochemical kinetics. *J Phys Chem A.* 10;113 (36):9834-42.
- Chen M, Wang Q, Shan G, Zhu L, Yang L, Liu M (2018). Occurrence, partitioning and bioaccumulation of emerging and legacy per- and polyfluoroalkyl substances in Taihu Lake, China. *Sci Total Environ.* 5;634: 251-259.
- Cordner A, Richter L, Brown P (2016) Can chemical class approaches replace chemical-by-chemical strategies? Lessons from *Environ Sci Technol* 50:12584-12591.
- Cordner A, Richter L, Brown P (2016). Can Chemical Class Approaches Replace Chemical-by-Chemical Strategies? Lessons from Recent U.S. FDA Regulatory Action on Per- And Polyfluoroalkyl Substances. *Environ Sci Technol.* 50 (23):12584-12591.
- Cordner A., De La Rosa V.Y., Schaidler L.A., Rudel R.A., Richter L., and Brown P. (2019). Guideline Levels for PFOA and PFOS in Drinking Water: The Role of Scientific Uncertainty, Risk Assessment Decisions, and Social Factors//*J Expo Sci Environ Epidemiol.* 2019 March; 29(2): 157–171. doi:10.1038/s41370-018-0099-9.
- Cui Q, Pan Y, Zhang H, Sheng N, Dai J (2018). Elevated concentrations of perfluorohexanesulfonate and other per- and polyfluoroalkyl substances in Baiyangdian Lake (China): Source characterization and exposure assessment. *Environ Pollut.* 241:684-691.
- D'Agostino LA, Mabury SA (2017). Certain Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances Associated with Aqueous Film Forming Foam Are Widespread in Canadian Surface Waters. *Environ Sci Technol.* 5; 51 (23):13603-13613.
- D'Agostino LA and Mabury SA (2014). Identification of novel fluorinated surfactants in aqueous film forming foams and commercial surfactant concentrates. *Environ. Sci. Tech.* 48, 121-129.
- Dainippon (Dainippon Ink and Chemicals, Inc., Japan) (1988). Patent: N-(dihydroxypropyl) perfluoroalkanecarbonamide and -sulfonamide derivatives as antifogging agents. Patent No. JP63208561.
- Dainippon (Dainippon Ink and Chemicals, Inc., Japan) (1979). Patent: Prevention of mist formation over plating baths. Patent No. JP54076443.
- Danish Environmental Protection Agency (2015). Alternatives to perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in textiles. Available from: <https://www2.mst.dk/Udgiv/publications/2015/05/978-87-93352-16-2.pdf>.
- Denmark Lovtidene A. (20 June 2018). Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. PFAS12 = (PFBS, PFHxS, PFOS, 6:2 FTS, PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA and PFDA, PFOSA). Lovtidene A 30 of June 2018: https://www.foedevarestyrelsen.dk/SiteCollectionDocuments/Vejledninger/Fodervejledningen/Lovgivning/Drikkevandsbekendtg%C3%B8relsen_975_2018.pdf.
- Denmark (2015). Miljø og fødevareministeriet, Fødevarestyrelsen. Fluorerede stoffer i fødevarekontaktmaterialer (FKM) af pap og papir. April 2018. (In Danish only). <https://www.foedevarestyrelsen.dk/SiteCollectionDocuments/Kemi%20og%20foedevarekvalitet/FKM/Notat-graensevaerdiforslag-for-fluorstoffer-i-papir-og-pap-emballage-FINAL.pdf> <https://www.foedevarestyrelsen.dk/SiteCollectionDocuments/Kemi%20og%20foedevarekvalitet/FKM/Fakta%20ark%20fluorerede%20stoffer.pdf>.

- Denmark, 2014. Miljøministeriet, Miljøstyrelsen. Miljøprojekt nr. 1600. Screeningsundersøgelse af udvalgte PFAS-forbindelser som jord- og grundvandsforurening i forbindelse med punktkilder. (In Danish only). Available at : <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2014/10/978-87-93178-96-0.pdf>.
- D' Hollander W, Herzke D, Huber S, Hajslova J, Pulkrabova J, Brambilla G, De Filippis SP, Bervoets L, de Voogt P (2015). Occurrence of perfluorinated alkylated substances in cereals, salt, sweets and fruit items collected in four European countries. *Chemosphere* 129: 179-185.
- ECHA (2019a). Registry of restriction intentions until outcome. Perfluorohexane-1-sulphonic acid, its salts and related substances. <https://echa.europa.eu/sv/registry-of-restriction-intentions/-/dislist/details/0b0236e1827f87da>.
- ECHA (2019b). Annex XV report. Proposal for restriction of perfluorohexane-1-sulphonic acid, its salts and related substances. <https://echa.europa.eu/documents/10162/7722f470-1f29-8caa-c270-5149ad0df076>.
- ECHA (2019c). ANNEX XV RESTRICTION REPORT. PROPOSAL FOR A RESTRICTION. Perfluorohexane sulfonic acid (PFHxS) including its salts and precursors. <https://echa.europa.eu/documents/10162/a22da803-0749-81d8-bc6d-ef551fc24e19>.
- ECHA (2018). Registry of restriction intentions until outcome, RAC and SEAC opinion for C9-C14 PFCAs. Available at: <https://echa.europa.eu/registry-of-restriction-intentions/-/dislist/details/0b0236e18195edb3>.
- ECHA (2017a). Member state committee support document for the identification of perfluorohexane-1-sulphonic acid and its salts as substances of very high concern because of their vPvB (Article 57 E) properties. (<https://echa.europa.eu/documents/10162/40a82ea7-dcd2-5e6f-9bff-6504c7a226c5>). Last accessed 04 October 2017.
- ECHA (2017b) Strategy to promote substitution to safer chemicals through innovation. https://echa.europa.eu/documents/10162/2792271/mb_58_2017_2_annex_strategy_substitution_safer_alternatives_en.pdf/d1c31c63-4047-e7be-75d1-12320a4a8489.
- ECHA (2015). Committee for Risk Assessment (RAC) Committee for Socio-economic Analysis (SEAC) Opinion on an Annex XV dossier proposing restrictions on Perfluorooctanoic acid (PFOA), its salts and PFOA-related substances. Available at: <https://echa.europa.eu/documents/10162/d5edcc90-ac86-64ed-11c1-3daeb14fad89>.
- ECHA. <https://echa.europa.eu/data-to-prevent-regrettable-substitution>.
- ECHA CoRAP list. <https://echa.europa.eu/information-on-chemicals/evaluation/community-rolling-action-plan/corap-table>.
- EFSA 2012. Европейский орган по безопасности продуктов питания; Perfluoroalkylated substances in food: occurrence and dietary exposure. *EFSA Journal* 2012; 10(6):2743. (55 pp.) doi:10.2903/j.efsa.2012.2743. Available online: www.efsa.europa.eu/efsajournal.
- Environment Canada (2013). Search Engine for the Results of DSL Categorization. Environment Canada, Gatineau, Quebec, Canada. (<http://www.ec.gc.ca/lcpe-cepa/default.asp?lang=En&n=5F213FA8-1&wsdoc=D031CB30-B31B-D54C-0E46-37E32D526A1F>). Last accessed 16 May 2017.
- Eriksson U, Haglund P, Kärman A (2017). Contribution of precursor compounds to the release of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) from waste water treatment plants (WWTPs). *J. Environ Sciences* 61: 80-90.
- Ericson I, Domingo JL, Nadal M, Bigas E, Llebaria X, van Bavel B, Lindström G (2009). Levels of Perfluorinated Chemicals in Municipal Drinking Water from Catalonia, Spain: Public Health Implications. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 57(4):631-638.
- Eurofeu, (2018). Presentation during POPRC-14: "Fire fighting Foam is needed to fight Flammable Liquid Fires in High Risk Applications.
- Europe (2018). (http://ec.europa.eu/environment/water/water-drink/pdf/revised_drinking_water_directive_annex.pdf). RECAST (01.02.18): "The proposal is to regulate the group of PFASs, as defined by the OECD, and to suggest values of 0.1 µg/L for individual PFAS and 0.5 µg/L for PFASs in total, as is done for pesticides. As these values are higher than those referred to in Sweden or the United States, it should be feasible to meet them https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8c5065b2-074f-11e8-b8f5-01aa75ed71a1.0016.02/DOC_1&format=PDF. http://ec.europa.eu/environment/water/water-drink/review_en.html.
- EWG's Tap Water Database. <https://www.ewg.org/research/update-mapping-expanding-pfas-crisis>.
- Favreau P, Poncioni-Rothlisberger C, Place BJ, Bouchex-Bellomie H, Weber A, Tremp J, Field JA, Kohler M (2017). Multianalyte profiling of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in liquid commercial products. *Chemosphere* 171: 491-501.
- Food Standards Australia New Zealand 2016. Occurrence of perfluorooctane sulfonate (PFOS), perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorohexane sulfonate (PFHxS) in foods and water sampled from contaminated sites.

[https://www.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/Content/2200FE086D480353CA2580C900817CDC/\\$File/Occurrence-data-report.pdf](https://www.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/Content/2200FE086D480353CA2580C900817CDC/$File/Occurrence-data-report.pdf).

FFFC (2017). Fact sheet on AFFF fire-fighting foam.

https://docs.wixstatic.com/ugd/331cad_fa5766eb867b4a5080330ce96db195fa.pdf.

FFFC (2016). Fire Fighting Foam Coalition. Best Practice Guidance for Use of Class B Fire Fighting Foams.

Available at: <https://fluorocouncil.com/wp-content/uploads/2017/06/bestpracticeguidance.pdf>.

Fluorocouncil (2015). Fluorotechnology Is Critical to Modern Life: The FluoroCouncil Counterpoint to the Madrid Statement. *Environmental Health Perspectives*. <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1509910>.

Fromme H, Wöckner M, Roscher E, Völkel W (2017). ADONA and perfluoroalkylated substances in plasma samples of German blood donors living in South Germany. *Int J Hyg Environ Health*. 220(2 Pt B):455-460. doi: 10.1016/j.ijheh.2016.12.014.

Fu J, Gao Y, Wang T, Liang Y, Zhang A, Wang Y, Jiang G (2015). Elevated levels of perfluoroalkyl acids in family members of occupational workers: the implication of dust transfer. *Sci. Rep.* 5, 9313.

Gebbink WA, van Asseldonk L, van Leeuwen SPJ (2017). Presence of Emerging Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs) in River and Drinking Water near a Fluorochemical Production Plant in the Netherlands. *Environ Sci Technol*. 51(19):11057-11065.

Gebbink WA, Glynn A, Darnerud PO, Berger U (2015). Perfluoroalkyl acids and their precursors in Swedish food: The relative importance of direct and indirect dietary exposure. *Environ Pollut*. 198:108-15.

Ghisi R, Vameralia T, Manzetti S (2019). Accumulation of perfluorinated alkyl substances (PFAS) in agricultural plants: A review. *Environmental Research* 169 (2019) 326-341.

Gao Y, Fu J, Cao H, Wang Y, Zhang A, Liang Y, Wang T, Zhao C, Jiang G (2015). Differential accumulation and elimination behavior of perfluoroalkyl Acid isomers in occupational workers in a manufactory in China. *Environ Sci Technol*. 49(11):6953-62.

Gobelius L, Hedlund J, Dürig W, Tröger R, Lilja K, Wiberg K, Ahrens L (2018). Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Swedish Groundwater and Surface Water: Implications for Environmental Quality Standards and Drinking Water Guidelines. *Environ. Sci. Technol*. 2018, 52, 4340–4349.

Gomis MI, Vestergren R, Borg D, Cousins IT (2018). Comparing the toxic potency in vivo of long-chain perfluoroalkyl acids and fluorinated alternatives. *Environ Int*. 113: 1-9.

Government of Canada, (2018). Drinking Water Screening Values: Perfluoroalkylated Substances.

<https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/documents/services/publications/healthy-living/water-talk-drinking-water-screening-values-perfluoroalkylated-substances/water-talk-drinking-water-screening-values-perfluoroalkylated-substances-eng.pdf>.

Government of Canada. (2013). Second Report on Human Biomonitoring of Environmental Chemicals in Canada: Results of the Canadian Health Measures Survey Cycle 2 (2009-2011). <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/reports-publications/environmental-contaminants/second-report-human-biomonitoring-environmental-chemicals-canada-health-canada-2013.html>.

Gramstad T, Haszeldine RN (1957). 512. Perfluoroalkyl Derivatives of Sulphur. Part VI. Perfluoroalkanesulfonic Acids CF₃[CF₂]_nSO₃H (n = 1-7). *Journal of the Chemical Society*, 2640-2645. <https://doi.org/10.1039/JR9570002640>.

Guelfo JL, Higgins CP (2013). Subsurface transport potential of perfluoroalkyl acids at aqueous film-forming foam (AFFF)-impacted sites. *Environ Sci Technol*. 7;47(9):4164-71.

Haines DA, Saravanabhavan G, Werry K, Houry C (2017). An overview of human biomonitoring of environmental chemicals in the Canadian Health Measures Survey: 2007–2019. *Int J Hyg Environ Health*. 220: 13-28.

Hamid H, Li LY, Grace JR (2018). Review of the fate and transformation of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in landfills. *Environ Poll*. 235: 74-84.

Herzke D, Huber S, Bervoets L, D' Hollander W, Hajslova J., Pulkrabova J, Brambilla G, De Filippis SP, Klenow S, Heinemeyer G (2013). Perfluorinated alkylated substances in vegetables collected in four European countries; occurrence and human exposure estimations. *Environ. Sci. Pollut. Res*. 20: 7930-7939.

Herzke D, Olsson E, Posner S (2012). Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in consumer products in Norway- a pilot study. *Хемосфера*. 88: 980-987.

Hengxin (Hubei Hengxin Chemical Co., Ltd) (2019). Products (HX-601, HX-168). http://www.fluoride-cn.com/product_en.html (last accessed: 2 January 2019).

- Hengxin (Hubei Hengxin Chemical Co., Ltd) (2015). Patent: Chromium fog inhibitor tetraethyl ammonium perfluorohexanesulfonate and its preparation method. Patent No. CN 104611733.
- Hill PJ, Taylor M, Goswami P, Blackburn RS (2017). Substitution of PFAS chemistry in outdoor apparel and the impact on repellency performance. *Chemosphere* 181:500-507.
- Hu XC, Andrews DQ, Lindstrom AB, Bruton TA, Schaidler LA, Grandjean P, Lohmann R, Carignan CC, Blum A, Balan SA, Higgins CP, Sunderland EM (2016). Detection of Poly- and Perfluoroalkyl Substances (PFASs) in U.S. Drinking Water Linked to Industrial Sites, Military Fire Training Areas, and Wastewater Treatment Plants. *Environ Sci Technol Lett.* 3(10):344-350.
- Huang, J, Gang Y, Mei S (2015). PFOS in China: production, application & alternatives. <http://www.basel.int/Portals/4/download.aspx?d=UNEP-CHW-SUBM-GUID-TGsPOPsWastes-PFOS-UNEPChemicals-RefJunHuangChina-201310.English.pdf&usg=AOvVaw19j7yN3fLiroc5gNmrnaKn> (last accessed: 4 February 2019).
- H. Vermont (Health Vermont). <http://www.healthvermont.gov/environment/drinking-water/perfluoroalkyl-and-polyfluoroalkyl-substances-pfas-drinking-water>.
- IPEN, 2018. Fluorine-free firefighting foams (3F) viable alternatives to fluorinated aqueous film-forming foams (AFFF). <https://ipen.org/documents/fluorine-free-firefighting-foams>.
- IPEN Annex F information concerning Washington ban on PFAS in food-contact materials. <http://apps2.leg.wa.gov/billsummary?BillNumber=2658&Year=2017&BillNumber=2658&Year=2017>.
- Jiang, W, Zhang Y, Yang L, Chu X, Zhu L (2015). Perfluoroalkyl acids (PFAAs) with isomer analysis in the commercial PFOS and PFOA products in China. *Chemosphere*, 127, 180-187. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.01.049>.
- Kaboré HA, Vo Duy S, Munoz G, Méité L, Desrosiers M, Liu J, Sory TK, Sauvé S (2018). Worldwide drinking water occurrence and levels of newly-identified perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances. *Sci Total Environ.* 616-617: 1089-1100.
- Karolinska Institutet, Sweden. <http://ki.se/en/imm/health-related-environmental-monitoring-hami>.
- KemI (2018). <https://www.kemi.se/en/news-from-the-swedish-chemicals-agency/2018/the-swedish-chemicals-agency-is-introducing-a-requirement-to-report-pfass-to-the-products-register/>.
- KemI (2018b). PFASs in the action plan for a toxic-free everyday environment Report 7/18. Selected parts of report 6/17. <https://www.kemi.se/global/rapporter/2018/report-7-18-pfass-in-the-action-plan-for-a-toxic-free-everyday-environment.pdf>.
- KemI (2016). Förslag till nationella regler för högfluorerade ämnen i brandsläckningsskum (In Swedish only). Rapport 1/16. ISSN 0284-1185.
- KemI (2015). Chemical analysis of selected fire-fighting foams on the Swedish market 2014. PM 6/15.
- KemI (2014). <https://www.kemi.se/kemiska-amnen-och-material/hogfluorerade-amnen-pfas/pfas-natverk> (In Swedish only).
- Keutel K, Koch M (2016) Untersuchung fluortensidfreier Löschmittel und geeigneter Lösungsverfahren zur Bekämpfung von Bränden häufig verwendeter polarer (d. h. schaumzerstörender) Flüssigkeiten. 187, date: February 2016. Institut für Brand- und Katastrophenschutz Heyrothsberge, Abteilung Forschung- Institut der Feuerwehr- Arbeitgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer A.V.A.F., Katastrophenschutz und zivile Verteidigung. Available (in German only) at: <https://ibk-heyrothsberge.sachsen-anhalt.de/forschung-idf/publikationen/>.
- Kim M, Li LY, Grace JR, Yue C (2015). Selecting reliable physicochemical properties of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFASs) based on molecular descriptors. *Environ Pollut.* 196:462-72.
- Kosswig K (2000). Sulfonic Acids, Aliphatic. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. 7th ed. (1999-2015). New York, NY: John Wiley & Sons. Online Posting Date: Jun 15, 2000.
- Kotthoff M and Bücking M (2018). Four chemical trends will shape the next decade's direction in perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substance research. *Front. Chem* 05 April. <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00103>.
- Kotthoff M, Müller J, Jüriling H, Schlummer M, Fiedler D (2015). Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in consumer products. *Environ Sci Pollut Res Int.* 22(19):14546-59.
- LASTFIRE (2018). New foam testing. Hemmingfire, *Industrial Fire Journal* 2018 Q3. Available at: https://issuu.com/hemminggroup/docs/ifj_q3_2018?e=29780894/64572047.
- Li Y, Fletcher T, Mucs D, Scott K, Lindh CH, Tallving P, Jakobsson K (2018). Half-lives of PFOS, PFHxS and PFOA after end of exposure to contaminated drinking water. *Occup Environ Med.* 75(1):46-51.

- Lin A Y-C, Panchangam SC, Ciou P-S (2010). High levels of perfluorochemicals in Taiwan's wastewater treatment plants and downstream rivers pose great risk to local aquatic ecosystems. *Chemosphere*, 80, 1167-1174.
- Lin A Y-C, Panchangam SC, Lo C-C (2009). The impact of semiconductor, electronics and optoelectronic industries on downstream perfluorinated chemical contamination in Taiwanese rivers. *Environmental Pollution* 157: 1365-1372.
- Liu Y, Zhang Y, Li J, Wu N, Li W, Niu Z. (2019). Distribution, partitioning behavior and positive matrix factorization-based source analysis of legacy and emerging polyfluorinated alkyl substances in the dissolved phase, surface sediment and suspended particulate matter around coastal areas of Bohai Bay, China. *Environ Pollut.* 246:34-44.
- Lofstedt Gilljam J, Leonel J, Cousins IT, Benskin JP (2016). Is Ongoing Sulfluramid Use in South America a Significant Source of Perfluorooctanesulfonate (PFOS)? Production Inventories, Environmental Fate, and Local Occurrence. *Environ. Sci. Technol.* 50, 653–659.
- Ma X, Shan G, Chen M, Zhao J, Zhu L (2018). Riverine inputs and source tracing of perfluoroalkyl substances (PFASs) in Taihu Lake, China. *Sci Total Environ.* 15; 612:18-25.
- Mass. Gov. <https://www.mass.gov/service-details/per-and-polyfluoroalkyl-substances-pfas-in-drinking-water>.
- McCleaf P, Englund S, Ostlund A, Lindegren K, Wiberg K, Ahrenz L (2017). Removal efficiency of multiple poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs) in drinking water using granular activated carbon (GAC) and anion exchange (AE) column tests. *Water Research* 120: 77-87.
- MDH (Minnesota Department of Health). <http://www.health.state.mn.us/divs/eh/hazardous/topics/pfcshealth.pdf>.
- MIL-F-24385 is a U.S. Military Test Specification that critically tests AFFFs for both extinguishment and burnback in sea and potable (fresh) water: Available at: <https://www.firefightingfoam.com/knowledge-base/international-standards/mil-f-24385/>.
- Mak Y L, Taniyasu S, Yeung LWY, Lu G, Jin L, Lam PKS, Kannan K, Yamashita N (2009). Perfluorinated compounds in tap water in China and several other countries. *Environ. Sci. Technol.* 2009, 43, 4824-4829.
- Miteni. Perfluorinated derivatives <http://www.miteni.com/Products/perfluorinatedde.html> (accessed February 12, 2018).
- Naturvardsverket, Sweden: <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Miljoovervakning/Miljoovervakning/Miljogiftssamordning/>.
- Naturvardsverket, Sweden (2019) NATURVÅRDSVERKET RAPPORT 6871. Vägledning om att riskbedöma och åtgärda PFAS-föreningar inom förorenade områden. <http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer6400/978-91-620-6871-4.pdf?pid=24088>. (In Swedish with English summary).
- NCM, Nordic Council of Ministers (2019). The cost of inaction: A socioeconomic analysis of environmental and health impacts linked to exposure to PFAS. *TemaNord*, ISSN 0908-6692; 2019:516. Available at: <http://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:1295959/FULLTEXT01.pdf>.
- Neumann M, Sättler D, Vierlke L, Schliebner I (2017). A proposal for criteria and an assessment procedure to identify Persistent, Mobile and Toxic (PM or PMT) substances registered under REACH, in Oral Presentation at the 16th EuCheMS International Conference on Chemistry and the Environment (ICCE) (Oslo).
- NICNAS (2017a). NICNAS IMAP Environment Tier II Assessment for Direct Precursors to Perfluoroheptanesulfonate (PFHpS), Perfluorohexanesulfonate (PFHxS) and Perfluoropentanesulfonate (PFPeS) <https://www.nicnas.gov.au/chemical-information/imap-assessments/imap-assessments/tier-ii-environment-assessments/direct-precursors-to-perfluoroheptanesulfonate-pfhps,-perfluorohexanesulfonate-pfhxs-and-perfluoropentanesulfonate-pfpes>.
- NICNAS (2017b). NICNAS IMAP HUMAN HEALTH TIER II ASSESSMENT FOR Perfluoroalkane sulfonates (PFSA) (C₅-C₇) and their direct precursors https://www.nicnas.gov.au/chemical-information/imap-assessments/imap-group-assessment-report?assessment_id=444.
- NICNAS (2017c). HUMAN HEALTH TIER II ASSESSMENT FOR Indirect precursors of perfluoroalkane sulfonic acids (PFSA) (C₅-C₇). https://www.nicnas.gov.au/chemical-information/imap-assessments/imap-group-assessment-report?assessment_id=1809.
- NICNAS (2017d). Environment Tier II Assessment for Indirect Precursors to Perfluoroalkyl Sulfonates <https://www.nicnas.gov.au/chemical-information/imap-assessments/imap-assessments/tier-ii-environment-assessments/indirect-precursors-to-perfluoroalkyl-sulfonates>.

- Noorlander CW, J. van Leeuwen SP, Dirk te Biesebeek J, Mengelers MJB, Zeilmaker MJ (2011). Levels of Perfluorinated Compounds in Food and Dietary Intake of PFOS and PFOA in The Netherlands. *J. Agric. Food Chem.* 2011, 59, 7496-7505.
- Norwegian Environment Agency (2017). Screening program 2017. Selected PBT compounds. Report M-806/2017 <http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M806/M806.pdf>.
- Norwegian Environment Agency (2018). Investigation of sources to PFHxS in the environment. Report M-961/2018 <http://www.miljodirektoratet.no/no/Publikasjoner/2018/Februar-2018/Investigation-of-sources-to-PFHxS-in-the-environment/>.
- OECD (2018). TOWARD A NEW COMPREHENSIVE GLOBAL DATABASE OF PER- AND POLYFLUOROALKYL SUBSTANCES (PFASs): SUMMARY REPORT ON UPDATING THE OECD 2007 LIST OF PER- AND POLYFLUOROALKYL SUBSTANCES (PFASs). ENV/JM/MONO(2018)7. [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ENV-JM-MONO\(2018\)7&doclanguage=en](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ENV-JM-MONO(2018)7&doclanguage=en).
- OECD (2015). Risk reduction approaches for PFASs a cross-country analysis. https://www.oecd.org/chemicalsafety/risk-management/Risk_Reduction_Approaches%20for%20PFASS.pdf.
- OECD (2013). OECD/UNEP Global PFC Group, Synthesis paper on per- and polyfluorinated chemicals (PFCs), Environment, Health and Safety, Environment Directorate, OECD. Available at: https://www.oecd.org/env/ehs/risk-management/PFC_FINAL-Web.pdf.
- Oosterhuis F, Brouwer R., Janssen M., Verhoeven J, Luttkhuizen C. (2017). Towards a proportionality assessment of risk reduction measures aimed at restricting the use of persistent and bioaccumulative substances, Integrated Environmental Assessment and Management banner, 13 (6) 1100-1112.
- Olsen GW, Burriss JM, Ehresman DJ, Froehlich JW, Seacat AM, Butenhoff JL, Zobel LR (2007). Half-life of serum elimination of perfluorooctanesulfonate, perfluorohexanesulfonate, and perfluorooctanoate in retired fluorochemical production workers. *Environ Health Perspect.* 115(9):1298-305.
- Pan Y, Zhang H, Cui Q, Sheng N, Yeung LWY, Sun Y, Guo Y, Dai J (2018). Worldwide Distribution of Novel Perfluoroether Carboxylic and Sulfonic Acids in Surface Water. *Environ Sci Technol.* 52(14):7621-7629.
- Park H, Choo G, Kim H, Oh JE (2018). Evaluation of the current contamination status of PFASs and OPFRs in South Korean tap water associated with its origin. *Sci Total Environ.* 1; 634:1505-1512.
- Patent US20080196908: <https://patents.google.com/patent/US20080196908>.
- Poulsen PB, Gram LK, AA Jenssen (2011). Substitution of PFOS for use in nondecorative hard chrome plating. Environmental Project No. 1371, Danish Ministry of Environment.
- Queensland Government, Australia (2018). Environmental Management of Firefighting Foam-Operational Policy. Updated 2 May 2018. <https://www.qld.gov.au/environment/pollution/management/disasters/investigation-pfas/operational-policy>.
- Queensland Gov., Australia (2016). Operational Policy 07 July 2016. Department of Environmental & Science www.DES.qld.gov.au ABN 46 640 294 485. Environmental Management of Firefighting Foam https://www.qld.gov.au/__data/assets/pdf_file/0025/68470/firefighting-foam-policy.pdf.
- Ramsden N, (2018). Large scale foam testing. Hemmingfire, *Industrial Fire Journal* 2018 Q3. Available at: https://issuu.com/hemminggroup/docs/ifj_q1_2018?e=29780894/59376615.
- Ramsden N, LASTFIRE (2017). The evolution of fire fighting foams. How did we get where we are today? Available at: <http://www.lastfire.co.uk/uploads/Foam%20Summit/1.%20Foam%20development.pdf>.
- REACH regulation. <https://echa.europa.eu/da/regulations/reach/legislation>.
- Ren, Xin. (2016). China- Reduction and Phase-out of Perfluorooctane Sulfonic Acid (PFOS) in Priority Sectors Project: environmental assessment: Environmental auditing report for Hubei Hengxin Chemical Co., Ltd (English). China: s.n. <http://documents.worldbank.org/curated/en/779711473149049019/Environmental-auditing-report-for-Hubei-Hengxin-Chemical-Co-Ltd>.
- Ritscher A, Wang Z, Scheringer M, Boucher JM, Ahrens L, Berger U, Bintein S, Bopp SK, Borg D, Buser AM, Cousins I, DeWitt J, Fletcher T, Green C, Herzke D, Higgins C, Huang J, Hung H, Thomas Knepper, Lau CS, Leinala E, Lindstrom AB, Liu J, Miller M, Ohno K, Perkola N, Shi Y, Haug LS, Trier X, Valsecchi S, van der Jagt K, Vierke L (2018). Zurich statement on future actions on per- and perfluoroalkyl substances (PFASs), *Environ Health Perspect* 126, <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/full/10.1289/EHP4158>.

- Rotander A, Karrman A, Toms L-ML, Aylward L, Kay M, Mueller JF, Ramos MJG. (2015a). Novel fluorinated surfactants tentatively identified in firefighters using liquid chromatography quadrupole time-of-flight tandem mass spectrometry and case-control approach. *Environ. Sci. Technol.* 49, 2434-2442.
- Rotander A, Toms L-ML, Aylward L, Kay M, Mueller JF. (2015b). Elevated levels of PFOS and PFHxS in firefighters exposed to aqueous film forming foam (AFFF). *Environment International* 82, 28-34.
- RPA, (2019). Risk & Policy Analysts (RPA) and Arche Consulting. Socio-Economic assessment of PFHxS and PFHxS-related substances. Norwegian Environment Agency, M-1388/2019. Available at: <https://www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2019/mai/socio-economic-assessment-of-pfhxs-and-pfhxs-related-substances/>.
- Schellenberger S, Gillgard P, Stare A, Hanning A, Levenstam O, Roos S, Cousins IT (2018). Facing the rain after the phase out: Performance evaluation of alternative fluorinated and non-fluorinated durable water repellents for outdoor fabrics. *Chemosphere* 193:675-684.
- Schellenberger S, Hill PJ, Levenstam O, Gillgard P, Cousins IT, Taylor M, Blackburn RS (2019). Highly fluorinated chemicals in functional textiles can be replaced by re-evaluating liquid repellency and end-user requirements. *Journal of Cleaner Production* 217: 134-143.
- Schröter-Kermani C, Müller J, Jüriling H, Schulte CCA (2013). Retrospective monitoring of perfluorocarboxylates and perfluorosulfonates in human plasma archived by the German Environmental Specimen Bank, *International journal of hygiene and environmental health.* 216: Nr.6, 633-640. DOI: 10.1016/j.ijheh.2012.08.004.
- Schoeters et al., (2018). Initial report on strategies adopted to align studies across Europe and preliminary results Deliverable Report D8.4 WP8- Targeted field work surveys and alignment at EU level: accessible at: <https://www.hbm4eu.eu/deliverables/>.
- Schwarzenbach RP, Gschwend PM, Imboden DM. (2002). *Environmental Organic Chemistry*, 2nd Edition. John Wiley & Sons, Inc. ISBN: 978-0-471-35750-6.
- SPIN (Substances in Preparations in Nordic Countries), 2018. <http://www.spin2000.net/spinmyphp/> (last accessed: 9 January 2018).
- Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. Technical Paper on the Identification and Assessment of Alternatives to the Use of Perfluorooctane Sulfonic Acid in Open Applications. UNEP/POPS/POPRC.8/INF/17/Rev.1 (2012).
- Strynar M, Dagnino S, McMahan R, Liang S, Lindstrom A, Andersen E, McMillan L, Thurman M, Ferrer I, Ball C (2015). Identification of novel perfluoroalkyl ether carboxylic acids (PFECAs) and sulfonic acids (PFESAs) in natural waters using accurate mass time-of-flight mass spectrometry (TOF-MS). *Environ. Sci. Technol.* 49, 11622-11630.
- Sweden (2018). National Food Agency, Sweden. PFAS in drinkingwater and fish- risk management: https://www.livsmedelsverket.se/en/food-and-content/oonskade-amnen/miljogifter/pfas-in-drinking-water-fish-risk-management?_t_id=1B2M2Y8AsgTpgAmY7PhCf%3d%3d&_t_q=pfas&_t_tags=language%3aen%2csiteid%3a67f9c486-281d-4765-ba72-ba3914739e3b&_t_ip=192.121.89.1&_t_hit.id=Livs_Common_Model_PageTypes_ArticlePage/_b02f793a-d9b8-4377-828e-105b4156bc5b_en&_t_hit.pos=1.
- Tian Y, Yao Y, Chang S, Zhao Z, Zhao Y, Yuan X, Sun H (2018). Occurrence and phase distribution of neutral and ionizable per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in the atmosphere and plant leaves around landfills: a case study in Tianjin, China. *Environ. Sci. Technol.* 52 (3), 1301-1310.
- Trinkwasserkommission, Germany (2017). https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/374/dokumente/fortschreibung_der_uba-pfc-bewertungen_bundesgesundheitsbl_2017-60_s_350-352.pdf.
- Tyco Patent Application (2014). Perfluoroalkyl composition with reduced chain length, WO 2014144988 A2. Available at: <https://patents.google.com/patent/WO2014144988A2/en>.
- UN Environment (United Nations Environment Programme) (2019). General technical guidelines for the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with persistent organic pollutants (POPs) under the Basel Convention UNEP/CHW.14/7. Tab 4.
- UN Environment (United Nations Environment Programme) (2016). Consolidated guidance on alternatives to perfluorooctane sulfonic acid and its related chemicals. UNEP/POPS/POPRC.12/INF/15/Rev.1.
- UN Environment (United Nations Environment Programme) (2017). Proposal to list perfluorohexane sulfonic acid (CAS No. 355-46-4, PFHxS), its salts and PFHxS-related compounds in Annexes A, B and/or C to the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. Stockholm Convention Persistent Organic Pollutants Review Committee, UNEP/POPS/POPRC.13/4.

- UN Environment (United Nations Environment Programme) (2017). Decision POPRC-13/3: Perfluorohexane sulfonic acid (CAS No. 355-46-4, PFHxS), its salts and PFHxS-related compounds, Stockholm Convention Persistent Organic Pollutants Review Committee, UNEP/POPS.POPRC.13/3.
- UN Environment (United Nations Environment Programme) (2017). Risk management evaluation on pentadecafluorooctanoic acid (CAS No. 335-67-1, PFOA, perfluorooctanoic acid), its salts and PFOA-related compounds, Stockholm Convention Persistent Organic Pollutants Review Committee, UNEP/POPS.POPRC.13/7/Add.2.
- UN Environment (United Nations Environment Programme) (2018). Process for the evaluation of perfluorooctane sulfonic acid, its salts and perfluorooctane sulfonyl fluoride pursuant to paragraphs 5 and 6 of part III of Annex B to the Stockholm Convention. Stockholm Convention Persistent Organic Pollutants Review Committee, UNEP/POPS.POPRC.14/4.
- UN Environment (United Nations Environment Programme) (2018). Additional information on perfluorohexane sulfonic acid (CAS No. 355-46-4, PFHxS), its salts and PFHxS-related compounds UNEP/POPS/POPRC.14/INF/4.
- UN Environment (United Nations Environment Programme) (2018). Perfluorooctanoic acid (PFOA), its salts and PFOA-related compounds. Decision; UNEP/POPS/POPRC.14/2.
- UN Environment (United Nations Environment Programme) (2018). Evaluation of perfluorooctane sulfonic acid (PFOS), its salts and perfluorooctane sulfonyl fluoride (PFOSF) pursuant to paragraphs 5 and 6 of part III of Annex B to the Stockholm Convention. Decision; UNEP/POPS/POPRC.14/3.
- UN Environment (United Nations Environment Programme) (2018). Draft report on the assessment of alternatives to perfluorooctane sulfonic acid, its salts and perfluorooctane sulfonyl fluoride. Stockholm Convention Persistent Organic Pollutants Review Committee, UNEP/POPS.POPRC.14/INF/8.
- UN Environment (United Nations Environment Programme) (2018). Draft report on the assessment of alternatives to perfluorooctane sulfonic acid, its salts and perfluorooctane sulfonyl fluoride. Stockholm Convention Persistent Organic Pollutants Review Committee, UNEP/POPS.POPRC.14/INF/8/Add.1.
- UN Environment (United Nations Environment Programme) (2018) Draft risk profile for Perfluorohexane sulfonic acid (PFHxS), its salts and PFHxS-related compounds, Stockholm Convention Persistent Organic Pollutants Review Committee, UNEP/POPS.POPRC.14/6/Add.1.
- UN Environment (United Nations Environment Programme) (2018). Addendum to the risk management evaluation on perfluorooctanoic acid (PFOA), its salts and PFOA-related compounds. Stockholm Convention Persistent Organic Pollutants Review Committee, UNEP/POPS.POPRC.14/6/Add.2.
- UN Environment (2017a). Draft revised guidance for the inventory of perfluorooctane sulfonic acid (PFOS) and related chemicals listed under the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants.
<http://chm.pops.int/Implementation/NationalImplementationPlans/GuidanceArchive/GuidancefortheinventoryofPFOS/tabid/3169/Default.aspx>.
- UN Environment (United Nations Environment Programme) (2017b). Guidance on best available techniques and best environmental practices for the use of perfluorooctane sulfonic acid (PFOS) and related chemicals listed under the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants.
- UN Environment (United Nations Environment Programme) (2017c). Technical guidelines on the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with perfluorooctane sulfonic acid, its salts and perfluorooctane sulfonyl fluoride.
<http://www.basel.int/Implementation/POPsWastes/TechnicalGuidelines/tabid/5052/Default.aspx>.
- UN Environment (United Nations Environment Programme) (2007). Guidelines on best available techniques and provisional guidance on best environmental practices relevant to Article 5 and Annex C of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants.
- UNIDO (2007). Non-combustion technologies for POPs destruction: Review and evaluation. United Nations Industrial Development Organization, eds Sergey Zinoviev, Paolo Fornasiero, Andrea Lodolo, Stanislav Miertus.
- U.S. Air Force (2017). AFFF disposals STTR. Available at: <https://www.sbir.gov/sbirsearch/detail/1254657>.
- U.S. National Research Council (2014) A framework to guide selection of chemical alternatives, Committee on the Design and Evaluation of Safer Chemical Substitutions: A framework to inform government and industry decision; Board on Chemical Sciences and Technology; Board on Environmental Studies and Toxicology; Division on Earth and Life Studies, National Academies Press, 2014 Oct 29 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK253970/>.
- U.S. Congress (2018) An Act to provide protections for certain sports medicine professionals, to reauthorize Federal aviation programs, to improve aircraft safety certification processes, and for other purposes, HR302.
<https://www.congress.gov/115/bills/hr302/BILLS-115hr302enr.pdf>.

- United States Government (2007). Perfluoroalkyl Sulfonates; Significant New Use Rule. *Federal Register*, 72(194), pp 57222-57235.
- United States Government (2002). Perfluoroalkyl Sulfonates; Significant New Use Rule. *Federal Register*, 67(236), pp 72854-72867.
- U.S. EPA (2019). <https://www.epa.gov/pfas>.
- U.S. EPA (2017). The Third Unregulated Contaminant Monitoring Rule (UCMR 3): Data Summary, January 2017 <https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-02/documents/ucmr3-data-summary-january-2017.pdf>.
- U.S. EPA (2013). Perfluoroalkyl Sulfonates and Long-Chain Perfluoroalkyl Carboxylate Chemical Substances; Final Significant New Use Rule. Published on 22 October 2013. <https://www.federalregister.gov/documents/2013/10/22/2013-24651/perfluoroalkyl-sulfonates-and-long-chain-perfluoroalkyl-carboxylate-chemical-substances-final>.
- U.S. EPA (2009). Long-Chain Perfluorinated Chemicals (PFCs) Action Plan. United States Environmental Protection Agency, Washington DC, USA. Accessed 10 December 2014 at <http://www.epa.gov>.
- von der Trenck KT, Konietzka R, Biegel-Engler A, Brodsky J, Hädicke A, Quadflieg A, Stockerl R, and Stahl T (2018). Significance thresholds for the assessment of contaminated groundwater: perfluorinated and polyfluorinated chemicals. *Environmental Sciences Europe* 30(1):19.
- Wang Z, Boucher JM, Scheringer M, Cousins IT, Hungerbühler K (2017). Toward a Comprehensive Global Emission Inventory of C(4)-C(10) Perfluoroalkanesulfonic Acids (PFASs) and Related Precursors: Focus on the Life Cycle of C(8)-Based Products and Ongoing Industrial Transition. *Environ Sci Technol*. 51(8):4482-4493.
- Wang Z, MacLeod M, Cousins IT, Scheringer M, Hungerbühler K (2011a). Using COSMOtherm to predict physicochemical properties of poly- and perfluorinated alkyl substances (PFASs). *Environ Chem* 8(4):389-98.
- Wang N, Liu J, Buck RC, Korzeniowski SH, Wolstenholme BW, Folsom PW, Sulecki LM (2011b). 6:2 fluorotelomer sulfonate aerobic biotransformation in activated sludge of waste water treatment plants. *Chemosphere*.82(6):853-8.
- Wen B, Li L, Zhang H, Mab Y, Shan X-Q, Zhang S (2014). Field study on the uptake and translocation of perfluoroalkyl acids (PFAAs) by wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in biosolids-amended soils. *Environmental Pollution*. 184: 547-554.
- Winkens K, Vestergren R, Berger U, Cousins IT (2017). Early life exposure to per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs): A critical review. *Emerging Contaminants* 3; 55-68.
- Xiao F, Hanson RA, Golovko SA, Golovko MY, Arnold WA (2018). PFOA and PFOS are generated from zwitterionic and cationic precursor compounds during water disinfection with chlorine or ozone. *Environ. Sci. Technol. Lett.* 5, 382-388.
- Yeung LWY, Stacey C, Mabury SA (2017). Simultaneous analysis of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances including ultrashort-chain C₂ and C₃ compounds in rain and river water samples by ultra performance convergence chromatography. *J Chromatogr A*. 1522:78-85.
- Zafeiraki E, Costopoulou D, Vassiliadou I, Leondiadis L, Dassenakis E, Traag W, Hoogenboom RL, van Leeuwen SP (2015). Determination of perfluoroalkylated substances (PFASs) in drinking water from the Netherlands and Greece. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess* 32(12):2048-57.
- Zhao S, Zhou T, Wang B, Zhub L, Chen M, Li D, Yang L (2018). Different biotransformation behaviors of perfluorooctane sulfonamide in wheat (*Triticum aestivum* L.) from earthworms (*Eisenia fetida*). *Journal of Hazardous Materials*. 346: 191-198.
- Zhou J, Li Z, Guo X, Li Y, Wu Z, Zhu L (2019). Evidences for replacing legacy per- and polyfluoroalkyl substances with emerging ones in Fen and Wei River basins in central and western China. *J Hazard Mater*. 22;377: 78-87.
- Zhou Z, Shi Y, Vestergren R, Wang T, Liang Y, Cai Y (2014). Highly elevated serum concentrations of perfluoroalkyl substances in fishery employees from Tangxun lake, china. *Environ Sci Technol*. 48(7):3864-74.