

Distr.: General  
13 October 2016

Russian  
Original: English



**Стокгольмская конвенция  
о стойких органических  
загрязнителях**

---

**Комитет по рассмотрению стойких органических загрязнителей**  
Двенадцатое совещание  
Рим, 19–23 сентября 2016 года

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

**Добавление**

**Характеристика рисков: пентадекафтороктановая кислота  
(КАС № 335-67-1, ПФОК, перфтороктановая кислота), ее соли и  
родственные ПФОК составы**

На своем двенадцатом совещании в своем решении КРСОЗ-12/2 Комитет по рассмотрению стойких органических загрязнителей принял характеристику рисков для пентадекафтороктановой кислоты (КАС №: 335-67-1, ПФОК, перфтороктановая кислота), ее солей и родственных ПФОК составов на основе проекта, содержащегося в записке секретариата (UNEP/POPS/POPRC.12/3), который был пересмотрен в ходе совещания. Текст характеристики рисков в том виде, в каком он был принят, изложен в приложении к настоящему добавлению. Он официально не редактировался.

**Приложение**

**Пентадекафтороктановая кислота (ПФОК,  
перфтороктановая кислота),  
ее соли и родственные ПФОК составы**

**ХАРАКТЕРИСТИКА РИСКОВ**

Комитет по рассмотрению стойких органических загрязнителей

**Сентябрь 2016 года**

## Содержание

Содержание .....	3
Установочное резюме .....	4
1. Введение .....	5
1.1 Идентификационные данные химического вещества .....	7
1.2 Вывод Комитета по рассмотрению относительно информации, полученной в рамках приложения D.....	9
1.3 Источники данных.....	10
1.4 Статус данного химического вещества в рамках международных конвенций .....	10
2. Сводная информация по характеристике рисков .....	11
2.1 Источники.....	11
2.1.1 Производство, торговля, запасы.....	11
2.1.2 Виды применения .....	13
2.1.3 Высвобождения в окружающую среду.....	15
2.2 Преобразование в окружающей среде .....	17
2.2.1 Стойкость .....	17
Сводная информация по стойкости.....	18
2.2.2 Биоаккумуляция.....	18
Скрининговая оценка на основе физико-химических свойств .....	18
Исследования биологической концентрации в водных организмах .....	19
Исследования биоаккумуляции в наземных организмах .....	19
Сводная информация по биоаккумуляции .....	19
2.2.3 Способность к переносу в окружающей среде на большие расстояния .....	20
2.3 Воздействие .....	22
2.3.1 Данные мониторинга окружающей среды .....	22
2.3.2 Воздействие на человека.....	23
2.4 Оценка опасности по значимым конечным точкам .....	25
Неблагоприятное воздействие на водные организмы .....	25
Неблагоприятное воздействие на наземные организмы .....	26
Сводная информация по экотоксическому воздействию .....	28
Неблагоприятное воздействие на здоровье человека .....	28
Эпидемиологические исследования.....	29
Иммунотоксичность .....	31
Эндокринные нарушения .....	31
3. Обобщение информации .....	32
4. Заключение .....	33
5. Литература .....	35

## Установочное резюме

1. Комитет по рассмотрению СОЗ пришел к выводу о том, что ПФОК отвечает критериям отбора, изложенным в приложении D, и что вопросы, касающиеся включения родственных ПФОК составов, потенциально способных разлагаться с образованием ПФОК, и включения солей ПФОК следует рассмотреть в проекте характеристики рисков (см. решение КРСОЗ-11/4). Вещества, охватываемые настоящей характеристикой рисков, включают пентадекафтороктановую кислоту (КАС № 335-67-1, ЕС № 206-397-9, ПФОК, перфтороктановая кислота), в том числе ее изомеры, ее соли и родственные ПФОК составы.
2. ПФОК и ее соли наиболее широко используются в качестве вспомогательных средств в производстве фторэластомеров и фторполимеров, при этом одним из важных фторполимеров является политетрафторэтилен (ПТФЭ). Родственные ПФОК составы используются в качестве поверхностно-активных веществ и веществ для обработки поверхности (например, в текстильной промышленности, бумаге и краске, огнегасящих пенах) и для производства фторсодержащих полимеров с боковыми цепями. Благодаря своим физико-химическим свойствам, ПФОК, ее соли и родственные ПФОК составы находят широкое применение и используются в потребительских товарах во многих секторах.
3. ПФОК, ее соли и родственные ПФОК составы регулируются рядом правил на национальном уровне. Норвегия заявила о запрещении ее применения в потребительских товарах (в настоящее время происходит поэтапный отказ от этого вещества); в то время как в США существует добровольная инициатива по поэтапному отказу от ее использования. В других местах в Канаде и ЕС, в настоящее время предпринимаются шаги в направлении установления юридически обязательных условий по ограничению или запрещению этого вещества.
4. В период с 1951 по 2004 год, по оценкам, общий объем общемирового производства ПФОК и АСПФОК (соли аммония перфтороктановой кислоты) составил 3600–5700 тонн. Текущее производство ПФОК в основном осуществляется в Китае, где производство ПФОК и ее солей возросло в три раза, с примерно 30 тонн в 2004 году до примерно 90 тонн в 2012 году. Самые последние общедоступные данные, касающиеся глобального производства АСПФОК, указывают на то, что в среднем 200–300 тонн ПФОК производились ежегодно (1995-2002 годы). Ожидается, что уровень текущего производства является значительно более низким из-за добровольного поэтапного отказа от этого вещества компаний в США, ЕС и Японии. Однако его нынешнее использование на глобальном уровне в производстве фторэластомеров и фторполимеров свидетельствует о продолжающемся производстве и применении.
5. Прямое высвобождение в окружающую среду происходит в результате производства исходного вещества (включая ПФОК в качестве примеси в производстве родственных ПФОК составов и некоторых альтернатив), в ходе обработки, использования и удаления химических веществ, из обрабатываемых изделий и продукции, загрязненных ПФОК. Основными переносчиками выбросов ПФОК и ее солей являются вода, сточные воды и частицы пыли. Исторические сведения о высвобождении в окружающую среду в результате производства ПФОК имеются на одном из заводов в США, где происходили выбросы в воздух и воду в период с 1951 по 2003 годы. Имеются некоторые оценки высвобождений в ходе удаления химических веществ, особенно из канализационных очистных сооружений, установок по очистке сточных вод и мусорных свалок. Косвенное высвобождение происходит в результате деградации или преобразования прекурсоров. Родственные ПФОК составы высвобождаются в атмосферу и воду (сточные воды) и будут разлагаться с образованием ПФОК в окружающей среде и в организмах. Оценка источников ПФОК в акватории Балтийского моря показала, что 30% высвобождений происходили в результате преобразования фтортеломеров. Таким образом, высвобождения ПФОК в результате разложения способствуют значительной доле высвобождений ПФОК в окружающую среду.
6. Результаты разложения свидетельствуют о том, что ПФОК обладает высокой стойкостью и не подвергается абиотическому или биотическому разложению в соответствующих условиях окружающей среды. Данные мониторинга указывают на то, что ПФОК в почве выщелачивается с течением времени и может быть долгосрочным источником для грунтовых вод. На этом основании можно сделать вывод о том, что ПФОК обладает высокой стойкостью во всех природных средах и сильной стойкостью ко всем обычным механизмам разложения в соответствующих экологических условиях.
7. ПФОК имеет низкий или умеренный потенциал аккумуляции в водных (например, дышащих в воде) видах, однако имеются свидетельства того, что ПФОК и ее соли склонны к

аккумуляции и биоусилению в дышащих воздухом наземных и морских млекопитающих (ФБУ, ФТУ > 1).

8. Осуществляемый во всем мире мониторинг воды, воздуха, отложений и биоты в отдаленных районах выявляет присутствие ПФОК и родственных составов. Аналогичным образом данные моделирования окружающей среды указывают на то, что способность к переносу на большие расстояния, действительно существует, в то время как другие определили ключевые механизмы, которые сделают перенос на большие расстояния вероятным. На этом основании можно сделать вывод о том, что ПФОК напрямую или через прекурсоры может переноситься на большие расстояния.

9. Воздействие ПФОК на население, как правило, проходит через окружающую среду посредством потребления питьевой воды и продуктов питания, включая грудное вскармливание, через поглощение загрязненного воздуха и пыли закрытых помещений или через потребительские продукты, содержащие ПФОК, ее соли и родственные составы. ПФОК была обнаружена в организме человека в крови и материнском молоке в различных странах. Выведение ПФОК из организма человека происходит весьма медленными темпами, по сравнению с другими видами; по оценкам, период полураспада ПФОК составляет от 2 до 4 лет. ПФОК аккумулируется в организме человека с повышением уровня с возрастом.

10. ПФОК характеризуется низкой острой токсичностью в водных организмах. У рыб ПФОК вызвала торможение экспрессии генов, участвующих в биосинтезе гормонов щитовидной железы, индуцировала экспрессию вителлогенина, привела к развитию яйцеклеток в семенниках мужских особей и вызвала дегенерацию яичников у женских особей. ПФОК способна влиять на эндокринную функцию там, где видимое воздействие может не быть очевидным до тех пор, пока организмы не достигнут зрелого возраста.

11. Было выявлено влияние повторяющегося воздействия ПФОК на организм животных пероральным путем, такое как изменения в печени, токсичность для репродуктивной системы и развития организма и эндокринные нарушения. Последствия для развития, которые имеют отношение к пероральному поступлению, включают перинатальную смертность, уменьшение прироста массы тела и снижение развития у потомства, синюшность и некроз, замедленную оссификацию, изменения в развитии молочных желез и замедленное созревание.

12. В Европейском союзе ПФОК имеет юридически обязывающую согласованную классификацию «Канцерогенность 2, репродуктивная токсичность 1В и специфическая избирательная токсичность при многократном воздействии 1 (печень)». ПФОК быстро абсорбируется, не метаболизируется и распределяется по организму, передается плоду через плаценту и младенцам через грудное молоко. Сообщалось о значительном числе неблагоприятных последствий для здоровья, связанных с воздействием ПФОК у людей. Группой по науке С8 (проведенное в США крупномасштабное эпидемиологическое исследование воздействия ПФОК и ее последствий для здоровья) был сделан вывод о том, что существует вероятная связь между воздействием ПФОК и диагностированием высокого уровня холестерина, язвенного колита, заболевания щитовидной железы, рака яичек, рака почки и вызываемой беременностью гипертензией. Научные данные продемонстрировали опосредованную ПФОК иммунотоксичность, в первую очередь подавление гуморальной иммунной реакции, у людей. Имеются также и другие сообщения о неблагоприятных последствиях для здоровья (например, изменения репродуктивной системы и развития плода, эндокринные нарушения, нарушения неврологического развития, иммунотоксичность и т.д.), связанных с воздействием ПФОК на человека.

13. ПФОК является стойкой, способной к биоаккумуляции и токсичной для животных, включая людей. Имеется широкое присутствие ПФОК и ряда родственных ПФОК составов в экологических нишах и биоте и организме человека. Таким образом, делается вывод о том, что ПФОК, ее соли и родственные составы, разлагающиеся до ПФОК, могут в результате переноса в окружающей среде на большие расстояния привести к таким значительным неблагоприятным последствиям для здоровья человека и/или окружающей среды, которые служат основанием для принятия мер в глобальном масштабе.

## 1. Введение

14. В июне 2015 года Европейский союз и его государства-члены представили предложение о включении пентадекафтороктановой кислоты (КАС № 335-67-1, ПФОК, перфтороктановая кислота), ее солей и родственных ПФОК составов в приложения А, В и/или С к Стокгольмской конвенции (UNEP/POPS/POPRC.11/5). Это предложение было рассмотрено Комитетом по

рассмотрению стойких органических загрязнителей (КРОЗ) на его одиннадцатом совещании, состоявшемся в октябре 2015 года.

15. ПФОК, ее соли и родственные ПФОК составы относятся к семейству перфторсодержащих и полифторсодержащих алкилированных веществ (ПФАВ). ПФАВ состоят из углеродных цепей с различной длиной цепи, в которых атомы водорода полностью (перфторированные) или частично (полифторированные) заменены атомами фтора (Buck et al., 2011; OECD, 2013; ЕСНА, 2015а). Очень прочная связь между углеродом и фтором может быть разорвана только при высоких затратах энергии. Поэтому, перфторированные кислоты, такие как ПФОК, не способны к быстрому разложению в окружающей среде. Некоторые полифторированные вещества могут разлагаться с образованием перфторированных веществ, таких как ПФОК, в природных условиях и поэтому являются прекурсорами. ПФАВ, которые могут разлагаться с образованием ПФОК в окружающей среде, называются родственными ПФОК составами. ПФОК и ее соли наиболее широко используются в качестве вспомогательных средств в производстве фторэластомеров и фторполимеров, при этом одним из важных фторполимеров является ПТФЭ. Родственные ПФОК составы используются в качестве поверхностно-активных веществ и для производства фторсодержащих полимеров с боковыми цепями (ЕСНА, 2015а). В силу своих поверхностно-активных свойств ПФОК и родственные ей неполимерные поверхностно-активные вещества находят применение, например в огнегасящих пенах, смачивающих добавках и очищающих средствах. Фторсодержащие полимеры с боковыми цепями обеспечивают долговременную способность отталкивать воду, масла и пятна и находят применение в качестве веществ для обработки поверхностей текстильных и кожевенных изделий, изделий из бумаги и картона, лакокрасочной продукции и для других видов использования (нетканая медицинская одежда, воски для пола и герметики для камня/дерева, ленты и пасты для герметизации резьбовых соединений, клейкие вещества, изделия для одежды) (UNEP/POPS/POPRC.11.5; FluoroCouncil, 2016).

16. ПФОК производится с 1947 года, когда компания «3М» разработала производственный процесс на основе электрохимического фторирования (ACS, 2015). Родственные ПФОК составы (такие как фтортеломерные спирты) также применяются, особенно в связи с развитием фтортеломерных технологий в 1960-х годах и их последующим коммерческим внедрением в 1970-х годах и в последующий период. Фракция перфтороктил йодида фтортеломеров окислялась до ПФОК и впоследствии использовалась в качестве вспомогательного средства фторполимеризации несколькими производителями фторполимеров во всем мире (DuPont, 2010; FluoroCouncil, 2016). Вместе с тем растущая обеспокоенность в отношении воздействия ПФОК на здоровье человека и окружающую среду означает более строгие меры контроля и планы поэтапного отказа в рамках законодательства, такого, как правила, касающиеся регистрации, оценки, санкционирования и ограничения химических веществ (РОСОХ ЕС 1907/2006) в ЕС и Закон об охране окружающей среды Канады 1999 года (СЕРА), а также добровольные усилия, такие, как Программа контроля ПФОК АООС США (US EPA, 2015) и работы в разбивке по отраслям (OECD, 2015). В результате добровольного шага членов Программы по исследованию теломеров и Группы по производству фторполимеров в 2006 году восемь основных производителей С8-веществ (фторированных химических веществ, связанных с восьмью полностью фторированными С8-атомами) в США, Европе и Японии договорились о состоящем из двух стадий глобальном поэтапном отказе от ПФОК и родственных с ней длинноцепных веществ к концу 2015 года (ACC, 2015; FluoroCouncil, 2015/2016). Аналогичная программа существовала в Канаде<sup>1</sup>. Все участники Программы контроля добились успеха в практической ликвидации этих химических веществ в глобальном масштабе в выбросах на объектах и в содержании продукта. Помимо возможных примесей, участники Программы контроля больше не производят, не используют и не продают ПФОК и родственные длинноцепные вещества. Добровольный поэтапный отказ не включает в себя использующих ПФОК производителей в таких странах, как Китай, Индия или Россия (ЕСНА, 2015а). После того как участники Программы контроля объявили о поэтапном отказе от ПФОК и родственных длинноцепных веществ, компании, которые не входили в Программу контроля, стали наращивать потенциал (FluoroCouncil 2016).

17. В 2011 году имеющие отношение к ПФОК технологии и продукция были добавлены в Каталог для руководства корректировкой промышленной структуры в Китае (NDRC, 2013), включая положение о том, что внедрение новых мощностей по производству ПФОК должно быть ограничено и что содержащие ПФОК краски и фторполимеры, при полимеризации

<sup>1</sup> Environmental Performance Agreements and Results: Perfluorinated Carboxylic Acids (PFCAs) and their Precursors (2010-2015), from <http://www.ec.gc.ca/epe-epa/default.asp?lang=En&n=0D8C879E-1#X-2013092511492112>.

которых применяется ПФОК, должны быть выведены из обращения. В 2013 году в Подробном перечне для охраны окружающей среды (China MЕР, 2015) фторполимеры, при полимеризации которых применяется ПФОК, были признаны видами продукции, связанными с высоким риском загрязнения и высоким риском для окружающей среды (видами продукции «с двойным высоким риском»).

18. Предложение о включении ПФОК, ее солей и родственных ПФОК составов в приложения А, В и/или С к Стокгольмской конвенции (UNEP/POPS/POPRC.11.5) подчеркнуло озабоченность в связи с тем, что присутствие ПФОК в окружающей среде также зависит от разложения родственных ПФОК составов, включая фторсодержащие полимеры с боковыми цепями. Поэтому включение только ПФОК в Стокгольмскую конвенцию, будет недостаточным для обеспечения охраны здоровья человека и окружающей среды. Для некоторых веществ, например для фтортеломерных спиртов 8:2 ФТС<sup>2</sup>, разложение с образованием ПФОК было доказано экспериментально. Кроме того, потенциальными родственными ПФОК составами могут быть вещества, содержащие перфторированную алкильную цепь с формулой F(CF<sub>2</sub>)<sub>n</sub> (n=7 или 8), которая непосредственно связана с любыми фрагментами химического вещества, кроме атомов фтора, хлора или брома или фосфиновой, фосфиновой или сульфоновой группы. Такие вещества могут подвергаться абиотическому разложению, что приводит к высвобождению ПФОК (Nielsen, 2013, 2014; Wang et al., 2014a; Ellis et al., 2004a). С8-вещества (например, ПФОК) могут встречаться в качестве примесей в альтернативах С6. Таким образом, альтернативы С6 также содержат остаточные вещества С8 (и более длинные цепи), которые могут высвобождаться в окружающую среду. (ЕСНА, 2015а).

## 1.1 Идентификационные данные химического вещества

19. Предлагаемые вещества, определяемые в досье проверки (UNEP/POPS/POPRC.11/5), включают: пентадекафтороктановую кислоту (КАС № 335-67-1, ЕС № 206-397-9, ПФОК, перфтороктановая кислота), ее соли и родственные ПФОК составы.

20. Принимая во внимание справочный документ, прилагаемый к предложениям об ограничении в отношении ПФОК, солей ПФОК и родственных ПФОК составов (ЕСНА, 2015а; ЕСНА 2015с), данная характеристика рисков относится к:

- a) ПФОК (включая ее изомеры),
- b) ее солям и
- c) родственными ПФОК составам, которыми, для целей данной характеристики рисков, являются любые составы, разлагающиеся до ПФОК, в том числе любые составы (включая соли и полимеры), имеющее линейную или разветвленную группу перфторгептила с компонентом (С7F15)С в качестве одного из структурных элементов, например:
  - i) полимеры с фторированными боковыми цепями на основе С8-С16<sup>3</sup>;
  - ii) фтортеломерные соединения 8:2;
  - iii) фтортеломерные соединения 10:2.

Родственные ПФОК составы не включают в себя:

- i) С8F17-Х, где Х= F, Cl, Br;
- ii) фторполимеры<sup>4</sup>, покрытые CF<sub>3</sub>[CF<sub>2</sub>]<sub>n</sub>-R', где R'=любая группа, n>16; или
- iii) ПФОС, его соли и ПФОСФ, как указано в приложении В к Стокгольмской конвенции.

21. Данные о ПФОК представлены в таблице 1 и таблице 2. Досье проверки (UNEP/POPS/POPRC.11/5) также включает информацию о солях ПФОК и родственных ПФОК составах, основанную на исследовании, проведенном ОЭСР (2007, 2011), а также информацию из оценки, проведенной министерством окружающей среды Канады и министерством

<sup>2</sup> ФТС представляют собой полифторированные соединения, которые, как правило, характеризуются четным количеством атомов перфторированного углерода и двумя нефторированными атомами углерода, прилегающими к гидроксильной группе (Dinglasan et al, 2004 году). У ФТС префикс «С8:2» означает, что в «Х:У», Х = количество перфторированных атомов углерода в алкильных цепях, а У = количество нефторированных атомов углерода в алкильных цепях.

<sup>3</sup> DuPont, 1998. Technical information: Zonyl fluorochemical intermediates.

<sup>4</sup> Фторполимеры являются основной цепью полимера, содержащей только атомы углерода, где F непосредственно присоединено к основным атомам С.

здравоохранения Канады (2012 год). Для обеспечения краткости документа, таблицы данных для солей ПФОК и родственных ПФОК составов приводятся в справочном документе в данной характеристике рисков (см. раздел 1.1 документа UNEP/POPS/POPRC.12/INF/5).

**Таблица 1: Идентификационные данные ПФОК**

Номер КАС:	335-67-1
Наименование КАС:	Октановая кислота, 2,2,3,3,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,8-пентадекафтор-
Наименование МСПХ:	Пентадекафтороктановая кислота
Номер ЕС:	206-397-9
Наименование ЕС:	Пентадекафтороктановая кислота
Молекулярная формула:	$C_8HF_{15}O_2$
Молекулярный вес:	414,07 г/моль
Синонимичные названия:	Перфтороктановая кислота; ПФОК; Пентадекафтор-1-октановая кислота; Перфторкаприловая кислота; Перфтор-п-октановая кислота; Пентадекафтор-п-октановая кислота; Пентадекафтороктановая кислота; п-перфтороктановая кислота; 1-октановая кислота, 2,2,3,3,4,4,5,5,6,6, 7,7,8,8,8- пентадекафтор

**Таблица 2: Обзор соответствующих физико-химических свойств ПФОК**

Свойство	Значение	Литература/примечания
Физическое состояние при 20°C и 101,3 кПа	Твердое вещество	Kirk, 1995
Точка плавления/замерзания	54,3°C 44–56,5°C	Lide, 2003 Beilstein, 2005 цит. по: ЕСНА, 2013а
Точка кипения	188°C (1013,25 гПа) 189°C (981 гПа)	Lide, 2003 Kauck and Diesslin, 1951
Давление пара	4,2 Па (25°C) для ПФО; экстраполировано из данных замеров  2,3 Па (20°C) для ПФО; экстраполировано из данных замеров  128 Па (59,3°C); результат измерений	Kaiser et al. 2005; Washburn et al. 2005  Washburn et al. 2005  Washburn et al. 2005
Растворимость в воде	9,5 г/л (25°C) 4,14 г/л (22°C)	Kauck and Diesslin, 1951 Prokop et al. 1989
Константа диссоциации	<1,6, например, 0,5 1,5–2,8	Vierke et al. 2013 Kissa, 2001
Значение pH	2,6 (1 г/л при 20°C)	ЕСНА 2015а (надежность не определяема)

22. Существуют два производственных процесса для производства ПФОК, ее солей и родственных ПФОК составов: электрохимическое фторирование (ЭХФ) и теломеризация. С



1947 по 2002 годы процесс ЭХФ использовался главным образом для производства перфтороктаната аммония (АСПФОК) во всем мире (80–90% в 2000 году), результатом чего становится смесь разветвленных и линейных изомеров (78% линейных и 22% разветвленных изомеров). Нынешние масштабы глобального производства ЭХФ неизвестны; однако в настоящее время большинство производителей используют процесс теломеризации, результатом которого главным образом становятся линейные соединения (Wang et al., 2014a). Результаты Jiang et al. (2015) свидетельствуют о том, что ЭХФ по-прежнему используется некоторыми производителями в Китае. В ЕСНА (2013b) содержится подробная информация о физико-химических свойствах АСПФОК в окружающей среде. Свободная ПФОК находится в равновесии с ПФО, основанием, связанным с кислотой, в водной среде, как в окружающей среде, так и в лаборатории. Физико-химические свойства ПФОК и ПФО различаются. Таким образом, ожидается, что экологическая «судьба» будет зависеть от условий окружающей среды, которые оказывают влияние на равновесие между основанием и кислотой (рН и рКа). АСПФОК, который часто используется в экспериментах на животных, легко растворяется в воде. В водном растворе он присутствует в качестве аниона ПФО и катиона аммония. Goss (2008) высказал мысль о том, что ПФОК, как ожидается, будет иметь низкое значение рКа, такое, что >99% этого соединения будет присутствовать в форме аниона (т.е. ПФО) в большинстве условий окружающей среды, что говорит о том, что при разделении ПФОК в окружающей среде будет преобладать форма аниона. Растворенный анион ПФО будет находиться в равновесии с соответствующей кислотой в водной среде. При помощи имеющихся в настоящее время аналитических методов невозможно провести различие между ПФО и ПФОК в пробах. В литературе о мониторинговых исследованиях человека и окружающей среды эти концентрации называются ПФОК или АСПФОК, но всегда оба вида (ПФО и ПФОК) включаются в данную концентрацию (ЕСНА, 2013b).

23. В настоящее время нет стандартизированного метода анализа присутствия ПФОК в различных матрицах. Уникальные химические и физические свойства ПФОК не позволяют проводить ее измерения с использованием обычных методов анализа. Более сложная методология жидкостной хроматографии и tandemной масс-спектрометрии (ЖХ/МС-МС) оказалась наиболее надежной для анализа ПФОК в биологических и экологических пробах, и поэтому используется в качестве аналитического метода (Xu et al., 2013; EFSA, 2008; Loos et al., 2007). Такой тип анализа позволил более точно определять многие перфторированные химические вещества (ПФХВ), включая ПФОК, в воздухе, воде и почве (ATSDR, 2015).

## 1.2 Вывод Комитета по рассмотрению относительно информации, полученной в рамках приложения D

24. Комитет по рассмотрению СОЗ провел оценку предложения в отношении пентадекафтороктановой кислоты (КАС № 335-67-1, ПФОК, перфтороктановая кислота), ее солей и родственных ПФОК составов (UNEP/POPS/POPRC.11/5) в соответствии с требованиями приложения D к Стокгольмской конвенции на своем одиннадцатом совещании в Риме. Комитет пришел к выводу о том, что ПФОК соответствует критериям отбора, указанным в приложении D. Комитет постановил также учредить специальную рабочую группу для дальнейшей проработки предложения и подготовки проекта характеристики рисков в соответствии с приложением E к Конвенции и далее, что вопросы, связанные с включением родственных ПФОК составов, которые потенциально разлагаются с образованием ПФОК, и включением солей ПФОК, следует рассматривать в ходе разработки проекта характеристики рисков (решение КРСОЗ-11/4).

## 1.3 Источники данных

25. В качестве основы при составлении проекта характеристики рисков использовались следующие источники данных:

- a) предложение, представленное Европейским сообществом и его государствами-членами, которые являются Сторонами Конвенции (UNEP/POPS/POPRC.11/5), 2015 год;
- b) информация, представленная Сторонами и наблюдателями в соответствии с приложением E к Конвенции: Албания, Австрия, Канада, Китай, Германия, Венгрия, Япония, Монако, Норвегия, Румыния, Эстонский центр экологических исследований, «Флуорокаунсил», ИПЕН, ассоциации полупроводниковой промышленности;
- c) доклад об оценке ПФОК, ее солей и прекурсоров, подготовленный министерством окружающей среды Канады и министерством здравоохранения Канады, 2012 год;

- d) наборы данных об информации о проверке в отношении ПФОКП и аммониевой соли ПФОК, подготовленные ОЭСР, 2006, 2007, 2011, 2013 годы;
- e) вспомогательные документы для определения ПФОК и аммониевой соли ПФОК в качестве вещества, вызывающего крайнюю озабоченность (ВВКО), включенного в соответствии с Регламентом ЕС по регистрации, оценке, санкционированию и ограничению химических веществ (РОСОХ) (ЕСНА, 2013а, 2013b);
- f) справочный документ Комитета по оценке рисков (КОР) и Комитета по социально-экономическому анализу (КСЭА) к заключению по досье приложения XV, в котором предлагаются ограничения на ПФОК, соли ПФОК родственные ПФОК составы (ЕСНА, 2015а);
- g) данные Программы контроля ПФОК Агентства по охране окружающей среды Соединенных Штатов Америки (АООС США);
- h) проведенная Австралийской национальной системой уведомления и оценки в отношении промышленных химических веществ (НИКНАС) оценка II уровня прямых и косвенных прекурсоров ПФОК (NICNAS, 2015а и 2015b).

#### 1.4 Статус данного химического вещества в рамках международных конвенций

26. ПФОК подпадает под действие одной международной конвенции. В рамках Комиссии Осло/Париж о защите морской среды Северо-Восточной Атлантики (ОСПАР) был проведен обзор, как ПФОС, так и ПФОК, для оценки потенциального воздействия на окружающую среду. Это привело к включению ПФОС в перечень химических веществ, требующих безотлагательных действий в 2003 году. В то время ПФОК не была включена в перечень в ожидании дополнительных исследований и обзора с возможностью включения на более позднем этапе (OSPAR, 2006).
27. ОЭСР представила недавний обзор подходов по уменьшению риска в отношении ПФАВ в разных странах (ОЕСД, 2015). ПФОК подпадает под действие ряда национальных и/или региональных правил:
- a) в 2013 году как ПФОК, так и АСПФОК были определены в качестве веществ, вызывающих крайнюю озабоченность (ВВКО), из-за таких их свойств, как стойкость, способность к биоаккумуляции и токсичность, и были включены в список кандидатов РОСОХ (ЕСНА, 2013а, 2013b). Включение в этот перечень означает, что вещества могут быть подвергнуты более глубокой проверке и, в конечном итоге, поэтапной ликвидации в рамках процедуры выдачи разрешения. Кроме того, по запросу отрасли обязаны информировать потребителей о появлении включенных в перечень веществ в потребительских товарах;
- b) в 2014 году Германия и Норвегия подали совместное предложение о включении ПФОК в приложение XVII (ограничение) регламента РОСОХ в рамках ЕС (ЕСНА 2014а). Цель этого предложения состоит в полном запрещении производства, размещения на рынке и использования (включая импорт) ПФОК и ее солей, включая также вещества, которые могут разлагаться до ПФОК (родственные ПФОК составы), в концентрациях не ниже 2 частей на миллиард. Предлагаемое ограничение распространяется также на изделия, содержащие эти вещества. После представления предложения Европейскому химическому агентству (ЕХА) заинтересованные стороны высказали замечания относительно этого предложения в ходе периода публичных консультаций и представили новую информацию. Впоследствии это предложение было обновлено лицами, представившими досье, вместе с научными комитетами ЕСНА КОР и КСЭА и передано Европейской комиссии для разработки окончательного законодательного предложения;
- c) ПФОК была включена в соответствии с постановлением о классификации, маркировке и упаковке (КМУ) (постановление ЕС № 1272/2008), в соответствии с постановлением Комиссии (ЕС) № 944/2013 от 2 октября 2013 года (индекс: 607-704-00-2). ПФОК получила классификацию «Канцерогенность 2» H351, «Репродуктивная токсичность 1В» H360D, «Воздействие на лактацию или через нее» H362, «Специфическая избирательная токсичность при многократном воздействии 1 (печень)» H372, «Острая токсичность, при вдыхании 4» H332, «Острая токсичность, пероральная 4» H302 и «Вызывает серьезное повреждение глаз 1» H318;
- d) в 2014 году Норвежское агентство по охране окружающей среды опубликовало поправку к постановлению о потребительских товарах, запрещающую использование ПФОК в

потребительских товарах и текстильных изделиях. У поправки имеется переходный период, в течение которого будет разрешен импорт и продажа продукции до поэтапного отказа;

е) в Канаде после проверки, проведенной в 2012 году, ПФОК, ее соли и прекурсоры были признаны как отвечающие требованиям раздела 64а Закона Канады о защите окружающей среды и были добавлены в приложение 1, список токсичных веществ. В июне 2006 года правительство Канады опубликовало уведомление о плане действий по оценке и управлению перфторированными карбоновыми кислотами и их прекурсорами. План действий предусматривает принятие мер для того, чтобы предотвратить появление в Канаде новых веществ, которые способствовали бы повышению уровня ПФКК (перфторированных карбоновых кислот) в окружающей среде, и добиваться от промышленности принятия мер для устранения источников ПФКК, уже имеющихся в канадской торговле. С этой целью 30 марта 2010 года было подписано добровольное Соглашение об экологических характеристиках. Стороны, подписавшие Соглашение, согласились сократить объемы ПФОК и длинноцепных перфторированных карбоновых кислот в перфторированных химических веществах в канадской торговле на 95% к 31 декабря 2010 года и практически ликвидировать их к 31 декабря 2015 года. Кроме того, в апреле 2015 года в Канаде были опубликованы предлагаемые *Нормативные акты, вносящие поправки в нормативные акты о запрете определенных токсичных веществ, 2012 год*. Эти поправки предлагают запретить ПФОК, ее соли и прекурсоры и содержащую их продукцию, за исключением тех случаев, когда они присутствуют в готовых изделиях. Помимо этого, эти поправки предлагают ограниченные по времени исключения и продолжающиеся разрешенные виды использования для некоторых видов применения, в которых ведется разработка альтернатив, или в случаях, когда не имеется известных альтернатив;

ф) в Соединенных Штатах Америки, АООС США учредило Программу контроля ПФОК в 2006 году. Эта программа включает в себя восемь основных производителей ПФОК, его солей и родственных ПФОК составов («Аркема», «Асахи», «БАСФ», «Клариант», «Дайкин», «3М/Дайнеон», «Дюпон», «Солвей солексис»). Эта программа представляет собой добровольную инициативу для поэтапного отказа от производства и использования ПФОК, прекурсоров ПФОК и родственных с ними высших гомологов (US EPA, 2015);

g) Россия регулирует АСПФОК в воздухе в производственных помещениях. Ряд короткоцепных и среднецепных ПФАВ регулируются в воздухе в производственных помещениях и в воде (OECD, 2013).

## 2. Сводная информация по характеристике рисков

### 2.1 Источники

#### 2.1.1 Производство, торговля, запасы

28. В таблице ниже обобщается информация, связанная с производством ПФОК, его солей, АСПФОК и ФТС, согласно нескольким литературным источникам. Дополнительная информация содержится в разделе 2.1.1 документа UNEP/POPS/POPRC.12/INF/5.

**Таблица 3: Производство ПФОК, его солей, АСПФОК и ФТС**

Год/период	Производство	Значение/диапазон [в т или т/год]	Литература
1992–2002	Производство ПФОК компанией «3М» [в США]	113 т/год	Сообщение компании «3М» для АООС США, 2003 год
2009	Предполагаемый общемировой объем производства ФТС	11 000–14 000 т/год	Umweltbundesamt, 2009
2014	Производство родственных ПФОК веществ в ЕС (фактический объем может быть больше)	100–1 000 т/год	ЕСНА, 2015а.
2003	Производство ПФОК и его солей в Китае	30 т/год	Li et al., 2015
2012	Производство ПФОК и его	90 т/год	Li et al., 2015

Год/ период	Производство	Значение/диапазон [в т или т/год]	Литература
	солей в Китае		

29. В 2005 году производители находились в Италии, США, Южной Америке, Японии и Китае. До 2010 года производство также велось в Италии. Все производство ПФОК и ее солей в ЕС в настоящее время прекращено, и производство в Японии и США должно быть остановлено к настоящему моменту, с тем чтобы обеспечить поэтапное прекращение производства к концу 2015 года (ЕСНА, 2015а). Вместе с тем в Китае производство ПФОК и ее солей возросло в три раза, с примерно 30 тонн в 2004 году до примерно 90 тонн в 2012 году (Li et al., 2015).

30. В 2014 году производство родственных ПФОК составов в ЕС, по сообщениям, составило от 100 до 1000 тонн в год (ЕСНА, 2015а). Однако этот объем определяется в результате поиска в базе данных ЕХА четырех родственных ПФОК составов, зарегистрированных согласно РОСОХ, и в своем докладе РОСОХ приходит к выводу о том, что фактический объем, по всей видимости, будет более значительным. Никакая другая информация, касающаяся производства родственных ПФОК составов, не была выявлена ни в представлениях Сторон, ни в рассмотренной литературе.

31. Данные об импорте и экспорте ПФОК ограничены, и никакая информация, касающаяся общемирового объема торговых потоков, не была выявлена из-за заявлений промышленности о конфиденциальности (ЕСНА, 2015а).

32. Аммониевая соль ПФОК импортировалась в Канаду в количествах, в диапазоне от 0,1 до 100 т (обследование 2004 года) (Environment Canada and Health Canada, 2012).

33. В ЕСНА 2015а приводятся данные о показателях импорта по ЕС. Основная информация, касающаяся импорта, в кратком виде изложена ниже (подробную информацию см. в разделе 2.1.1 документа UNEP/POPS/POPRC.12/INF/5).

**Таблица 4: Импорт ПФОК, ее солей и родственных ПФОК веществ в ЕС**

Год	Импорт в ЕС	Значение [в т]
2014	ПФОК и ее соли (тенденция к снижению с 2008 года)	~20
2014	ПФОК и ее соли (смеси, т.е. во фторполимерных дисперсиях)	~10
2014	ПФОК и его соли в изделиях (высокая погрешность)	<10
2015	Прогнозируется снижение ПФОК и ее солей в период после 2015 года	<0,15
2014	ПТФЭ	3–16
2014	Родственные ПФОК вещества	100–1 000
2014	Родственные ПФОК вещества в текстильных изделиях (общий объем родственных ПФОК веществ в импортируемых изделиях неизвестен).	1 000–10 000

Источник: ЕСНА (2015а)

34. Согласно информации, собранной в ходе обследования, проведенного ОЭСР в 2009 году (ОЕСД, 2011), зарегистрированная концентрация ПФОК в продукции, содержащей это вещество, находится в диапазоне от <1 до 160 чнм. Концентрация других родственных ПФОК составов в продукции находится в диапазоне от 1 до 4200 чнм и концентрация С8:2 фтортеломеров в продукции – в диапазоне от 5 до 35 000 чнм. Кроме того, в добавлении к ЕСНА (2015а) приводятся данные о концентрациях ПФОК и родственных составов в такой продукции, как верхняя одежда, защитная рабочая одежда, мембранная ткань для одежды, обработанный домашний текстиль и обивочные материалы, обработанная нетканая медицинская одежда, отделка кожаных изделий, ковры, опрыскиватели для пропитки/водоотталкивающие вещества, огнегасящие пены, обработанная бумага, краски и чернила, чистящие средства, воски/герметики для дерева, смазочные материалы и ленты для герметизации (дополнительную информацию см. в ЕСНА, 2015а, добавление В, таблицы А.В.2-4 и А.В.2-9).

35. Информация об импорте продукции, содержащей ПФОК и родственные ПФОК составы, была выявлена только для Австралии, Албании и ЕС, а именно:

а) Австралия сообщила об импорте антипепной продукции, содержащей менее 10 процентов родственного ПФОК химического вещества (составляет ~10 кг ПФОК) в 2005 году для использования в процессе крашения сернистыми красителями (NICNAS, 2015b). Австралия проводит оценку отдельных химических веществ в потребительских товарах и химических веществ, высвобождаемых из изделий. Изделия не входят в сферу охвата *Закона об уведомлении и оценке промышленных химических веществ* (Австралия, 2016);

б) В 2014 году ЕС сообщил об импорте родственных ПФОК составов в объеме от 1000 до 10 000 тонн, содержащихся в текстильных изделиях (особенно в куртках для пребывания на открытом воздухе). Следует отметить, что этот объем, как ожидается, уменьшится после 2015 года благодаря наличию альтернатив (по оценкам, объем импорта в последующий период составляет от 300–3000 тонн в год) (ЕСНА, 2015а);

с) Албания представила информацию в приведенном в приложении Е обзоре (Албания, 2015) о количестве импортируемых товаров, которые могут содержать ПФОК на 2012–2015 годы. Это составляет от 3 до 20 тонн на общий чистый вес всех товаров.

36. Запасы огнегасящих пен, содержащих ПФАС, включая ПФОК, могут присутствовать на военных базах, аэропортах, на объектах добычи нефти и нефтяных вышках и на других объектах (Badel et al., 2015; Anderson et al., 2016; FluoroCouncil 2016). Например, вооруженные силы США обладали приблизительно 11 млн. л огнегасящих пен на водной основе, содержащих ПФХВ, включая ПФОК (Place and Field, 2012). Два исследования сообщают о примерных объемах огнегасящих пен на водной основе в США (Darwin, 2004, 2011).

### 2.1.2 Виды применения

37. Благодаря своим физико-химическим свойствам, ПФОК, ее соли и родственные ПФОК составы находят широкое применение и используются в потребительских товарах во многих секторах (главным образом, в автомобильной, электронной и аэрокосмической промышленности и в строительстве) (ЕСНА, 2015а; OECD, 2013). В ЕСНА (2015а) дается оценка объемов ПФОК и ее солей, а также родственных ПФОК веществ, используемых в ЕС в различных секторах/отраслях. Основная информация представлена ниже.

**Таблица 5: Применение ПФОК, ее солей и родственных ПФОК составов в различных секторах в ЕС**

Применение в ЕС	Сектор/отрасль	Значения/ диапазон [в т]
<b>Родственные ПФОК составы</b>	Обработка текстильных и кожаных изделий	~1 000
	Обработка бумаги	>150–200
	Огнегасящие вещества	>50–100
	Краски и чернила	>50–100
	Другие виды применения	>0,1–0,5
<b>ПФОК и ее соли</b>	Производство фторполимеров	<20
	Фотопромышленность	1,0
	Полупроводниковая промышленность	<0,05
	Другие виды применения	0,5–1,5 т

Источник: ЕСНА (2015а)

38. ПФОК используется главным образом в виде АСПФОК в водном растворе в качестве эмульгатора и вспомогательного средства в производстве многих фторполимеров, таких как ПТФЭ, ФЭП (фторированный этилен-пропилен), ПФА (перфторалкокксиалкан) или ПВДФ (поливинилденфторид) (Emmett et al., 2006; OECD, 2006; ЕСНА, 2015а). ПФОК является загрязнителем во фторированных химических веществах и продукции на основе теломеров (Emmett et al., 2006). Во многих секторах фторполимеры используются для различных целей, в том числе: в производстве шлангов, кабелей и прокладок; антипригарного покрытия для кухонной посуды; и продуктов личной гигиены (Begley et al., 2005; Environment Canada and Health Canada, 2012; U.S.EPA, 2009; van der Putte et al., 2010; ЕСНА 2015а). АСПФОК

используется также при обработке красок, добавок к фотопленке и для покрытия текстильных изделий (OECD, 2006) и может присутствовать в некоторых огнегасящих пенах на водной основе (OECD, 2006; Prevedouros et al. 2006; Environment Canada and Health Canada, 2012). ПФОК используется также в качестве поверхностно-активного вещества и вспомогательного средства в производстве полупроводников, используемых в процессе фотолитографии (van der Putte et al., 2010; ESIA, 2015), и в качестве замены перфтороктанового сульфоната (ПФОС) (ЕСНА, 2015а).

39. Родственные ПФОК составы используются в качестве поверхностно-активных веществ и/или фторсодержащих полимеров для различной продукции, включая лыжные мази (Freberg et al., 2010; Nilsson et al., 2010а, 2010b), и для обработки кож, других текстильных изделий (таких, как используемые на открытом воздухе текстильные изделия и ковры) (Washburn et al., 2005; Begley et al., 2005), и бумажные упаковки для пакетов приготавливаемого в микроволновых печах попкорна (Sinclair et al., 2007). Высокие уровни ПФОК были отмечены в лыжных мазях (до 2000 мкг/кг ПФОК), используемых на открытом воздухе текстильных изделиях (до 19 мкг/м<sup>2</sup> ПФОК) и в некоторых видах бумаги для выпечки (до 15 мкг/м<sup>2</sup> ПФОК) (Kotthoff et al., 2015). Родственные ПФОК составы используются в качестве средства для обработки в бумажной и камнеобрабатывающей промышленности (Китай, 2015), для медицинских устройств (Австрия, 2015), в качестве антипенной продукции для использования в процессе крашения сернистыми красителями (NICNAS, 2015b), а также в качестве выравнивающего средства в красках и чернилах. Родственные ПФОК составы используются в качестве 1) неполимерных веществ для огнегасящих пен, смачивающих добавок и очищающих средств (OECD, 2013; van der Putte et al., 2010) или 2) как часть фторсодержащих полимеров с боковыми цепями, таких как полимеры-фторакрилаты (US EPA, 2009; van der Putte et al., 2010). Фторсодержащие полимеры с боковыми цепями используются для защиты от воды, жира и грязи, например в текстильных и кожаных изделиях, продукции для одежды, кожаных изделиях, бумаге и картоне (например, в упаковке для пищевых продуктов), лакокрасочной продукции (например, в архитектурных красках внутреннего и внешнего применения), нетканой медицинской одежде, восках для пола и герметиках для камня/дерева, лентах и пастах для герметизации резьбовых соединений, клейких веществах или продукции для одежды). Фтортеломеры – термин, который часто используется в литературе и касается веществ, производимых в процессе теломеризации. Фтортеломеры могут быть родственными ПФОК составами, если они содержат соответствующую длину цепи. Сообщалось, что 80% фтортеломеров применяются в полимерах и 20% – для неполимерного использования. Было выявлено, что родственные ПФОК составы в Европе главным образом используются в текстильных изделиях с обработанной поверхностью, огнегасящих пенах, бумаге с обработанной поверхностью, красках и чернилах (ЕСНА, 2015а).

### 2.1.3 Высвобождения в окружающую среду

40. Многочисленные прямые и косвенные источники ПФОК, ее солей и родственных ПФОК составов способствуют общему высвобождению ПФОК в окружающую среду. Прямые высвобождения в окружающую среду происходят в результате производства исходного вещества в ходе обработки, использования и удаления химических веществ и продуктов, содержащих эти вещества. Основными переносчиками выбросов являются вода, сточные воды и частицы пыли. Косвенные высвобождения в окружающую среду происходят из-за формирования ПФОК из родственных ПФОК составов. Они высвобождаются в воздух и сточные воды при производстве самих веществ, от фторсодержащих полимеров с боковыми цепями и в ходе использования и удаления потребительских изделий, обработанных родственными ПФОК составами. При выбросах в атмосферу, они могут разлагаться с образованием ПФОК и осажаться на почве и в водоемах (см. также пункт 2.1.3 документа UNEP/POPS/POPRC.12/INF/5). Они также вымываются из атмосферы посредством осадков (ЕСНА, 2015а). Согласно оценкам, суммарное количество глобальных выбросов ПФОК за период с 1951 по 2030 годов составит от 2078 до 18 366 тонн, таким образом, она представляет собой соединение с максимальным суммарным количеством выбросов ПФКК C<sub>4</sub>-C<sub>14</sub> (Wang et al., 2014а). Данное исследование также указывает на снижение оценочного объема выбросов в Северной Америке, Западной Европе и Японии одновременно с его повышением в Индии, России и Китае.

41. Производство ПФОК было определено в качестве одного из основных прямых источников ПФОК в окружающей среде (Armitage et al., 2009; Prevedouros et al., 2006). В ходе производства ПФОК вещество может выбрасываться в окружающую среду через сточные воды или в воздух. Prevedouros и коллеги (2006) оценили количество глобальных выбросов ПФОК при производстве: 45 т в 1999 году, 15 т в 2004 году, 7 т в 2006 году. ПФОК может также высвободиться в результате производства и использования родственных ПФОК составов.

(Pistocchi and Loos, 2009; Loos et al., 2008; Dauchy et al., 2012). Как указали Wang et al. (2014a), объем высвобождений, связанных с производством и применением ПФОК, вероятно, изменился в связи с изменением методов работы производственных предприятий (т.е., при применении мер контроля потоков отходов в отличие от отсутствия таких мер). В недавней публикации рассматривается первый кадастр для конкретных источников высвобождений ПФОК/ПФО в окружающую среду в Китае в период с 2004 по 2012 год и дается оценка совокупных высвобождений в окружающую среду, достигающих 250 тонн (т) в течение девяти лет (Li et al., 2015), и некоторые исследования подтверждают актуальность ПФОК в Китае. Пробы из систем рек/устьев в Китае были сильно загрязнены промышленным точечным источником, сбрасывающим в основном ПФОК (Heydebreck et al., 2015), а также отдельным заводом, производящим ПТФЭ и другие фторполимеры, высвобождающим чрезвычайно большие объемы ПФОК в реку (Wang et al., 2016). Существует позитивная связь между близостью к объекту по производству фторполимеров и концентрации ПФОК в реках (Shi et al., 2015), и значительные объемы пер- и полифторалкильных веществ были обнаружены в уличной пыли в Китае, при этом ПФОК является преобладающим веществом (Yao et al., 2016). Имеются исторические сведения о высвобождениях в окружающую среду в результате производства на одном из американских заводов в Западной Виргинии (Emmett et al., 2006; Paustenbach et al., 2007; Lerner, 2005) и других крупномасштабных производствах на период до 2002 года (Minnesota State Dep, 2016; Oliaei et al., 2013; Minnesota Pollution Control Agency, 2016).

42. Производство фторполимеров считается основным источником прямых выбросов ПФОК, где АСПФОК используется в качестве вспомогательного средства (Armitage et al., 2009; Prevedourgos et al., 2006). С объектов по производству фторполимеров ПФОК выбрасывается в воздух (главным образом связанная с частицами) и воду. Фторполимерные дисперсии часто используются для нанесения на металлические поверхности и ткани. Высвобождения происходят в ходе дисперсионной обработки, последующего использования и удаления потребительских изделий. Высвобождения в окружающую среду в результате прямого применения ПФОК также возможны в фотопромышленности и в производстве полупроводников (van der Putte et al., 2010; ESIA, 2015; SIA, 2015).

43. Высвобождения в помещениях в бытовой среде возникают в результате использования продукции, содержащей ПФОК и родственные ей составы для нескольких видов продукции, приобретенных в розничной торговле в США, с наибольшими высвобождениями в результате использования профессиональных жидкостей для ухода за коврами, коврового покрытия с предварительной обработкой, восков для пола и герметиков для камня/плитки/дерева, а также бытовых текстильных и обивочных материалов (US EPA, 2009a). Выбросы от курток для пребывания на открытом воздухе происходят главным образом во время стирки и пропитки (Umweltbundesamt, 2014).

44. Использование родственных ПФОК составов приводит к прямым и косвенным выбросам ПФОК. Это происходит от примесей в продуктах на основе фтортеломеров и от разложения продуктов на основе фтортеломеров, а также в результате производства, использования и удаления фторсодержащих полимеров с боковыми цепями (ЕСНА, 2015a; Environment Canada and Health Canada, 2012). Производство фторсодержащих полимеров с боковыми цепями представляет собой одно крупное промышленное использование родственных ПФОК составов (Russell et al., 2008; ЕСНА 2015a; Danish Ministry of Environment, 2013).

45. Высвобождения в окружающую среду происходят в результате регулирования сточных вод и твердых отходов, состоящих из ПФОК, ее солей или родственных ПФОК составов или загрязненных ими. Промышленные сточные воды от производства фторполимеров считаются наиболее важным точечным источником ПФОК для поверхностных вод. Водоочистные сооружения не обеспечивают эффективного удаления ПФОК. Таким образом, значительная доля остается в водной фазе и попадает в поверхностные водные объекты и разложение родственных ПФОК составов в ходе очистки может даже привести к увеличению выбросов ПФОК (ЕСНА 2015a; Schultz et al., 2006; Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2010; Houtz et al., 2016; UNEP/POPS/POPRC.12/INF/5). В ходе регулирования твердых отходов высвобождения ПФОК могут возникнуть в результате сжигания, захоронения и рециркуляции (Yamada et al., 2005; Poulsen et al., 2005), и предполагается, что рециркуляция загрязненных отходов способствует высвобождениям в окружающую среду (ЕСНА, 2015a). Существует ряд исследований, касающихся сточных вод, шлама сточных вод или фильтрата со свалок и обработки отходов, в том числе измерений прямых высвобождений в окружающую среду, связанных с удалением ПФОК и родственных ей составов (Muir and Scott, 2003; Boulanger et al.,

2005; Yan et al., 2015; Ikonomou, 2006; Busch et al., 2010; Guo, 2008; US EPA, 2009b; OECD 2011).

46. Родственные ПФОК составы разлагаются с образованием ПФОК в шламе, почве, воде и воздухе (Wang et al., 2005a, 2005b; Moody and Field, 1999; IPEN, 2015; Dasu and Lee, 2016; Bizkarguenaga et al., 2016), и такое разложение отмечалось во многих продуктах, содержащих родственные ПФОК составы (Dasu et al., 2013; Ellis et al., 2003; Ellis et al., 2004a; Frömel and Knepper, 2010; Gauthier and Mabury, 2005; Hilal et al., 2004; Jackson and Mabury, 2013; Jackson et al., 2013; Rayne and Forest, 2010; Renner, 2008; Wang et al., 2005a; Wang et al., 2005b; Washington et al., 2009; Young and Mabury, 2010; Young et al., 2008; Zhang et al., 2013; Butt et al., 2014; Rankin et al., 2014; Washington et al., 2015). Высвобождение ПФОК в окружающую среду происходит в результате ее использования в огнегасящих пенах. Водные пленкообразующие пены (ВПП) были разработаны в начале 1960-х годов с использованием ПФАВ в качестве ключевых компонентов и представляют собой один из остающихся источников ПФОК, например на площадках для проведения противопожарной подготовки или вокруг военных авиационных баз (Baduel et al., 2015; Australia, 2016).

47. Отсутствуют данные о наличии каких-либо природных источников ПФОК и родственных ей составов (Kissa, 1994; Environment Canada and Health Canada, 2012; IPEN 2015).

48. В предыдущих пунктах приводится обзорная информация о высвобождениях в окружающую среду. Более подробную информацию см. в разделе 2.1.3 документа UNEP/POPS/POPRC.12/INF/5.

#### **Содействие солей ПФОК и родственных ПФОК составов наличию ПФОК в окружающей среде**

49. В предложении о включении ПФОК, ее солей и родственных ПФОК составов (UNEP/POPS/POPRC.11/5) отмечается озабоченность в связи с тем, что родственные ПФОК составы могут способствовать концентрации ПФОК в окружающей среде в результате разложения. Этот вопрос был затронут министерством охраны окружающей среды Дании (2013 год), которое предположило, что: *«оценка ПФОК в акватории Балтийского моря показала с высокой степенью неопределенности, что 30% высвобождений происходили в результате преобразования фтортеломеров».*

50. Исследования, проведенные Prevedouros et al. (2006) и Kim et al. (2012 и 2013 годы) рассмотрели «судьбу» и поведение ФТС (6:2 и 8:2 ФТС) в пределах наземной среды, отметив, что продукты разложения из 8:2 ФТС будут включать ПФОК. Prevedouros et al. (2006) считают, что около 1% выбросов ПФКК происходят в результате разложения сырья фтортеломеров, которое могли бы включать ПФОК; при этом Kim et al. (2012) отмечают о процессе биотрансформации в почвах, при котором почвенными бактериями ФТС (как с длинными, так и с короткими цепями) разлагались с образованием ряда продуктов разложения, которые включают ПФОК. Washington et al. (2009) вырастили связанный с акрилатом полимер на основе фтортеломера в микрокосме почвы и наблюдали возможное появление продуктов разложения фтортеломеров и ПФУ. Эти и другие результаты позволяют предположить, что разложение полимеров на основе фтортеломеров является источником выброса ПФОК в окружающую среду (Washington et al., 2009; Washington et al., 2014; см. Koch et al., 2006, 2009; Russell et al., 2008, 2010 для более широкого подхода к разложению и периодам полураспада).

51. Термолиз ПТФЭ также дает нексафторпропилен и другие соединения, включая ПФОК (Ellis et al. 2001; Schlummer et al., 2015), в то время как мономеры, используемые для производства длинноцепных фтортеломеров и являющиеся продуктом их разложения, могут биотрансформироваться в ПФОК (Butt et al., 2010a). Taylor (2009) и Taylor et al. (2014) в сотрудничестве с компанией «Дюпон» не смогли обнаружить ПФОК в ходе лабораторных испытаний на горение. Krusik and Roe (2004) и Krusik et al (2005) изучили термическое разложение аммониевой соли перфтороктановой кислоты (АСПФОК) и ПФОК. АСПФОК и ПФОК являются термически неустойчивыми при температурах сжигания отходов (примерно 1000°C). Например, период полураспада АСПФОК составляет менее 0,2 с при 350°C. В свете исторически большого производства полимеров на основе фтортеломеров (ПОФ) и недостаточной эффективности обычных методов обработки для рекуперации ПФКК из потоков отходов, разложение материалов на основе ПОФ способно повышать уровни содержания ПФКК в окружающей среде.

52. ПОФ, произведенные к настоящему времени, потенциально могут привести к увеличению объемов ПФКК в 4–8 раз по сравнению с нынешними океаническими нагрузками, в значительной степени в зависимости от целостности установок по удалению отходов в целях



содержания ПФКК при гидролизном образовании из ПОФ (Washington and Jenkins, 2015; см. Koch et al., 2006, 2009; Russell et al., 2008, 2010 для альтернативных оценок, указывающих на снижение глобального потенциала нагрузки).

53. ПФОК также обнаруживается в упаковочных материалах. Например, содержание ПФОК и родственных веществ в продуктах на основе фторполимерных смол составляет до 150 мг/кг и от 5 до 3000 мг/кг в продуктах на основе фторполимерных дисперсий на производственных предприятиях за пределами США. ПФОК можно также извлечь в низких концентрациях из текстильных изделий и упаковочных материалов, обработанных фторсодержащими полимерами с боковыми цепями. Высвобождения веществ на различных этапах жизненного цикла и значение воздействия на человека и окружающую среду до сих пор полностью не изучены, и требуется дополнительная информация (Danish Ministry of Environment, 2013).

54. Фтортеломерные карбоновые кислоты (ФТКК) и соответствующие ненасыщенные кислоты (ФТНКК) являются промежуточными стадиями биоразложения произведенных в промышленных условиях фтортеломерных спиртов (ФТС) до стойких в окружающей среде перфторированных карбоновых кислот (ПФКК). Преобразование данных соединений было изучено в простой микрокосм-системе «осадок-вода». В микрокосмы были введены 8:2 ФТКК, 10:2 ФТКК и 8:2 ФТНКК или 10:2 ФТНКК. Исследованные ФТКК и ФТНКК быстро разлагаются. Были отмечены опознаваемые продукты разложения ФТКК и ФТНКК, включающие ПФОК как для соединений 8:2, так и 10:2. (Myers and Mabury 2010; Butt et al., 2014).

55. Environment Canada and Health Canada (2012) и ЕСНА (2015a) собрали научные данные о разложении/преобразовании родственных ПФОК веществ на основе различных источников (информация из обоих источников приведена в разделе 2.1.3 документа UNEP/POPS/POPRC.12/INF/5).

56. В ЕСНА (2015a) приводится дополнительная подробная информация о роли родственных ПФОК составов в разложении ПФОК и содействии увеличению ее концентраций в окружающей среде: *«уровни ПФОК в большинстве исследований находятся в пределах от 1,7 до 20%. Продолжительность исследований составляет от 28 до 90 суток. Одно исследование было проведено в течение более длительного срока в 7 месяцев. В этом исследовании уровень ПФОК был в диапазоне от 10 до 40% (Wang et al., 2009). Это свидетельствует о том, что на некоторые этапы разложения может потребоваться время, хотя прогнозируемый период полураспада данных родственных ПФОК составов находится в диапазоне нескольких суток. Таким образом, может быть высказана гипотеза о том, что в окружающей среде уровни ПФОК из родственных ПФОК составов гораздо выше, чем результаты измерений, сделанные в ходе кратких экспериментов по разложению. Мы далее выдвигаем гипотезу о том, что на протяжении длительного срока в 5–10 лет уровни ПФОК от разложения родственных ПФОК составов составляют примерно 80%».*

57. В заключение, родственные ПФОК составы способны разлагаться с образованием ПФОК в природной среде, способствуя увеличению концентрации ПФОК в окружающей среде. Объемы образующейся ПФОК в результате разложения родственных ПФОК составов являются более спорными с учетом приводимых значений в диапазоне от 1,7% до 40%. Однако, как отмечается в ЕСНА (2015a), эти результаты основаны на более краткосрочных испытаниях, и в течение более длительных периодов времени количество ПФОК может быть значительно выше (около 80%).

## 2.2 Преобразование в окружающей среде

### 2.2.1 Стойкость

58. ПФОК обладает исключительной устойчивостью в природной среде в силу своих химических свойств и не разлагается при соответствующих условиях окружающей среды. Этот факт подтверждается АООС США (2014 год), Австралийским НИКНАС (2015a и 2015b), министерством окружающей среды Канады и министерством здравоохранения Канады (2012 год) и ОЭСР (2006 год). В частности, в исследованиях, проведенных министерством окружающей среды Канады и министерством здравоохранения Канады и ОЭСР отмечается, что отсутствует четкое разложение ПФОК в абиотических или биотических условиях.

59. В рамках водной среды в естественных условиях окружающей среды период полураспада ПФОК превышает 92 года с наиболее вероятным значением в 235 лет, и не проявляет явного распада в результате фоторазложения (Todd, 1979; Hatfield, 2001; 3M, 2001). В водной среде, где ПФОК подвергается косвенному фотолизу, период полураспада составил,

согласно оценкам, более 349 суток (Hatfield, 2001; ЕСНА, 2013а, 2013b). Обзор данных полураспада и механизмов распада приводится в таблице 6.

**Таблица 6: Сообщенные результаты о стойкости ПФОК (адаптировано на основании Environment Canada and Health Canada, 2012)**

Среда	Механизм	Период полураспада	Литература
Вода	Фотолиз	Фоторазложение отсутствует	Todd 1979; Hatfield, 2001
Вода	Косвенный фотолиз	> 349 суток	Hatfield, 2001
Вода	Гидролиз	~ 235 лет	3M, 2001
Воздух	Гидроксильная реакция	~ 130 суток	Hurley et al., 2004
Шлам	Биоразложение	> 2,5 месяца	Pace Analytical, 2001
Почва/шлам	Биоразложение	> 259 суток	Liou et al., 2010

60. На основе имеющихся данных абиотическое разложение ПФОК в атмосфере, как ожидается, будет медленным. Прогнозируемый срок сохранения ПФОК в атмосфере составляет 130 суток (вывод по аналогии с короткоцепными перфторированными кислотами; см. OECD, 2006; Hurley et al., 2004).

61. Стойкость в пределах наземной среды отражает положение, наблюдаемое в водной среде, с высокой стойкостью, медленными темпами разложения и длительными периодами полураспада. Как в Регламенте ЕС РОСОХ, приложение XV (досье об ограничениях) (ЕСНА, 2015а), так и в предложении РОСОХ по определению ПФОК в качестве ВВКО (ЕСНА 2013а), отмечается, что ПФОК не поддается биоразложению, и что с учетом высокой стойкости, невозможно рассчитать периоды полураспада в почве или отложениях. Тот же вывод был представлен в рамках досье проверки (UNEP/POPS/POPRC.11/5).

62. Более подробная информация приводится в разделе 2.2.1 документа UNEP/POPS/POPRC.12/INF/5.

#### **Сводная информация по стойкости**

63. На основании экспериментальных данных можно сделать вывод о том, что ПФОК обладает высокой стойкостью во всех природных средах и сильной стойкостью ко всем обычным механизмам разложения в соответствующих экологических условиях.

### **2.2.2 Биоаккумуляция**

#### **Скрининговая оценка на основе физико-химических свойств**

64. В связи с высоким поверхностно-активным потенциалом ПФОК и ее способности формировать многочисленные слои в распределении октанол/вода, не представляется возможным непосредственно проанализировать log Kow (US EPA, 2002). Как отмечено в приложении D к Стокгольмской конвенции, и сообщается в таблице 2, полученные оценки находятся в диапазоне от значения выше до значения ниже критического значения log Kow, равного 5. Исследования по ФБК и ФБА также указывают на значения ниже критического значения, равного 5000, приведенного в приложении D. Однако на основе физических свойств, ПФОК, как известно, проходит механизм биоаккумуляции белка, а не разделения липидов (UNEP/POPS/POPRC.3/INF/8/2003), в результате чего стандартный анализ ФБК/ФБА становится менее значимым. Поэтому использование log Kow и ФБК и ФБА оказались ненадлежащими способами измерения биоаккумуляции ПФОК (ЕСНА, 2013а).

65. Для оценки соответствия ПФОК критерию биоаккумуляции, основное внимание уделяется приложению D, пункту с) ii и iii; доказательства для озабоченности в рамках вида в качестве части мониторинга. Это включает подход, использующий факторы биоусиления (ФБУ) и факторы трофического усиления (ФТУ), который был принят наряду с мониторингом видов более высокого трофического уровня для подтверждения того, что биоаккумуляция происходит в природной среде. Подходы на основе ФБУ и ФТУ оценивают, соответственно, отношения хищника и жертвы и всю пищевую цепь для анализа потока материалов и подтверждают то, что биоусиление может происходить на разных трофических уровнях. В ряде исследований оценивались как ФБМ, так и ФТМ в экосистемах, охватывающих Арктику, Канаду, США, Нидерланды и Бразилию, с зарегистрированными значениями >1 (критическое значение), что дает основание предполагать, что биоаккумуляция ПФОК происходит на разных

трофических уровнях (Houde et al., 2006; Kelly et al., 2009; Martin et al., 2004; Tomy et al., 2004, 2009; Butt et al., 2008).

66. Обзор исследований, в которых отмечается ФБУ и ФТУ ПФОК, указал на широкий диапазон ФБУ (min=0.04; max=125) и ФТУ (min=0.58; max=13), вызвав озабоченность относительно надежности этих значений в качестве показателей способности к биоаккумуляции. Это может быть результатом нескольких факторов, таких как недостижение равновесного состояния, неопределенность в кормовом поведении и экологии и воздействие метаболизма исходных соединений. Предлагается определять ФБУ и ФТУ в исследованиях рациона, проводимых в строго контролируемых условиях с учетом измеренных периодов полувыведения (Franklin, 2016).

#### **Исследования биологической концентрации в водных организмах**

67. В связи с высоким поверхностно-активным потенциалом и растворимостью ПФОК, рыбы могут выделять ПФОК через жабры, что приводит к сокращению поглощения и биоаккумуляции. Это объясняет зачастую низкие значения ФБУ/ФБА в тестах с использованием рыб. В равной степени при анализе ФБУ/ФТМ, при котором хищниками в пищевой цепи являются виды рыб, можно видеть, что критические значения ниже 1. Значения ФБК в водной среде, как правило, являются низкими. Исследования, основанные на дышащих в воде животных, свидетельствуют о том, что критерий биоаккумуляции в водной среде не соблюдается (OECD, 2006; Kelly et al., 2009). Существует несколько исследований, изучающих изомерный профиль ПФОК в водных организмах. В морской пищевой цепи, линейный изомер ПФОК является доминирующей формой, обнаруживаемой в биоте. В другом исследовании разветвленные изомеры ПФОК накапливались в тканях радужной форели (Fang et al., 2014; De Silva et al., 2009).

68. Исследования по дышащим воздухом водным видам являются скудными. Вместе с тем потенциал к биоаккумуляции у морских млекопитающих подтверждается. Имеются свидетельства того, что ПФОК биоусиливается у дышащих воздухом млекопитающих, поскольку значения ФБУ находятся в диапазоне от 1,3 до 125 для отдельных взаимоотношений хищник-добыча и значения ФТУ – в диапазоне от 1,1 до 13 для отдельных пищевых цепей. Как было показано, биоаккумуляция происходит у нерыбных видов, у дышащих воздухом наземных видов и видов птиц (Houde et al., 2006; Butt et al., 2008; van den Heuvel-Greve et al., 2009; Müller et al., 2011).

69. Более подробная информация приводится в разделе 2.2.2 документа UNEP/POPS/POPRC.12/INF/5.

#### **Исследования биоаккумуляции в наземных организмах**

70. Был завершен ряд исследований, в которых было отмечено наличие ПФОК в наземных видах более высокого уровня. Исследования содержат обзор присутствия перфторированных химических веществ в морской, пресноводной и наземной биоте в Германии (Rüdel et al., 2011). ПФОК была обнаружена в пробах печени канадского бобра, и экосистемные исследования в Канаде отметили присутствие ПФОК, превышающее поддающиеся определению пределы и обратили внимание на наличие ограничений в лишайниках, у карibu и волков. Факторы трофического усиления для волка/карибу/лишайника (или растительности) находились в диапазоне от 1,1 до 2,4 (Martin et al., 2004; Müller et al., 2011). В этих трех исследованиях была подтверждена способность ПФОК к биоаккумуляции в наземных видах. Исследование питания свиней на откорме показало, что в их тканях накапливались ПФАА. Авторы смоделировали соответствующую токсикокинетику и пришли к выводу, что у свиней наблюдается более продолжительный период полувыведения (236 суток для ПФОК), чем у большинства организмов (Numata et al., 2014).

71. Более подробная информация приводится в разделе 2.2.2 документа UNEP/POPS/POPRC.12/INF/5.

#### **Сводная информация по биоаккумуляции**

72. Оценка биоаккумуляции ПФОК осложняется ее физическими свойствами, которые затрудняют оценку подходов log K<sub>ow</sub>, ФБК и ФБА. ПФОК не накапливается у дышащих в воде животных согласно критериям Стокгольмской конвенции. Это можно объяснить тем, что рыбы перерабатывают и выделяют ПФОК через жабры.

73. ПФОК биоусиливается в дышащих воздухом млекопитающих. ПФОК был обнаружен в тканях дышащих воздухом водных видов. В наземных видах присутствие ПФОК легко обнаруживается, при этом ряд исследований указывают на значения ФБУ и ФТУ,

превышающие 1. Имеются свидетельства того, что ПФОК биоаккумулируется в дышащих воздухом млекопитающих и других наземных видах, включая человека (см. конкретный раздел 2.3.2 о воздействии на человека).

### 2.2.3 Способность к переносу в окружающей среде на большие расстояния

74. Досье проверки (UNEP/POPS/POPRC.11/5) свидетельствует о высокой стойкости и стабильности ПФОК, ее солей и родственных ПФОК составов, особенно в воздушной среде. Hurley et al. (2004) отмечают, что прогнозируемый срок сохранения ПФОК в атмосфере в отношении гидроксильных радикалов составляет 130 суток (см. таблицу 6). Этого времени будет достаточно, чтобы позволить ПФОК преодолеть значительные расстояния от точки выброса.

75. Franklin (2002) рассчитал, что срок сохранения ПФОК в атмосфере составляет порядка нескольких суток, когда она была выделена из наземного источника, и поэтому, вероятно, не подвергается переносу на большие расстояния. Тем не менее, если ПФОК производится из атмосферного источника (т.е. через прекурсоры), и если основным механизмом потерь является влажное или сухое осаждение, то ее срок сохранения может составить 20–30 суток до разложения (Ellis et al. 2004b). Этого времени может быть достаточно для переноса ПФОК на многие тысячи километров.

76. Исследования на основе моделирования выявили, что океанический перенос является доминирующим путем распространения ПФОК (главным образом из прямых источников) в Арктику. Считается, что океаническая циркуляция и ее разновидности являются теми факторами, которые определяют распределение на большие расстояния и «судьбу» ПФОК (Stemmler и Lammel, 2010; Armitage et al., 2009).

#### Присутствие ПФОК, ее солей и родственных ПФОК составов в отдаленных районах

77. Наряду с устойчивыми характеристиками ПФОК и данными экологического моделирования, указывающими на способность к переносу на большие расстояния, данные экологического мониторинга из ряда исследований, также существуют для того, чтобы помочь подтвердить оценки, полученные методом моделирования. В таблице 7 приводится подробная информация о мониторинге ПФОК в поверхностных водах, льде, отложениях и биоте в отдаленных районах, вдали от точки их использования и выбросов.

**Таблица 7: Примеры присутствия ПФОК в отдаленных районах**

Проба	Значение	Примечания	Литература
Поверхностные воды			
Канадские арктические озера (Меретта, Резолют, Чар, Смолл, Норт и Найн Майл)	0,6–17 нг/л (диапазон)	2010–2011 годы	(Lescord et al., 2015)
Морская вода/лед			
Байдарацкая губа (Российская Федерация)	0,1307 ( $\pm 0,0772$ ) нг/л (среднее $\pm$ стандартное отклонение)	2007 год	(Saez et al., 2008)
Гренландское море	0,020–0,111 нг/л (диапазон)		(Theobald et al., 2007; ЕСНА, 2015a)
Осадочные отложения			
Канадские арктические озера (Чар и Резолют)	1,7 и 7,5 нг/г сухой массы <1,1 и 2,3 нг/г сухой массы 1,2 и <1,8 нг/г сухой массы (диапазон)	0–1 см (по глубине) 1–2 см 2–3 см	(Stock et al., 2007)
Воздух			
Большой объем проб воздуха, собранных с судов в Атлантическом океане, Южном океане и Балтийском море	0,7 пг/м <sup>3</sup> (средний показатель)	2007–2008 годы	(Dreyer et al., 2009)

Проба	Значение	Примечания	Литература
Большой объем проб воздуха из наземного объекта вблизи Гамбурга, Германия	0,3 пг/м <sup>3</sup> (средний показатель)		
Биркенес Цепелин Андёйа (Норвегия)	0,32 пг/м <sup>3</sup> 0,22 пг/м <sup>3</sup> 0,19 пг/м <sup>3</sup> (средний показатель)	2014 год	(NILU, 2015)
Остров Корнуоллис (Канада)	1,4 пг/м <sup>3</sup> (средний показатель)	2004 год	(Stock et al., 2007)
Биота			
Белый медведь (печень) (Восточная Гренландия)	0,6–14 нг/г сырой массы 6,8–15,8 нг/г сырой массы 11,8–17,6 нг/г сырой массы (диапазон)  14 нг/г сырой массы 12,3 нг/г сырой массы 4,8 нг/г сырой массы (среднегодовое значение)	1990 (год) 1995 год 2006 год  2006 год 2010 год 2011 год	(Dietz et al., 2007)    (Rigét et al., 2013)
Белый медведь (печень) (североамериканская Арктика, европейская Арктика)	2,4–36 нг/г сырой массы (диапазон геометрических средних значений)		(Smithwick et al., 2005)
Кольчатая нерпа (печень) (Арвиат – канадская Арктика)	<0,85–3,6 нг/г сырой массы (диапазон)		(Butt et al., 2007)
Кольчатая нерпа (печень) (Восточная Гренландия)	1,6 нг/г сырой массы 2,2 нг/г сырой массы <предел обнаружения (среднегодовое значение)	2006 год 2008 год 2010 год	(Rigét et al., 2013)

78. Имеются свидетельства того, что ПФОК присутствует в отдаленных районах ледового покрова Арктики (US EPA, 2014), на поверхности и в морской воде в арктических районах (Butt et al., 2010b; AMAP, 2014; Benskin et al., 2012a, 2012b; Veillette et al., 2012; Kwok et al., 2013; Cai et al., 2012; Zhao et al., 2012a), снеге и ледяных ядрах из Китая (например, в северной части Китая и Тибетском нагорье) (Wang et al., 2014b; Shan et al., 2015), пробах воздуха, снега/ледяных кернов, воды, отложений и биоты из Норвегии (Xie et al., 2015; NILU, 2015; Kwok et al., 2013), пробах снега из Словакии, Швейцарии и Италии (Cobbing, 2015), а также в пробах воздуха, воды и фауны из Антарктики и Южного полушария (Zhao et al., 2012a; Tao et al., 2006; Danish Ministry of Environment, 2013; Wang et al., 2015).

79. Lescord et al. (2015 год) представляют фактические данные о ПФОК в пищевых цепях озер в высоких широтах Канады. Имеющиеся данные также свидетельствуют о загрязнении в яйцах белой чайки (*Pagophila eburnea*) в высоких широтах (Lucia et al., 2015) и в других млекопитающих Арктики и Северной Атлантики (Bytingsvik et al., 2012; Rotander et al., 2012; Rigét et al., 2013). Различные изомеры ПФОК были обнаружены в пробах печени белого медведя из канадской Арктики и Восточной Гренландии, при этом пробы гренландского белого медведя содержали различные разветвленные изомеры, и лишь линейный изомер ПФОК был определен в канадских пробах (de Silva and Mabury, 2004). Что касается Арктики, ПФОК была обнаружена в пробах печени косаток, тюленей и белых медведей в Восточной Гренландии (Gebbinck et al., 2016).

80. Фтортеломерные спирты, такие, как  $n\text{-C}_8\text{F}_{17}\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ , представляются важными глобальными источниками загрязнения стойкими, способными к биоаккумуляции,

перфторированными карбоновыми кислотами, и имеющиеся результаты моделирования свидетельствуют о том, что с нынешней оценкой химических параметров и потоков атмосферное окисление 8:2 ФТС может предоставить количественное объяснение присутствия ПФКК, в том числе ПФОК, в отдаленных районах (Wallington et al., 2006; Young et al., 2007). Кроме того, биотрансформация ФТС 8:2 в ПФОК была продемонстрирована в лабораторных экспериментах (Butt et al., 2014).

### **Потенциальные механизмы переноса на большие расстояния**

81. Bengtson Nash et al. (2010) и Prevedouros et al. (2006) обсуждают два ключевых механизма для содействия переносу ПФОК на большие расстояния в отдаленные регионы. Первый механизм предполагает высвобождение в окружающую среду либо в качестве переносимых по воздуху частиц пыли, загрязненных непосредственно ПФОК или солями ПФОК, или прямое высвобождение в поверхностные воды. Затем эти вещества перемещаются на большие расстояния через цикл осаднения и улутучивания из морских вод, при этом перенос в воде через морскую среду может быть доминирующим методом доставки в арктические регионы. Было высказано предположение, что гидросферный перенос сформирует медленный путь поступления ПФУ в Антарктический регион (Bengtson Nash et al., 2010). Второй механизм включает доставку через переносимые по воздуху прекурсоры (такие как ФТС) вновь через загрязненные частицы пыли, а затем разложение этих материалов с образованием ПФОК *in situ* по прибытии.

82. ЕСНА рассматривает механизм атмосферного переноса. В связи с относительным давлением паров АСПФОК, ПФОК и перфтороктаноата, химической формой, потенциально наиболее подверженной переносу в газовой фазе и атмосферному переносу, является ПФОК (ЕСНА, 2015a). Franklin (2002) высказал мнение о том, что в присутствии воды в воздухе, газообразная ПФОК конденсируется в аэрозольные частицы и разлагается до соответствующих ПФО. Это позволяет предположить, что круговорот между атмосферой и землей путем влажного/сухого осаднения и ресуспензирования является возможным и будет способствовать переносу ПФОК на большие расстояния. Изменение климата, ведущее к таянию снега и льда, также было предложено в качестве потенциального механизма (Zhao et al., 2012a)

83. Более подробная информация приводится в разделе 2.2.3 документа UNEP/POPS/POPRC.12/INF/5.

### **Сводная информация о переносе на большие расстояния в окружающей среде**

84. ПФОК является весьма стабильной и устойчивой к разложению. Мониторинг воды, воздуха, отложений и биоты в отдаленных районах выявляет присутствие ПФОК. Аналогичным образом данные моделирования окружающей среды указывают на то, что способность к переносу на большие расстояния (например, океанический перенос) действительно существует, в то время как другие определили ключевые механизмы, включающие прекурсоры, которые сделают перенос на большие расстояния вероятным. На этом основании можно сделать вывод о том, что ПФОК отвечает критерию, изложенному в приложении D, по переносу на большие расстояния.

## **2.3 Воздействие**

### **2.3.1 Данные мониторинга окружающей среды**

85. Различные исследования показывают, что ПФОК повсеместно присутствует в окружающей среде. В ЕСНА (2015a) приводится подборка исследований, которые сообщают о случаях обнаружения ПФОК и родственных составов в нескольких средах (поверхностные воды, глубинные морские воды, питьевая вода, водоочистные сооружения, осадочные отложения, грунтовые воды, почвы, атмосфера, пыль, биота и организм человека) в местах отбора проб по всему миру (см. ЕСНА, 2015a, таблица А.В.4-8 в добавлении В; см. также раздел 2.3.1 документа UNEP/POPS/POPRC.12/INF/5). Крупномасштабные программы мониторинга для ПФОК не проводились, и имеются только ограниченные исследования тенденций во времени. Нет достаточной информации, чтобы сделать вывод о тенденции к концентрации в окружающей среде. Имеющиеся исследования тенденций во времени указывают на тенденции как к снижению, так и к повышению в биоте в Европе, а также в арктических регионах (ЕСНА 2015a, Roos and Benson, 2016, Faxneld et al., 2014; Rigét et al., 2013). Поскольку ПФОК не подвергается разложению, эта тенденция к снижению не подтверждена пробами воды и отложений, что позволяет предположить, что океаны и отложения являются поглотителями ПФОК (ЕСНА, 2015a).

86. Были собраны данные мониторинга окружающей среды на ряде объектов в Китае, которые по-прежнему производят ПФОК и родственные составы. ПФОК была обнаружена в отложениях, речной воде, поверхностных и грунтовых водах, а также в питьевой воде, главным образом вблизи объектов по производству ПТФЭ и перфторбутанового сульфоната или промышленных парков по производству фтора (Bao et al., 2011; Chen et al., 2015; Shi et al., 2015; Yao et al., 2014). Хотя широко признается, что теломеризация в настоящее время является преобладающим методом производства ПФОК, дающим изомерно чистый и линейный продукт, электрохимическое фторирование все еще используется некоторыми производителями в Китае (Jiang et al., 2015). Это подтверждается анализом изомерных профилей ПФОК в пробах свежего снега, взятых в северной части Китая, которые соответствовали характерным признакам исторической продукции электрохимического фторирования «3М», что свидетельствует о том, что эта продукция по-прежнему производится и используется в Китае (Shan et al., 2015).

87. ПФОК была обнаружена в большинстве проб грунтовых вод в ЕС и государственных системах питьевой воды в США (Loos et al., 2010; Post et al., 2009). Причинами загрязнения грунтовых вод являются, например высвобождения в поверхностный слой почвы, общие атмосферные осадения, фильтрат со свалок, историческое использование ВПП, например вблизи аэропортов и пожарных учебных центров (Xiao et al., 2015; Eschauzier et al., 2013; Yan et al., 2015; Filipovic et al., 2015; Keml, 2016). В настоящее время существует широкомасштабная программа мониторинга питьевой воды, финансируемая АООС США в соответствии с Законом о безопасности питьевой воды, именуемая Правилем мониторинга нерегулируемых загрязнителей (UCMR), в рамках которой осуществляется мониторинг более 4800 государственных систем водоснабжения на предмет наличия 30 загрязнителей, включая ПФОК (US EPA, 2016).

88. Оценка относительной доли исторических (т.е. на основе электронного фторирования) и современных (т.е. на основе теломеров) источников ПФОК в различных пробах морской воды показала, что преобладающим источником (источниками) ПФОК для Тихоокеанского региона и Канадского Арктического архипелага является (1) прямые выбросы современных ПФОК через изготовление или использование в Азии или (2) атмосферный перенос и окисление современных ПФОК-прекурсоров (Benskin et al., 2012c).

89. Имеются данные мониторинга окружающей среды для поверхностных вод и осадочных отложений в Японии (Japan, 2015), реки По в Италии (ЕСНА, 2014b), фильтрата свалок, воды и яиц чаек и осадочных отложений в Австралии (Gallen et al., 2016; Thompson et al., 2011a) и для речных отложений из Южной Африки ПФОК в более высоких концентрациях, чем те, которые обнаружены в других странах (Mudumbi et al. 2014).

90. Имеется немало доказательств, демонстрирующих обнаруженные уровни ПФОК в морской, пресноводной и наземной биоте по всему миру (de Silva and Mabury, 2004; Martin et al., 2004; Smithwick et al., 2005; Houde et al., 2006; Butt et al., 2007; Dietz et al., 2007; Ishibashi et al., 2008; Sonne et al., 2008; de Silva et al., 2009; Müller et al., 2011; Rüdell et al., 2011; Bytingsvik et al., 2012; Rotander et al., 2012; NILU, 2013; Fang et al., 2014; Lescord et al., 2015; Lucia et al., 2015). Как ранее обсуждалось в разделах 2.2.2 и 2.2.3, биоаккумуляция ПФОК происходит на разных трофических уровнях, и обнаружение ПФОК в биоте в отдаленных районах свидетельствуют о способности ПФОК к переносу на большие расстояния, соответственно.

91. В ходе одного из предыдущих исследований сообщалось о повышенных уровнях ПФОК в хвое (*Pinus mugo*) вблизи лыжных районов (Chropeňová et al. 2016a). Применение ПФОК в качестве грязеотталкивающего вещества в современной верхней одежде и в лыжных мазах предположительно является потенциальным важным источником высвобождений в высокогорную окружающую среду на горнолыжных курортах и обладает потенциалом воздействия на человека (Chropeňová et al. 2016b).

92. Более подробная информация приводится в разделе 2.3.1 документа UNEP/POPS/POPRC.12/INF/5.

### 2.3.2 Воздействие на человека

93. Были проведены многочисленные исследования с целью определения воздействия ПФОК на человека. Среди прочего, в выводах определены общие пути воздействия и уязвимые для воздействия группы, а также представлена информация об уровнях концентрации, обнаруженных в пробах.

94. Воздействие на человека, как правило, проходит через окружающую среду<sup>5</sup> посредством потребления питьевой воды и продуктов питания через поглощение загрязненного воздуха и пыли закрытых помещений или через потребительские продукты, содержащие ПФОК и родственные составы, и, в меньшей степени, через попадание на кожу. (ЕСНА, 2013a; Post et al., 2009; Shoeib et al., 2015; Wilhelm et al., 2010; Schwanz et al., 2015; D'Hollander et al., 2015; Eriksson et al., 2013; Carlsson et al., 2014; Yamada et al., 2014). Воздух и пыль закрытых помещений также являются важным источником воздействия ПФОК на человека (Haug et al., 2011; Gebbink et al., 2015). Затем ПФОК концентрируется в крови, печени, почках и легких (ЕСНА, 2013a).
95. Некоторые исследования показывают, что уровни ПФОК повышаются с увеличением возраста (Haug et al., 2010, 2011; Christensen et al., 2016), и что грудное вскармливание, рацион и внутренняя среда являются важными факторами для воздействия ПФОК, которые необходимо учитывать при оценке воздействия на здоровье человека и накопления ПФОК (Haug et al., 2010, 2011; Brantsater et al. 2013; ЕСНА, 2013a).
96. Поступление с пищей, включая воду, считается наиболее важным путем воздействия ПФОК на человека, исходя из исследований, проведенных в различных странах. Имеются свидетельства того, что у детей такое поступление выше (Vestergren et al., 2008; Haug et al., 2010, 2011; Thompson et al., 2011b; Cornelis et al., 2012, Shan et al., 2016). Принимая это во внимание, помимо прочего, АООС США издало бессрочную рекомендацию в области здравоохранения об общем содержании ПФОК/ПФОС в питьевой воде в размере 0,07 микрограммов на литр (мкг/л), исходя из референтной дозы (РД), полученной в результате исследования отдаленной токсичности у мышей (US EPA, 2016b).
97. Вопрос о воздействии на человека через потребительские товары был рассмотрен в исследовании Vestergren et al. (2015), в котором смоделированы выбросы из потребительских товаров, импортируемых из Китая, и считают, что 1,5% ПФОК, сбрасываемых в сточные воды, и 0,3% выбросов 8:2 ФТС в атмосферу в Норвегии могут быть связаны с этой продукцией, импортированной в Норвегию.
98. Анализ образцов сыворотки свидетельствуют о том, что ПФОК может быть обнаружена у населения в целом в различных странах (Emmett et al. 2006; Vestergren and Cousins, 2009; Fromme et al., 2009; Health Canada, 2013; CDC, 2015; Cho et al., 2015; Góralczyk et al., 2015; Wuttke et al., 2013; Vorkamp et al., 2014).
99. На основе существующих исследований концентраций ПФОК в сыворотке/плазме европейского взрослого населения в целом и детей во всем мире среднее медианное (и максимальное) содержание ПФОК в сыворотке было зафиксировано на уровне 3,5 (21) нг/мл и 6,4 (108) нг/мл для европейского взрослого населения и детей во всем мире, соответственно (ЕСНА, 2015a; также см. перечень исследований в документе UNEP/POPS/POPRC.12/INF/5)<sup>6</sup>.
100. Концентрации ПФОК в сыворотке крови и плазме у европейского населения, по оценкам, находились в диапазоне от <0,5 до 40 мкг/мл (Fromme et al., 2009; Vestergren and Cousins, 2009). ПФОК была также обнаружена у американского и канадского населения в целом, включая детей в Нунавике, а также канадцев, живущих в резервациях, со средним геометрическим значением концентраций в диапазоне от 1,39 до 2,5 мкг/л (Health Canada, 2013; Wuttke et al., 2013 АМАР, 2015; CDC, 2015). Уровни ПФОК были также обнаружены у людей во всей околополярной Арктике, а в некоторых странах, таких как Исландия и Норвегия, уровни ПФОК у групп населения, среди которых проводились исследования, были одними из самых высоких по сравнению с другими СОЗ (АМАР, 2015). В ходе проводившегося в США исследования среди пожилых мужчин-рыболовов были обнаружены уровни ПФОК в сыворотке, аналогичные уровням населения в целом, а увеличение возраста и потребление алкоголя были отмечены в качестве факторов прогнозирования уровней ПФОК (Christensen et al., 2016). Ряд исследований свидетельствуют о том, что концентрации ПФОК среди взрослого населения Австралии и беременных женщин в Дании снизились с течением времени (Toms et al., 2014; Bjerregaard-Olesen et al., 2016) и что концентрации ПФОК у австралийских женщин детородного возраста были выше, чем в Германии и США (Toms et al., 2014).

<sup>5</sup> Косвенное воздействие на человека через окружающую среду может происходить в результате потребления продуктов питания (рыба, зерновые, мясо и молоко) и питьевой воды, а также вдыхания воздуха (ЕСНА, 2012).

<sup>6</sup> Следует отметить, что для расчета среднего медианного (и максимального) уровней ПФОК в сыворотке, указанных в ЕСНА, 2015a, в расчеты было включено одно выпадающее значение из исследования Mondal et al., (2012). При удалении этого выпадающего значения средние медианные (и максимальные) уровни ПФОК в сыворотке у детей составляют 2,52 нг/мл (15,9 нг/мл).



101. Имеется несколько сообщений о выявленных уровнях ПФОК в сыворотке у работников, подвергающихся профессиональному воздействию (Guruge et al., 2005; Fromme et al., 2009; Freberg et al., 2010; Nilsson et al., 2010b). Домашняя пыль и общие концентрации взвешенных частиц, как представляется, являются важными путями профессионального воздействия при производстве фторхимической продукции, а также считаются актуальным в бытовой среде (Gao et al., 2015; Eriksson and Kärgman, 2015; Tian et al., 2016). В некоторых случаях повышенные уровни содержания ПФОК в сыворотке можно в значительной степени объяснить воздействием родственных ПФОК составов, таких как 8:2 ФТС (Nilsson et al., 2010a, 2010b). Лица, живущие вблизи предприятий по производству фторхимической продукции, имеют более высокие уровни ПФОК, чем население в целом (Emmett et al., 2006; Oliaei et al., 2013; Hoffman et al., 2011).

102. Матери выделяют ПФОК через грудное молоко, которое считается важным источником воздействия на младенцев, вскармливаемых материнским молоком, уровень воздействия ПФОК на которых значительно выше, чем на взрослое население (Naug et al., 2011). ПФОК также передается плоду через плаценту, и сообщается, что разветвленные изомеры ПФОК проходят через плаценту более эффективно, чем линейные изомеры (Beeson et al. 2011). Временной интервал между беременностями, как было продемонстрировано, тесно связан с высокими концентрациями ПФОК у беременных женщин, что возможно, отражает повторное накопление ПФОК в материнской крови с увеличением времени между беременностями (Brantsæter et al., 2013). В результате внутриутробного воздействия и воздействия от грудного молока и питьевой воды дети до 12 лет имеют более высокие концентрации ПФОК в сыворотке, чем их матери (Mondal et al., 2012). Грудное вскармливание является важным путем воздействия ПФОК, равно как и трансплацентарное прохождение (Umweltbundesamt AT, 2012, 2013; Cariou et al., 2015; Forns et al., 2015; Papadopoulou et al., 2015; Hanssen et al., 2013; Mogensen et al., 2015, Brantsæter et al., 2013).

103. Исследования, касающиеся грудного вскармливания, проведенные в Иордании, Испании и Италии, показывают, что уровни ПФОК выше у женщин старшего возраста, и что происходит передача большего объема ПФУ во время грудного вскармливания первородящими и, таким образом, более высокое воздействие этих загрязнителей на первого ребенка (Al-sheyab et al., 2015; Motas Guzmàn et al., 2016; Barbarossa et al., 2013).

104. В недавнем исследовании сообщается об обнаружении ПФОК в 27 из 30 проб человеческих волос, при этом концентрации ПФОК находятся в диапазоне от 25-74 пг/г волос и в среднем 46 пг/г волос (Alves et al., 2015).

105. Выведение ПФОК из организма человека происходит весьма медленными темпами, по сравнению с другими видами, такими как грызуны, свиньи и обезьяны (Olsen et al., 2007; Numata et al., 2014), при этом период полураспада составляет от 2 до 4 лет (ЕСНА, 2014a; Olsen et al., 2007; Russell et al., 2015; Bartell et al., 2010; Han et al., 2012).

106. Более подробная информация приводится в разделе 2.3.2 документа UNEP/POPS/POPRC.12/INF/5.

#### **Сводная информация по воздействию на человека**

107. Воздействие на человека, как правило, происходит через окружающую среду посредством потребления питьевой воды и продуктов питания через поглощение загрязненного воздуха и пыли закрытых помещений или через потребительские продукты, содержащие ПФОК, ее соли и родственные составы. ПФОК была обнаружена в организме человека в крови и материнском молоке в различных странах. Новорожденные дети подвержены воздействию ПФОК через грудное вскармливание или трансплацентарное прохождение, и было установлено, что у людей, проживающих вблизи объектов по производству фторполимеров, более высокие уровни содержания ПФОК в сыворотке, чем у населения в целом. Имеются свидетельства того, что уровни содержания ПФОК в организме человека накапливаются и увеличиваются с возрастом. Выведение ПФОК из организма человека происходит весьма медленными темпами по сравнению с другими видами; средний период полураспада составляет от 2 до 4 лет.

## **2.4 Оценка опасности по значимым конечным точкам**

### **Неблагоприятное воздействие на водные организмы**

108. Согласно некоторым источникам информации имеющиеся в настоящее время данные по ПФОК указывают на определенное негативное воздействие на ряд водных организмов. Как правило, острая токсичность в водной среде незначительна в стандартных испытаниях на

этокотоксичность (NICNAS, 2015a); острая токсичность, от умеренной до низкой, наблюдается в пелагических организмах, включая рыб, и низкий уровень хронической токсичности – в бентических организмах (Environment Canada and Health Canada, 2012). Негативные последствия включают в себя межпоколенческую токсичность в первом поколении потомства (Ji et al., 2008) и некоторую токсичность под воздействием ПФОК в пресноводных водорослях (Elnabarawy et al., 1981; Ward et al., 1995a, 1995b, 1996a, 1996b, 1996c; Boudreau, 2002; Thompson et al., 2004 цитируется по Environment Canada and Health Canada, 2012; Latała et al., 2009) и других водных организмах (3M Company 1987a, 1990a, 1996a, b, c; Beach 1995a цитируется по Environment and Health Canada 2012). Кроме того, было отмечено воздействие ПФОК на развитие рыб, в частности на репродуктивную систему (Ulhaq et al. 2015; Wei et al., 2007; Wei et al., 2008). Исследования на других водных организмах, таких как мужские особи тилапии, морские моллюски, байкальская нерпа, показали эстрогенное воздействие, гепатотоксичность, воспаление и чувствительность к химическому воздействию (Liu et al., 2007; Stevenson et al., 2006; Ishibashi et al., 2008). Полевые исследования, касающиеся воздействия ПФОК на иммунную функцию и клинические параметры крови дельфинов и морских черепах показали увеличение показателей воспаления и иммунитета (Peden-Adams et al., 2004a, 2004b). Также был отмечен рост провоспалительных реакций у мужских особей медки японской (Yang, 2010). Активация рецептора  $\alpha$ , активирующего пролиферацию пероксисом, была выявлена у байкальской нерпы (Ishibashi et al., 2008b). Имеющиеся данные указывают на то, что ПФОК может усугубить негативные последствия, вызванные некоторыми видами пестицидов (Rodea-Palomares et al., 2015).

### **Неблагоприятное воздействие на наземные организмы**

109. Последствия неоднократного перорального воздействия ПФОК были исследованы на мышах (Loveless et al., 2006; Christopher and Marisa, 1977; Griffith and Long, 1980; Lau et al., 2006; Macon et al., 2011; Abbott et al., 2007; Wolf et al., 2007), крысах (Metrick and Marisa, 1977; Griffith and Long, 1980; Goldenthal, 1978; Palazzolo, 1993; Biegel et al., 2001; Perkins et al., 2004) и обезьянах (Goldenthal, 1978b; Griffith and Long, 1980; Thomford, 2001; Butenhoff et al., 2002). Гепатоцеллюлярная гипертрофия наблюдались у всех видов. При более низких дозах были отмечены снижение массы тела, а также увеличение массы печени и почек. Кроме того, сообщалось о дистрофии и/или фокальном и мультифокальном некрозе при повышении степени тяжести и при дозах от 1,5 до 15 мг/кг мт/сут у крыс и мышей. Смертность наблюдалось при высоких дозах (ЕСНА, 2015a).

110. Уровни, не вызывающие видимого неблагоприятного воздействия, и минимальные уровни, вызывающие видимое неблагоприятное воздействие (УНВНВ и МУВНВ, соответственно), были установлены на основе критических и соответствующих исследований для наблюдаемых последствий. УНВНВ и МУВНВ при увеличении массы печени и гепатоцеллюлярной гипертрофии на основании исследований субхронической токсичности на крысах составляют 0,056 мг/кг мт/сут и 0,64 мг/кг мт/сут, соответственно (ЕСНА, 2015a; Perkins et al., 2004). МУВНВ токсического воздействия на материнский организм составил 1 мг/кг мт/сут с учетом увеличения массы печени, исходя из исследования отдаленной токсичности у мышей КД-1 (Macon et al. 2011). White et al. (2009) определили МУВНВ равным 1,0 мг/кг мт/сут при замедленном развитии молочных желез F1 (первое поколение потомства). Abbott et al. (2007) рассчитали УНВНВ равным 0,3 мг/кг мт/сут для неонатального выживания на основе воздействия на стадиях развития у мышей.

111. Токсикологические исследования на крысах показывают, что ПФОК снижает липиды в сыворотке, при этом увеличивая триглицериды печени, вероятно, за счет активации рецептора  $\alpha$ , активирующего пролиферацию пероксисом (PPAR $\alpha$ ) (Haugom and Spydevold, 1992; Bjork et al., 2011). Проведенное Butenhoff et al. исследование показало зависящее от дозы увеличение в сыворотке триглицеридов у обезьян и лишь умеренное и незначительное снижение уровня холестерина с увеличением ПФОК (Butenhoff et al., 2002).

112. Начало образования опухолей было продемонстрировано у крыс, подвергшихся воздействию ПФОК. У крыс, хронически подвергавшихся воздействию ПФОК, увеличилось число случаев аденомы печени, гиперплазии/аденомы из клеток Лейдига, опухоли ацинарной клетки поджелудочной железы у мужских особей крыс линии Спрег-Доули (Biegel et al., 2001). Фиброаденома молочной железы у женских особей крыс наблюдалась в другом исследовании хронического воздействия ПФОК, хотя это наблюдение с тех пор было оспорено после того, как независимая группа патологоанатомов (Рабочая группа патологоанатомов) повторно рассмотрела ткань и пришла к консенсусу, что хроническое воздействие ПФОК не влияет на число случаев образования опухолей молочных желез (Hardisty et al., 2010; Butenhoff et al., 2012).

113. Исследования на животных продемонстрировали, что ПФОК увеличивает число случаев полной потери потомства, послеродовой смертности, снижает массу плода, замедляет оссификацию, изменяет развитие молочных желез и замедляет созревание в ходе нескольких исследований внутриутробного развития у мышей (и некоторых у крыс) в зависимости от линии, дозы, времени и продолжительности воздействия (Lau et al., 2006; Abbott et al., 2007; Macon et al., 2011; White et al., 2007, 2009, 2011; Wolf et al., 2007; Yang et al., 2009; Zhao et al., 2012b; Dixon et al., 2012, Suh et al., 2011; Albrecht et al., 2013). НУНВВ токсического воздействия на материнский организм был определен равным 1 мг/кг мт/сут, а УННВВ для неонатального выживания составил 0,3 мг/кг мт/сут (Lau et al., 2006; Abbott et al., 2007). Национальный институт изучения санитарного состояния окружающей среды (США) рассмотрел доказательства воздействия ПФОК на рост плода у животных, и авторы пришли к выводу, что имеются достаточные доказательства сокращения роста плода у не относящихся к человеку млекопитающих (Koustas et al., 2014).

114. Были продемонстрированы последствия воздействия ПФОК на стадии беременности на развитие молочных желез у кормящих самок и женских особей крысят (White et al., 2007, 2009). Было установлено, что при воздействии в критический период предрасположенности (GD 10-17) ПФОК вызывает изменения в развитии молочных желез у потомства мышей линии CD-1 (Macon et al., 2011). Кроме того, хроническое воздействие малых доз ПФОК сокращает развитие молочных желез F<sub>1</sub> и F<sub>2</sub> (Yang et al. 2009). Zhao et al. (2010) отметили, что ПФОК стимулирует развитие молочных желез у мышей линии C57BL/6. Некоторым из наблюдаемых индуцированных ПФОК последствий для развития организма/репродуктивной системы может содействовать PPAR $\alpha$  (Zhao et al., 2012b; Albrecht et al., 2013). Вместе с тем было отмечено, что индуцированные ПФОК изменения в развитии молочных желез может зависеть от выработки стероидов в яичниках и независимо от PPAR $\alpha$  (Zhao et al., 2010).

115. Существуют исследования, говорящие о том, что ПФОК может изменять выработку стероидных гормонов или действовать косвенно, воздействуя на яичники в качестве средства нарушения работы эндокринной системы (Zhao et al., 2010, 2012b; York, 2002; Butenhoff et al., 2004; Suh et al., 2011; Hines et al., 2009). ПФОК, как сообщалось, изменяет половое созревание и пубертатные сроки у женских и мужских потомств крыс и многих линий мышей (York, 2002; Butenhoff et al., 2004, Yang et al., 2009; Dixon et al. 2012), что указывает на нарушение нормального регулирования стероидных гормонов. Кроме того, торможение экспрессии генов плацентарных гормонов пролактина наблюдалось в плаценте мышей, подвергавшихся воздействию ПФОК в периоды беременности (Suh et al., 2011).

116. Существуют свидетельства того, что воздействие на иммунную систему происходит при содействии ПФОК. Краткосрочное пищевое воздействие ПФОК привело к сокращению веса вилочковой железы, уменьшению числа клеток вилочковой железы и спленоцитов и подавляло синтез антител IgM у мышей линии C57BL/6 (DeWitt et al., 2008; DeWitt et al., 2009; Qazi et al., 2009). Взрослое потомство, подвергавшееся воздействию ПФОК, которая давалась самкам, начиная с беременности до лактации, демонстрировало изменения иммунных реакций, например редукцию Т-клеток селезенки и производство IL-10 из этих клеток (Hu et al., 2012). Было также обнаружено, что ПФОК увеличивает выброс гистамина из тучных клеток, а также усиливает IgE-опосредованную местную аллергическую реакцию у мышей (Singh et al., 2012). И наконец, подавление опосредованного Т-клетками иммунитета у Т-лимфоциты у японского перепела наблюдалось после воздействия ПФОК через питьевую воду в течение восьми недель (Smits and Nain, 2013).

117. Авторы справочного документа для ограничения ПФОК (ЕСНА, 2015а) подчеркивают важность оценки исследований на мышах вместо исследований на крысах в качестве основы для установления ПУВВ в тех случаях, когда это основывается на исследованиях на животных из-за более длительного периода полураспада ПФОК у мышей по сравнению с крысами.

118. Исследования на курах не показали важных результатов, таких как изменения в успехе эмбрионального вылупления в биохимических показателях при концентрациях до 10 мкг/г сырой массы эмбриона и дозах до 1,0 мг/кг мт в течение 3 недель (O'Brien et al., 2009; Yeung et al., 2009). Однако недавнее исследование отметило нарушение развития под воздействием токсичности (а именно пониженную выживаемость эмбриона) от ПФОК у баклана (*Phalacrocorax carbo sinensis*), серебристой чайки (*Larus argentatus*) и домашнего белого леггорна (*Gallus gallus domesticus*), при этом куры являются наиболее чувствительным видом (Nordén et al., 2016).

119. Почвенные кольчатые черви *Caenorhabditis elegans* показали летальные последствия при концентрациях ЭК<sub>50</sub> равных 3,85 мМ после 1 часа воздействия и 2,35 мМ после 48 часов воздействия (Tomimaga et al., 2004).
120. Исследования на наземных растениях, таких как салат латук (*Lactuca sativa*), огурцы (*Cucumis sativus*) и капуста китайская (*Brassica rapa chinensis*), яровая пшеница, овес, картофель, кукуруза и многолетний райграс, показали зависящие от вида неблагоприятные последствия (например, рост корней и некроз) при содействии ПФОК (Li, 2008; Stahl et al., 2009).
121. ПФОК в первую очередь обнаружена в печени биоты, например у белых медведей и тюленей (Martin et al., 2004; Smithwick et al., 2005; Dietz et al., 2007; Sonne et al., 2008; Butt et al., 2007; Ishibashi et al., 2008), но неблагоприятные последствия ПФОК в такой биоте еще не освещены. Ishibashi et al. (2008) показали активацию PPAR $\alpha$  в печени байкальской нерпы, но о ПФОК-опосредованном негативном воздействии на печень не сообщалось. Кроме того, Sonne et al. (2008) пришли к выводу о том, что неясно, связано ли хроническое воздействие ПФОК с поражениями печени у белых медведей, но возможно, что при достаточной концентрации в организме белого медведя ПФОК может вызвать изменения печени.
122. Министерство охраны окружающей среды Канады и министерство здравоохранения Канады (2012) пришли к выводу о том, что коэффициенты риска (ПКОС/ПКНВ) указывают на низкую вероятность рисков для пелагических организмов, диких видов млекопитающих от воздействия при существующих концентрациях в окружающей среде. Однако, согласно ЕСНА (2014), свойства стойких, биоаккумулятивных и токсичных (СБТ) химических веществ создают неопределенность в оценке риска для окружающей среды и здоровья человека при проведении количественной оценки риска. ЕСНА заявило, что при использовании имеющихся в настоящее время методов «безопасную» концентрацию в окружающей среде невозможно определить в количественном выражении с достаточной степенью достоверности для определения приемлемого уровня риска. Кроме того, в силу стойкости данного вещества, его тенденции к накоплению и биоусилению в организме различных земных и морских млекопитающих, его гепатотоксичности и растущей тенденции во времени для концентраций ПФОК у белых медведей и некоторых других видов, концентрации ПФОК у белых медведей могут приближаться к воздействию, наносящему вред. Действительно, анализ тенденции во времени свидетельствует о ежегодном увеличении на 2,3% уровней ПФОК у белых медведей Восточной Гренландии с 1984 по 2006 год (Dietz et al., 2007).
123. Подробная информация о неблагоприятном воздействии на водные и наземные организмы приводится в справочном документе (см. раздел 2.4 документа UNEP/POPS/POPRC.12/INF/5).

#### **Сводная информация по экотоксическому воздействию**

124. Острая токсичность в водной среде незначительна в стандартных испытаниях на экотоксичность; острая токсичность, от умеренной до низкой, наблюдается в пелагических организмах, включая рыб, и низкий уровень хронической токсичности – в бентических организмах. Негативные последствия включают в себя межпоколенческую токсичность у первого поколения потомства и некоторую ПФОК-опосредованную токсичность у пресноводных водорослей и других водных организмов.
125. Имеются экспериментальные данные о наземных организмах, показывающие способность ПФОК вызывать изменения печени, эндокринные нарушения, токсичности для развивающегося организма и формирования опухолей. Негативные последствия включают в себя изменения полового созревания и пубертатных сроков, изменения в развитии молочных желез, а также начало образования различных опухолей. Существуют некоторые свидетельства ПФОК-опосредованной иммуномодуляции. В растениях, ПФОК может вызывать заметные аномалии и изменять рост корней. В связи с тенденцией ПФОК к биоаккумуляции, концентрации ПФОК у белых медведей может возрасти с течением времени и могут приближаться к воздействию, наносящему вред.

#### **Неблагоприятное воздействие на здоровье человека**

126. Токсичность ПФОК была оценена ЕХА, АООС США, канадскими министерствами и EFSA (ЕСНА, 2011, 2015a; Environment Canada and Health Canada, 2012; US EPA, 2006, 2016b; EFSA, 2008). В Европейском союзе ПФОК имеет юридически обязывающую согласованную классификацию «Канцерогенность 2, репродуктивная токсичность 1В и специфическая избирательная токсичность при многократном воздействии 1 (печень)» согласно Регламенту (ЕС) № 944/2013).

127. ПФОК легко абсорбируется после воздействия (при проглатывании) и накапливается в сыворотке и интенсивно перфузированных органах, в основном в печени и почках, ввиду того, что ПФОК главным образом связывается с белками в крови. ПФОК не подвергается метаболизму или биотрансформации в организме (Environment Canada and Health Canada, 2012; Post et al., 2012). Как упоминалось ранее, период полураспада ПФОК в организме человека является длительным и составляет от 2 до 4 лет (Olsen et al., 2007; Russell et al., 2015).

128. Исследования на животных продемонстрировали начало образования опухолей при содействии ПФОК или АСПФОК, и было высказано предположение о том, что активация в печени PPAR $\alpha$  может являться механизмом начала образования опухолей печени (Klaunig et al., 2003). Однако способ действия с использованием PPAR-агонистов, предложенный для опухолей печени, семенников и поджелудочной железы у крыс, может оказаться неактуальным для человека. Однако актуальность для человека не была окончательно определена в соответствии с установленными рамками десять лет назад (Meek et al., 2003; Boobis et al., 2006), и соединения ПФОК также не проверялись на возможность их канцерогенного воздействия на каких-либо лабораторных животных, помимо крыс (Environment Canada and Health Canada, 2012). Поэтому Комитет по оценке рисков ЕХА пришел к выводу о том, что данные о способе действий не являются достаточными, чтобы сделать вывод о том, что вызываемые АСПФОК опухоли у животных не являются актуальными для людей, и, следовательно, ПФОК классифицируется как Канц. 2. Основываясь на ограниченных данных о том, что в организме человека ПФОК является причиной рака яичка и почки, а также на ограниченных данных о подопытных животных, МАИР классифицировало ПФОК как вещество группы 2В (возможно канцерогенное для человека) (Benbrahim-Tallaa et al., 2014; IARC, 2016).

129. Известно, что ПФОК передается зародышу через пуповинную кровь и новорожденному через грудное молоко. Развивающиеся зародыши и новорожденные особенно чувствительны к вызванной ПФОК токсичности (US EPA 2016b). Позитивная связь в уровне ПФОК между пробам материнской и пуповинной крови отмечались в нескольких групповых исследованиях деторождения в Испании и Норвегии (Manzano-Salgado et al., 2015; Gutzkow et al., 2012). Поскольку АСПФОК передается младенцам через грудное вскармливание, КОР согласился на дополнительную классификацию воздействия ПФОК через лактацию (КМУ: лакт. Н362: «Может быть вреден детям, находящимся на грудном вскармливании») (ЕСНА, 2011).

#### Эпидемиологические исследования

130. В ходе нескольких исследований были изучены воздействие и связанное с ним влияние на здоровье рабочих и различных групп населения. Одним из самых широких эпидемиологических исследований, касающихся ПФОК в организме человека, является проект С8 Health Project, общенациональное медицинское исследование для оценки наличия или отсутствия вероятной связи между воздействием С8 и заболеваниями в общинах. Со справочной информацией, лежащей в основе проекта С8 Health Project, можно ознакомиться в онлайн-режиме (С8 Science Panel, 2013).

131. Воздействие ПФОК и повышенные уровни холестерина (например, гиперхолестеринемия), а также другие параметры липидов (например, мочевой кислоты, липидов в сыворотке) были позитивно связаны в исследованиях с участием рабочих, подвергающихся в высокой степени воздействию (Steenland et al., 2009; Steenland et al., 2010a; Frisbee et al., 2010; Fitz-Simon et al., 2013), населения в целом (Eriksen et al., 2013; Nelson et al., 2010) и детей, особенно мальчиков (Qin et al., 2016).

132. Имеются также данные из проекта С8 Health Project, позволяющие предположить возможные связи между воздействием ПФОК и повышенным риском рака яичек и/или рака почки (Bargy et al., 2013; Vieira et al., 2013; Steenland, 2012). Существует несколько докладов, в которых не наблюдалась значимая связь между воздействием ПФОК и риском раковых заболеваний человека (Chang et al., 2014; Leonard et al., 2008). В исследовании Эриксона признается возможность ошибки классификации в отношении воздействия, связанного с данным проявлением (Eriksen et al., 2009). Согласно IARC (2016), существует ограниченное число свидетельств канцерогенности ПФОК для людей. Наблюдалась позитивная связь с раком яичек и почки.

133. Язвенный колит, ревматоидный артрит были позитивно связаны с воздействием ПФОК среди рабочих (Steenland et al., 2015).

134. Негативные репродуктивные последствия были зарегистрированы в ряде эпидемиологических исследований. Позитивная связь между уровнями ПФОК в сыворотке и показателем менопаузы была зарегистрирована в ряде исследований таким образом, что

женщины в самом высоком квинтиле воздействия ПФОК имеют более высокую вероятность испытать более раннюю менопаузу (Taylor et al., 2013; Knox et al., 2011a), но было высказано предположение об обратной причинности, т.е. повышение уровня ПФОК в результате более ранней менопаузы (Dhingra et al. 2016a, 2016b). Это позволило бы предположить, что женщины, испытывающие более раннюю менопаузу, могут быть подвержены риску повышенного содержания ПФОК в организме. Другое исследование в Канаде, в котором участвовали свыше 1700 женщин, продемонстрировало возможное снижение плодovitости у женщин с более высоким уровнем ПФОК в плазме (Velez et al., 2015). ПФОК в сыворотке позитивно связана с вызываемой беременностью гипертензией (Darrow et al., 2013), а преэклампсия слабо связана с уровнем ПФОК (Savitz et al., 2012; Stein et al., 2009). Повышенные уровни содержания ПФОК в сыворотке крови были выявлены у пациентов с синдромом поликистоза яичников (Vagi et al., 2014).

135. Воздействие на развитие организма человека может быть связано с воздействием ПФОК. С одной стороны, обратная связь между ПФОК и массой тела при рождении, индексом тела и окружностью головы отмечалась в нескольких групповых исследованиях матери и ребенка (Fei et al., 2007; Apelberg et al., 2007; Maisonet et al., 2012; Chen et al., 2012, Wu et al., 2012; Whitworth et al., 2012a). Новая методология мета-анализа была применена для рассмотрения доказательств 9 исследований человека, и итоги этого мета-анализа показали, что имеются достаточные доказательства, позволяющие предположить, что воздействие ПФОК на стадиях развития снижает рост плода (Johnson et al., 2014; Lam et al., 2014). С другой стороны, у матерей детей с низкой массой тела при рождении, возможно, была изменена почечная функция, таким образом, что происходит сокращение увеличения объема плазмы, что в результате приводит к снижению выведения ПФОК через клубочковую фильтрацию (Whitworth et al., 2012b; Verner et al., 2015; Sagiv et al., 2015). Кроме того, существуют и другие исследования, которые сообщили об отсутствии значимой связи между уровнями ПФОК в материнской сыворотке и массой тела при рождении (Washino et al., 2009; Stein et al., 2009; Monroy et al., 2008; Hamm et al., 2010).

136. Другие зарегистрированные негативные последствия наблюдаемые у детей и подростков, связанные с более высоким уровнем ПФОК в сыворотке, включают нарушение неврологического развития (см. ниже), ожирение (Halldorsson et al., 2012 ; Braun et al., 2016), дислипидемию (Geiger et al., 2014), изменение почечной функции (Kataria et al., 2015), сокращение гуморальной иммунной реакции (Grandjean et al., 2012; Grandjean and Budtz-Jørgensen, 2013), низкие уровни инсулиноподобного фактора роста 1 и половых гормонов (Lopez-Espinosa et al., 2016), более высокую вероятность самостоятельно представляемых данных о пищевых аллергиях (Buser and Scinicariello, 2016) и более поздний возраст полового созревания у девочек (Lopez-Espinosa et al., 2011; Holtcamp, 2012).

#### **Нейротоксичность для человека**

137. Нарушения неврологического развития связаны с ПФОК. Обратная зависимость между пренатальными концентрациями ПФОК у матерей и неврологическим развитием, определяемая при помощи индекса психического развития (ИПР) у детей женского пола (не мужского пола) в возрасте 6 месяцев наблюдалась в японском групповом исследовании деторождения (Хоккайдо). Однако эта взаимосвязь не наблюдалась у детей в возрасте 18 месяцев (Goudarzi et al., 2016). Кроме того, никакой связи между уровнями ПФОК и массой тела при рождении не наблюдалось в том же групповом исследовании (Washino et al., 2009). Отмечалась статистически значимая обратная связь между ПФОК и нарушениями памяти (Gallo et al., 2013). С другой стороны, есть исследования, в которых не отмечалась связь между воздействием ПФОК и нарушением неврологического развития или поведения (Chen et al., 2013; Stein et al., 2013).

**Иммунотоксичность**

138. В рамках проводимой Национальным институтом гигиены окружающей среды США Национальной токсикологической программы (НТП) систематически проводится обзор и оценка свидетельств воздействия ПФОС или ПФОК и связанного с иммунитетом влияния на здоровье человека с целью определения того, связано ли воздействие какого-либо из этих химических веществ с иммунотоксичностью для людей. Исходя из данных о воздействии на здоровье, полученных в результате 33 исследований на людях, 93 исследований на животных и 27 исследований в лабораторных условиях/механистических исследований, имеющих отношение к достижению данной цели, НТП в июне 2016 года опубликовала проект своих выводов, придя к заключению, что ПФОК предположительно представляет опасность для иммунитета человека. Данное заключение НТП было основано в первую очередь на свидетельствах подавления гуморальной иммунной реакции и повышенной гиперчувствительности, а также на дополнительных свидетельствах, полученных в первую очередь в результате эпидемиологических исследований, того, что ПФОК вызывает снижение сопротивляемости инфекционным заболеваниям и повышение числа аутоиммунных заболеваний (US NIEHS, 2016).

139. Снижение гуморальной иммунной реакции наблюдалось в нескольких исследованиях (Grandjean et al, 2012; Looker et al, 2014; 2015) Kielsen et al. В частности, повышенные уровни содержания ПФОК в сыворотке связаны с ограниченным увеличением титра антител, особенно к вирусу гриппа А/Н3N2, и повышенным риском недостижения защитного порогового уровня концентрации антител (Looker et al., 2014). В датском национальном групповом исследовании деторождения сообщалось, что пренатальное воздействие ПФОК не связано с повышенным риском инфекционных заболеваний, ведущих к госпитализации в раннем детстве; однако в тех случаях, когда анализ был стратифицирован по гендерному признаку, девочки продемонстрировали несколько более высокий риск госпитализации в связи с инфекциями, связанными с более высокими уровнями материнской ПФОК (коэффициент частоты заболеваний, равный 1,74, в самом верхнем квартиле по сравнению с самым низким) (Fei et al., 2010).

140. На основе данных исследования иммунотоксичности у детей (Grandjean et al., 2012), значения нижних границ контрольных доз (НГКД) рассчитывались приблизительно на уровне 0,3 нг/мл для ПФОК в плане снижения концентрации отдельных антител в сыворотке. С использованием коэффициента неопределенности равного десяти, учитывая индивидуальную предрасположенность, НГКД составят при референтной дозе концентрации в сыворотке около или менее 0,1 нг/мл.

**Эндокринные нарушения**

141. Результаты исследований, как представляется, свидетельствуют о ПФОК-опосредованном воздействии на эндокринную систему. Пренатальное воздействие ПФОК может изменять концентрации тестостерона у самок (Maisonet et al., 2015), кроме того обратная зависимость между рецептором паратиреоидного гормона 2 (PTH2R) и воздействием ПФОК была зафиксирована в исследовании 189 женщин (Galloway et al., 2015). Что касается мужчин, исследование, проведенное La Rocca et al. (2015), зафиксировало обратную зависимость между уровнем ПФОК в сыворотке у мужчин и экспрессией ядерных рецепторов, таких как рецепторы эстрогена и андрогенные рецепторы. Кроме того, в рамках проекта С8 Health Project было отмечено раннее наступление менопаузы у женщин с высоким уровнем ПФОК (Knox et al., 2011a, 2011b).

142. ПФОК участвовала в том, что действовала в качестве так называемого обесогена, аналогичного другим соединениям, нарушающим работу эндокринной системы, который может действовать непосредственно на лиганды рецепторов ядерных гормонов или влиять на элементы метаболических сигнальных путей. Перспективное групповое исследование с участием людей показало взаимосвязь между воздействием малых доз ПФОК на 655 датских беременных женщин и последствиями, приводящими к ожирению у их детей в возрасте 20 лет. Материнские концентрации ПФОК имели позитивную связь с сывороточным инсулином и имели обратную связь с уровнями адипонектина у женского потомства (Halldorsson et al., 2012). С другой стороны, проект С8 Health Project пришел к выводу о том, что воздействие ПФОК в начале жизни не связано с риском избыточного веса и ожирения во взрослом возрасте (Bary et al., 2014).

143. Данные нескольких эпидемиологических исследований, как представляется, предполагают наличие связи между воздействием ПФОК и изменениями в различных гормонах щитовидной железы, ведущей к изменению функции щитовидной железы, вызывающей

заболевания щитовидной железы, такие как гипотиреоз или гипертиреозидизм (Shrestha et al., 2015; Lopez-Espinosa et al., 2012; Knox et al., 2011b; Kim et al., 2011; Melzer et al., 2010; C8 Science Panel, 2013; Yang et al., 2016). Однако также проводились исследования, в которых отмечалась непоследовательность данных о связи между воздействием ПФОК и заболеваниями щитовидной железы (т.е. обратная связь между субклиническим гипертиреозидизмом и ПФОК или отсутствие связи между гипертиреозидизмом и ПФОК) (как это кратко изложено в Steenland et al., 2010b and C8 Science Panel, 2013).

144. Способность ПФОК влиять на трансактивность рецептора эстрогена (РЭ) и андрогенного рецептора (АР), а также на активность ароматазы, были проанализированы в ходе исследований *in vitro*, и было продемонстрировано, что ПФОК значительно стимулировала трансактивность РЭ, но противодействовала активности АР в зависимости от концентрации. Кроме того, в тех случаях, когда ПФОК смешивалась с шестью другими ПФУ, отмечалось, что смесь оказывает большее воздействие на функции АР, чем добавка, что подчеркивает важность рассмотрения совокупного действия ПФУ при оценке соответствующих рисков для здоровья (Kjeldsen and Bonefeld-Jørgensen, 2013).

145. Согласно исследованию Su et al., (2016) ПФОК продемонстрировала потенциальный защитный эффект в отношении непереносимости глюкозы и риска диабета.

146. Подробная информация о неблагоприятном воздействии на здоровье человека приводится в справочном документе (см. раздел 2.4 документа UNEP/POPS/POPRC.12/INF/5).

### **Сводная информация о вредных воздействиях на здоровье человека**

147. ПФОК получила классификацию «Канцерогенность 2, репродуктивная токсичность 1В и специфическая избирательная токсичность при многократном воздействии 1 (печень)» согласно Регламенту (ЕС) № 944/2013. МАИР также классифицировал ПФОК как вещество группы 2В (вероятно канцерогенное для человека). Имеются сообщения о неблагоприятных последствиях для здоровья (таких как повышенный уровень холестерина, изменения репродуктивной системы/развития плода, эндокринные нарушения, нарушения неврологического развития), а также о повышенном риске возникновения рака, связанный с воздействием ПФОК на человека. Научные данные продемонстрировали опосредованную ПФОК иммунотоксичность, в первую очередь подавление гуморальной иммунной реакции, у людей. Хотя выводы являются ограниченными, сообщения о неблагоприятных последствиях для здоровья предполагают дополнительные проблемы в области общественного здоровья.

## **3. Обобщение информации**

148. ПФОК производится с 1947 года и в настоящее время производится в основном в виде соли АСПФОК. Общемировой объем производства с течением времени постепенно увеличивается с продолжающимся производством, например, в Китае.

149. Родственные ПФОК составы способны разлагаться с образованием ПФОК в природной среде, способствуя увеличению концентрации ПФОК в окружающей среде. Маловероятно, что только действия против ПФОК и АСПФОК смогут полностью свести к минимуму и ликвидировать концентрации в окружающей среде. В частности, фтортеломерные спирты (ФТС) были определены в качестве потенциального источника ПФОК. Многочисленные прямые и косвенные источники ПФОК, ее солей и родственных ПФОК составов способствуют общему высвобождению ПФОК в окружающую среду. Основными переносчиками выбросов являются вода, сточные воды, частицы пыли и воздух.

150. Фторполимеры и полимеры на основе фтортеломеров (ПОФ) используются во многих секторах для различных целей, включая изготовление пятнотойких и влагонепроницаемых покрытий для текстильных изделий и ковров; шлангов, кабелей и прокладок; антипригарных покрытий для кухонной посуды; и продуктов личной гигиены. Следы ПФОК также можно найти в некоторых водных огнегасящих пенах.

151. На основе имеющихся экспериментальных данных сделан вывод о том, что ПФОК крайне стабильна и устойчива в естественной окружающей среде. Маловероятно, что ПФОК будет разлагаться в условиях, сложившихся в природной среде, и доказано, что ПФОК имеет длительный период полураспада в окружающей среде. Данные мониторинга указывают на то, что ПФОК в почве выщелачивается с течением времени и может быть долгосрочным источником загрязнения для нижележащих грунтовых вод.

152. ПФОК была обнаружена в морской, пресноводной и наземной биоте по всему миру, и биоаккумуляция ПФОК происходит в разных трофических уровнях. Оценка биоаккумуляции



ПФОК осложняется ее физическими свойствами в качестве поверхностно-активного вещества, которые делают анализ для выведения значений  $\log K_{ow}$  невозможным. ПФОК накапливается и биоусиливается в дышащих воздухом животных и других наземных видах, включая людей, но не в дышащих в воде животных, поскольку рыбы выделяют ПФОК через жабры.

153. Осуществляемый мониторинг воды, снега, воздуха, отложений и биоты в отдаленных районах выявляет присутствие ПФОК. В то же время данные экологического моделирования и другая информация позволяют сделать вывод о том, что ПФОК удовлетворяет критерию в отношении переноса на большие расстояния.

154. Воздействие ПФОК на человека происходит через поступление пищи и питьевой воды, воздействие загрязненной пыли внутри помещений или потребительские продукты, содержащие ПФОК и родственные вещества. Исследования показали наличие ПФОК в организме человека, в основном в пробах крови и материнского молока. Зародыши и новорожденные подвержены воздействию ПФОК через грудное вскармливание или трансплацентарное прохождение. Профессиональное воздействие или воздействие вблизи мест производства привело к более высоким уровням ПФОК в сыворотке, чем воздействие на население в целом. Выведение ПФОК из организма человека происходит весьма медленными темпами по сравнению с другими видами. Период полувыведения ПФОК в крови человека является длительным: от 2 до 4 лет.

155. ПФОК имеет неблагоприятные последствия для наземных и водных видов. Данные экотоксичности указывают на низкую острую токсичность для водных организмов. Кроме того, имеются экспериментальные данные для наземных организмов, показывающие способность ПФОК вызывать изменения в функции печени, работе эндокринной системы, развитии, а также в иммунных реакциях, и было отмечено начало образования опухолей у крыс, подвергавшихся воздействию ПФОК. Негативные последствия ПФОК в биоте еще не были освещены, но в связи с тенденцией ПФОК к биоаккумуляции, концентрации ПФОК в биоте, особенно у белого медведя, могут возрасти с течением времени и приблизиться к воздействию, наносящему вред.

156. ПФОК классифицируется в соответствии с критериями СГС ЕС как «Канц. 2, репродуктивная токсичность 1В и специфическая избирательная токсичность при многократном воздействии 1 (печень)» (Регламент (ЕС) № 944/2013). МАИР также классифицировал ПФОК как канцероген группы 2В с уделением особого внимания раку яичек и раку почки. Высокий уровень холестерина, воспалительные заболевания, язвенный колит, заболевания щитовидной железы, воздействия на иммунную систему, вызываемая беременностью гипертония, эндокринные нарушения и нарушения неврологического, а также репродуктивного развития были признаны связанными с воздействием ПФОК на человека в эпидемиологических исследованиях, но необходимы дополнительные данные для определения взаимосвязи между ПФОК и наблюдаемыми последствиями для здоровья человека.

#### 4. Заключение

157. ПФОК, ее изомеры, соли (с конца 1940-х годов) и родственные ПФОК составы (начиная с 1960-х годов) широко используются в глобальном масштабе. Однако растущий объем фактов о последствиях для здоровья и окружающей среды означает, что озабоченность по поводу использования ПФОК существует уже несколько десятилетий. Более строгое регулирование и добровольные действия промышленности по поэтапному отказу от производства и использования ПФОК существуют с 2006 года.

158. ПФОК продемонстрировала высокую стойкость и способность к переносу на большие расстояния, далеко от места применения. Об этом свидетельствуют данные мониторинга ПФОК в воздухе, воде, почве/отложениях и биоте как на местном уровне, так и в отдаленных районах, таких как Арктика. Кроме того, родственные ПФОК составы существуют и способны в природной среде разлагаться и образовывать ПФОК, еще больше содействуя переносу этих веществ на большие расстояния. ПФОК может биоаккумулироваться в дышащих воздухом млекопитающих и других наземных видах, включая людей. Также имеются данные, которые подчеркивают потенциальные неблагоприятные последствия ПФОК как для экологических видов, так и для людей.

159. С учетом стойкости, биоаккумуляции, токсичности для млекопитающих, включая людей и их широкого присутствия в экологических нишах, делается вывод о том, что ПФОК, ее изомеры, соли и родственные составы, разлагающиеся до ПФОК, в результате их переноса в окружающей среде на большие расстояния могут привести к значительным неблагоприятным последствиям для здоровья человека и окружающей среды, которые потребуют глобальных действий.

## 5. Литература

- 3M 1977 Acute toxicity of FC-143 to fish (fathead minnow). St. Paul (MN): 3M Company. Submitted to Office of Pollution Prevention and Toxics, US Environmental Protection Agency, Washington, DC, OPPT Administrative Record AR226-0498.
- 3M 1978a Acute toxicity of FC-143 to fish (bluegill sunfish). St. Paul (MN): 3M Company. Submitted to Office of Pollution Prevention and Toxics, US Environmental Protection Agency, Washington, DC, OPPT Administrative Record AR226-0499.
- 3M 1978b Acute toxicity of FC-143 to fish (bluegill sunfish). St. Paul (MN): 3M Company. Submitted to Office of Pollution Prevention and Toxics, US Environmental Protection Agency, Washington, DC, OPPT Administrative Record AR226-0500.
- 3M 1982 Acute toxicity of FC-143 to aquatic invertebrates (*Daphnia magna*). St. Paul (MN): 3M Company. Submitted to Office of Pollution Prevention and Toxics, US Environmental Protection Agency, Washington, DC, OPPT Administrative Record AR226-0507.
- 3M 1984 Chronic toxicity to freshwater invertebrates (*Daphnia magna*). St. Paul (MN): 3M Company. Submitted to Office of Pollution Prevention and Toxics, US Environmental Protection Agency, Washington, DC, OPPT Administrative Record AR226-0508.
- 3M 1985 Acute toxicity of FX-1001 to fish (fathead minnow). St. Paul (MN): 3M Company. Submitted to Office of Pollution Prevention and Toxics, US Environmental Protection Agency, Washington, DC, OPPT Administrative Record AR226-0509.
- 3M 1987a Acute toxicity of FC-126 to aquatic invertebrates (*Daphnia magna*). St. Paul (MN): 3M Company. Submitted to Office of Pollution Prevention and Toxics, US Environmental Protection Agency, Washington, DC, OPPT Administrative Record AR226-0512.
- 3M 1987b Acute toxicity of FC-126 to fish (fathead minnow). St. Paul (MN): 3M Company. Submitted to Office of Pollution Prevention and Toxics, US Environmental Protection Agency, Washington, DC, OPPT Administrative Record AR226-0513.
- 3M 2001 Hydrolysis reactions of perfluorooctanoic acid (PFOA), St. Paul (MN): 3M Company. Project identification, 3M Laboratory Report No: E00-1851 Based on OPPTS: 835.21 10.
- Abbott et al 2007 Perfluorooctanoic acid–induced developmental toxicity in the mouse is dependent on expression of peroxisome proliferator–activated receptor–alpha. *Toxicol Sci* 98:571–81.
- Abdellatif et al 1991 The modulation of rat liver carcinogenesis by perfluorooctanoic acid, a peroxisome proliferator. *Toxicol Appl Pharmacol* 111:530–7.
- ACC 2015 American Chemical Council, “U.S. EPA Confirms That FluoroCouncil Companies Are “On Track” to Phase out Long-Chain Chemicals by Year’s End”. Available from: <http://www.americanchemistry.com/Media/PressReleasesTranscripts/ACC-news-releases/FluoroCouncil-Companies-to-Phase-out-Long-Chain-Chemicals-by-Years-End.html>.
- ACS 2015 American Chemical Society-Chemistry for life, ‘Perfluorooctanoic acid’. Available from: <http://www.acs.org/content/acs/en/molecule-of-the-week/archive/p/purfluorooctanoic-acid.html>.
- Al-sheyab et al 2015 Levels of perfluorinated compounds in human breast milk in Jordan: the impact of sociodemographic characteristics. *Environ Sci Pollut Res Int* 22:12415-23.

Albania	2015	Submission of information specified in Annex E to the Stockholm Convention pursuant to Article 8 of the Convention.
Albrecht et al	2013	A species difference in the peroxisome proliferator-activated receptor $\alpha$ -dependent response to the developmental effects of perfluorooctanoic acid. <i>Toxicol Sci</i> 131:568-82.
Alves et al	2015	New approach for assessing human perfluoroalkyl exposure via hair. <i>Talanta</i> 144:574-83.
AMAP	2014	Trends in Stockholm Convention Persistent Organic Pollutants (POPs) in Arctic Air, Human media and Biota. Available from: <a href="http://www.amap.no/documents/doc/trends-in-stockholm-convention-persistent-organic-pollutants-pops-in-arctic-air-human-media-and-biota/1081">http://www.amap.no/documents/doc/trends-in-stockholm-convention-persistent-organic-pollutants-pops-in-arctic-air-human-media-and-biota/1081</a> .
AMAP	2015	AMAP Assessment 2015: Human Health in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Program (AMAP), Oslo, Norway. Available from: <a href="http://www.amap.no/documents/doc/AMAP-Assessment-2015-Human-Health-in-the-Arctic/1346">http://www.amap.no/documents/doc/AMAP-Assessment-2015-Human-Health-in-the-Arctic/1346</a>
Anderson et al	2016	Occurrence of select perfluoroalkyl substances at US Air Force aqueous film-forming foam release sites other than fire-training areas: Field-validation of critical fate and transport properties. <i>Chemosphere</i> 150:678-85.
Apelberg et al	2007	Determinants of foetal exposure to polyfluoroalkyl compounds in Baltimore, Maryland. <i>Environ Sci Technol</i> 41:3891-7.
Armitage et al	2009	Modeling the global fate and transport of perfluorooctanoic acid and perfluorooctanoate emitted from direct sources using a multispecies mass balance model. <i>Environ Sci Technol</i> 43, 1134-40.
ATSDR	2015	Draft toxicological profile for perfluoroalkyls. Август 2015 года. Available from: <a href="http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp200.pdf">http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp200.pdf</a> .
Austria	2015	Submission of information specified in Annex E to the Stockholm Convention pursuant to Article 8 of the Convention.
Australia	2016	Comments on draft risk profile
Baduel et al	2015	Perfluoroalkyl substances in a firefighting training ground (FTG), distribution and potential future release. <i>J Hazard Mater</i> 296:46-53.
Bao et al	2011	Perfluorinated compounds in the environment and the blood of residents living near fluorochemical plants in Fuxin, China. <i>Environ Sci Technol</i> 45:8075-80.
Barbarossa et al	2013	Perfluoroalkyl substances in human milk: a first survey in Italy. <i>Environ Int</i> 51:27-30.
Barry et al	2013	Perfluorooctanoic acid (PFOA) exposures and incident cancers among adults living near a chemical plant. <i>Environ Health Perspect</i> 121:1313-1318.
Barry et al	2014	Early life perfluorooctanoate (PFOA) exposure and overweight and obesity risk in adulthood in a community with elevated exposure. <i>Environ Res</i> 132:62-9.
Bartell et al	2010	Rate of decline in serum PFOA concentrations after granular activated carbon filtration at two public water systems in Ohio and West Virginia. <i>Environ Health Perspect</i> 118:222-8.
Bayerisches Landesamt für Umwelt	2010	Bestimmung persistenter, bioakkumulierender Perfluoralkylverbindungen in verschiedenen Umweltmatrices. Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU). Available from: <a href="http://www.bestellen.bayern.de/application/applstarter?APPL=STMUG&amp;DIR=stmug&amp;ACTIONxSETVAL%28artdtl.htm,APGxNODENR:283761,AARTxNR:lfu_all_00085,USERxBODYURL:artdtl.htm,KATALOG:StMUG,AKATxNAME:StMUG,ALLE:x%29=X">http://www.bestellen.bayern.de/application/applstarter?APPL=STMUG&amp;DIR=stmug&amp;ACTIONxSETVAL%28artdtl.htm,APGxNODENR:283761,AARTxNR:lfu_all_00085,USERxBODYURL:artdtl.htm,KATALOG:StMUG,AKATxNAME:StMUG,ALLE:x%29=X</a> .

Beesoon et al	2011	Isomer profiles of perfluorochemicals in matched maternal, cord, and house dust samples: Manufacturing sources and transplacental transfer. <i>Environ Health Perspect</i> 119:1659-64.
Begley et al	2005	Perfluorochemicals: potential sources of and migration from food packaging. <i>Food Addit Contam</i> 22:1023-31.
Beilstein	2005	Handbook of Organic Chemistry (online). Request January 12.
Benbrahim-Tallaa et al	2014	Carcinogenicity of perfluorooctanoic acid, tetrafluoroethylene, dichloromethane, 1,2-dichloropropane, and 1,3-propane sultone. <i>Lancet Oncol</i> 15:924-5.
Bengtson Nash	2010	Perfluorinated compounds in the Antarctic region: Ocean circulation provides prolonged protection from distant sources. <i>Environ Pollut</i> 158:2985-91.
Benskin et al	2012a	Manufacturing origin of perfluorooctanoate (PFOA) in Atlantic and Canadian Arctic seawater. <i>Environ Sci Technol</i> 46:677-85.
Benskin et al	2012b	Perfluorinated compounds in the Arctic and Atlantic Oceans. <i>Environ Sci Technol</i> 46:5815-23.
Benskin et al	2012c	Observation of a novel PFOS-precursor, the perfluorooctane sulfonamido ethanol-based phosphate (SAmPAP) diester, in marine sediments. <i>Environ Sci Technol</i> 46:6505-14.
Biegel et al	2001	Mechanisms of extrahepatic tumor induction by peroxisome proliferators in male CD rats. <i>Toxicol Sci</i> 60:44-5.
Bizkarguenaga et al	2016	Uptake of 8:2 perfluoroalkyl phosphate diester and its degradation products by carrot and lettuce from compost-amended soil. <i>Chemosphere</i> 152:309-17.
Bjerregaard-Olesen et al	2016	Time trends of perfluorinated alkyl acids in serum from Danish pregnant women 2008-2013. <i>Environ Int</i> 91:14-21.
Bjork et al	2011	Multiplicity of nuclear receptor activation by PFOA and PFOS in primary human and rodent hepatocytes. <i>Toxicol</i> 288:8-17.
Boobis et al	2006	IPCS framework for analyzing the relevance of a cancer mode of action for humans. <i>Crit Rev Toxicol</i> 36:781-92.
Boudreau	2002	Toxicological evaluation of perfluorinated organic acids to selected freshwater primary and secondary trophic levels under laboratory and semi-natural field conditions (Master's thesis]. Guelph (ON): University of Guelph, Department of Environmental Biology.
Boulanger et al	2005	Mass budget of perfluorooctane surfactants in Lake Ontario. <i>Environ Sci Technol</i> 39:74-9.
Brantsæter et al	2013	Determinants of plasma concentrations of perfluoroalkyl substances in pregnant Norwegian women. <i>Environ Int</i> 54:74-84.
Braun et al	2016	Prenatal perfluoroalkyl substance exposure and child adiposity at 8 years of age: The HOME study. <i>Obesity</i> 24: 231-7.
Buck et al	2011	Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in the environment: terminology, classification, and origins. <i>Integr Environ Assess Manag</i> 7:513-41.
Busch et al	2010	Polyfluoroalkyl compounds in landfill leachates. <i>Environ Pollut</i> 158:1467-71.
Buser and Scinicariello	2016	Perfluoroalkyl substances and food allergies in adolescents. <i>Environ Int</i> 88:74-9.

Butenhoff et al	2002	Toxicity of ammonium perfluorooctanoate in male cynomolgus monkeys after oral dosing for 6 months. <i>Toxicol Sci</i> 69:244–57.
Butenhoff et al	2004	The reproductive toxicology of ammonium perfluorooctanoate (APFO) in the rat. <i>Toxicology</i> 196: 95-116.
Butenhoff et al	2012	Chronic dietary toxicity and carcinogenicity study with ammonium perfluorooctanoate in Sprague–Dawley rats. <i>Toxicology</i> 298:1-13.
Butt et al	2007	Rapid response to arctic ringed seals to changes in perfluoroalkyl production. <i>Environ Sci Technol</i> 41:42-9.
Butt et al	2008	Spatial trends of perfluoroalkyl compounds in ringed seals ( <i>Phoca hispida</i> ) from the Canadian Arctic. <i>Environ Toxicol Chem</i> 27:542–53.
Butt et al	2010a	Biotransformation of the 8:2 fluorotelomer acrylate in rainbow trout. In vivo dietary exposure. <i>Environ Toxicol Chem</i> 29:2726-35.
Butt et al	2010b	Levels and trends of poly- and perfluorinated compounds in the arctic environment. <i>Sci Total Environ</i> 408:2936-65.
Butt et al	2014	Biotransformation pathways of fluorotelomer-based polyfluoroalkyl substances: A review. <i>Environ Toxicol Chem</i> 33:243-67.
Bytingsvik et al.	2012	Perfluoroalkyl substances in polar bear mother-cub pairs: a comparative study based on plasma levels from 1998 and 2008. <i>Environ Int</i> 49:92-9.
C8 Science Panel	2013	C8 Science Panel. 2013. Available from: <a href="http://www.c8sciencepanel.org/index.html">http://www.c8sciencepanel.org/index.html</a> .
Cai et al	2012	Occurrence of perfluoroalkyl compounds in surface waters from the North Pacific to the Arctic Ocean. <i>Environ Sci Technol</i> 46:661-8.
Cariou et al	2015	Perfluoroalkyl acid (PFAA) levels and profiles in breast milk, maternal and cord serum of French women and their newborns, <i>Environ Int</i> 84:71-81.
Carlsson et al	2014	Polychlorinated biphenyls (PCBs), polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and perfluorinated alkylated substances (PFASs) in traditional seafood items from western Greenland. <i>Environ Sci Pollut Res Int</i> 21:4741-50.
CDC	2015	Fourth national report on human exposure to environmental chemicals. Updated tables, February 2015. Available from: <a href="http://www.cdc.gov/biomonitoring/pdf/FourthReport_UpdatedTables_Feb2015.pdf">http://www.cdc.gov/biomonitoring/pdf/FourthReport_UpdatedTables_Feb2015.pdf</a> .
Chang et al	2014	A critical review of perfluorooctanoate and perfluorooctanesulfonate exposure and cancer risk in humans. <i>Crit Rev Toxicol</i> 44 S1:1-81.
Chen et al	2012	Perfluorinated compounds in umbilical cord blood and adverse birth outcomes. <i>PloS One</i> 7:e42474.
Chen et al	2013	Perfluorinated compound levels in cord blood and neurodevelopment at 2 years of age. <i>Epidemiology</i> 24:800-8.
Chen et al	2015	Levels and spatial distribution of perfluoroalkyl substances in China Liaodong Bay basin with concentrated fluorine industry parks. <i>Mar Pollut Bull</i> 101:965-71.
China	2015	Submission of information specified in Annex E to the Stockholm Convention pursuant to Article 8 of the Convention.
China MEP	2015	高污染、高环境风险产品名录 (2015 年版). [Comprehensive Catalogue for Environmental Protection. (2015)] Available from: <a href="http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/bgth/201512/W020151231390609524367.pdf">http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/bgth/201512/W020151231390609524367.pdf</a>
Cho et al	2015	Concentration and correlations of perfluoroalkyl substances in whole blood among subjects from three different geographical areas in Korea. <i>Sci Total Environ</i> 512-513:397-405.
Christensen et al	2016	Perfluoroalkyl substances in older male anglers in Wisconsin. <i>Environ Int</i> 91:312-8.

Christopher and Marisa	1977	28-day oral toxicity study with FC-143 in albino mice, Final Report, Industrial Bio-Test Laboratories, Inc. Study No. 8532-10655, 3M Reference No. T-1742CoC, Lot 269.
Chropeňová et al.	2016a	Pine Needles for the Screening of Perfluorinated Alkylated Substances (PFASs) along Ski Tracks. <i>Environmental Science &amp; Technology</i> 50, 9487–9496.
Chropeňová et al.	2016b	Pine needles and pollen grains of <i>Pinus mugo</i> Turra – A biomonitoring tool in high mountain habitats identifying environmental contamination. <i>Ecological Indicators</i> 66, 132–142.
CIT	2003	Ammonium perfluorooctanoate (APFO): <i>Daphnia magna</i> reproduction test. Study No. 22658 ECD. Evreux (FR): CIT. Submitted to Office of Pollution Prevention and Toxics, US Environmental Protection Agency, Washington, DC, OPPT-2003-0012-0180.
Cobbing	2015	Footprints in the snow — Hazardous PFCs in remote locations around the globe. Сентябрь 2015 года. Available from: <a href="http://detox-outdoor.org/assets/uploads/Report%20RAE/RAE_report_08_2015_english_final.pdf">http://detox-outdoor.org/assets/uploads/Report%20RAE/RAE_report_08_2015_english_final.pdf</a> .
Cook et al	1992	Induction of Leydig cell adenomas by ammonium perfluorooctanoate: a possible endocrine related mechanism. <i>Toxicol Appl Pharmacol</i> 192:209–17.
Cornelis et al	2012	First assessment of population exposure to perfluorinated compounds in Flanders, Belgium. <i>Chemosphere</i> 86:308–14.
Costa et al	2009	Thirty years of medical surveillance in perfluorooctanoic acid production workers. <i>J Occup Environ Med</i> 51: 364–72.
Danish Ministry of Environment	2013	Survey of PFOS, PFOA and other perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances, Environmental Project No. 1475. Available from: <a href="http://www2.mst.dk/Udgiv/publications/2013/04/978-87-93026-03-2.pdf">http://www2.mst.dk/Udgiv/publications/2013/04/978-87-93026-03-2.pdf</a> .
Darrow et al	2013	Serum perfluorooctanoic acid and perfluorooctanesulfonate concentrations in relation to birth outcomes in the Mid-Ohio Valley, 2005 – 2010. <i>Environ Health Perspect</i> 121:1207-13.
Darwin	2004	Estimated Quantities of AFFF in the United States, August 2004. Robert L. Darwin.
Darwin	2011	Estimated Inventory Of PFOS-based AFFF, 2011 Update to the 2004 Report, July 13, 2011 by Robert L. Darwin.
Dasu et al	2012	Aerobic soil biodegradation of 8:2 fluorotelomer stearate monoester. <i>Environ Sci Technol</i> 46:3831-6.
Dasu et al	2013	Aerobic biodegradation of 8:2 fluorotelomer stearate monoester and 8:2 fluorotelomer citrate triester in forest soil. <i>Chemosphere</i> 91:399-405.
Dasu and Lee	2016	Aerobic biodegradation of toluene-2,4-di(8:2 fluorotelomer urethane) and hexamethylene-1,6-di(8:2 fluorotelomer urethane) monomers in soils. <i>Chemosphere</i> 144:2482-8.
Dauchy et al	2012	Relationship between industrial discharges and contamination of raw water resources by perfluorinated compounds. Part I: Case study of a fluoropolymer manufacturing plant. <i>Bull Environ Contam Toxicol</i> 89:525-30.
De Silva and Mabury	2004	Isolating isomers of perfluorocarboxylates in polar bears ( <i>Ursus maritimus</i> ) from two geographical locations. <i>Environ Sci Technol</i> 38: 6538-45.
De Silva et al	2009	Toxicokinetics of perfluorocarboxylate isomers in rainbow trout. <i>Environ Toxicol Chem</i> 28:330-7.

Del Vento et al	2012	Volatile per- and polyfluoroalkyl compounds in the remote atmosphere of the western Antarctic Peninsula: an indirect source of perfluoroalkyl acids to Antarctic waters? <i>Atmospheric Pollution Research</i> 3:450–5.
DeWitt et al	2008	Perfluorooctanoic acid-induced immunomodulation in adult C57BL/6J or C57BL/6N female mice. <i>Environ Health Perspect</i> 116:644-50.
DeWitt et al	2009	Suppression of humoral immunity by perfluorooctanoic acid is independent of elevated serum corticosterone concentration in mice. <i>Toxicol Sci</i> 109:106-12.
Dhingra et al.	2016a	A study of reverse causation: Examining the associations of perfluorooctanoic acid serum levels with two outcomes. <i>Environ Health Perspect</i> . Available from: <a href="http://dx.doi.org/10.1289/EHP273">http://dx.doi.org/10.1289/EHP273</a> .
Dhingra et al.	2016b	Perfluorooctanoic acid exposure and natural menopause: A longitudinal study in a community cohort. <i>Environ Res</i> 146:323-30.
D'Hollander et al	2015	Occurrence of perfluorinated alkylated substances in cereals, salt, sweets and fruit items collected in four European countries. <i>Chemosphere</i> 129:179-85.
Dietz et al	2007	Increasing perfluoroalkyl contaminants in East Greenland polar bears ( <i>Ursus maritimus</i> ): A new toxic threat to the Arctic bears. <i>Environ Sci Technol</i> 42:2701-7.
Dinglasan et al	2004	Fluorotelomer alcohol biodegradation yields poly- and perfluorinated acids. <i>Environ Sci Technol</i> 38:2857-64.
Dixon et al	2012	Histopathologic changes in the uterus, cervix and vagina of immature CD-1 mice exposed to low doses of perfluorooctanoic acid (PFOA) in a uterotrophic assay. <i>Reprod Toxicol</i> 33:506-12.
Dreyer et al	2009	Polyfluorinated compounds in the atmosphere of the Atlantic and Southern Oceans: evidence for a global distribution. <i>Environ Sci Technol</i> 43:6507-14.
DuPont	1998	Technical information: Zonyl fluorochemical intermediates.
DuPont	2010	'Teflon® and Tefzel® fluoropolymers'. Available from: <a href="http://www2.dupont.com/Products/en_RU/Teflon_and_Tefzel_FLUORO_POLYMERS_en.html">http://www2.dupont.com/Products/en_RU/Teflon_and_Tefzel_FLUORO_POLYMERS_en.html</a> .
EC	2006	Regulation (EC) No 1907/2006. Available from: <a href="http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02006R1907-20150601&amp;from=EN">http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02006R1907-20150601&amp;from=EN</a> .
EC	2008	Regulation (EC) No 1272/2008. Available from: <a href="http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02008R1272-20150601&amp;from=EN">http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02008R1272-20150601&amp;from=EN</a> .
ECHA	2011	Opinion proposing harmonised classification and labelling at Community level of Perfluorooctanoic acid (PFOA). Adopted 2 December 2011. Available from: <a href="http://echa.europa.eu/documents/10162/e7f15a22-ba28-4ad6-918a-6280392fa5ae">http://echa.europa.eu/documents/10162/e7f15a22-ba28-4ad6-918a-6280392fa5ae</a> .
ECHA	2012	Guidance on information requirements and chemical safety assessment Chapter R.16: Environmental Exposure Estimation. Available from: <a href="http://echa.europa.eu/documents/10162/13632/information_requirements_r16_en.pdf">http://echa.europa.eu/documents/10162/13632/information_requirements_r16_en.pdf</a> .
ECHA	2013a	Support Document for identification of pentadecafluorooctanoic acid (PFOA) as a substance of very high concern because of its CMR and PBT properties. Available from: <a href="http://echa.europa.eu/candidate-list-table/-/substance/305/search/+/term">http://echa.europa.eu/candidate-list-table/-/substance/305/search/+/term</a> .

ECHA	2013b	Support Document for identification of AMMONIUM PENTADEC AFLUORO OCTANOATE (APFO) as a substance of very high concern because of its CMR and PBT properties.
ECHA	2014	Guidance on Information Requirements and Chemical Safety Assessment – Chapter R.11: PBT/vPvB assessment. Version 2.0. November 2014. Available from: <a href="https://echa.europa.eu/documents/10162/13632">https://echa.europa.eu/documents/10162/13632</a>
ECHA	2015a	Background document to the Opinion on the Annex XV dossier proposing restrictions on Perfluorooctanoic acid (PFOA), PFOA salts and PFOA-related substances. 4 декабря 2015 года. Available from: <a href="http://echa.europa.eu/documents/10162/fa20d0e0-83fc-489a-9ee9-01a68383e3c0">http://echa.europa.eu/documents/10162/fa20d0e0-83fc-489a-9ee9-01a68383e3c0</a> .
ECHA	2015b	Committee for Risk Assessment (RAC) – Opinion on an Annex XV dossier proposing restrictions on Perfluorooctanoic acid (PFOA), PFOA salts and PFOA-related substances. Sept 8 2015. Available from: <a href="http://echa.europa.eu/documents/10162/3d13de3a-de0d-49ae-bfbd-749aea884966">http://echa.europa.eu/documents/10162/3d13de3a-de0d-49ae-bfbd-749aea884966</a> .
ECHA	2015c	Committee for Risk Assessment (RAC) Committee for Socio-economic Analysis (SEAC) – Opinion on an Annex XV dossier proposing restrictions on Perfluorooctanoic acid (PFOA), PFOA salts and PFOA-related substances. Compiled version prepared by the ECHA Secretariat of RAC's opinion (adopted 8 September 2015) and SEAC's opinion (adopted 4 December 2015). Available from: <a href="http://echa.europa.eu/documents/10162/2f0dfce0-3dcf-4398-8d6b-2e59c86446be">http://echa.europa.eu/documents/10162/2f0dfce0-3dcf-4398-8d6b-2e59c86446be</a>
EFSA	2008	Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food chain on Perfluorooctane sulfonate (PFOS), perfluorooctanoic acid (PFOA) and their salts. The EFSA Journal. 653:1-131.
Ellis et al	2001	Thermolysis of fluoropolymers as a potential source of halogenated organic acids in the environment. Nature 412:321-4.
Ellis et al	2003	Atmospheric lifetime of fluorotelomer alcohols. Environ Sci Technol 37:3816-20.
Ellis et al	2004a	Degradation of fluorotelomer alcohols: a likely atmospheric source of perfluorinated carboxylic acids. Environ Sci Technol 38, 3316-21.
Ellis et al	2004b	Environmental review of perfluorooctanoic acid (PFOA) and its salts. Prepared under contract for Environment Canada, Gatineau, Quebec.
Elnabarawy et al	1980	Aquatic toxicity testing: FC-143 (Lot-37) L.R. 5626S. Report No. 037. Submitted to Office of Pollution Prevention and Toxics, US Environmental Protection Agency, Washington, DC (OPPT Administrative Record AR226-0504).
Elnabarawy et al	1981	Multi-phase exposure/recovery algal assay test method. Report No. 006. Submitted to Office of Pollution Prevention and Toxics, US Environmental Protection Agency, Washington, DC (OPPT Administrative Record AR226-0506).
Emmett et al	2006	Community exposure to perfluorooctanoate: relationships between serum concentrations and exposure sources. J Occup Environ Med 48:759-70.
Environment Canada and Health Canada	2012	Screening Assessment Report, Perfluorooctanoic Acid, its Salts, and its Precursors.
Eriksen et al	2009	Perfluorooctanoate and perfluorooctanesulfonate plasma levels and risk of cancer in the general Danish population. J Natl Cancer Inst 101:605-9.
Eriksen et al	2013	Association between plasma PFOA and PFOS levels and total cholesterol in a middle-aged Danish population. PloS One 8(2):e56969.



Eriksson and Kärrman	2015	World-wide indoor exposure to polyfluoroalkyl phosphate esters (PAPs) and other PFASs in household dust. <i>Environ Sci Technol</i> 49:14503-11.
Eriksson et al	2013	Perfluoroalkylsubstances (PFASs) in food and water from Faroe Islands. <i>Environ Sci Pollut Res Int</i> 20:7940-8.
Eschauzier et al	2013	Perfluorinated alkylated acids in groundwater and drinking water: identification, origin and mobility. <i>Sci Total Environ</i> 458-460:477-85.
ESIA	2015	European Semiconductor Industry Association, Submission of information specified in Annex E to the Stockholm Convention pursuant to Article 8 of the Convention.
Fang et al	2014	Trophic magnification and isomer fractionation of perfluoroalkyl substances in the food web of Taihu Lake, China. <i>Environ Sci Technol</i> 48:2173-82.
Fasano et al	2006	Absorption, distribution, metabolism, and elimination of 8-2 fluorotelomer alcohol in the rat. <i>Toxicol Sci</i> 91:341-55.
Fei et al	2007	Perfluorinated chemicals and foetal growth: a study within the Danish National Birth Cohort. <i>Environ Health Perspect</i> 115:1677-82.
Fei et al	2010	Prenatal exposure to PFOA and PFOS and risk of hospitalization for infectious diseases in early childhood. <i>Environ Res</i> 110:773-7.
Filipovic et al	2015	Historical usage of aqueous film forming foam: A case study of the widespread distribution of perfluoroalkyl acids from a military airport, to groundwater, lakes, soils and fish. <i>Chemosphere</i> 129:39-45.
Fitz-Simon et al	2013	Reductions in serum lipids with a 4-year decline in serum perfluorooctanoic acid and perfluorooctanesulfonic acid. <i>Epidemiology</i> 24:569-76.
Fletcher et al	2013	Associations between PFOA, PFOS and changes in the expression of genes involved in cholesterol metabolism in humans. <i>Environ Int</i> 57-58: 2-10.
FluoroCouncil	2015	Submission of information specified in Annex E to the Stockholm Convention pursuant to Article 8 of the Convention.
FluoroCouncil	2016	Comments on draft risk profile
Forns et al	2015	Perfluoroalkyl substances measured in breast milk and child neuropsychological development in a Norwegian birth cohort study. <i>Environ Int</i> 83:176-82.
Franklin	2002	Screening assessment for the potential for long-range atmospheric transport of perfluorooctanoic acid. Submitted to Office of Pollution Prevention and Toxics, US Environmental Protection Agency, Washington, DC (OPPT-2003-0012-0183).
Freberg et al	2010	Occupational exposure to airborne perfluorinated compounds during professional ski waxing. <i>Environ Sci Technol</i> 44:7723-28.
Frisbee et al	2010	Health Project: associations between perfluorooctanoic acid and perfluorooctanesulfonic acid and serum lipids in children. <i>Arch Pediatr Adolesc Med</i> 164: 860-9.
Frömel and Knepper	2010	Fluorotelomer ethoxylates: sources of highly fluorinated environmental contaminants part I: biotransformation. <i>Chemosphere</i> 80:1387-92.
Fromme et al	2009	Perfluorinated compounds — Exposure assessment for the general population in western countries. <i>Int J Hyg Environ Health</i> 212:239-70.
Gallen et al	2016	Occurrence and distribution of brominated flame retardants and perfluoroalkyl substances in Australian landfill leachate and biosolids. <i>J Hazard Mater</i> 312:55-64.

Gallo et al	2012	Serum Perfluorooctanoate (PFOA) and Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) Concentrations and Liver Function Biomarkers in a Population with Elevated PFOA Exposure. <i>Environ Health Perspect</i> 120:655-60.
Gallo et al	2013	Serum perfluoroalkyl acids concentrations and memory impairment in a large cross-sectional study. <i>BMJ Open</i> 2013;3:e002414.
Galloway et al	2015	PFOA and PFOS are associated with reduced expression of the parathyroid hormone 2 receptor (PTH2R) gene in women. <i>Chemosphere</i> 120:555-62.
Gao et al	2015	Differential accumulation and elimination behavior of perfluoroalkyl Acid isomers in occupational workers in a manufactory in China. <i>Environ Sci Technol</i> 49:6953-62.
Gauthier and Mabury	2005	Aqueous photolysis of 8:2 fluorotelomer alcohol. <i>Environ Toxicol Chem</i> 24:1837-46.
Gebbink et al	2015	Estimating human exposure to PFOS isomers and PFCA homologues: the relative importance of direct and indirect (precursor) exposure. <i>Environ Int</i> 74:160-9.
Gebbink et al	2016	Observation of emerging per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in Greenland marine mammals. <i>Chemosphere</i> , 144:2384-91.
Geiger et al	2014	The association between PFOA, PFOS and serum lipid levels in adolescents. <i>Chemosphere</i> 98:78-83.
Goldenthal	1978a	Final report, Ninety day sub-acute rat toxicity study on Flurado® Fluorochemical FC-143, International Research and development corporation, Study No. 137-089, 3M Reference No. T-3141, November 6, 1978. US EPA AR226-0441.
Goldenthal	1978b	Final report, Ninety day sub-acute Rhesus Monkey toxicity study, International Research and development corporation, Study No. 137-090, November 10, 1978. US EPA AR226-0447.
Gomis et al	2015	A modeling assessment of the physicochemical properties and environmental fate of emerging and novel per- and polyfluoroalkyl substances. <i>Sci Total Environ</i> 505:981-91.
Góralczyk et al	2015	Perfluorinated chemicals in blood serum of inhabitants in central Poland in relation to gender and age. <i>Sci Total Environ</i> 532:548-55.
Goss	2008	The pKa values of PFOA and other highly fluorinated carboxylic acids. <i>Environ Sci Technol</i> 42: 456–8.
Goudarzi et al	2016	Prenatal exposure to perfluorinated chemicals and neurodevelopment in early infancy: The Hokkaido Study. <i>Sci Total Environ</i> 541:1002-10.
Grandjean et al	2012	Serum vaccine antibody concentrations in children exposed to perfluorinated compounds. <i>JAMA</i> 307:391–7.
Grandjean and Budtz-Jørgensen	2013	Immunotoxicity of perfluorinated alkylates: calculation of benchmark doses based on serum concentrations in children. <i>Environ Health</i> 12:35.
Grandjean and Clapp	2015	Perfluorinated alkyl substances: Emerging insights into health risks. <i>New Solut</i> 25:147-63.
Griffith and Long	1980	Animal toxicity studies with ammonium perfluorooctanoate. <i>Am Ind Hyg Assoc J</i> 41:576-83.
Guo	2008	Determination of perfluorooctanesulfonate and perfluorooctanoic acid in sewage sludge samples using liquid chromatography/quadrupole time-of-flight mass spectrometry. <i>Talanta</i> 75:1394–9.

Guruge et al	2005	Perfluorinated organic compounds in human blood serum and seminal plasma: a study of urban and rural tea worker populations in Sri Lanka. <i>J Environ Monit</i> 7:371-7.
Guruge et al	2006	Gene expression profiles in rat liver treated with perfluorooctanoic acid (PFOA). <i>Toxicol Sci</i> 89:93-107.
Gutzkow et al	2012	Placental transfer of perfluorinated compounds is selective—a Norwegian Mother and Child sub-cohort study. <i>Int J Hyg Environ Health</i> 215:216-9.
Halldorsson	2012	Prenatal exposure to perfluorooctanoate and risk of overweight at 20 years of age: a prospective cohort study. <i>Environ Health Perspect</i> 120:668-73.
Hamm et al	2010	Maternal exposure to perfluorinated acids and fetal growth. <i>Expo Sci Environ Epidemiol</i> 20: 589–97.
Han et al	2012	Renal elimination of perfluorocarboxylates (PFCAs). <i>Chemical research in toxicology</i> 25:35-46.
Hanson et al	2005	Microcosm evaluation of the toxicity and risk to aquatic macrophytes from perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctane sulfonic acid (PFOS). Poster presentation at Fluoros, An International Symposium on Fluorinated Alkyl Organics in the Environment, August 18–20, 2005, Toronto, Ontario. Toronto (ON): University of Toronto. Abstract available from: <a href="http://www.chem.utoronto.ca/symposium/fluoros/abstractbook.htm">http://www.chem.utoronto.ca/symposium/fluoros/abstractbook.htm</a> .
Hanssen et al	2013	Partition of perfluoroalkyl substances (PFASs) in whole blood and plasma, assessed in maternal and umbilical cord samples from inhabitants of arctic Russia and Uzbekistan. <i>Sci Total Environ</i> 447:430-7.
Hardisty et al	2010	Pathology Working Group review and evaluation of proliferative lesions of mammary gland tissues in female rats fed ammonium perfluorooctanoate (APFO) in the diet for 2 years. <i>Drug and Chemical Toxicology</i> 33:131–37.
Hatfield	2001	Screening studies on the aqueous photolytic degradation of perfluorooctanoic acid (PFOA). Lab Request No. E00-2192. Submitted to Office of Pollution Prevention and Toxics, US Environmental Protection Agency, Washington, DC (OPPT Administrative Record AR226-1030a).
Haug et al	2010	Diet and particularly seafood are major sources of perfluorinated compounds in humans. <i>Environ Int</i> 36:772–8.
Haug et al	2011	Characterisation of human exposure pathways to perfluorinated compounds — Comparing exposure estimates with biomarkers of exposure. <i>Environ Int</i> 37:687-93.
Haugom and Spydevold	1992	The mechanism underlying the hypolipemic effect of perfluorooctanoic acid (PFOA), perfluorooctane sulphonic acid (PFOSA) and clofibrac acid. <i>Biochim Biophys Acta</i> 1128:65-72.
Health Canada	2013	Second Report on Human Biomonitoring of Environmental Chemicals in Canada, Health Canada, 2013. Available from: <a href="http://publications.gc.ca/collections/collection_2013/sc-hc/H128-1-10-601-1-eng.pdf">http://publications.gc.ca/collections/collection_2013/sc-hc/H128-1-10-601-1-eng.pdf</a> .
Heydebreck et al	2015	Alternative and Legacy Perfluoroalkyl Substances: Differences between European and Chinese River/Estuary Systems. <i>Environ Sci Technol</i> 49:8386-95.
Hilal et al	2004	Estimation of Carboxylic Acid Ester Hydrolysis Rate Constants. <i>QSAR and Combinatorial Science</i> 22:917-25.

Hines et al	2009	Phenotypic dichotomy following developmental exposure to perfluorooctanoic acid (PFOA) in female CD-1 mice: Low doses induce elevated serum leptin and insulin, and overweight in mid-life. <i>Mol Cell Endocrinol</i> 304:97-105.
Hoffman et al	2011	Private drinking water wells as a source of exposure to PFOA in communities surrounding a fluoropolymer production facility. <i>Environ Health Perspect</i> 119:92-7.
Holtcamp	2012	Pregnancy-induced hypertension « probably linked » to PFOA contamination. <i>Environ Health Perspect</i> 120:a59.
Houde et al	2006	Biomagnification of perfluoroalkyl compounds in the bottlenose dolphin ( <i>Tursiops truncatus</i> ) food web. <i>Environ Sci Technol</i> 40:4138-44.
Hu et al	2012	Does developmental exposure to perfluorooctanoic acid (PFOA) induce immunopathologies commonly observed in neurodevelopmental disorders? <i>Neurotoxicology</i> 33:1491-8.
Hurley et al	2004	Atmospheric chemistry of perfluorinated carboxylic acids: reaction with OH radicals and atmospheric lifetimes. <i>J Phys Chem A</i> 108:615–20.
IARC	2016	Perfluorooctanoic acid. IARC Monographs – 110. (Updated 14 September 2016). Available from: <a href="http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol110/mono110-07.pdf">http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol110/mono110-07.pdf</a> .
Ikonomou	2006	Determination of perfluorinated compounds in biosolids, sediment, and leachate by ESI-LCMS/MS. Prepared under contract to Environment Canada, June 9, 2006.
IPEN	2015	Submission of information specified in Annex E to the Stockholm Convention pursuant to Article 8 of the Convention.
Ishibashi et al	2008	Contamination and effects of perfluorochemicals in Baikal seal ( <i>Pusa sibirica</i> ). 2. Molecular characterization, expression level, and transcriptional activation of peroxisome proliferator-activated receptor $\alpha$ . <i>Environ Sci Technol</i> 42:2302–8.
Jackson and Mabury	2013	Polyfluorinated amides as a historical PFCA source by electrochemical fluorination of alkyl sulfonyl fluorides. <i>Environ Sci Technol</i> 47:382-9.
Jackson et al	2013	Atmospheric Oxidation of Polyfluorinated Amides: Historical Source of Perfluorinated Carboxylic Acids to the Environment. <i>Environ Sci Technol</i> 47:4317–24.
Japan	2015	Submission of information specified in Annex E to the Stockholm Convention pursuant to Article 8 of the Convention.
Ji et al	2008	Toxicity of perfluorooctane sulfonic acid and perfluorooctanoic acid on freshwater macroinvertebrates ( <i>Daphnia magna</i> and <i>Moina macrocopa</i> ) and fish ( <i>Oryzias latipes</i> ). <i>Environ Toxicol Chem</i> 27:2159-68.
Jiang et al	2015	Perfluoroalkyl acids (PFAAs) with isomer analysis in the commercial PFOS and PFOA products in China. <i>Chemosphere</i> 127:180-7.
Johnson et al	2014	The Navigation Guide – evidence-based medicine meets environmental health: systematic review of human evidence for PFOA effects on fetal growth. <i>Environ Health Perspect</i> 122:1028-39.
Kaiser et al	2005	Vapor pressures of perfluorooctanoic, -nonanoic, -decanoic, -undecanoic, and -dodecanoic acids. <i>J Chem Eng Data</i> 50:1841-3.
Kataria et al	2015	Association between perfluoroalkyl acids and kidney function in a cross-sectional study of adolescents. <i>Environ Health</i> 14:89.
Kauck and Diesslin	1951	Some properties of perfluorocarboxylic acids. <i>Ind Eng Chem</i> 43, 2332-4.

Kelly et al	2009	Perfluoroalkyl contaminants in an Arctic marine food web: trophic magnification and wildlife exposure. <i>Environ Sci Technol</i> 43:4037–43.
Kemi	2016	Förslag till nationella regler för högfluorerade ämnen i brandsläckningsskum (Proposals for national regulation of perfluorinated substances in fire fighting foam] Report 1/16. The Swedish Chemicals Agency. Available from: <a href="http://www.kemi.se/global/rappporter/2016/rapport-1-16-forslag-till-nationella-regler-for-hogfluorerade-amnen-i-brandslackningsskum.pdf">http://www.kemi.se/global/rappporter/2016/rapport-1-16-forslag-till-nationella-regler-for-hogfluorerade-amnen-i-brandslackningsskum.pdf</a> .
Kielsen et al	2015	Antibody response to booster vaccination with tetanus and diphtheria in adults exposed to perfluorinated alkylates. <i>J Immunotoxicol</i> 16:1-4.
Kim et al	2009	The effects of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoic acid (PFOA) on acute toxicity, reproduction and embryo development in <i>Daphnia magna</i> . Poster presentation at SETAC North America, New Orleans, November 2009.
Kim et al	2011	Trans-placental transfer of thirteen perfluorinated compounds and relations with fetal thyroid hormones. <i>Environ Sci Technol</i> 45:7465-72.
Kim et al	2012	Biodefluorination and biotransformation of fluorotelomer alcohols by two alkane-degrading <i>Pseudomonas</i> strains. <i>Biotechnol Bioeng</i> 109:3041–8.
Kim et al	2013	6:2 Fluorotelomer alcohol (6:2 FTOH) biodegradation by multiple microbial species under different physiological conditions. <i>Appl Microbiol Biotechnol</i> 98:1831-40.
Kirk	1995	Encyclopaedia of Chemical Technology. 14 th ed. Volumes 1: New York, NY. John Wiley and Sons, 1991-Present., p. V11 551.
Kissa	1994	Fluorinated surfactants: synthesis, properties, applications. New York (NY): Marcel Dekker, Inc.
Kissa	2001	Fluorinated Surfactants and Repellents. Marcel Dekker; New York
Kjeldsen and Bonefeld-Jørgensen	2013	Perfluorinated compounds affect the function of sex hormone receptors. <i>Environ Sci Pollut Res Int</i> 20:8031-44.
Klaunig et al	2003	PPAR $\alpha$ agonist-induced rodent tumours: modes of action and human relevance. <i>Crit Rev Toxicol</i> 33:655–780.
Knox et al	2011a	Implications of early menopause in women exposed to perfluorocarbons. <i>J Clin Endocrinol Metab</i> 96:1747-53.
Knox et al	2011b	Perfluorocarbon exposure, gender and thyroid function in the C8 Health Project. <i>J Toxicol Sci</i> 36:403-10.
Koch et al	2006	Investigation on the biodegradation potential of Clariant fluorotelomer-based acrylate polymer – results from a GLP study on aerobic transformation in soil (according to OECD 307) after 4 month exposure. 27 <sup>th</sup> SETAC North America Meeting Presentation P529.
Koch et al	2009	Biodegradation kinetic and estimated half-life of a Clariant fluorotelomer-based acrylate polymer—Results from a test on aerobic transformation in soil. <i>Reprod Toxicol</i> 27:420-1.
Kotthoff et al	2015	Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in consumer products. <i>Environ Sci Pollut Res Int</i> 22 :14546-59.
Kousta et al	2014	The Navigation Guide – evidence-based medicine meets environmental health: systematic review of nonhuman evidence for PFOA effects on fetal growth. <i>Environ Health Perspect</i> 122:1015-27.

- Krusik and Roe 2004 Gas-Phase NMR Technique for Studying the Thermolysis of Materials: Thermal Decomposition of Ammonium Perfluorooctanoate. *Anal Chem* 76:3800-3803.
- Krusik et al 2005 Gas-phase NMR studies of the thermolysis of perfluorooctanoic acid. *J Fluorine Chem* 126:1510-1516.
- Kwok et al 2013 Transport of perfluoroalkyl substances (PFAS) from an arctic glacier to downstream locations: Implications for sources. *Sci Total Environ* 447:46-55.
- La Rocca et al 2015 Exposure to endocrine disruptors and nuclear receptors gene expression in infertile and fertile men from Italian areas with different environmental features. *Int J Environ Res Public Health* 12:12426-45.
- Lam et al 2014 The Navigation Guide – evidence-based medicine meets environmental health: integration of animal and human evidence for PFOA effects on fetal growth. *Environ Health Perspect* 122:1040–51.
- Latała et al 2009 Acute toxicity assessment of perfluorinated carboxylic acids towards the Baltic microalgae. *Environ Toxicol Pharmacol* 28:167-171.
- Lau et al 2006 Effects of perfluorooctanoic acid exposure during pregnancy in the mouse. *Toxicol Sci* 90:510-8.
- Leonard et al 2008 Retrospective cohort mortality study of workers in a polymer production plant including a reference population of regional workers. *Ann Epidemiol* 18:15-22.
- Lerner 2015 DuPont and Chemistry of Deception, *The Intercept*. Available from: <https://theintercept.com/2015/08/17/teflon-toxin-case-against-dupont/>.
- Lescord et al 2015 Perfluorinated and polyfluorinated compounds in lake food webs from the Canadian high Arctic. *Environ Sci Technol* 49:2694-702.
- Li et al 2008 Accumulation of perfluorinated compounds in captive Bengal tigers (*Panthera tigris tigris*) and African lions (*Panthera leo* Linnaeus) in China. *Chemosphere* 73: 1649–53.
- Li 2008 Short communication: Toxicity of perfluorooctane sulfonate and perfluorooctanoic acid to plants and aquatic invertebrates. *Environ Toxicol* 24:95–101.
- Li et al 2015 Estimating industrial and domestic environmental releases of perfluorooctanoic acid and its salts in China from 2004 to 2012. *Chemosphere* 129:100–9.
- Lide 2003 *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. CRC Press.
- Liou et al 2010 Investigating the biodegradability of perfluorooctanoic acid. *Chemosphere* 80:176–83.
- Liu et al 2007 Evaluation of estrogenic activities and mechanism of action of perfluorinated chemicals determined by vitellogenin induction in primary cultured tilapia hepatocytes. *Aquat Toxicol* 85: 267–77.
- Liu et al 2008 Molecular characterization of cytochrome P450 1A and 3A and the effects of perfluorooctanoic acid on their mRNA levels in rare minnow (*Gobiocypris rarus*) gills. *Aquat Toxicol* 88:183–90.
- Liu et al 2015 Involvement of NRF2 in perfluorooctanoic acid-induced testicular damage in male mice. *Biol Reprod* 93:41.
- Loganathan et al 2007 Perfluoroalkyl sulfonates and perfluorocarboxylates in two wastewater treatment facilities in Kentucky and Georgia. *Water Res* 41:4611-20.
- Looker et al 2014 Influenza vaccine response in adults exposed to perfluorooctanoate and perfluorooctanesulfonate. *Toxicol Sci* 138:76-88.

Loos et al	2007	Polar herbicides, pharmaceutical products, perfluorooctanesulfonate (PFOS), perfluorooctanoate (PFOA), and nonylphenol and its carboxylates and ethoxylates in surface and tap waters around Lake Maggiore in Northern Italy. <i>Anal Bioanal Chem</i> 387:1469-78.
Loos et al	2008	Analysis of perfluorooctanoate (PFOA) and other perfluorinated compounds (PFCs) in the River Po watershed in N-Italy. <i>Chemosphere</i> 71, 306-13.
Loos et al	2010	Pan-European survey on the occurrence of selected polar organic persistent pollutants in ground water. <i>Water Res</i> 44:4115-26.
Lopez-Espinosa et al	2011	Association of perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctane sulfonate (PFOS) with age of puberty among children living near a chemical plant. <i>Environ Sci Technol</i> 45:8160-6.
Lopez-Espinosa et al	2012	Thyroid function and perfluoroalkyl acids in children living near a chemical plant. <i>Environ Health Perspect</i> 120:1036-41.
Lopez-Espinosa et al	2016	Perfluoroalkyl substances, sex hormones, and insulin-like growth factor-1 at 6-9 years of age: A cross-sectional analysis within the C8 health project. <i>Environ Health Perspect</i> 2016 Jan 22 (in press).
Loveless et al	2006	Comparative responses of rats and mice exposed to linear/branched, linear, or branched ammonium perfluorooctanoate (APFO). <i>Toxicology</i> 220:203-17.
Lucia et al	2015	Circumpolar contamination in eggs of the high-arctic ivory gull <i>Pagophila Eburnea</i> . <i>Environ Toxicol Chem</i> 34:1552-61.
Macdonald et al	2004	Toxicity of perfluorooctane sulfonic acid (PFOS) and perfluorooctanoic acid (PFOA) to <i>Chironomus tentans</i> . <i>Environ Toxicol Chem</i> 23: 2116-23.
Macon et al	2011	Prenatal perfluorooctanoic acid exposure in CD-1 mice: low dose developmental effects and internal dosimetry. <i>Toxicol Sci</i> 122:134-45.
Maisonet et al	2012	Maternal concentrations of polyfluoroalkyl compounds during pregnancy and fetal and postnatal growth in British girls. <i>Environ Health Perspect</i> 120:1432-37.
Maisonet et al	2015	Prenatal exposure to perfluoroalkyl acids and serum testosterone concentrations at 15 years of age in female ALSPAC study participants. <i>Environ Health Perspect</i> 123:1325-30.
Manzano-Salgado et al	2015	Transfer of perfluoroalkyl substances from mother to fetus in a Spanish birth cohort. <i>Environ Res</i> 142:471-8.
Martin et al	2004	Identification of long-chain perfluorinated acids in biota from the Canadian Arctic. <i>Environ Sci Technol</i> 38:373-80.
Martin et al	2007	Toxicogenomic study of triazole fungicides and perfluoroalkyl acids in rat livers predicts toxicity and categorizes chemicals based on mechanisms of toxicity. <i>Toxicol Sci</i> 97:595-613.
Meek et al	2003	A framework for human relevance analysis of information on carcinogenic modes of action. <i>Crit Rev Toxicol</i> 33: 591-653.
Melzer et al	2010	Association between serum perfluorooctanoic acid (PFOA) and thyroid disease in the U.S. National Health and Nutrition Examination Survey. <i>Environ Health Perspect</i> 118:686-92.
Metrick and Marisa	1977	28-day oral toxicity study with FC-143 in albino Rats Final Report, Industrial Bio-Test Laboratories, Inc. Study No. 8532-10654, 3M Reference No. T-1742CoC, Lot 269, September 29, 1977. Final Report, Industrial Bio-Test Laboratories, Inc. Study No. 8532- 10654, 3M Reference No. T-1742CoC, Lot 269, September 29, 1977.

Miao et al	2015	Perfluorooctanoic acid enhances colorectal cancer DLD-1 cells invasiveness through activating NF-kB mediated matrix metalloproteinase-2/-9 expression. <i>Int J Clin Exp Pathol</i> 8:10512-22.
Minnesota Pollution Control Agency	2016	Perfluorochemicals (PFCs). Available from: <a href="http://www.pca.state.mn.us/index.php/waste/waste-and-cleanup/cleanup-programs-and-topics/topics/perfluorochemicals-pfc/perfluorochemicals-pfcs.html">http://www.pca.state.mn.us/index.php/waste/waste-and-cleanup/cleanup-programs-and-topics/topics/perfluorochemicals-pfc/perfluorochemicals-pfcs.html</a> .
Minnesota Public Radio	2016	Toxic Traces: Timeline. Available from: <a href="http://news.minnesota.publicradio.org/projects/2005/02/toxictraces/timeline.shtml">http://news.minnesota.publicradio.org/projects/2005/02/toxictraces/timeline.shtml</a> .
Minnesota State Dep	2016	Minnesota State Department of Health. The 3M Cottage Grove Facility and Perfluorochemicals. Available from : <a href="http://www.health.state.mn.us/divs/eh/hazardous/sites/washington/3Mcottagegrove.html">http://www.health.state.mn.us/divs/eh/hazardous/sites/washington/3Mcottagegrove.html</a> .
Mogensen et al	2015	Breastfeeding as an exposure pathway for perfluorinated alkylates. <i>Environ Sci Technol</i> 49:10466-73.
Mondal et al	2012	Relationships of perfluorooctanoate and perfluorooctane sulfonate serum concentrations between child-mother pairs in a population with perfluorooctanoate exposure from drinking water. <i>Environ Health Perspect</i> 120:752-7.
Monroy et al	2008	Serum levels of perfluoroalkyl compounds in human maternal and umbilical cord blood samples. <i>Environ Res</i> 108: 56–62.
Moody and Field	1999	Determination of perfluorocarboxylates in groundwater impacted by fire-fighting activity. <i>Environ Sci Technol</i> 33:2800–6.
Motas Guzmàn et al	2016	Perfluorinated carboxylic acids in human breast milk from Spain and estimation of infant's daily intake. <i>Sci Total Environ</i> 544:595-600.
Mudumbi et al	2014	Concentrations of perfluorooctanoate and perfluorooctane sulfonate in sediment of western cape rivers, South Africa. <i>Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences</i> . 9:147–58.
Muir and Scott	2003	Overview of recent studies/results at National Water Research Institute and University of Toronto: chemistry on perfluorinated organics. Internal presentation at Environment Canada, Gatineau, Quebec.
Müller et al	2011	Biomagnification of perfluorinated compounds in a remote terrestrial food chain: Lichen-Caribou-wolf. <i>Environ Sci Technol</i> 45:8665-73.
Myers and Mabury	2010	Fate of Fluorotelomer Acids in a Soil-Water Microcosm.. <i>Environmental Toxicology and Chemistry</i> , Vol. 29, No. 8, pp. 1689–95
NDRC	2013	产业结构调整指导目录 (2011年本) (修正). [Catalogue for the Guidance of Industrial Structure Adjustment (2011) (revised)]. Available from: <a href="http://www.gov.cn/gongbao/content/2013/content_2404709.htm">http://www.gov.cn/gongbao/content/2013/content_2404709.htm</a>
Nelson et al	2010	Exposure to polyfluoroalkyl chemicals and cholesterol, body weight, and insulin resistance in the general U.S. population. <i>Environ Health Perspect</i> 118:197-202.
NICNAS	2015a	Environment Tier II Assessment of Perfluorooctanoic Acid (PFOA) and its Direct Precursors. National Industrial Chemicals Notification and Assessment Scheme, Sydney, Australia. Available from: <a href="https://www.nicnas.gov.au/chemical-information/imap-assessments/imap-assessments/tier-ii-environment-assessments/perfluorooctanoic-acid-and-its-direct-precursors">https://www.nicnas.gov.au/chemical-information/imap-assessments/imap-assessments/tier-ii-environment-assessments/perfluorooctanoic-acid-and-its-direct-precursors</a> .



NICNAS	2015b	Environment Tier II Assessment for Indirect Precursors to Perfluorooctanoic Acid (PFOA). National Industrial Chemicals Notification and Assessment Scheme, Sydney, Australia. Available from: <a href="http://www.nicnas.gov.au/chemical-information/imap-assessments/imap-assessments/tier-ii-environment-assessments/indirect-precursors-to-perfluorooctanoic-acid-pfoa">http://www.nicnas.gov.au/chemical-information/imap-assessments/imap-assessments/tier-ii-environment-assessments/indirect-precursors-to-perfluorooctanoic-acid-pfoa</a> .
Nielsen	2013	PFOA Isomers, Salts and Precursors, Literature study and evaluation of physico-chemical properties. TA-nummer 2944/2012, Klif project no. 3012013. CTCC, Department of Chemistry, University of Oslo. Available from: <a href="http://www.miljodirektoratet.no/old/klif/publikasjoner/2944/ta2944.pdf">http://www.miljodirektoratet.no/old/klif/publikasjoner/2944/ta2944.pdf</a> .
Nielsen	2014	Potential PFOA Precursors, Literature study and theoretical assessment of abiotic degradation pathways leading to PFOA. M-231/2014. CTCC, Department of Chemistry, University of Oslo. Available from: <a href="http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M231/M231.pdf">http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M231/M231.pdf</a> .
Nilsson	2010a	Inhalation exposure to fluorotelomer alcohols yield perfluorocarboxylates in human blood? <i>Environ Sci Technol</i> 44:7717-22.
Nilsson	2010b	A time trend study of significantly elevated perfluorocarboxylate levels in humans after using fluorinated ski wax. <i>Environ Sci Technol</i> 44:2150-5.
NILU	2013	Perfluorinated alkylated substances, brominated flame retardants and chlorinated paraffins in the Norwegian Environment – Screening 2013.
NILU	2015	Monitoring of environmental contaminants in air and precipitation, annual report 2014. Available from: <a href="http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M368/M368.pdf">http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M368/M368.pdf</a>
Nordén et al	2016	Developmental toxicity of PFOS and PFOA in great cormorant ( <i>Phalacrocorax carbo sinensis</i> ), herring gull ( <i>Larus argentatus</i> ) and chicken ( <i>Gallus gallus domesticus</i> ). <i>Environ Sci Pollut Res Int</i> (in press).
NTN	2016	National Toxics Network: The persistence and Toxicity of Perfluorinated Compounds in Australia, M. Lloyd-Smith, R. Senjen, January 2016.
Numata et al	2014	Toxicokinetics of seven perfluoroalkyl sulfonic and carboxylic acids in pigs fed a contaminated diet. <i>J Agric Food Chem</i> 62:6861-70.
Oakes et al	2004	Impact of perfluorooctanoic acid on fathead minnow ( <i>Pimephales promelas</i> ) fatty acyl-CoA oxidase activity, circulating steroids, and reproduction in outdoor microcosms. <i>Environ Toxicol Chem</i> 23:1912–9.
O'Brien et al	2009	Pipping success and liver mRNA expression in chicken embryos exposed in ovo to C8 and C11 perfluorinated carboxylic acids and C10 perfluorinated sulfonate. <i>Toxicol Lett</i> 190: 134–9.
OECD	2006	Organisation for Economic Co-Operation and Development, SIDS Initial Assessment Report, Paris, France. 18-21 April 2006.
OECD	2007	Organisation for Economic Co-Operation and Development, Lists of PFOA, PFAS, PFCA, Related compounds and chemicals that may degrade to PFCA.
OECD	2011	Organisation for Economic Co-Operation and Development, PFCs: Outcome of the 2009 survey: Survey on the production, use and releases of PFOS, PFAS, PFOA, PFCA, their related substances and products/mixtures containing these substances, OECD, Paris.
OECD	2013	OECD/UNEP Global PFC Group, Synthesis paper on per- and polyfluorinated chemicals (PFCs), Environment, Health and Safety, Environment Directorate, OECD.

OECD	2015	Risk Reduction Approaches for PFASs – A Cross-Country Analysis. Available from: <a href="http://www.oecd.org/chemicalsafety/risk-management/Risk_Reduction_Approaches%20for%20PFASS.pdf">http://www.oecd.org/chemicalsafety/risk-management/Risk_Reduction_Approaches%20for%20PFASS.pdf</a> .
Oliaei et al	2013	PFOS and PFC releases and associated pollution from a PFC production plant in Minnesota (USA). <i>Environ Sci Pollut Res</i> 20:1977-92.
Olsen and Zobel	2007	Assessment of lipid, hepatic, and thyroid parameters with serum perfluorooctanoate (PFOA) concentrations in fluorochemical production workers. <i>Int Arch Occup Environ Health</i> 81:231-46.
Olsen et al	2007	Half-life of serum elimination of perfluorooctanesulfonate, perfluorohexanesulfonate, and perfluorooctanoate in retired fluorochemical production workers. <i>Environ Health Perspect</i> 115:1298-305.
OSPAR	2006	Perfluorooctane Sulphonate PFOS. OSPAR Commission 2005 (2006 Update). OSPAR Background Document on Perfluorooctane Sulphonate. Hazard substance series, 269/2006.
PACE Analytical	2001	The 18-day aerobic biodegradation study of perfluorooctanesulfonyl-based chemistries. Contract Analytical Project ID: CA097. Submitted to the Office of Pollution Prevention and Toxics, US Environmental Protection Agency, Washington, DC (OPPT Administrative Record AR226-1030a 038).
Palazzolo	1993	Thirteen week dietary study with T-5180, ammonium perfluorooctanoate (CAS No. 3825-26-1) in male rats. Final report. Laboratory project Identification HWI 6329-100. Hazelton Wisconsin, Inc. US EPA AR226-0449.
Papadopoulou et al	2015	Reliability of perfluoroalkyl substances in plasma of 100 women in two consecutive pregnancies. <i>Environ Res</i> 140:421-9.
Parliament of Australia	2016	Contamination of Australia's Defence Force facilities and other Commonwealth, state and territory sites in Australia. Available from: <a href="http://www.aph.gov.au/Parliamentary_Business/Committees/Senate/Foreign_Affairs_Defence_and_Trade/ADF_facilities">http://www.aph.gov.au/Parliamentary_Business/Committees/Senate/Foreign_Affairs_Defence_and_Trade/ADF_facilities</a> .
Paustenbach et al	2007	A methodology for estimating human exposure to perfluorooctanoic acid (PFOA) : a retrospective exposure assessment of a community (1951-2003). <i>J Toxicol Environ Health</i> 70:28-57.
Peden-Adams	2004a	Immune function and clinical blood parameters correlate with perfluorinated alkyl acid concentrations in bottlenose dolphins. Poster presentation at the Society of Environmental Toxicology and Chemistry's (SETAC) 25 <sup>th</sup> Annual Meeting in North America, November 14–18, 2004, Portland, Oregon.
Peden-Adams	2004b	Perfluorinated alkyl acids measured in sea turtle blood correlate to modulations in plasma chemistry values and immune function measurements. Poster presentation at the Society of Environmental Toxicology and Chemistry's (SETAC) 25 <sup>th</sup> Annual Meeting in North America, November 14–18, 2004, Portland, Oregon.
Perkins et al	2004	13-week dietary toxicity study of ammonium perfluorooctanoate (APFO) in male rats. <i>Drug Chem Toxicol</i> 27: 361–78.
PFOA Stewardship Programme	2014	US EPA company progress reports for 2014. Available from: <a href="http://epa.gov/oppt/pfoa/pubs/preports.htm">http://epa.gov/oppt/pfoa/pubs/preports.htm</a> .
Pistocchi and Loos	2009	A map of European emissions and concentrations of PFOS and PFOA. <i>Environ Sci Technol</i> 43:9237-44.

Place and Field	2012	Identification of novel fluorochemicals in aqueous film-forming foams (AFFF) used by the US military. <i>Environ Sci Technol</i> 46:7120-7.
Post et al	2009	Occurrence and potential significance of perfluorooctanoic acid (PFOA) detected in New Jersey public drinking water systems. <i>Environ Sci Technol</i> 43:4547-54.
Post et al	2012	Perfluorooctanoic acid (PFOA), an emerging drinking water contaminant: A critical review of recent literature. <i>Environ Res</i> 116:93-117.
Poulsen et al	2005	More environmentally friendly alternatives to PFOS-compounds and PFOA. Danish Ministry of the Environment. Available from: <a href="http://www2.mst.dk/common/Udgivramme/Frame.asp?http://www2.mst.dk/udgiv/Publications/2005/87-7614-668-5/html/default_eng.htm">http://www2.mst.dk/common/Udgivramme/Frame.asp?http://www2.mst.dk/udgiv/Publications/2005/87-7614-668-5/html/default_eng.htm</a> .
Prevedouros et al	2006	Sources, fate and transport of perfluorocarboxylates. <i>Environ Sci Technol</i> 40:32-44.
Prokop et al	1989	Analysis of the products from the electrochemical fluorination of octanoyl chloride. <i>Journal of Fluorine Chemistry</i> 43:277-90.
Qazi et al	2009	The atrophy and changes in the cellular compositions of the thymus and spleen observed in mice subjected to short-term exposure to perfluorooctanesulfonate are high-dose phenomena mediated in part by peroxisome proliferator-activated receptor-alpha (PPARalpha). <i>Toxicology</i> 260:68-76.
Qin et al	2016	Positive associations of serum perfluoroalkyl substances with uric acid and hyperuricemia in children from Taiwan. <i>Environ Pollut</i> 212:519-24.
Rankin et al	2014	Investigating the biodegradability of fluorotelomer-based acrylate polymer in a soil-plant microcosm by indirect and direct analysis. <i>Environ Sci Technol</i> 48:12783-90.
Rayne and Forest	2010	Modeling the hydrolysis of perfluorinated compounds containing carboxylic and phosphoric acid ester functions and sulfonamide groups. <i>J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng</i> 45:432-46.
Renner	2008	Do perfluoropolymers biodegrade into PFOA? <i>Environ Sci Technol</i> 42:648-50.
Rigét	2013	Trends of perfluorochemicals in Greenland ringed seals and polar bears: Indications of shifts to decreasing trends. <i>Chemosphere</i> , 93:1607-14.
Rodea Palomares et al	2015	Effect of PFOA/PFOS pre-exposure on the toxicity of the herbicides 2,4-D, atrazine, diuron and paraquat to a model aquatic photosynthetic microorganism. <i>Chemosphere</i> 139:65-72.
Rotander et al	2012	Increasing levels of long-chain perfluorocarboxylic acids (PFCAs) in Arctic and North Atlantic marine mammals, 1984-2009. <i>Chemosphere</i> 86:278-85.
Royer et al	2011	An investigation of the biodegradation potential of 8:2 fluorotelomer esters in environmentally relevant systems. Doctoral thesis of Purdue University, West Lafayette, IN.
Rüdel et al	2011	Survey of patterns, levels, and trends of perfluorinated compounds in aquatic organisms and bird eggs from representative German ecosystems. <i>Environ Sci Pollut Res Int</i> 18:1457-70.
Russell et al	2008	Investigation of the biodegradation potential of a fluoroacrylate polymer product in aerobic soils. <i>Environ Sci Technol</i> 42:800-7.
Russell et al	2010	Evaluation of PFO formation from the biodegradation of a fluorotelomer-based urethane polymer product in aerobic soils. <i>Polymer Degradation and Stability</i> 95:79-85.

Russell et al	2015	Calculation of chemical elimination half-life from blood with an ongoing exposure source: the example of perfluorooctanoic acid (PFOA). <i>Chemosphere</i> 129:210-6.
Saez et al	2008	Uncommon PFC-profile in Arctic ice samples from Russia. <i>Organohalogen Compounds</i> 70:1870-3.
Sagiv et al	2015	Sociodemographic and perinatal predictors of early pregnancy per- and polyfluoroalkyl Substance (PFAS) concentrations. <i>Environ Sci Technol</i> 49:11849-58.
Sakr et al	2007	Longitudinal study of serum lipids and liver enzymes in workers with occupational exposure to ammonium perfluorooctanoate. <i>J Occup Environ Med</i> 49:872-9.
Savitz et al	2012	Perfluorooctanoic acid exposure and pregnancy outcomes in a highly exposed community. <i>Epidemiology</i> 23:386-92.
Schlummer et al	2015	Emission of perfluoroalkyl carboxylic acids (PFCA) from heated surfaces made of polytetrafluoroethylene (PTFE) applied in food contact materials and consumer products. <i>Chemosphere</i> 129: 46-53.
Schultz et al	2006	Fluorochemical mass flows in a municipal wastewater treatment facility. <i>Environ Sci Technol</i> 40:7350-7.
Schwanz et al	2015	Perfluoroalkyl substances assessment in drinking waters from Brazil, France and Spain. <i>Sci Total Environ</i> 539:143-52.
Shan et al	2015	Occurrence, fluxes and sources of perfluoroalkyl substances with isomer analysis in the snow of northern China. <i>J Hazard Mater</i> 299:639-46.
Shan et al	2016	Impacts of daily intakes on the isomeric profiles of perfluoroalkyl substances (PFASs) in human serum. <i>Environ Int</i> 89–90:62–70.
Shi et al	2015	Characterizing direct emissions of perfluoroalkyl substances from ongoing fluoropolymer production sources: A spatial trend study of Xiaoqing River, China. <i>Environ Pollut</i> 206:104-12.
Shoeib et al	2015	Poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs) in indoor dust and food packaging materials in Egypt: Trends in developed and developing countries <i>Chemosphere</i> 144:1573-81.
Shrestha et al	2015	Perfluoroalkyl substances and thyroid function in older adults. <i>Environ Int</i> 75:206-14.
SIA	2015	Semiconductor Industries Association, Submission of information specified in Annex E to the Stockholm Convention pursuant to Article 8 of the Convention.
Sinclair et al	2007	Quantitation of gas-phase perfluoroalkyl surfactants and fluorotelomer alcohols released from nonstick cookware and microwave popcorn bags. <i>Environ Sci Technol</i> 41:1180-5.
Singh et al	2012	Perfluorooctanoic acid induces mast cell-mediated allergic inflammation by the release of histamine and inflammatory mediators. <i>Toxicol Lett</i> 210:64-70.
Smithwick et al	2005	Circumpolar study of perfluoroalkyl contaminants in polar bears ( <i>Ursus maritimus</i> ). <i>Environ Sci Technol</i> 39:5517-23.
Smits and Nain	2013	Immunomodulation and hormonal disruption without compromised disease resistance in perfluorooctanoic acid (PFOA) exposed Japanese quail. <i>Environ Pollut</i> 179:13-8.
Sonne et al	2008	Potential correlation between perfluorinated acids and liver morphology in East Greenland polar bears ( <i>Ursus maritimus</i> ). <i>Toxicol Environ Chem</i> 90: 275–83.

Stahl et al	2009	Carryover of perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctane sulfonate (PFOS) from soil to plants. <i>Arch Environ Contam Toxicol</i> 57:289-98.
Steenland et al	2009	Association of perfluorooctanoic acid and perfluorooctane sulfonate with serum lipids among adults living near a chemical plant. <i>Am J Epidemiol</i> 170:1268-78.
Steenland et al	2010a	Association of perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctanesulfonate (PFOS) with uric acid among adults with elevated community exposure to PFOA. <i>Environ Health Perspect</i> 118: 229–33.
Steenland et al	2010b	Epidemiologic evidence on the health effects of perfluorooctanoic acid (PFOA). <i>Environ Health Perspect</i> 118:1100–8.
Steenland et al	2012	Cohort mortality study of workers exposed to perfluorooctanoic acid. 2012. <i>Am J Epidemiol</i> 176:909-17.
Steenland et al	2015	A cohort incidence study of workers exposed to perfluorooctanoic acid (PFOA). <i>Occup Environ Med</i> 72:373-80.
Stein et al	2009	Serum levels of perfluorooctanoic acid and perfluorooctane sulfonate and pregnancy outcome. <i>Am J Epidemiol</i> 170:837–46.
Stein et al	2013	Perfluorooctanoate and neuropsychological outcomes in children. <i>Epidemiology</i> . 24:590-9.
Stevenson et al	2006	New perspectives on perfluorochemical ecotoxicology: inhibition and induction of an efflux transporter in the marine mussel, <i>Mytilus californianus</i> . <i>Environ Sci Technol</i> 40:5580–5.
Stemmler and Lammel	2010	Pathways of PFOA to the Arctic: variabilities and contributions of oceanic currents and atmospheric transport and chemistry sources. <i>Atmos Chem Phys</i> 10:9965-80.
Stock et al	2007	Perfluoroalkyl contaminants in the Canadian Arctic: evidence of atmospheric transport and local contamination. <i>Environ Sci Technol</i> 41:3529-36.
Su et al	2016	Serum perfluorinated chemicals, glucose homeostasis and the risk of diabetes in working-aged Taiwanese adults. <i>Environ Int</i> 88:15-22.
Suh et al	2011	Perfluorooctanoic acid-induced inhibition of placental prolactin-family hormone and fetal growth retardation in mice. <i>Mol Cell Endocrinol</i> 337:7-15.
Tao et al	2006	Perfluorooctanesulfonate and related fluorochemicals in albatrosses, elephant seals, penguins, and polar skuas from the Southern Ocean. <i>Environ Sci Technol</i> 40:7642-8.
Taylor et al	2013	Perfluoroalkyl chemicals and menopause among women 20-65 years of age (NHANES). <i>Environ Health Perspect</i> 122:145-50.
Taylor et al	2014	Investigation of waste incineration of fluorotelomer-based polymers as a potential source of PFOA in the environment. <i>Chemosphere</i> 110:17–22.
Thomford et al	2001	26-week capsule toxicity study with ammonium perfluorooctanoate (APFO) in cynomolgus monkeys. Report prepared by Covance Laboratories Inc., Madison, Wisconsin (Covance 6329-231; Sponsor's study identification T-6889.3).
Thompson et al	2011a	Perfluorinated alkyl acids in water, sediment and wildlife from Sydney Harbour and surroundings. <i>Mar Pollut Bull</i> 62:2869-75.

Thompson et al	2011b	Concentrations of PFOS, PFOA and other perfluorinated alkyl acids in Australian drinking water. <i>Chemosphere</i> 83:1320-5.
Tian et al	2016	Human exposure to per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) via house dust in Korea: Implication to exposure pathway. <i>Sci Total Environ</i> 553:266-75.
Todd	1979	FC-143 photolysis study using simulated sunlight. Report No. 002. Submitted to Office of Pollution Prevention and Toxics, US Environmental Protection Agency, Washington, DC (OPPT Administrative Record AR226-0490).
Tominaga et al	2004	Effects of perfluoro organic compound toxicity on nematode <i>Caenorhabditis elegans</i> fecundity. <i>J Health Sci</i> 50: 545–50.
Toms et al	2014	Decline in perfluorooctane sulfonate and perfluorooctanoate serum concentrations in an Australian population from 2002 to 2011. <i>Environ Int</i> 71:74-80.
Tomy et al	2004	Fluorinated organic compounds in an eastern Arctic marine food web. <i>Environ Sci Technol</i> 38:6475–81.
Tomy et al	2009	Trophodynamics of some PFCs and BFRs in a western Canadian Arctic marine food web. <i>Environ Sci Technol</i> 43:4076-81.
Tucker et al	2015	The mammary gland is a sensitive pubertal target in CD-1 and C57Bl/6 mice following perinatal perfluorooctanoic acid (PFOA) exposure. <i>Reprod Toxicol</i> 54:24-36.
Ulhaq et al	2015	Tissue uptake, distribution and elimination of 14C-PFOA in zebrafish ( <i>Danio rerio</i> ). <i>Aquat Toxicol</i> 163:148-57.
Umweltbundesamt	2009	Do without perfluorinated chemicals and prevent their discharge into the environment. German Federal Environment Agency, Dessau.
Umweltbundesamt	2012	Project UM-MuKi: NBDAAA-00055 Final Report. Chemicals in mothers and their newborn in mothers The Um-MuKi Bratislava-Vienna study. Available from: <a href="http://www.um-muki.eu/">http://www.um-muki.eu/</a> .
Umweltbundesamt AT	2013	POP Biomonitoring: Belastung ausgewählter Muttermilchproben auf perfluorierte Verbindungen. Report, Umweltbundesamt Österreich.
Umweltbundesamt	2014	Understanding the exposure pathways of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) via use of PFASs-containing products – risk estimation for man and environment. Report No. (UBA-FB) 001935/E. Available from: <a href="http://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/understanding-the-exposure-pathways-of-per">http://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/understanding-the-exposure-pathways-of-per</a> .
UNEP/POPS/POPR C.11/5	2015	Proposal to list pentadecafluorooctanoic acid (CAS No: 335-67-1, PFOA, perfluorooctanoic acid), its salts and PFOA-related compounds in Annexes A, B and/or C to the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants.
US EPA	2002	Revised draft hazard assessment of perfluorooctanoic acid and its salts. November 4, 2002. Washington (DC): US Environmental Protection Agency, Office of Pollution Prevention and Toxics, Risk Assessment Division.
US EPA	2006	US Environmental Protection Agency. 2006. SAB review of EPA's draft risk assessment of potential human health effects associated with PFOA and its salts. Washington (DC): US Environmental Protection Agency, Science Advisory Board. Report EPA-SAB-06-006. Available from: <a href="http://yosemite.epa.gov/sab/sabproduct.nsf/A3C83648E77252828525717F004B9099/\$File/sab_06_006.pdf">http://yosemite.epa.gov/sab/sabproduct.nsf/A3C83648E77252828525717F004B9099/\$File/sab_06_006.pdf</a> .

US EPA	2009a	Perfluorocarboxylic Acid Content in 116 Articles of Commerce. Available from: <a href="http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P100EA62.pdf">http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P100EA62.pdf</a> .
US EPA	2009b	Lindstrom, A. B.; Strynar, M. J.; Delinsky, A. D.; McMillan, L.; Nakayama, S. F. Results of the Analyses of Screening Surface and Well Water Samples from Decatur, Alabama for Selected Per-fluorinated Compounds. EPA 600/C-09-004, May 2009; US EPA National Exposure Research Laboratory: Research Triangle Park, NC, 2009. Pg 7,8 Available from: <a href="https://archive.epa.gov/pesticides/region4/water/documents/web/pdf/epa_final_report_water_pfcs_rev_1_052809.pdf">https://archive.epa.gov/pesticides/region4/water/documents/web/pdf/epa_final_report_water_pfcs_rev_1_052809.pdf</a> . Available from: <a href="https://archive.epa.gov/pesticides/region4/water/documents/web/pdf/epa_final_report_water_pfcs_rev_1_052809.pdf">https://archive.epa.gov/pesticides/region4/water/documents/web/pdf/epa_final_report_water_pfcs_rev_1_052809.pdf</a> .
US EPA	2014	Emerging Contaminants – Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) and Perfluorooctanoic Acid (PFOA), US EPA factsheet.
US EPA	2015	United States Environmental Protection Agency, PFOA Stewardship Programme. Available from: <a href="http://www.epa.gov/assessing-and-managing-chemicals-under-tsca/20102015-pfoa-stewardship-program">http://www.epa.gov/assessing-and-managing-chemicals-under-tsca/20102015-pfoa-stewardship-program</a> .
US EPA	2016	Monitoring Unregulated Drinking Water Contaminants. Occurrence Data for the Unregulated Contaminant Monitoring Rule. Available from: <a href="https://www.epa.gov/dwucmr/occurrence-data-unregulated-contaminant-monitoring-rule">https://www.epa.gov/dwucmr/occurrence-data-unregulated-contaminant-monitoring-rule</a>
US EPA	2016b	Drinking Water Health Advisory for Perfluorooctanoic Acid (PFOA). EPA Document Number: 822-R-16-005. Available from: <a href="https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-05/documents/pfoa_health_advisory_final-plain.pdf">https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-05/documents/pfoa_health_advisory_final-plain.pdf</a> .
US NIEHS	2016	National Toxicology Program. Systematic Review Of Immunotoxicity Associated With Exposure To Perfluorooctanoic Acid (PFOA) Or Perfluorooctane Sulfonate (PFOS). Available from: <a href="http://ntp.niehs.nih.gov/ntp/about_ntp/monopeerrvw/2016/july/draftsystematicreviewimmunotoxicityassociatedpfoa_pfos_508.pdf">http://ntp.niehs.nih.gov/ntp/about_ntp/monopeerrvw/2016/july/draftsystematicreviewimmunotoxicityassociatedpfoa_pfos_508.pdf</a> .
Vagi et al	2014	Exploring the potential association between brominated diphenyl ethers, polychlorinated biphenyls, organochlorine pesticides, perfluorinated compounds, phthalates, and bisphenol a in polycystic ovary syndrome: a case-control study. BMC Endocrine Disorders, 14:86
vanVan den Heuvel-Greve et al	2009	Bioaccumulation of perfluorinated compounds in a harbour seal food web of the Westerschelde, the Netherlands: a field study. Présentation d'affiche lors de la SETAC North America. 30th Annual Meeting, Nouvelle-Orléans (LA). Long-chain perfluorinated compounds (PFOS/PFOA) in juvenile chickens.
vanVan der Putte et al	2010	Analysis of the risks arising from the industrial use of Perfluorooctanoic Acid (PFOA) and Ammonium Perfluorooctanoate (APFO) and from their use in consumer articles. Evaluation of the risk reduction measures for potential restrictions on the manufacture, placing on the market and use of PFOA and APFO. European Commission, DG Enterprise and Industry, for the European Commission, DG Enterprise and Industry. Report TOX08.7049.FR03.
van Zelm et al	2008	Modeling the environmental fate of perfluorooctanoate and its precursors from global fluorotelomer acrylate polymer use. Environ Toxicol Chem 27:2216-23.
Veillette et al	2012	Perfluorinated chemicals in meromictic lakes on the northern coast of Ellesmere Island, High Arctic Canada. Arctic, 65:245-56.
Velez et al	2015	Maternal exposure to perfluorinated chemicals and reduced fecundity: the MIREC study. Hum Reprod 30:701-9.
Verner et al	2015	Associations of perfluoroalkyl substances (PFAS) with lower birth weight: an evaluation of potential confounding by glomerular filtration rate using a physiologically based pharmacokinetic model. Environ Health Perspect 123:1317-24.

Vestergren et al	2008	Estimating the contribution of precursor compounds in consumer exposure to PFOS and PFOA. <i>Chemosphere</i> 73:1617-24.
Vestergren and Cousins	2009	Tracking the pathways of human exposure to perfluorocarboxylates. <i>Environ Sci Technol</i> 43:5565-75.
Vestergren et al	2015	Are imported consumer products an important diffuse source of PFASs to the Norwegian environment? <i>Environ Pollut</i> 198:223-30.
Vieira et al	2013	Perfluorooctanoic acid exposure and cancer outcomes in a contaminated community: a geographic analysis. <i>Environ Health Perspect</i> 121:318-23.
Vierke et al	2011	Air concentrations and particlegas partitioning of polyfluoroalkyl compounds at a wastewater treatment plant. <i>Environ Chem</i> 8:363-71.
Vierke et al	2012	Perfluorooctanoic acid (PFOA) — main concerns and regulatory developments in Europe from an environmental point of view. <i>Environ Sci Eur</i> 24:16.
Vierke et al	2013	Estimation of the acid dissociation constant of perfluoroalkyl carboxylic acids through an experimental investigation of their water-to-air transport. <i>Environ Sci Technol</i> 47:11032-9.
Vorkamp et al	2014	Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and perfluoroalkyl substances (PFASs) in serum of pregnant women – levels, correlations and potential health implications. <i>Archives of Environmental Contamination and Toxicology</i> 67, 9-20.
Wang et al	2005a	Fluorotelomer alcohol biodegradation-direct evidence that perfluorinated carbon chains breakdown. <i>Environ Sci Technol</i> 39:7516-28.
Wang et al	2005b	Aerobic biotransformation of <sup>14</sup> C-labeled 8-2 telomer B alcohol by activated sludge from a domestic sewage treatment plant. <i>Environ Sci Technol</i> 39:531-8.
Wang et al	2009	8-2 fluorotelomer alcohol aerobic soil biodegradation: pathways, metabolites, and metabolite yields. <i>Chemosphere</i> 75:1089-96.
Wang et al	2014a	Global Emission Inventories for C4-C14 Perfluoroalkyl Carboxylic Acid (PFCA) Homologues from 1951 to 2030, Part I: Production and Emission from Quantifiable Sources. <i>Environ Int</i> 70:62-75.
Wang et al	2014b	Accumulation of Perfluoroalkyl Compounds in Tibetan Mountain Snow: Temporal Patterns from 1980 to 2010. <i>Environ Sci Technol</i> 48:173-81.
Wang et al	2014c	Global emission inventories for C4–C14 perfluoroalkyl carboxylic acid (PFCA) homologues from 1951 to 2030, part II: The remaining pieces of the puzzle. <i>Environ Int</i> 69:166-76.
Wang et al	2015	Neutral poly/per-fluoroalkyl substances in air from the Atlantic to the Southern Ocean and in Antarctic snow. <i>Environ Sci Technol</i> 49:7770-5.
Wang et al	2016	Shifts in production of perfluoroalkyl acids affect emissions and concentrations in the environment of the Xiaoqing River Basin in China. <i>J Hazard Mater</i> 307:55-63.
Ward and Boeri	1990	Static acute toxicity of FX-1003 to the daphnid, <i>Daphnia magna</i> . Submitted to Office of Pollution Prevention and Toxics, US Environmental Protection Agency, Washington, DC (OPPT Administrative Record AR226-0517).
Ward et al	1995a	Acute toxicity of N2803-2 to the freshwater alga, <i>Pseudokirchneriella subcapitata</i> . Submitted to Office of Pollution Prevention and Toxics, US Environmental Protection Agency, Washington, DC (OPPT Administrative Record AR226-1030a).



Ward et al	1995b	Growth and reproduction toxicity test with L-13492 and the freshwater alga, <i>Pseudokirchneriella subcapitata</i> . Submitted to Office of Pollution Prevention and Toxics, US Environmental Protection Agency, Washington, DC (OPPT Administrative Record AR226-1030a 096).
Ward et al	1995c	Acute toxicity of L-13492 to the daphnid, <i>Daphnia magna</i> . Submitted to Office of Pollution Prevention and Toxics, US Environmental Protection Agency, Washington, DC (OPPT Administrative Record AR226-1030a 092).
Ward et al	1996a	Growth and reproduction toxicity test with N2803-4 and the freshwater alga, <i>Pseudokirchneriella subcapitata</i> . Submitted to Office of Pollution Prevention and Toxics, US Environmental Protection Agency, Washington, DC (OPPT Administrative Record AR226-1030a 101).
Ward et al	1996b	Growth and reproduction toxicity test with N2803-3 and the freshwater alga, <i>Pseudokirchneriella subcapitata</i> . Submitted to Office of Pollution Prevention and Toxics, US Environmental Protection Agency, Washington, DC (OPPT Administrative Record AR226-0518).
Ward et al	1996c	Growth and reproduction toxicity test with FC-1015 and the freshwater alga, <i>Pseudokirchneriella subcapitata</i> . Submitted to Office of Pollution Prevention and Toxics, US Environmental Protection Agency, Washington, DC (OPPT Administrative Record AR226-0526).
Ward et al	1996d	Acute toxicity of N2803-2 to the daphnid, <i>Daphnia magna</i> . Submitted to Office of Pollution Prevention and Toxics, US Environmental Protection Agency, Washington, DC (OPPT Administrative Record AR226-1030a 099).
Ward et al	1996e	Acute toxicity of N2803-4 to the daphnid, <i>Daphnia magna</i> . Submitted to Office of Pollution Prevention and Toxics, US Environmental Protection Agency, Washington, DC (OPPT Administrative Record AR226-1030a 102).
Ward et al	1996f	Acute toxicity of N2803-3 to the daphnid, <i>Daphnia magna</i> . Submitted to Office of Pollution Prevention and Toxics, US Environmental Protection Agency, Washington, DC (OPPT Administrative Record AR226-0520).
Ward et al	1996g	Acute toxicity of N2803-4 to the fathead minnow, <i>Pimephales promelas</i> . Submitted to Office of Pollution Prevention and Toxics, US Environmental Protection Agency, Washington, DC (OPPT Administrative Record AR226-1030a 100).
Ward et al	1996h	Acute toxicity of N2803-3 to the fathead minnow, <i>Pimephales promelas</i> . Submitted to Office of Pollution Prevention and Toxics, US Environmental Protection Agency, Washington, DC (OPPT Administrative Record AR226-0519).
Ward et al	1996i	Acute toxicity of FC-1015 to the fathead minnow, <i>Pimephales promelas</i> . Submitted to Office of Pollution Prevention and Toxics, US Environmental Protection Agency, Washington, DC (OPPT Administrative Record AR226-0525).
Washburn et al	2005	Exposure assessment and risk characterization for perfluorooctanoate in selected consumer articles. <i>Environ Sci Technol</i> 39:3904-10.
Washington et al	2009	Degradability of an acrylate-linked, fluorotelomer polymer in soil. <i>Environ Sci Technol</i> 43:6617-23.
Washington et al	2014	Decades-Scale Degradation of Commercial, Side-Chain, Fluorotelomer-Based Polymers in Soils and Water. <i>Environ. Sci. Technol.</i> 2015, 49, 915–923
Washington and Jenkins	2015	Abiotic hydrolysis of fluorotelomer-based polymers as a source of perfluorocarboxylates at the global scale. <i>Environ Sci Technol</i> 49:14129-35.

- Washino et al 2009 Correlations between prenatal exposure to perfluorinated chemicals and reduced fetal growth. *Environ Health Perspect* 117:660-7.
- Wei et al 2007 Estrogen-like properties of perfluorooctanoic acid as revealed by expressing hepatic estrogen-responsive genes in rare minnows (*Gobiocypris rarus*). *Environ Toxicol Chem* 26:2440-7.
- Wei et al 2008 Toxicogenomic analysis of the hepatic effects of perfluorooctanoic acid on rare minnows (*Gobiocypris rarus*). *Toxicol Appl Pharmacol* 226:285-97.
- White et al 2007 Gestational PFOA exposure of mice is associated with altered mammary gland development in dams and female offspring. *Toxicol Sci* 96:133-44.
- White et al 2009 Effects of perfluorooctanoic acid on mouse mammary gland development and differentiation resulting from cross-foster and restricted gestational exposures. *Reprod Toxicol* 27:289-98.
- White et al 2011 Gestational and chronic low-dose PFOA exposures and mammary gland growth and differentiation in three generations of CD-1 mice. *Environ Health Perspect* 119:1070-6.
- Whitworth et al 2012a Perfluorinated compounds and subfecundity in pregnant women. *Epidemiology* 23:257-63.
- Whitworth et al 2012b Perfluorinated compounds in relation to birth weight in the Norwegian Mother and Child Cohort Study. *Am J Epidemiol* 175:1209-16.
- Wilhelm et al 2010 Occurrence of perfluorinated compounds (PFCs) in drinking water of North Rhine-Westphalia, Germany and new approach to assess drinking water contamination by shorter-chained C4-C7 PFCs. *Int J Hyg Environ Health* 213:224-32.
- Wolf et al 2007 Developmental toxicity of perfluorooctanoic acid in the CD-1 mouse after cross-foster and restricted gestational exposures. *Toxicol Sci* 95:462-73.
- Wu et al 2012 Association between maternal exposure to perfluorooctanoic acid (PFOA) from electronic waste recycling and neonatal health outcomes. *Environ Int* 48:1-8.
- Wuttke et al 2013 First Nations Biomonitoring Initiative: National Results (2011). Assembly of First Nations, 2013. Print. Available from: [http://www.afn.ca/uploads/files/afn\\_fnbi\\_en.pdf](http://www.afn.ca/uploads/files/afn_fnbi_en.pdf)
- Xiao et al 2015 Perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoate (PFOA) in soils and groundwater of a U.S. metropolitan area: migration and implications for human exposure. *Water Res* 72:64-74.
- Xie et al 2015 Neutral poly-/perfluoroalkyl substances in air and snow from the Arctic. *Sci Rep* 5:8912.
- Xu et al 2013 Determination of PFOS and PFOA in food matrix of animal origin using UHPLC hyphenated triple quadrupole tandem mass spectrometry. Application Note. Agilent Technologies. Available from: <https://www.agilent.com/cs/library/applications/5991-1948EN.pdf>.
- Yahia et al 2010 Effects of perfluorooctanoic acid (PFOA) exposure to pregnant mice on reproduction. *J Toxicol Sci* 35:527-33.
- Yamada et al 2005 Thermal degradation of fluorotelomer treated articles and related materials. *Chemosphere* 61:974-84.
- Yamada et al 2014 Dietary exposure to perfluoroalkyl acids of specific French adult sub-populations: high seafood consumers, high freshwater fish consumers and pregnant women. *Sci Total Environ* 491-492:170-5.
- Yan et al 2015 Perfluoroalkyl acids in municipal landfill leachates from China: Occurrence, fate during leachate treatment and potential impact on groundwater. *Sci Total Environ* 524-525:23-31.

Yang et al	2009	Differential effects of peripubertal exposure to perfluorooctanoic acid on mammary gland development in C57Bl/6 and Balb/c mouse strains. <i>Reprod Toxicol</i> 27:299-306.
Yang	2010	Perfluorooctanoic acid induces peroxisomal fatty acid oxidation and cytokine expression in the liver of male Japanese medaka ( <i>Oryzias latipes</i> ). <i>Chemosphere</i> 81:548-52.
Yang et al	2016	Placental transfer of perfluoroalkyl substances and associations with thyroid hormones: Beijing Prenatal Exposure Study. <i>Sci Rep</i> 6:21699.
Yao et al	2014	Distribution and primary source analysis of per- and poly-fluoroalkyl substances with different chain lengths in surface and groundwater in two cities, North China. <i>Ecotoxicol Environ Saf</i> 108:318-28.
Yao et al	2016	Nationwide distribution of per- and polyfluoroalkyl substances in outdoor dust in mainland China from eastern to western areas. <i>Environ Sci Technol</i> 50:3676-85.
Yeung et al	2009	Biochemical responses and accumulation properties of long-chain perfluorinated compounds (PFOS/PFOA/PFOA) in juvenile chickens ( <i>Gallus gallus</i> ). <i>Arch Environ Contam Toxicol</i> 57: 377-86.
York	2002	Oral (gavage) two-generation (one litter per generation) reproduction study of ammonium perfluorooctanoate (APFO) in rats. Report prepared by Argus Research, Horsham, Pennsylvania (Protocol 418-020, Sponsor's Study No. T-6889.6).
Young and Mabury	2010	Atmospheric perfluorinated acid precursors: chemistry, occurrence, and impacts. <i>Rev Environ Contam Toxicol</i> 208:1-109.
Young et al	2007	Perfluorinated acids in Arctic snow: new evidence for atmospheric formation. <i>Environ Sci Technol</i> 41:3455-61.
Young et al	2008	Atmospheric chemistry of 4:2 fluorotelomer iodide (n-C <sub>4</sub> F <sub>9</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> I): kinetics and products of photolysis and reaction with OH radicals and Cl atoms. <i>J Phys Chem A</i> 112:13542-8.
Zhang et al	2013	6:2 and 8:2 fluorotelomer alcohol anaerobic biotransformation in digester sludge from a WWTP under methanogenic conditions. <i>Environ Sci Technol</i> 47:4227-35.
Zhao et al	2010	Perfluorooctanoic acid effects on steroid hormone and growth factor levels mediate stimulation of peripubertal mammary gland development in C57BL/6 mice. <i>Toxicol Sci</i> 115: 214-24.
Zhao et al	2012a	Distribution and long-range transport of polyfluoroalkyl substances in the Arctic, Atlantic Ocean and Antarctic coast. <i>Environ Pollut</i> 170:71-7.
Zhao et al	2012b	Perfluorooctanoic acid effects on ovaries mediate its inhibition of peripubertal mammary gland development in Balb/c and C57Bl/6 mice. <i>Reprod Toxicol</i> 33: 563-76.