

Взаимосвязь проблем изменения климата и разрушения озонового слоя

Ильясов Ш.А., к.т.н., Озоновый центр

Понимание международным сообществом серьезности глобальных экологических проблем по разрушению озонового слоя и изменению климата привело к подписанию сначала Венской конвенции об охране озонового слоя (1985) и Монреальского протокола по веществам, разрушающим озоновый слой (1987), а затем Рамочной конвенции ООН об изменении климата (1992) и Киотского протокола к Рамочной конвенции (1997).

В продолжении последующих лет выполнялись действия, направленные на достижения целей этих международных соглашений, успешность которых наиболее очевидна для действия в рамках Монреальского протокола (см.рис. 1 и 2).

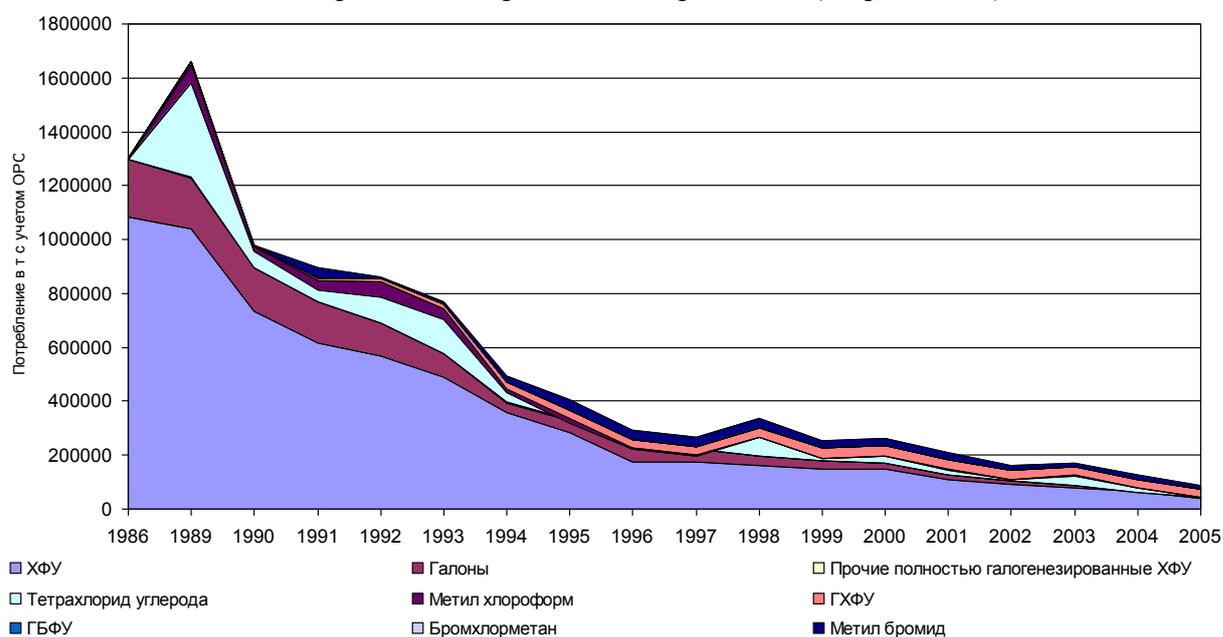


Рис. 1. Глобальное потребление озоноразрушающих веществ

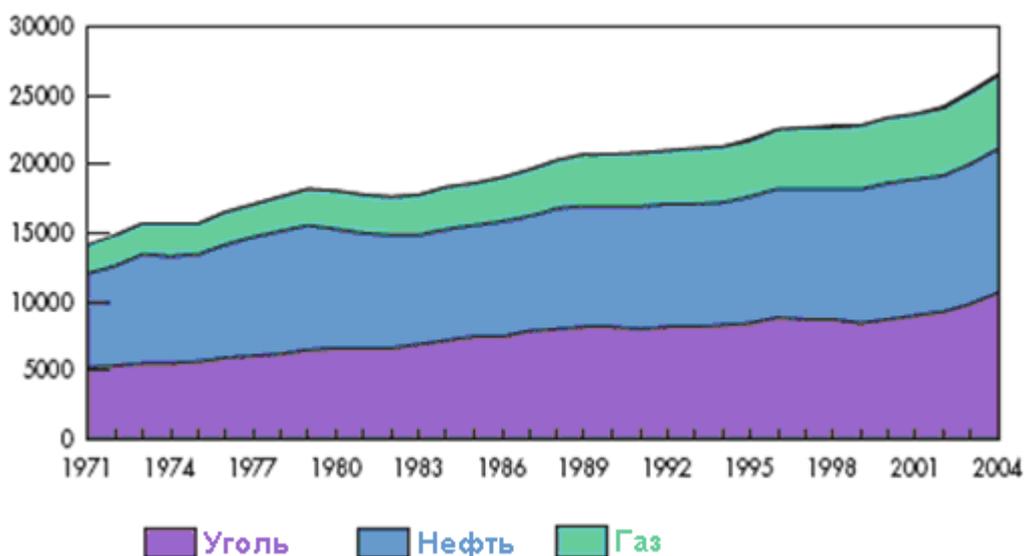


Рис. 2. Глобальная эмиссия CO₂ от различных видов топлива, Мт

Однако, в последнее время научные исследования выявили вполне ожидаемый результат – невозможно достичь положительного экологического эффекта в каждом отдельном направлении без учета взаимного влияния различных воздействий на атмосферу. Несмотря на значительное сокращение выбросов озоноразрушающих веществ в атмосферу, достигнутое за последние годы, «озоновые дыры» над полюсами не сократились, а, напротив, увеличились. В 2005 г. толщина озонового слоя уменьшилась на южном полюсе на 50%, на южном на 30%, ниже нормального уровня, что фактически составляет рекордные наблюдаемые величины. Температура, влажность, ветер, а также наличие различных химических веществ в атмосфере влияет на состояние озонового слоя, а состояние озонового слоя, в свою очередь, влияет на состояние атмосферы и связанные с этим климатические изменения, например, такие как глобальное потепление. Еще недавно прогнозировалось, что к 2050 г. озоновый слой восстановится до уровня наблюдавшегося в 1980 г., если большинство стран, придерживаясь международных соглашений о поэтапном отказе от производства и потребления озоноразрушающих веществ, выполнит свои обязательства. Но природа продолжает нас удивлять и недавние исследования атмосферных явлений продемонстрировали новые взаимосвязи в атмосфере, которые возможно изменят первоначальные прогнозы по срокам восстановления озонового слоя. Как следствие этих новых представлений, сроки восстановления озонового слоя предполагаются не ранее 2060 - 2070 гг.

Воздействие озона на климат сводится, главным образом, к изменениям температуры. Температура, кроме прочего, также зависит от содержания озона. Чем больше содержание озона в некотором слое атмосферы, тем больше тепла он аккумулирует. Озон вырабатывает тепло в стратосфере, как при поглощении солнечной ультрафиолетовой радиации, так и за счет поглощения инфракрасного излучения от поверхности земли и нижних слоев атмосферы (тропосферы). Соответственно, уменьшение содержания озона в стратосфере приводит к снижению ее температуры. Наблюдения показывают, что за последние десятилетия середина и верхние слои стратосферы (на высоте от 30 до 50 км над поверхностью Земли), охладилась на 1° - 18°C, в следствие уменьшения содержания озона в стратосфере. Эта охладение стратосферы произошло одновременно с увеличением объема выбросов парниковых газов в нижние слои атмосферы, т.е. в тропосферу.

Процесс уменьшения содержания озона в стратосфере приводит к образованию положительной обратной связи. Чем меньше толщина озонового слоя в стратосфере, тем меньше ее температура. В свою очередь уменьшение температуры ведет к уменьшению содержания озона в стратосфере за счет ускоренного разрушения в полярных регионах (см. рис. 3).

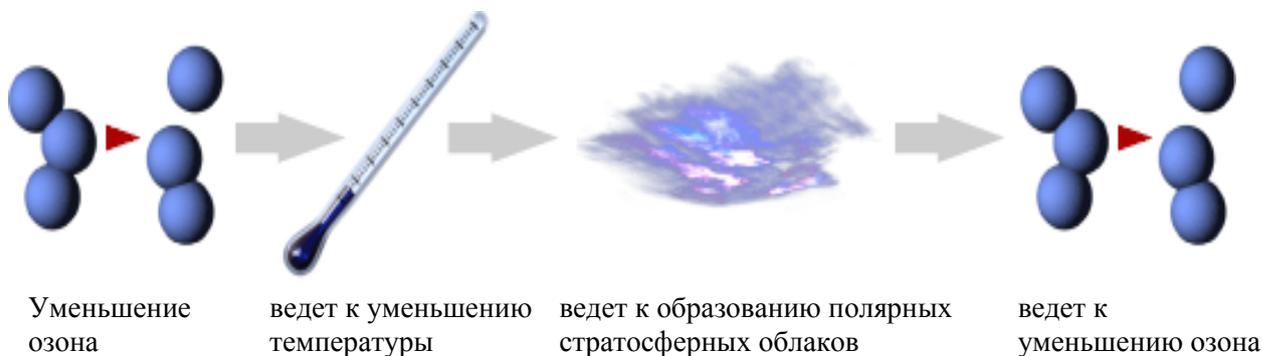


Рис. 3. Схема связи процессов разрушения озона

Самое большое уменьшение толщины озонового слоя наблюдается в Арктике и Антарктике в результате особых условий, имеющих место в зимнее время и ранней весной. Когда температура опускается ниже -78°C , образуются тонкие полярные стратосферные облака в виде смеси снега, азотной и серной кислот, а также различных других химических веществ. С весенним потеплением химические реакции на поверхности кристаллов льда в облаках приводят к образованию активных форм озоноразрушающих веществ из имеющихся там исходных форм. Начинается активный процесс разрушения озонового слоя, который приводит к образованию, так называемых «озоновых дыр». Дальнейшее повышение температуры ведет к испарению льда, и озоновый слой начинает восстанавливаться.

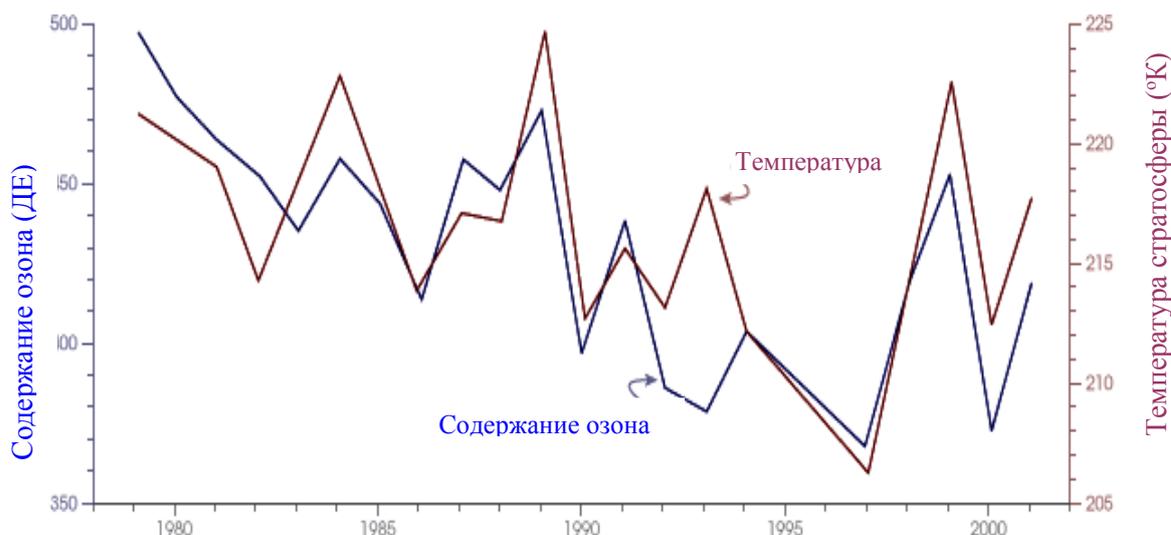


Рис. 4. Связь температуры стратосферы и толщины озонового слоя в Арктике

На рис. 4 показано состояние озонового слоя и температуры в стратосфере над Арктикой начиная с 1979 г. Как видно, изменение количества озона тесно связано с температурой стратосферы. С понижением температуры регулярно образуются полярные стратосферные облака со смесью озоноразрушающих веществ в активной форме и резко снижается толщина озонового слоя как на полюсах, так и в глобальном масштабе. Изменения состояния атмосферы ведут год от года все к все более резким изменениям температуры.

Идея о связи процессов разрушения озонового слоя, т.е. что охлаждение стратосферы в результате потери озона может привести к задержке восстановления озонового слоя, поддержана многими исследователями. Эксперименты с различными глобальными климатическими моделями привели к аналогичным результатам, что подтверждает уверенность в корректном понимании происходящих в атмосфере климатических процессов.

Охлаждение стратосферы в последние десятилетия объясняется также и другими причинами. Второй основной причиной способствующей охлаждению стратосферы является увеличение количества парниковых газов в нижних слоях атмосферы (тропосфере) и, следовательно, аккумуляция тепла от теплового излучения поверхности земли, которое обычно достигало стратосферу и нагревало ее. Среди специалистов имеются различные мнения о величине количественных взаимосвязей, не изменяющие общих представлений о природе происходящих в атмосфере процессов.

Хотя большинство глобальных климатических моделей хорошо согласуются друг с другом и с наблюдениями относительно будущего восстановления озонового слоя,

большинство региональных моделей согласуются гораздо хуже. Климатические модели предсказывают влияние охлаждения на разрушение озонового слоя достаточно хорошо в Антарктике, но значительно хуже в Арктике. Различия между регионами приводит к тому, что процесс прогнозирования сложных химических процессов в атмосфере является проблематичным. Ситуации в Арктическом и Антарктическом регионах, где низкое содержание озона в стратосфере вызывают большую тревогу, значительно отличаются между собой. Сложный рельеф высоких широт северного полушария, с контрастным распределением суши и океанов в Арктике определяет более динамичный и изменчивый характер поведения атмосферы. В целом Антарктика является более холодным регионом, чем Арктика. Антарктические ветры образуют относительно стабильные полярные вихри в течение длительного времени, которые стабилизируют температуру стратосферного воздуха региона. Такая стабильность делает Антарктику более предсказуемым регионом, чем Арктика. Прибрежные горы на юго-востоке Аляски являются весьма представительными с точки зрения рельефа северного полушария в высоких широтах. Высокие горы и контраст между крупными территориями суши и открытого океана в Северном полушарии влияют на движение воздушных масс над Арктикой, нарушая формирование устойчивой циркуляции. Частично именно отсутствие стабильных полярных вихрей предотвращает регулярное появление чрезвычайно низких температур в Арктике, аналогичных наблюдаемым в Антарктике. Несмотря на это, наблюдаются значительные разрушения озонового слоя в Арктике на протяжении нескольких последних лет.

Химические процессы образования и разрушения озона весьма чувствительны к температурным изменениям. Поскольку наблюдаемые в стратосфере арктические температуры нередко лишь на нескольких градусах выше порогового значения для формирования полярных стратосферных облаков, то дальнейшее охлаждение стратосферы может привести к тому, что такие облака будут появляться регулярно, что приведет к ускорению разрушения озонового слоя.

При охлаждении стратосферы и потеплении тропосферы, разница в температуре между стратосферой и тропосферой возрастает. Разницы в температуре способствует образованию ветра, в итоге скорость ветра в стратосфере будет увеличиваться. Антарктика слабее зависит от увеличения выбросов парниковых газов, по сравнению с Арктикой, так как она холоднее, и полярные ветры над Антарктикой уже в настоящее время достаточно сильны. Причем, согласно результатам, полученным при моделировании, увеличение скорости ветра произойдет не только на больших высотах, но и у поверхности земли, что должно увеличить частоту катастрофических климатических явлений. Подобные тенденции уже отмечаются по данным наблюдений за последние десятилетия. Количество наблюдаемых ураганов 4 и 5 категорий в регионах, прилегающих к северному полюсу, удвоилось за последние 35 лет.

Взаимодействие между озоном и климатом, естественно, происходит не только в стратосфере, но также и у поверхности Земли, т.е. в тропосфере. Известно, что многие наблюдаемые химические и физические аспекты формирования приземного озона объясняются как часть климатических изменений. Озон в тропосфере образуется под действием солнечного излучения из некоторых химических веществ в результате фотохимических процессов. Химические вещества, участвующие в образовании озона включает две основные группы соединений: оксиды азота (NO_x) и летучие органические соединения (ЛОС). Как правило, увеличение температуры ускоряет фотохимические реакции. Установлена прямая зависимость появления более высоких уровней содержания приземного озона в теплые дни. При наличии в атмосфере оксидов азота и ЛОС, а также при более высоких температурах, можно ожидать большего количества дней с увеличенной концентрацией «плохого озона». Увеличение содержания озона в тропосфере ведет к усилению парникового эффекта и как следствие, дальнейшему

охлаждение стратосферы, а также ко многим другим отрицательным экологическим эффектам, например, образования смога.

Нельзя не отметить некоторую несогласованность действий по сохранению озонового слоя и предупреждения изменения климата. Долгое время эти глобальные проблемы рассматривались и решались как отдельные проблемы со своими специфическими веществами. Это привело к неэффективной и нескоординированной политике ответов. В результате мировое сообщество получило бесконтрольное и чрезмерное производство гидрохлорфторуглеродов (ГХФУ) и гидрофторуглеродов (ГФУ), которые имеют значительные потенциалы глобального потепления (см. рис. 5).

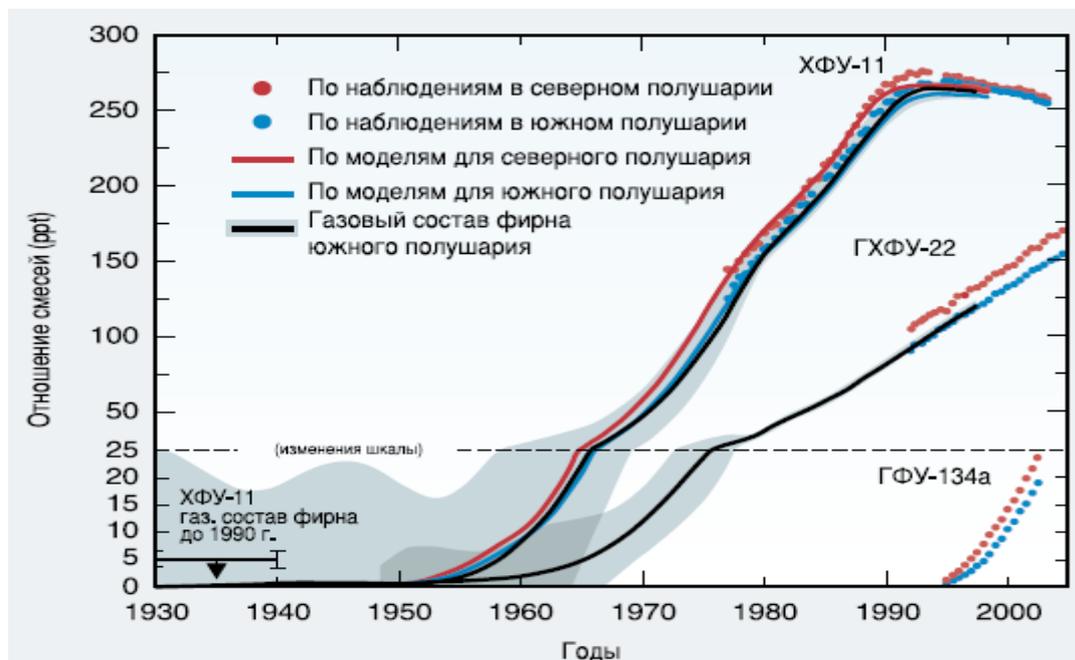


Рис. 5. Глобальные тренды ХФУ, ГХФУ и ГФУ

Эти вещества разрабатывались как замена хлорфторуглеродов (ХФУ). ГХФУ как временная замена до 2020 г. для развитых стран и до 2040 г. для развивающихся стран, учитывая их низкий озоноразрушающий потенциал (ОРВ). Для наиболее распространенного ГХФУ-22, ОРВ составляет 0.055, а ГФУ-134а не является озоноразрушающим веществом.

Проблема состоит в том, что некоторые из заменяющих веществ являются парниковыми газами и имеют значительный потенциал глобального потепления (ПГП), особенно ГХФУ-22 (ПГП – 1700), реагент для его производства ГФУ-23 (ПГП – 11700) и ГФУ-134а (ПГП – 1300). Отсюда понятно, что истощение озона и изменение климата неразрывно связаны не только в терминах, атмосферных химических процессах, но также и в используемых веществах. В свое время Многосторонний фонд активно финансировал проекты для перепрофилирования производств, предназначенных для выпуска ХФУ на выпуск ГХФУ-22, с целью соблюдения требований Монреальского протокола. Решение, обеспечивающее тактическую выгоду, оказалось стратегически неудачным по двум причинам:

- производство ГХФУ-22 влечет за собой использование в качестве промежуточного продукта ГФУ-23, имеющего чрезвычайно высокий ПГП, а при процессе производства неизбежны значительные утечки ГФУ-23;
- производство ГХФУ исключительно быстро увеличилось во многих развитых и развивающихся странах и в следующее десятилетие составит миллионы метрических тонн.

Наличие огромного количества оборудования, срок службы которого приблизительно 15 лет, автоматически предполагает, что страны импортирующие и производящие оборудование с ГХФУ-22 будут вынуждены продолжать поддерживать его работоспособность за счет дополнительного импорта и производства ГХФУ-22, даже после даты официального завершения в соответствии с Монреальским протоколом. Уже в настоящее время выбросы ГФУ, ГХФУ и ХФУ составляют около 10% общих выбросов CO₂ (см. рис. 6).

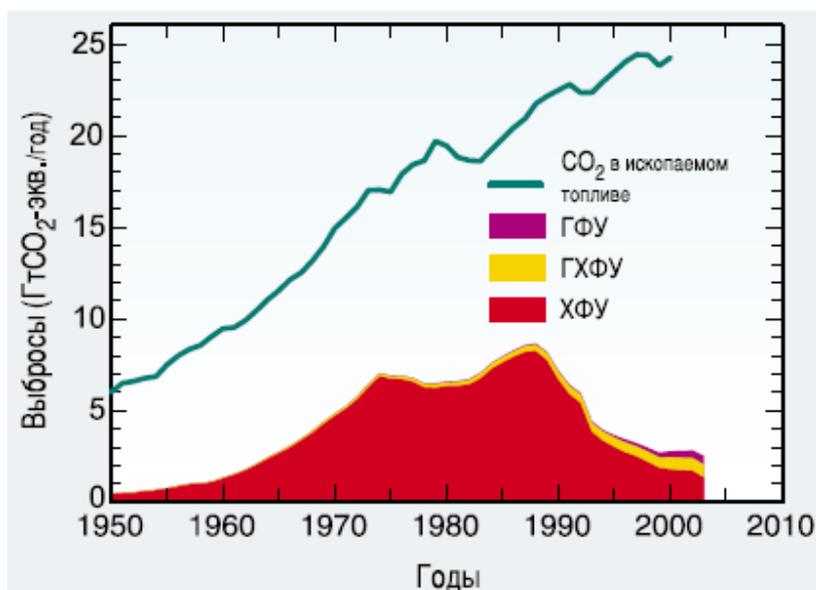


Рис. 6. Динамика выбросов в CO₂-эквиваленте ГФУ, ГХФУ и ХФУ в сравнении общим объемом выбросов CO₂.

Определенные надежды на смягчение воздействия на климат за счет уменьшения эмиссии парниковых газов, том числе ГФУ и перфторуглеродов, связывались с Киотским протоколом, установившим ограничения для развитых стран и возможности для уменьшения эмиссии развивающимся странам через гибкие механизмы Киотского протокола, но неверная стратегия может дать противоположные результаты. В итоге ожидаемые выбросы в CO₂-эквиваленте от использования ГХФУ-22 и применяемого для его производства ГФУ-23, а также ГФУ-134а по прогнозам на 2015 г. приблизительно в два раза превысят количество парниковых газов, которое предполагается сократить в результате реализации требований Киотского протокола.

Для повышения эффективности действий по глобальным экологическим проблемам сохранения озонового слоя и изменения климата необходимо безотлагательно предпринять следующие предупредительные действия:

- Ускорить процесс сокращения производства и потребления ГХФУ-22, сравнительно с намеченными в Монреальском протоколе сроками как для развитых, так и для развивающихся стран;
- Ограничить экспорт и импорт ГХФУ-22 и содержащего ГХФУ-22 оборудования на национальном уровне, как это уже реализовано во многих развитых европейских странах;
- Улучшить координацию между Монреальским и Киотским протоколами для предотвращения стратегически неверного стимулирования по увеличению производства ГХФУ-22 с использованием гибких механизмов Киотского протокола.

Источники

1. Two Challenges, One Solution: Case Studies of Technologies that Protect the Ozone Layer and Mitigate Climate Change. United Nations Environment Programme, Division of Technology, Industry and Economics Energy and OzonAction Unit, OzonAction Programme. Multilateral Fund for the Implementation of the Montreal Protocol. 2001.
2. Angus Fergusson. Ozone Depletion and Climate Change: Understanding the Linkages. 2001.
3. Специальный доклад МГЭИК/ТЕАП. Охрана озонового слоя и глобальной климатической системы: вопросы, связанные с гидрофторуглеродами и перфторуглеродами. Резюме для лиц, определяющих политику. Доклад рабочих групп I и III МГЭИК и Техническое резюме. 2005.
4. Turning Up the Heat. Linkages between ozone layer depletion and climate change: The urgent case of HCFCs and HFCs. A report by the Environmental Investigation Agency. 2006.
5. Win-win solutions for the climate and the ozone layer. UNEP. 2006.