

Роль Монреальского протокола в сохранении климата

Ильясов Ш.А., Озоновый центр

Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой это исключительно важное международное соглашение, которое успешно уменьшило глобальное производство, потребление, и эмиссию озоноразрушающих веществ (ОРВ).

Хлорфторуглероды (ХФУ) и другие ОРВ теперь признаны всеми как главная причина наблюдаемого разрушения озонового слоя. В 1974 г. Молина и Роуланд выявили потенциал ОРВ по разрушению стратосферного озона, таким образом обеспечив "раннее предупреждение". Это научное предупреждение привело к действиям по сокращению эмиссий ОРВ. Десятилетием позже, открытие озоновой дыры в Антарктиде и последующее исследование привели к принятию в 1987 г. Монреальского протокола по веществам, разрушающим озоновый слой. Монреальский протокол обеспечил механизмами постепенного уменьшения и сокращения глобального производства и потребления ОРВ. В результате действий Монреальского протокола и национальных программ, произошли существенные уменьшения в производстве, использовании, эмиссии и наблюдаемых атмосферных концентрациях ОРВ и появились свидетельства восстановления стратосферного озона. Без таких кардинальных изменений политической направленности, истощение озонового слоя, вероятно, было бы значительно большим, чем наблюдаемое в нашем мире сегодня.

ОРВ и их альтернативы гидрофторуглероды (ГФУ) также являются парниковыми газами, которые вносят вклад в изменение климата (см. таблицу 1).

Таблица 1. Потенциал глобального потепления (ПГП) для некоторых ОРВ и ГФУ

Вещество	Химическая формула	ПГП (100 лет)
Трихлорфторметан (ХФУ-11)	CFCl_3	1320
Дихлордифторметан (ХФУ-12)	CF_2Cl_2	6650
ХФУ-113	$\text{C}_2\text{F}_3\text{Cl}_3$	9300
ХФУ-114	$\text{C}_2\text{F}_4\text{Cl}_2$	9300
ХФУ-115	$\text{C}_2\text{F}_5\text{Cl}$	9300
Гидрохлордифторметан (ГХФУ-22)	CF_2HCl	1350
ГХФУ-123	$\text{C}_2\text{F}_3\text{HCl}_2$	93
ГХФУ-124	$\text{C}_2\text{F}_4\text{HCl}$	480
ГХФУ-141b	$\text{C}_2\text{H}_3\text{FCl}_2$	270
Гидрохлордифторэтан (ГХФУ-142b)	$\text{C}_2\text{H}_3\text{F}_2\text{Cl}$	1650
ГФУ-23	CHF_3	11700
ГФУ-134a	CH_2FCF_3	1300
Метилхлорид	CH_2Cl_2	9
Хлороформ	CHCl_3	5

Таким образом, действия по Монреальскому протоколу постепенно сокращают эмиссию ОРВ и/или увеличивают использование альтернативных веществ, воздействующих на изменение климата. Недавние исследования показали, что возможное продолжение роста эмиссий ОРВ могло бы привести к значительному возрастанию радиационного форсинга или потеплению климата, хотя истощение озона, в некоторой степени, противодействует этому процессу. Отсюда понятно, что достигнутые сокращения концентрации ОРВ в атмосфере, с целью защиты озонового слоя, также защищают от изменения климата. Эта двойная защита озона и климата Монреальским

протоколом обеспечивает дополнительный эффект к оценкам снижения эмиссии парниковых газов, ожидаемым после выполнения Киотского протокола. Воздействие Монреальского протокола на сохранение климата уже превосходит цели Киотского протокола на 2008 – 2012 гг. Потенциально это воздействие весьма значительно по сравнению с Киотским протоколом.

Киотский протокол является глобальным соглашением по сокращению эмиссий парниковых газов, ни один из которого не является ОРВ. Отсутствие ОРВ в Киотском протоколе и отсутствие учета климатических аспектов в Монреальском протоколе стимулирует к рассмотрению будущих сценариев с учетом эмиссии ОРВ и их альтернатив, а также уточнению оценок их влияния на изменение климата.

Таблица 2. Антропогенные составляющие радиационного форсинга на 2005 г.

Группа		Радиационный форсинг, Вт/м ²	Характер воздействия
Долгоживущие парниковые газы	СО ₂	1.66 (1.49 – 1.83)	Глобальный
	СН ₄	0.48 (0.43 – 0.53)	
	N ₂ O	0.16 (0.14 – 0.18)	
	Галоидоуглероды	0.34 (0.31 – 0.37)	
Озон	Стратосферный	-0.05 (-0.15 – 0.05)	Континентально-глобальный
	Тропосферный	0.35 (0.25 – 0.65)	
Стратосферный водный пар из СН ₄		0.07 (0.02 – 0.12)	Глобальный
Поверхностное альbedo	Землепользование	-0.2 (-0.4 – 0.0)	Локально-континентальный
	Загрязнение снега	0.1 (0.0 – 0.2)	
Аэрозоли	Прямой эффект	-0.5 (-0.9 – -0.1)	Континентально-глобальный
	Альbedo облаков	-0.7 (-1.8 – -0.3)	
Всего баланс		1.6 (0.6 – 2.4)	

Используя ретроспективные данные об эмиссии ОРВ и сценарии потенциальных эмиссий, можно показать, что за счет вклада ОРВ радиационный форсинг (т.е. изменение лучистого теплового потока на внешней границе тропосферы по сравнению с начальным), был бы значительно большим, если бы связь ОРВ с разрушением стратосферного озона не была выявлена в 1974 г. и не регулировалась Монреальским протоколом далее. Вклад в сохранение климата, уже достигнутый Монреальским протоколом значительно больше, чем планируемый вклад от обязательств первого периода Киотского протокола. Дополнительные климатические выгоды, которые являются существенными по сравнению с Киотским протоколом могут быть достигнуты действиями в рамках Монреальского протокола, за счет управления эмиссией фторуглеродов и/или использованием альтернативных веществ с более низким ПГП.

Будет рассмотрено три возможных сценария для сохранения озонового слоя и предупреждения изменения климата:

1. Сценарий, основанный на учете действия Монреальского протокола и поправок к нему, использующий текущие наблюдения и основные положения доклада ВМО/ЮНЕП «Научная оценка разрушения озона, 2006 г.». Далее этот сценарий будет обозначаться как «Baseline»;
2. Сценарий без учета влияния открытия Молины и Роуланда в 1974 г. и предполагающий ежегодный рост эмиссии ОРВ 3 – 7%, начиная с 1975 г. Далее этот сценарий будет обозначаться как «MR74»;
3. Сценарий без учета вклада Монреальского протокола 1987 г. и предполагающий ежегодный рост эмиссии ОРВ 2 -3%, начиная с 1988 г. Далее этот сценарий будет обозначаться как «NMP87».

Воздействие ОРВ на озоновый слой можно оценить по эмиссии, взвешенной с учетом озоноразрушающей способности (ОРС), концентрации ОРВ и активных озоноразрушающих соединений в атмосфере. Воздействие ОРВ на изменение климата можно оценить по эмиссии, взвешенной с учетом потенциала глобального потепления (ПГП), концентрации в атмосфере и радиоактивному форсингу.

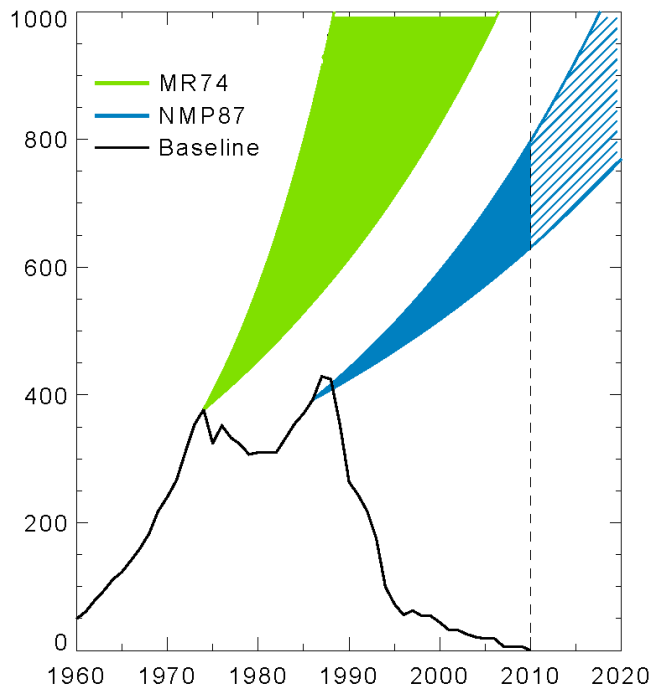


Рис. 1. Производство ХФУ-11 в тысячах т. Аналогичная картина и для ХФУ-12.

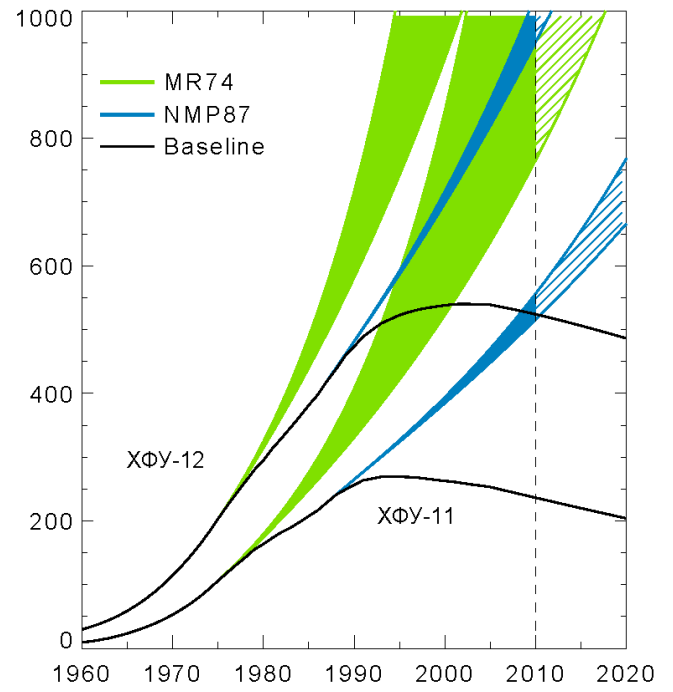


Рис. 2. Концентрация ОРВ в долях на 10^{12} массы

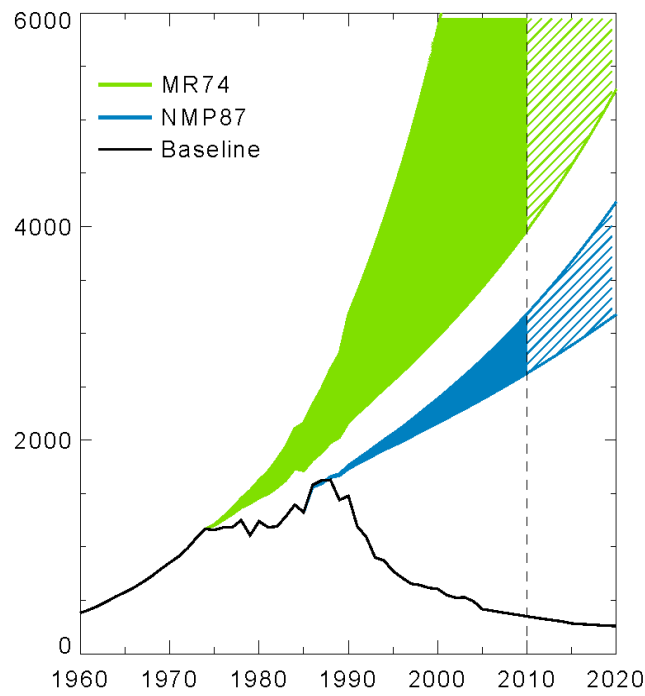


Рис. 3. Эмиссия ОРВ, взвешенная с учетом ОРС в тысячах т/год

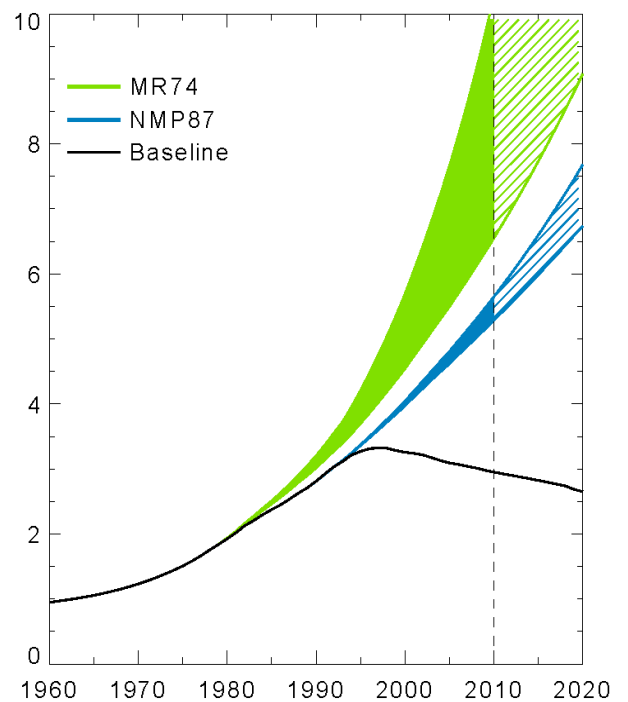


Рис. 4. Концентрация активных озоноразрушающих соединений в долях на 10^9

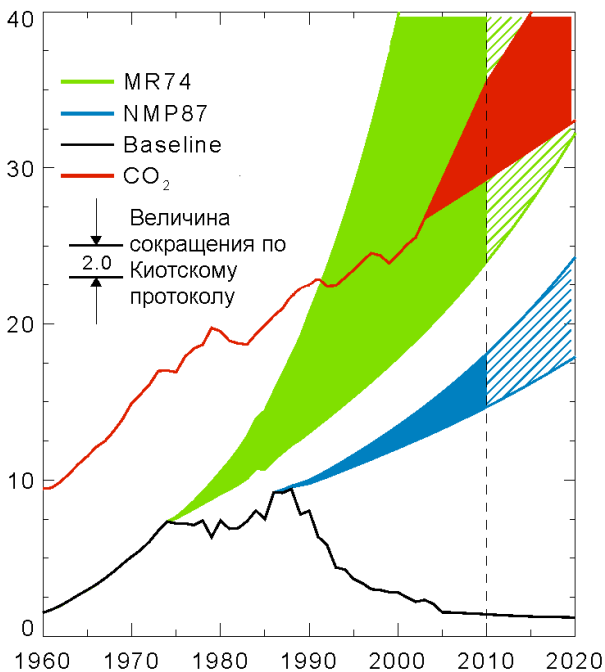


Рис. 5. Эмиссия ОРВ с учетом ПГП в 10^9 т

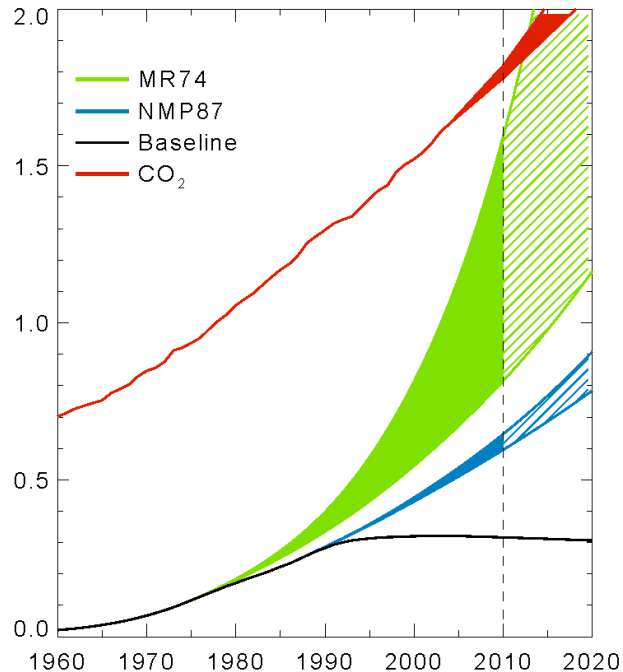


Рис. 6. Радиационный форсинг, $вт/м^2$

Используя представленные зависимости, рассмотрим воздействие Монреальского протокола на сохранение озонового слоя и изменение климата.

Основная цель Монреальского протокола – восстановление озонового слоя до уровня 1960 г. достигается за счет последовательного сокращения производства и потребления ОРВ. Причем для каждого ОРВ разработан свой временной график сокращения, разбитый на два варианта, для развитых и для развивающихся стран.

Киотский протокол учитывает только следующие парниковые газы: CO_2 , CH_4 , N_2O , гидрофторуглероды (ГФУ), перфторуглероды (ПФУ), SF_6 . Озоноразрушающие вещества, даже если они являются одновременно парниковыми газами, не учитываются. Согласно обязательствам первого этапа Киотского протокола на период 2008 – 2012 гг. (которые предусматривают обязательные ограничения только для развитых стран) сокращение эмиссии парниковых газов должно составлять $0.97 \cdot 10^9$ т в CO_2 -эквиваленте относительно 1990 г. Прогноз на 2010 г. для всех стран составляет $1.06 \cdot 10^9$ т в CO_2 -эквиваленте, а на 2012 г. до $2.0 \cdot 10^9$ т в CO_2 -эквиваленте.

Анализируя представленные зависимости можно сделать вывод, что открытие Молины и Роуланда оказалось весьма своевременным и предупредило существенную угрозу озоновому слою. В результате открытия мировое сообщество было предупреждено, что позволило достичь глобальных соглашений о защите озонового слоя. Монреальский протокол и поправки к нему позволили достичь существенного сокращения производства, потребления и эмиссии ОРВ. Предполагается, что при строгом выполнении всех положений протокола озоновый слой восстановится к 2060 – 2070 гг., т.е. цели, поставленные собственно Монреальским протоколом, будут безусловно выполнены, пусть и несколько позже, чем это предполагалось ранее.

Воздействие Монреальского протокола на изменение климата весьма существенно. Без открытия Молины и Роуланда эмиссия ОРВ могла бы вносить более значительный вклад в изменение климата по сравнению с контролируруемыми парниковыми газами. Без принятия Монреальского протокола эмиссия ОРВ могла бы составить половину эмиссии всех парниковых газов, т.е. действия Монреальского протокола фактически действуют положительно не только по сохранению озонового слоя, но и с точки зрения сохранения климата. Однако есть и другая сторона действий Монреальского протокола. Дело в том, что ОРВ заменяются на ГХФУ (временная замена до 2030 – 2040 гг.) и ГФУ, эмиссия которых может составить в 2010 г $0.9 \cdot 10^9$ т в

СО₂-эквиваленте в следствии высоких ПГП (см. таблицу 1), согласно прогнозам Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК).

В таблице 3 приведены результаты сравнения воздействия на изменения климата Монреальского протокола в 2100 г.

Таблица 3. Результаты воздействия Монреальского протокола на изменение климата в 2100 г.

Показатель	Без Монреальского протокола	С учетом действий по Монреальскому протоколу		Результат
		ОРВ	ГФУ	
Эмиссия в 10 ⁹ т в СО ₂ эквиваленте	13.3 – 16.7	2.7 – 3.3	0.9	9.7 – 12.5
Радиационный форсинг, Вт/м ²	0.28 – 0.33	0.06	0.02	0.20 – 0.25

Необходимо также учитывать отрицательный радиационный форсинг от разрушения озонового слоя, который составляет в настоящее время -0.05 ± 0.1 Вт/м².

Дополнительный вклад в решение проблемы изменения климата от Монреальского протокола может быть достигнут от ускорения завершения производства ГХФУ, т.е. ужесточения графика сокращения, принятого в настоящее время в Монреальском протоколе и использование в качестве альтернатив веществ имеющих низкий ПГП. Без принятия дополнительных мер, по оценкам МГЭИК в 2015 году эмиссии от ОРВ и их заменителей ГФУ в 10⁹ т в СО₂-эквиваленте может составить:

- ХФУ – 0.12 (ОРВ);
- ГХФУ – 0.34 (временная замена ОРВ);
- ГФУ-23 – 0.30 (промежуточный продукт для производства ГХФУ);
- Прочие ГФУ – 0.44 (парниковый газ).

Значительная величина вклада ГФУ объясняется их исключительно высокими значениями ПГП (см. таблицу 1). Тенденции быстрого роста воздействия ГФУ на изменение климата отражены на рис.7 и 8.

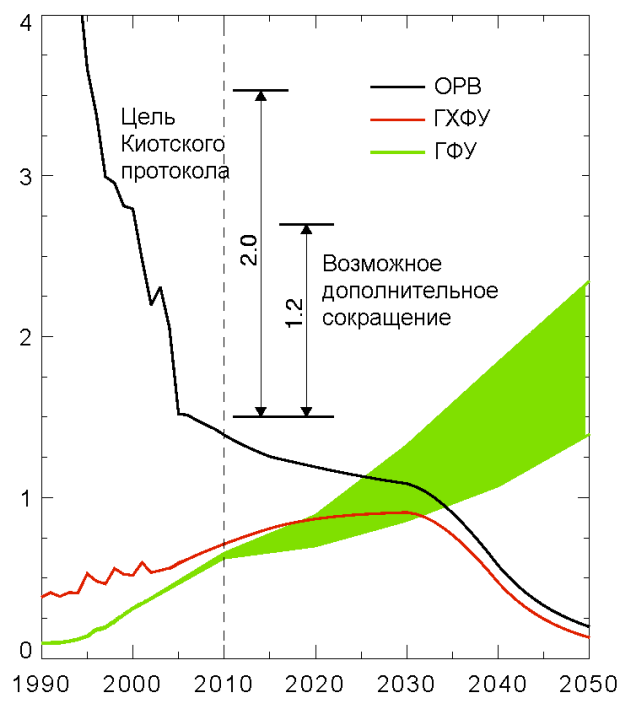


Рис. 7. Эмиссия в 10⁹ т в СО₂-эквиваленте

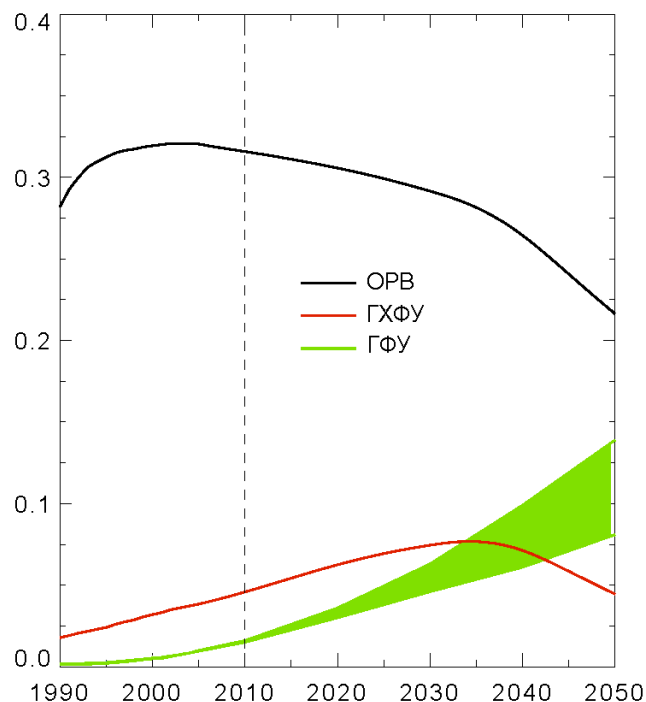


Рис. 8. Радиационный форсинг Вт/м²

Заключение

Монреальский протокол обеспечивает решение одновременно двух глобальных экологических проблем – сохранение озонового слоя и предупреждение изменения климата. Результаты по сокращению эмиссии веществ, воздействующих на изменение климата превосходят по величине планируемые цели первого этапа Киотского протокола.

Дополнительный потенциал сокращения воздействия на климат в рамках Монреальского протокола (сравнимый по результатам с целями первого этапа Киотского протокола) может быть достигнут за счет следующих мер:

- ускорение вывода из обращения ГХФУ;
- сокращение утечек ОРВ из охлаждающего оборудования;
- уничтожение банков ОРВ;
- использование альтернатив с низкими значениями ПГП.