

УДК 551.501.534(574)

**ОЗОНовый СЛОЙ И МОНРЕАЛЬСКИЙ ПРОТОКОЛ**

В.П. Крюкова

*Описывается состояние проблемы разрушения озонового слоя и действующих международных оглашений об охране озонового слоя, а также меры, принимаемые в рамках выполнения обязательств по этим международным соглашениям.*

Одной из самых актуальных проблем последней четверти 20 века стала проблема истощения стратосферного озона. Озоновый слой Земли оказывает немаловажное влияние на свойство средней атмосферы и обеспечивает условия существования флоры и фауны на поверхности Земли. Эти особенности озоносферы обусловлены физико-химическими свойствами озона, такими как: поглощение биологически активного солнечного излучения, инфракрасного излучения от поверхности Земли. Озон является сильнейшим окислителем и способен при непосредственном контакте отравлять флору и фауну, которые он защищает в качестве стратосферного озонового слоя. Приблизительно 90 % атмосферного озона находится в стратосфере в слое от 15 км до 65 км. Максимальное содержание озона отмечается на высотах от 19 км до 23 км над поверхностью земли.

Первая фотохимическая теория образования озонового слоя предложена английским геофизиком С. Чепменом в тридцатых годах (1930...1931 гг.). Основные положения теории заключаются в том, что при воздействии кванта света солнечного ультрафиолетового излучения происходит разложение молекулы кислорода на два атома, которые в свою очередь соединяются с молекулой кислорода и образуют трехатомную молекулу озона. Поскольку в молекуле озона химические связи ослаблены, то она легко разрушается солнечным светом в видимой области спектра с образованием молекулы и атома кислорода. Молекула озона при этом исчезает на непродолжительное время, т.к. через доли секунды атом кислорода присоединяется к молекуле кислорода, вновь образуя молекулу озона. Процесс фотодиссоциации озона на атом и молекулу кислорода не рассматривается как процесс разрушения стратосферного озона. Его разрушение происходит, когда в результате реакций образуются две молекулы кислорода,

которые сохраняются в средней атмосфере продолжительный период (более 100 лет) и до тех пор, пока не произойдет их фотодиссоциация на два атома кислорода и далее образование молекулы озона. Процессы образования молекулы озона и атома кислорода происходят в атмосфере многократно (более чем 10 000 раз). Этот механизм показывает, что без солнечного света озон не разрушается. Поэтому образовавшийся за день озон сохраняется ночью, а в высоких широтах, где света мало, озона во все сезоны больше, чем в тропиках.

Теория С. Чепмена в неизменном виде просуществовала более 30 лет. Однако по мере накопления глобальных данных о содержании озона, данных ракетных и спутниковых измерений, становилось ясно, что озона в атмосфере меньше, чем это следует из теории С. Чепмена. Начались поиски дополнительных источников гибели озона. Эти поиски привели к открытию источников, ускоряющих процесс разрушения стратосферного озона, и позволили согласовать теорию с данными наблюдений. Научные исследования дали возможность выявить связь между ускорением процесса гибели стратосферного озона и антропогенными факторами [1]. В начале 70-х годов 20 века на основе анализа информации глобальной системы наблюдений за озоном и специализированных спутников был обнаружен эффект «озоновых дыр» - уменьшение содержания озона в результате производственной деятельности человека. Были выявлены два потенциальных источника воздействия на этот слой - выбросы окиси азота в стратосферу при полётах сверхзвуковых самолетов и химические вещества, используемые в холодильниках и аэрозольных упаковках. В 1974 г. американские химики М. Молина и Ф. Роланд показали, что химические вещества, известные как хлорфторуглероды, инертные у земной поверхности, переносятся в результате конвективных движений в стратосферу, и, поглощая там фотоны солнечного света, становятся химически активными, выделяя свободный хлор. Высвобожденный в результате фотохимических реакций хлор, каталитически отщепляет один атом кислорода от молекулы озона, превращая его в кислород. Дальнейшими исследованиями было установлено, что и бром, используемый в некоторых огнетушителях, может оказывать еще более сильное воздействие на разрушение озонового слоя. Хлорфторуглероды и галоидированные углеводороды могут накапливаться, не разрушаясь в атмосфере более 100 лет и угрожать озоновому слою еще очень долго после того, как были выброшены в атмосферу.

Наиболее ярким проявлением антропогенного воздействия на озоновый слой Земли стало обнаружение в 1985 г. антарктической весенней озоновой дыры. Это открытие явилось полной неожиданностью, поскольку озоновую дыру нашли в «мертвой зоне», где озон мог только сохраняться и накапливаться. Наблюдения и исследования этого явления позволили установить, что оно стало следствием накопления в атмосфере озоноразрушающих веществ в метеорологических условиях, характерных для Антарктики в этот период.

Механизм образования антарктической весенней «озоновой дыры» заключается в следующем. В зимний период над Антарктикой в стратосфере формируется околполярный вихрь, который препятствует активному обмену с воздухом из средних широт. Это явление приводит к установлению здесь очень низких температур (ниже  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), что способствует возникновению полярных стратосферных облаков, состоящих из ледяных частиц. Частицы льда притягивают к себе водяной пар и поглощают соединения азота, затем опускаются вместе с ними в более низкие слои атмосферы, обезвоживая и лишая воздух в стратосфере соединений азота. На поверхности этих частиц протекают реакции, следствием которых становится образование малоустойчивых соединений хлора и брома. Эти процессы продолжаются в течение всей зимы, в результате чего в полярном вихре накапливаются значительное количество малоустойчивых хлорных и бромистых соединений. С возвращением солнечных лучей ранней весной эти соединения-хранилища преобразуются в активные виды хлора и брома на поверхности полярных стратосферных облаков. Эти вещества могут с поразительной эффективностью разрушать молекулы озона. Поскольку вихрь еще существует и никакого обмена с соседними, богатыми озоном областями стратосферы нет, то содержание озона быстро уменьшается и внутри вихря он полностью уничтожается. Далее происходит повышение температуры воздуха, ослабление вихря и распространение остатков озоновой дыры по Южному полушарию.

Так в октябре 1987 г. концентрации озона над Антарктикой понизились до половины нормы (за 1957...1978 гг.) и над этим районом образовалась «озоновая дыра» размером с Европу. Наблюдения за озоном над Антарктикой позволили зарегистрировать одну из самых больших «озоновых дыр» площадью в 24 млн км<sup>2</sup>.

Наблюдения и исследования, проводимые в северных широтах, позволили установить, что в зимний и весенний период стратосфера над Арктикой имеет нарушенный химический состав с высокими концентрациями соединений хлора и брома, который создает проблемы над Антарктидой. Однако разрушение озона над Арктикой не происходит столь же активно, как над Антарктикой, по двум причинам: температуры стратосферы редко опускаются ниже  $-80^{\circ}\text{C}$  и существующего интенсивного обмена между воздушными массами над средними широтами. Арктический полярный вихрь обычно рассеивается в конце зимы *прежде*, чем появившийся солнечный свет может вызвать крупномасштабное разрушение озона. Наибольшие изменения содержания озона в зимний сезон над северным полушарием наблюдались в 1992...1993 гг. и в 1995 г. и в эти же годы зарегистрировано содержания озона на 9...20 % ниже нормы. Естественная долгосрочная изменчивость является наибольшей в период между декабрем и мартом. В этот период отклонение от нормы составляет примерно 30 %.

Над Казахстаном наблюдения за общим содержанием озона (ОСО) ведутся с 1973...1975 гг. на пяти метеорологических станциях. По данным КазНИИ-МОСК, отклонения общего содержания озона от нормы составляют 5...7 % [2]. В отдельные дни могут наблюдаться и более низкие значения и этим дням соответствует наибольшие значения ультрафиолетовой радиации. Среднее годовое значение суммарного озона составляет 343 м атм-см. Распределение годовых норм над Казахстаном имеет широтный характер, с постепенным ростом значений с юга на север. Самые низкие значения наблюдаются на юге Казахстана (Алматы и Аральское Море, 339 матм-см), наиболее высокие (350 матм-см) соответствует пункту Семипалатинск. Достаточно четко выражены и сезонные изменения. Пониженные значения ОСО (310...305 матм-см) наблюдаются с ноября по декабрь, максимальные значения (385...387 матм-см) в феврале - марте. Повышенная циклоническая деятельность в зимний и весенний периоды приводит к увеличению естественной изменчивости суммарного озона (13,9 матм-см) по сравнению с летне-осенним периодом (9,2...12,3 матм-см), что согласуется с особенностями глобальной изменчивости ОСО. В среднем суммарное уменьшение озона осенью и зимой составляет 10 %, весной-летом – 5 %, что приводит к значительному увеличению притока ультрафиолетовой биологически активной радиации к поверхности Земли.

Угроза глобального истощения озонового слоя вызвала необычайно высокий подъем исследований проблемы во всем мире. В результате было

установлено, что причиной истощения озонового слоя в последней четверти 20 века стала эмиссия в атмосферу антропогенных хлорфторуглеродов [3]. В 1981 г. Советом управляющих ЮНЕП была учреждена Специальная рабочая группа экспертов по правовым и техническим вопросам для разработки глобального рамочного документа об охране озонового слоя. Через 4 года напряженной работы и трудных переговоров в 1985 году была принята Венская конвенция об охране озонового слоя, которая вступила в силу 22 сентября 1988 года. В ней закреплены обязательства по сотрудничеству в области научных исследований, мониторинга озона; обмену информацией; по производству и выбросам хлорфторуглеродов; принятию протоколов, содержащих меры регулирования озоноразрушающих веществ (ОРВ).

Спустя два года после принятия Венской конвенции об охране озонового слоя в сентябре 1987 года был принят Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой [4]. Протокол вступил в силу в 1989 году. В основе Монреальского протокола лежат меры регулирования, которые распространяются на производство и потребление, необходимых в коммерческом и экологическом отношении озоноразрушающих веществ. Основные положения Монреальского протокола содержатся в следующих статьях:

- Статья 2: Меры регулирования.
- Статья 4: Контроль торговли ОРВ.
- Статья 5: Специальный статус развивающихся стран.
- Статья 7. Отчетность.
- Статья 8: Несоблюдение.
- Статья 10: Финансовые механизмы.

В последующие годы после принятия Венской конвенции появилось еще больше доказательств о вредных воздействиях хлористых и бромистых соединений. Наблюдения подтвердили увеличение опасности для озонового слоя и Стороны Монреальского протокола приняли решение усилить его требования и включить в него новые вещества. Они утвердили соответствующие дополнения и поправки к Протоколу (Лондон – 1990 г., Копенгаген – 1992 г., Монреаль – 1997 г. и Пекин – 1999 г.). Лондонская поправка, принятая на втором совещании Сторон протокола в 1990 г., включила контроль над десятью другими полностью галогенированными ХФУ, карбонтетрахлоридом и метилхлороформом. Кроме того, она включила по-

ложения по переходу на озонобезопасные технологии и финансовый механизм. Лондонская поправка вступила в силу в 1992 г. На четвертом совещании Сторон Протокола (1992 г.) была принята Копенгагенская поправка, которая вступила в силу в 1994 г. В ней были определены меры регулирования дополнительного списка гидрохлорфторуглеродов (ГХФУ) и гидробромфторуглероды (ГБФУ) (большинство из них коммерческого применения не имеют), а также бромистый метил. Кроме того, поправкой вводятся сроки исключения для ГХФУ и ГБФУ. Принятая в 1997 году на девятом совещании, Монреальская поправка включает требования к установлению систем лицензирования импорта и экспорта ОРВ. Поправкой введен торговый запрет на импорт и экспорт метилбромида странам, не являющимся Сторонами Копенгагенской поправки. Пекинская поправка к Монреальскому протоколу (1999 г.) включает контроль производства ГХФУ. Кроме того, в перечень регулируемых веществ, включено новое контролируемое вещество - бромхлорметан. Срок исключения его - 1 января 2002 г. для всех Сторон.

К июлю 2003 года в общей сложности 185 стран ратифицировали Венскую конвенцию; Монреальский протокол – 184; 166 государств ратифицировали Лондонскую поправку, 151 – Копенгагенскую поправку, 102 – Монреальскую поправку, 50 – Пекинскую поправку.

По данным исследований, без принятия мер по Монреальскому протоколу к 2050 г. разрушение озонового слоя достигло бы не менее 50 % в средних широтах северного полушария и 70 % в средних широтах южного полушария, это приблизительно в 10 раз хуже текущего состояния [6]. В результате чего интенсивность ультрафиолетовой радиации, достигающей поверхности, усилится вдвое в средних широтах северного полушария и в четыре раза в южном полушарии. Число озоноразрушающих химических веществ в атмосфере увеличилось бы в пять раз. Последствия этого были бы ужасны: на 19 миллионов больше случаев заболеваний немеланомным раком, 1,5 миллионов случаев заболевания меланомным раком и на 130 млн больше число случаев заболеваний катаракты глаз.

В 1986 г. общее потребление ХФУ во всем мире составляло 1,1 млн тонн ОРС, к 2001 г. объем потребления этих веществ упал до 110 т. Подсчитано, что без принятия мер по Монреальскому протоколу глобальное потребление ХФУ достигло бы 3 млн т к 2010 г. или к 2060 г. - 8 млн т, в результате чего, разрушение озонового слоя достигло бы 50 %. В 1986 г. ос-

новой объем этих веществ или 0,9 млн т использовался развитыми странами, однако к 2001 г. эти страны уже использовали 7,0 млн т. Развивающиеся страны сократили потребление ХФУ примерно на 15 % с 1986 г. к 2001 г.

Казахстан присоединился к Венской конвенции и Монреальскому протоколу в 1998 г. В 2001 г. стал Стороной Лондонской поправки. Став Стороной Конвенции и Протокола, Казахстан согласился с необходимостью постепенного сокращения использования ОРВ, а также с их заменой веществами, имеющими меньшую озоноразрушающую способность.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Божков Р. Изменяющийся озоновый слой – ВМО и ЮНЕП 1995. – 32 с.
2. Исследовать роль естественных и антропогенных факторов в изменении состояния озоносферы над Казахстаном и оценить реальные возможности выполнения международных обязательств по защите озонового слоя: Отчет о НИР/ КазНИИМОСК Агенства по гидрометеорологии и мониторингу природной среды - № ГР 0196РК00897 – Алматы, 1997. – 155 с. Отв. Исполнитель И.Б. Есеркепова.
3. Меры по охране озонового слоя – ЮНЕП, Секретариат по озону, 1996. – 19 с.
4. Руководство по международным договорам в области охраны озонового слоя – Секретариат по озону, ЮНЕП, 2000. – 432 с.
5. Руководство по представлению данных в рамках Монреальского протокола – ЮНЕП, Многосторонний Фонд для осуществления Монреальского протокола, 1999. – 114 с.
6. Basic Facts and Data on the Science and Politics of Ozone Protection, Ozone Secretariat, 2003. – 14 p.

Координационный центр по изменению климата

#### ОЗОН ҚАБАТЫ ЖӘНЕ МОНРЕАЛЬ ХАТТАМАСЫ

В.П. Крюкова

*Озон қабатының бұзылу мәселелері мен озон қабатын қорғау туралы қолданыстағы халықаралық келісімдердің жағдайы, сонымен қатар сол халықаралық келісімдер бойынша алынған міндеттемелердің орындалу шеңберінде қолданып отырған шаралар суреттелген.*