

В.В. Зуев

КОМПЛЕКСНАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОГРАММА ИНСТИТУТА ОПТИКИ АТМОСФЕРЫ ПО СТРАТОСФЕРНОМУ И ТРОПОСФЕРНОМУ ОЗОНУ SATOR

Рассмотрены фотохимические реакции и их реагенты, влияющие на содержание озона в стратосфере и тропосфере, определен набор параметров и составляющих тропосферы и стратосферы для комплексного исследования изменений озонового слоя Земли, описана структура комплексной программы по стратосферному и тропосферному озону SATOR.

Нарастающие выбросы вредных веществ в атмосферу, гидросферу и на поверхность планеты, вызванные стремительной индустриализацией общества, приводят к ощутимому ухудшению экологического состояния окружающей среды. Трансграничные переносы загрязнений, особенно в атмосфере, носят планетарный характер, поэтому проблемы экологического контроля и охраны окружающей среды стали приоритетными международными проблемами. Внимание всего человечества приковано к таким глобальным явлениям в атмосфере, как парниковый эффект и «озонные дыры». Усиление парникового эффекта связано с повышением за счет индустриальных выбросов в атмосферу концентраций таких газов, как CO_2 , CH_4 , N_2O , O_3 , фреонов и др., способных захватывать восходящую тепловую радиацию, излучаемую нагретой поверхностью Земли. Парниковый эффект провоцирует неуклонное потепление приземной атмосферы и подстилающей поверхности, которое может привести к глобальному изменению климата планеты, таянию полярных льдов и подъему уровня Мирового океана.

«Озонные дыры» характеризуются внезапным резким снижением общего содержания озона (ОСО) в атмосфере из-за разрушения озонового слоя в стратосфере. Снижение ОСО способствует проникновению через атмосферу до поверхности Земли коротковолновой части УФ солнечной радиации в интервале 290 ... 320 нм, губительной для всех биологических форм жизни планеты. В последнее десятилетие «озонные дыры» регулярно регистрируются в весенний период над Антарктидой. ОСО в этот период падает иногда более чем в 2 раза ниже нормы.

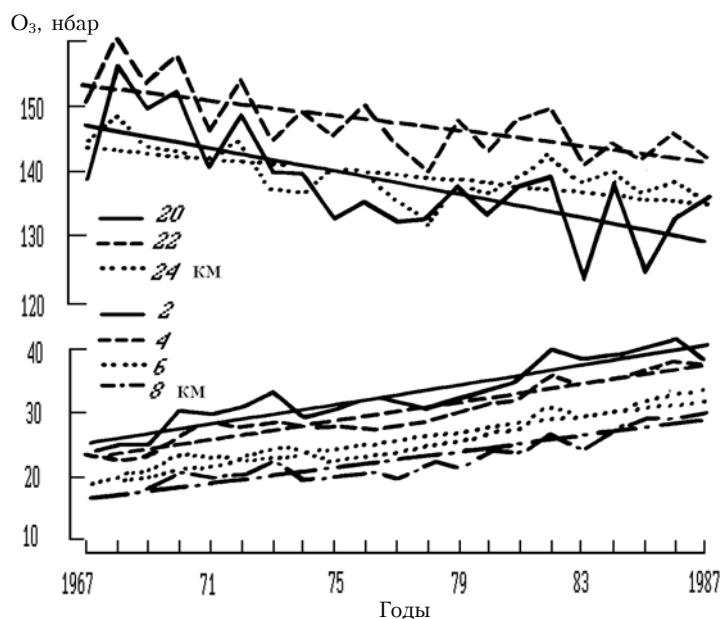
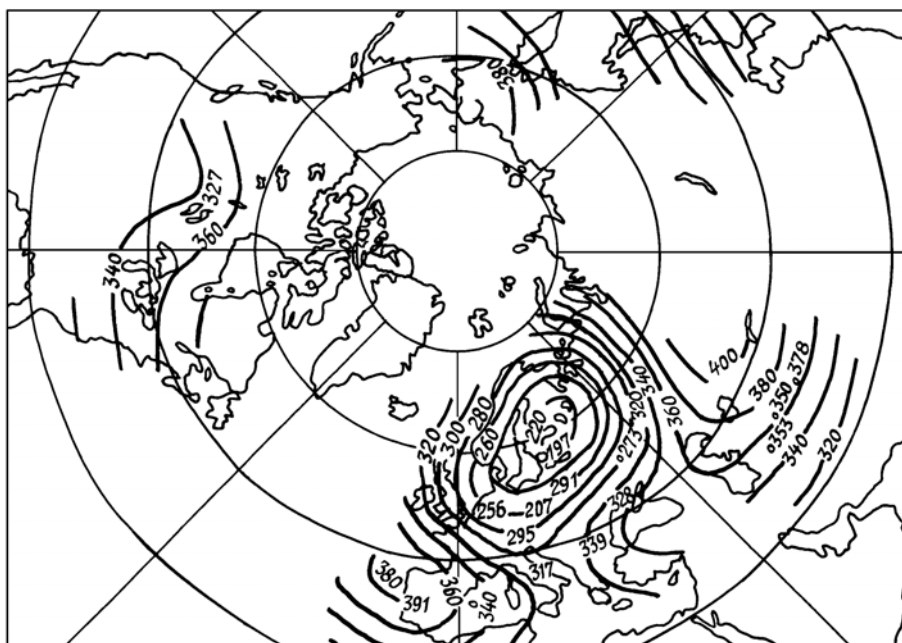


Рис. 1. Тенденции изменения концентраций стратосферного и тропосферного озона по данным 20-летних наблюдений за вертикальным распределением озона на обсерватории «Хоенпайсенберг» [1]

Многолетние наблюдения за вертикальным распределением озона в северном полушарии на обсерватории «Хоенпайсенберг» в Германии [1] указывают (рис. 1) на неуклонное уменьшение концентрации озона в максимуме озонового слоя стратосферы и, наоборот, увеличение концентраций тропосферного озона. В целом эти тенденции характеризуют уменьшение ОСО над Европой из-за преобладающей роли содержания озона в максимуме озонового слоя стратосферы в ОСО. В настоящее время ОСО в высоких и средних широтах северного полушария усугубляется депрессией озонового слоя стратосферы, последовавшей после извержения вулкана Пинатубо 13 ... 15 июня 1991 г. на Филиппинах. Особенно заметное уменьшение озона наблюдалось в конце января 1992 г. над северными рай-

онами Европы (рис. 2). Отклонение ОСО от многолетних норм достигало 45%. По сути рис. 2 иллюстрирует образование «озонной дыры» над Европой. В целом зона значительной депрессии озонного слоя стратосферы охватывает северные районы Атлантики, Европы и Западной Сибири.

Полное содержание озона (ед. Добсона) за январь, 28, 1992



Полное содержание озона (ед. Добсона) за январь, 29, 1992

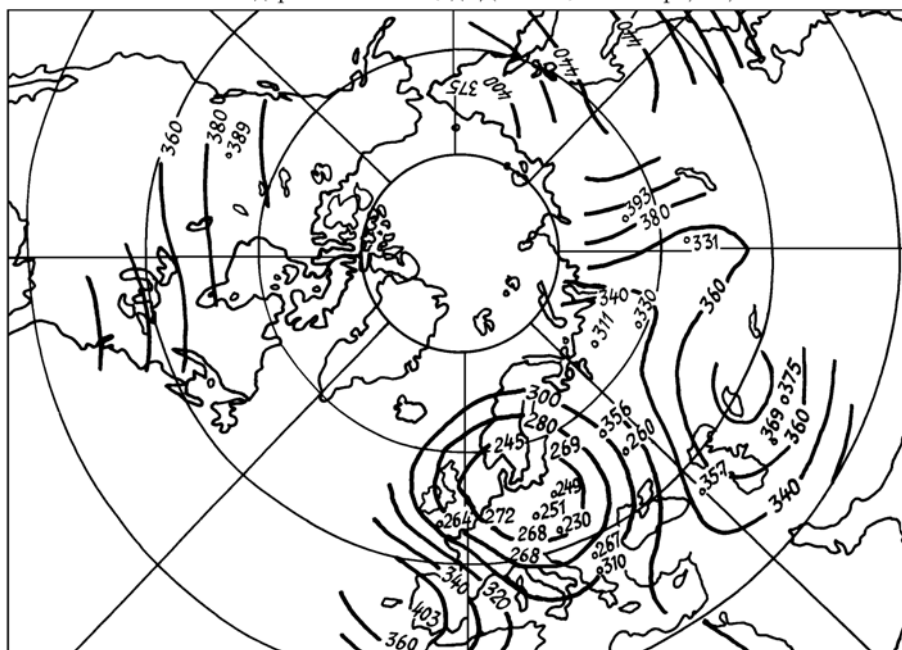


Рис. 2. «Озонная дыра» над северной Европой, вызванная «депрессией» озонного слоя после извержения вулкана Пинатубо

Механизм формирования «озонных дыр» не однозначен. По крайней мере, он различается в южном и северном полушарии из-за специфических особенностей циркуляции в них воздушных масс. Однако, безусловно, значительную роль в этих процессах играют фотохимические реакции, особенно реакции каталитического разрушения озона атомами Cl и свободными радикалами NO или OH. Атомы хлора, образующиеся в стратосфере путем фотодиссоциации молекул фреонов под действием УФ солнечной радиации, активно разрушают озон по схеме [2]



согласно которой каждый атом хлора способен разрушить несколько тысяч молекул озона до тех пор, пока он не рекомбинирует в более стабильную молекулу-резервуар, например ClONO₂. В целом для определения баланса хлора в стратосфере необходим контроль трех веществ одновременно: HCl, ClO и ClONO₂.

Аналогичным образом в каталитический процесс разрушения озона вовлечены NO и NO₂.



причем реакция (3) играет доминирующую роль в процессах, управляющих стратосферным озоном, поэтому точные данные об отношении NO₂/NO принципиально важны при описании озонного цикла. Поскольку вслед за реакцией (3) возможна реакция фотолиза NO₂ с образованием нечетного кислорода



эффективность каталитического разрушения озона по схеме (3)–(4) зависит от эффективности процессов (4) и (5). NO образуется в стратосфере главным образом за счет разрушения закиси азота N₂O при взаимодействии с возбужденным атомом кислорода O(*D*). Для определения азотного цикла в атмосфере необходима информация одновременно о всех активных соединениях азота NO, NO₂, NO₃, N₂O₅, HNO₃, HO₂NO₂ и ClONO₂, которые объединяют единым термином «нечетный азот» NO_x.

Каталитическое разрушение озона с участием гидроксильного радикала OH в стратосфере осуществляется по схеме, аналогичной (1)–(2) или (3)–(4). Однако в районе тропопаузы и ниже в тропосфере наиболее эффективной является схема [2]



в которой дважды участвует озон. Содержание OH в атмосфере в значительной степени определяется фотохимическими реакциями, ключевую роль в которых играет метан (CH₄). Оценкой содержания в атмосфере гидроксила OH может служить отношение HCl/HF, поскольку в отличие от HCl молекула HF не реагирует эффективно с OH, а их источники примерно одинаковы.

Наряду с неуклонным ростом содержания фреонов в атмосфере (в основном фреона-11 и фреона-12, используемых в холодильных установках и аэрозолях), приводящим к увеличению концентрации атомов хлора в стратосфере, возможно накопление в атмосфере галонов (1301 и 1211), применяемых при огнетушении. Они фотодиссоциируют с образованием атомов брома (Br). Атом брома не только участвует в каталитическом разрушении озона по схеме, аналогичной (1)–(2), но и влияет на хлорный цикл через реакцию с ClO [2]



которая интенсифицирует влияние обоих галогенов Br и Cl на разрушение озона.

Рассмотренные выше процессы, связанные с озонным циклом в стратосфере, указывают на то, что для его описания необходимо проводить комплексный контроль одновременно целого ряда параметров и составляющих стратосферы. Это ветер, температура, давление и такие газовые составляющие, как O₃, NO, NO₂, N₂O, HNO₃, N₂O₅, H₂O, CH₄, CO, CF₂Cl₂ (фреон-12), CFCl₃ (фреон-11), HCl, ClO, ClONO₂, HF, HBr, BrO. Кроме того, следует одновременно контролировать стратосферный аэрозоль, на поверхности которого происходит сток озона.

В условиях сильного аэрозольного «возмущения» стратосферы после вулканических извержений этот процесс может оказывать значительное влияние на «депрессию» озонного слоя, как, например, после извержения вулкана Пинатубо.

Увеличение концентрации тропосферного озона над Европой (см. рис. 1) обусловлено фотохимическими превращениями газов промышленного происхождения. Опасность наметившейся тенденции, несмотря на малость тропосферных концентраций озона, заключается в его высокой токсичности и роли в тепличном эффекте. Озонный цикл в тропосфере определяется большим числом химических реакций, в которые вовлечены разнообразные газы. Для его описания нужна одновременная информация об озоне, NO, NO₂, NO_x, CH₄, CO, CO₂, C_nH_{2n+2} (n ≥ 2), фреонах, J_{NO₂}, J_{O(*D*)}, альдегидах, кетонах, PAN (пероксиацетилнитратах), H₂O₂ и метеопараметрах тропосферы [3]. Репрезентативность таких данных из-за высокой динамичности воздушных потоков в нижней тропосфере в значительной степени зависит от одновременного контроля ближайших источников выбросов загрязнений в атмосферу и турбулентного и ветрового переноса этих загрязнений в пограничном слое атмосферы. Мощным природным источником выброса озона в тропосферу может явиться прорыв тропопаузы и оседание стратосферных воздушных масс, насыщенных озоном. Регистрируемые максимальные значения концентраций озона в тропосфере связаны именно с этим эффектом (см., например, рис. 3), который, естественно, носит эпизодический характер.

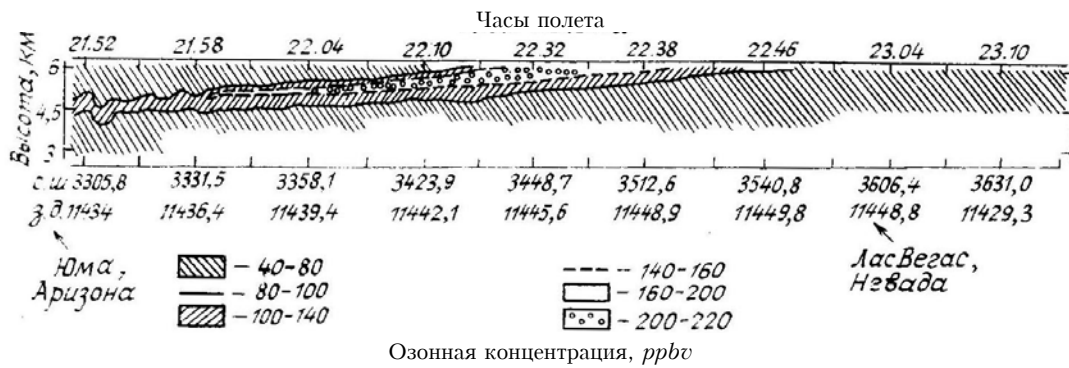


Рис. 3. Регистрация прорыва стратосферного озона в тропосферу [4]

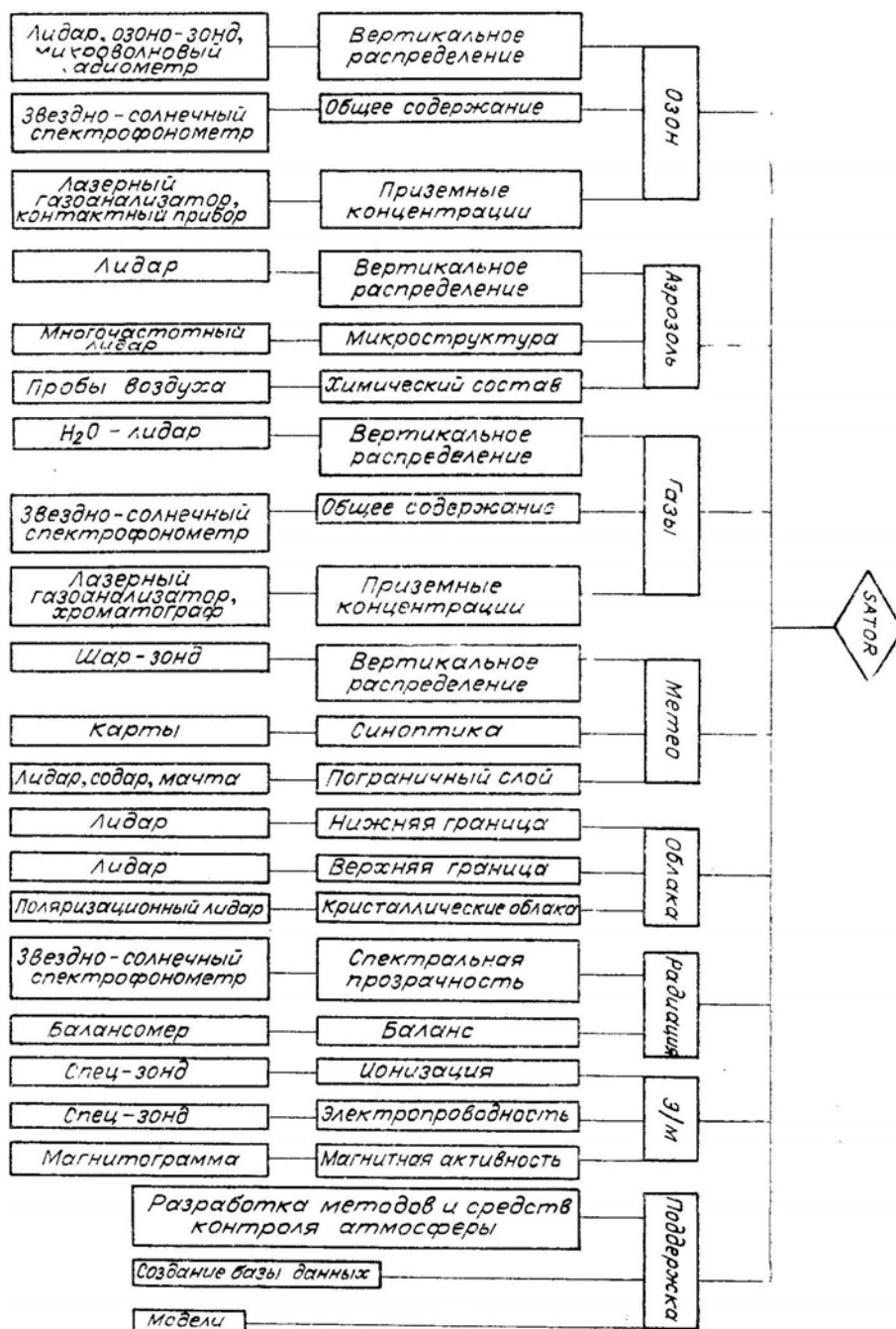


Рис. 4

Сток озона на аэрозоль в нижней тропосфере, особенно внутри слоя шероховатости, как правило, значительно уступает стоку на поверхностях земли, зданий и лесных массивах. Однако в условиях интенсивных выбросов промышленных или природных аэрозолей (например, пылевые бури) их влияние на сток озона может оказаться немаловажным.

Обобщая весь набор параметров и составляющих атмосферы, прямо или опосредованно влияющих на баланс озона в стратосфере и тропосфере, нетрудно заметить, что он во многом определяет радиационный и тепловой баланс атмосферы, включая парниковый эффект. Таким образом, комплексный долговременный контроль тропосферного и стратосферного озона и компонентов озонного цикла по этому набору носит в том числе климатологический характер.

В 1991 г. в Институте оптики атмосферы начала действовать многолетняя комплексная программа по стратосферному и тропосферному озону SATOR. Главная идея программы — это проведение долговременного комплексного эксперимента в атмосфере с помощью широкого набора разнообразных устройств, размещенных в одном месте, получение и комплексный анализ длинных рядов синхронных атмосферных наблюдений. Структура программы SATOR представлена на рис. 4.

Значительный акцент в программе с учетом специфики Института оптики атмосферы делается на использование методов лазерного и оптического контроля атмосферы с помощью лидаров и спектрофотометров. Кроме того, используются акустическое зондирование и контактные методы, включая прямые заборы проб воздуха с последующим анализом его физико-химического состава. Основными элементами программы являются первые четыре блока «озон», «газы», «аэрозоль» и «метео». В блоке «озон» УФ-лидар обеспечивает получение информации о профиле озона в диапазоне атмосферных высот 0 ... 40 км. В настоящее время пока освоен диапазон 10 ... 30 км. Измерения ведутся только в ночное время из-за ограничения фоном и, естественно, при безоблачном небе. На высотах от 0 до 15 км возможен круглосуточный режим наблюдений. Озонзонд и микроволновый радиометр работают круглосуточно и практически всепогодно. Радиометр дает информацию о содержании озона в интервале высот 25 ... 60 км. В блоке «газы» их общее содержание в вертикальном столбе атмосферы предполагается восстанавливать из данных звездно-солнечного спектрофотометра. Аэрозольные данные, включая их микроструктуру, получают до высоты 50 км. Блоки «облака» и «радиация» рассматриваются как сопутствующие, информация в которых получается практически теми же средствами, задействованными в основных блоках. Но при этом программа приобретает климатологический аспект. Необходимо подчеркнуть, что наиболее полные и интересные данные здесь можно получить, используя уникальные возможности самолета-лаборатории Института оптики атмосферы, оснащенного лидаром, спектрофотометром, радиометром и контактными измерителями. По существу, его участие обеспечивает проведение ПРЭ (полного радиационного эксперимента). К сожалению, работа самолета-лаборатории обходится слишком дорого.

Блок э/м (электрической и магнитной активности атмосферы) связан с учетом определяющего влияния на атмосферные процессы солнечно-земных связей и неоднозначностью взаимодействия озона с заряженными или нейтральными частицами.

И наконец, в блоке «поддержка» разрабатываются новые необходимые системы контроля атмосферы с максимальным сроком разработки в течение года и создается информационная база данных, аккумулирующая результаты комплексного эксперимента для исследуемого комплексного перекрестного анализа.

В полном объеме программа SATOR должна действовать к концу 1992 года.

1. Wege K., Claude H., Hartmannsgruber R. // Ozone in the Atmosphere / Eds. by Bojkov R.D. and Fabian P. — A. Deepak Publishing, 1989, ISBN 0-937194-15-8. P. 109–112.
2. Атмосфера. Справочник. Д.: Гидрометеонздат, 1991. 510 с.
3. Eurotrack Annual Report. 1989, Part 9. TOR.
4. Browell E.V., Danielsen E.F., Ismail S., Gregory G.L., Beck S.M. // J. Geophys. Res. 1987. № 92. P. 2112.

Институт оптики атмосферы СО РАН,
Томск

Поступила в редакцию
5 апреля 1992 г.

V. V. Zuev. A Complex Ecological Research Programme of the Institute of Atmospheric Optics on Studying the Stratospheric and Tropospheric Ozone.

This paper deals with the analysis of photochemical reactions affecting the ozone content in the stratosphere and troposphere. A list of stratospheric and tropospheric parameters and of the atmospheric constituents is specified for a complex study of the ozone layer variations. The structure of the complex research programme SATOR on studying the stratospheric and tropospheric ozone is described.