

М.Ю. Аршинов, Б.Д. Белан, В.К. Ковалевский, А.П. Плотников,
Т.К. Складнева, Г.Н. Толмачев

Многолетняя изменчивость тропосферного аэрозоля над Западной Сибирью

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 9.02.2000 г.

По материалам регулярного самолетного зондирования аэрозоля в 80-х гг. и данным круглогодичных приземных измерений его счетной концентрации в 90-е гг. выявлено, что концентрация аэрозоля в многолетнем ходе повторяет 11-летний цикл солнечной активности со сдвигом на 2 года. Причем изменение концентрации от максимума к минимуму может достигать 10 раз, что ставит под сомнение оценки вклада антропогенной компоненты аэрозоля в его общий баланс. На основании выявленной связи сделан прогноз изменения счетной концентрации аэрозоля на период с 2000 по 2003 г.

Исследования атмосферного аэрозоля начаты давно и осуществляются по широкому спектру направлений. К настоящему времени достаточно полно изучены его микрофизические характеристики и их пространственно-временная изменчивость, оценена роль аэрозольных частиц во многих атмосферных процессах. Вместе с тем в геофизике еще имеются проблемы, которые не могут быть решены на основании всех современных сведений об аэрозоле. К таким проблемам относятся возможное глобальное потепление климата, прогнозируемое с помощью численных моделей общей циркуляции атмосферы. В радиационном блоке таких моделей, в зависимости от типа параметризации, аэрозоль может выступать как примесь, охлаждающая и разогревающая воздух. Кроме того, в подобных моделях нужны сведения о тренде концентрации аэрозоля, особенно тропосферного. Однако в литературе нет публикаций о длительных рядах измерений. Настоящая статья, базирующаяся почти на 20-летнем ряде измерений микрофизических характеристик аэрозоля над территорией Западной Сибири с центром в г. Томске, призвана частично восполнить этот пробел.

Измерения счетной концентрации и дисперсного состава аэрозоля были начаты авторами в 1981 г. с борта самолета-лаборатории Ил-14 [1]. Для этого использовался фотоэлектрический счетчик АЗ-5, модернизированный с учетом рекомендаций [2]. Для измерения дисперсного состава частиц был разработан параллельный амплитудный анализатор [3], позволяющий определить распределение счетной концентрации по 12 диапазонам. Измерение аэрозоля сопровождалось контролем метеовеличин специализированным бортовым комплексом [3]. Зондирование атмосферы с борта Ил-14 велось в период с 1981 по 1988 г. С 1983 г. измерения стали регулярными, а с 1985 г. проводились в мониторинговом режиме. С 1988 г. весь комплект оборудования был перенесен на самолет-лабораторию Ан-30 «Оптик-Э» [4].

Ввиду того что оборудование эксплуатируется на борту самолета-лаборатории в достаточно экстремальных условиях и часто выходит из строя, для обеспечения сопоставимости данных один фотоэлектрический счетчик АЗ-5 был обозначен эталонным и хранился в лаборатории. Все другие восстановленные приборы, используемые в измерениях, периодически калибровались по этому эталонному счетчику.

Таким образом, достигалась если не абсолютная, то относительная сопоставимость данных за весь период измерений.

Анализ уже первых 5-летних (1983–1988 гг.) регулярно получаемых самолетных данных о счетной концентрации аэрозоля над Западной Сибирью, выполненный в [5] для слоя 0–3 км, показал, что счетная концентрация уменьшилась над регионом в несколько раз. Этот результат оказался неожиданным и долго не находил своего объяснения.

С 1992 г. полеты самолета Ан-30 «Оптик-Э» стали эпизодическими. Поэтому нами было проведено обобщение всех данных регулярного самолетного зондирования счетной концентрации аэрозоля за период с 1983 по 1991 г. Результаты обобщения представлены на рис. 1.

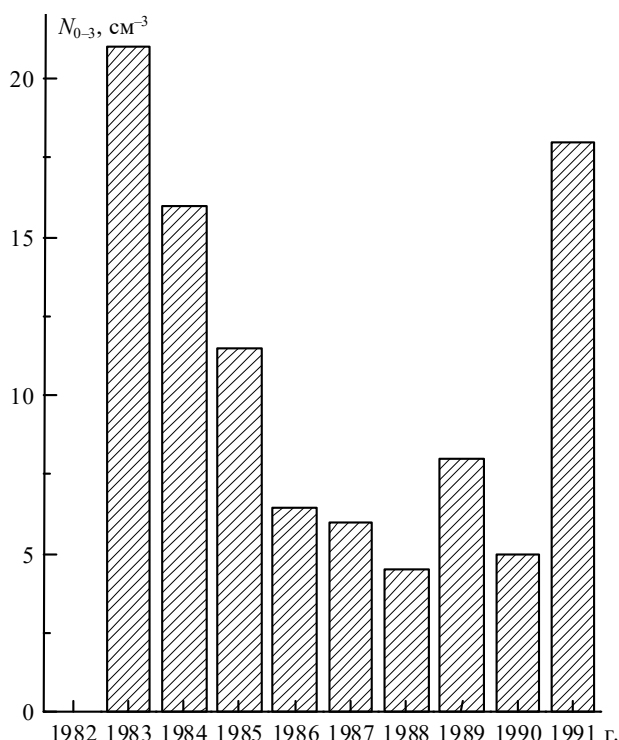


Рис. 1. Многолетний ход счетной концентрации аэрозоля (средней в слое 0–3 км) над Западной Сибирью с 1983 по 1991 г.

Из рис. 1 видно, что в 80-х гг. имелся периодический тренд счетной концентрации аэрозоля с максимумом в 1983 г., минимумом в 1988 г. и вторичным максимумом в 1991 г.

Тот факт, что это не случайный ход и не ошибки измерений, был подтвержден независимыми данными [6, 7].

Г.М. Абакумова и Е.В. Ярхо показали, что подобный тренд аэрозольной оптической толщи в эти же годы наблюдался над Москвой [6]. Затем В.В. Полькиным [7] были обработаны данные о спектральной прозрачности всей толщи атмосферы озонометрической сети СССР для Западно-Сибирского региона и получены сведения, близкие к результатам, приведенным в [6]. Стало ясно, что выявленный тренд не случайный.

Поэтому в [8] нами был предпринят детальный анализ возможных причин этого тренда. Были рассмотрены и отвергнуты гипотезы поствулканического (Эль-Чичон) последствия, заключающиеся в возможном осаждении «состарившегося» аэрозоля из стратосферы; антропогенного действия, так как промышленность СССР и Западной Сибири в период понижения концентрации еще интенсивно работала. Оправдалась третья гипотеза о том, что тренд счетной концентрации аэрозоля является отражением цикличности естественных атмосферных процессов (а именно, он обусловлен изменением общей циркуляции над регионом), выразившимся в усилении западной зональной компоненты потока и изменении характера меридиональной циркуляции (увеличилось количество ультраполярных вторжений). По поводу смены форм общей циркуляции было высказано несколько гипотез:

1) перестройка циркуляции могла быть следствием поствулканического воздействия вулкана Эль-Чичон;

2) перестройка циркуляции обусловлена возникшим почти одновременно с вулканом Эль-Чичон необыкновенно интенсивным явлением «Эль-Ни-ньо/Южное колебание» [9, 10];

3) перестройка циркуляции является отражением иных геофизических процессов, более глобальных, таких как солнечная активность.

Однако на основании ограниченного ряда сделать какой-либо однозначный вывод невозможно. Поэтому исследования временной изменчивости аэрозоля были продолжены в наземных условиях.

Для этого был разработан и введен в эксплуатацию автоматический пост для контроля состава воздуха, получивший название TOR-станция. Она работает круглосуточно и круглогодично начиная с декабря 1992 г. и по настоящее время. Отсчеты производятся через 1 ч с 10-минутным усреднением. Комплект поста все время наращивается новыми приборами. Полное описание последней его версии имеется в [11].

Для измерения аэрозоля в нем также применялся модернизированный счетчик АЗ-5, который калибровался по тому же эталонному счетчику, что и самолетные приборы. Это дает нам возможность сопоставления данных, полученных в 80-х гг. с борта самолета-лаборатории и в 90-х в наземных условиях в районе Томского академгородка. Это сопоставление со сдвигом 11 лет представлено на рис. 2. Сдвиг 11 лет был взят как один из наиболее характерных периодов солнечной активности, отражающийся в атмосферных характеристиках [12].

Из рис. 2 видно, что в 90-х гг. повторяется тот же процесс, что и в 80-х. Начиная с 1994 г. счетная концентрация аэрозоля с каждым годом уменьшается и в 1999 г.

достигает своего минимума. Причем и темпы уменьшения концентрации в 90-х и 80-х гг. близки между собой. Сдвиг же в 11 лет между двумя рядами данных, по-видимому, свидетельствует о том, что динамика в 80-х и 90-х гг. была зависима от солнечной активности, имеющей тот же период изменчивости.

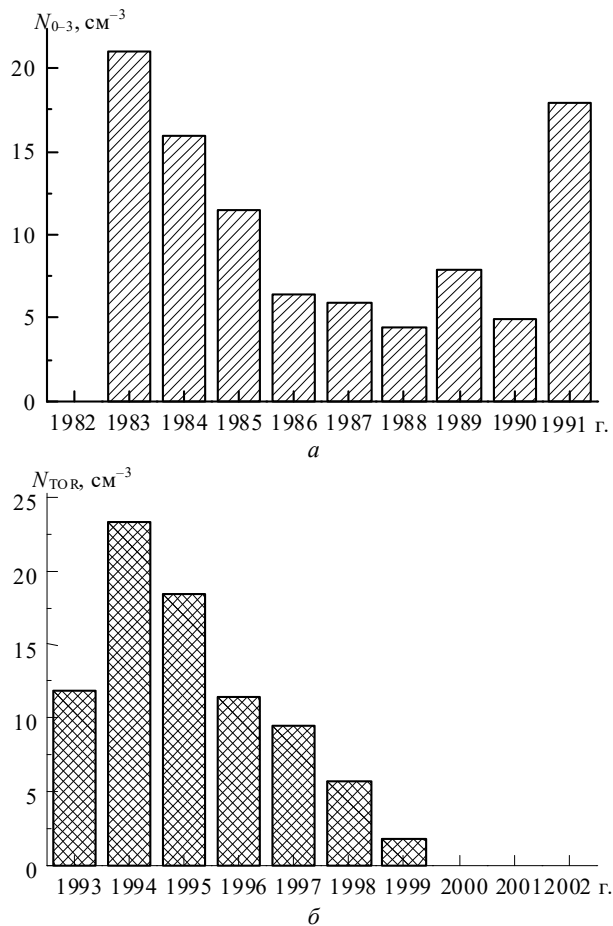


Рис. 2. Многолетний ход счетной концентрации аэрозоля: *a* – (средней в слое 0–3 км) над Западной Сибирью за период 1983–1991 гг.; *б* – в районе г. Томска (средней в приземном слое) за период с 1993 по 1999 г.

Поскольку иных подтверждений тенденциям изменения концентрации аэрозоля пока в литературе не опубликовано, рассмотрим, как ведут себя другие характеристики воздуха, измеряемые на TOR-станции. Для этого обратимся к рис. 3.

Из рис. 3 видно, что близкую, но не подобную, тенденцию к изменению своей концентрации обнаруживает озон, содержание которого начало уменьшаться на год ранее. Суммарная солнечная радиация, наоборот, увеличивается в период с 1995 по 1999 г. (за исключением 1998 г.). Тенденция к увеличению наблюдается и для концентрации водяного пара. На наш взгляд, увеличение прихода суммарной солнечной радиации на фоне падения концентрации аэрозоля и озона является дополнительным подтверждением реальности зафиксированных трендов, даже несмотря на рост концентрации водяного пара, который, как известно, наиболее эффективно ослабляет приходящую суммарную солнечную радиацию, т.е. действует в противоположном направлении.

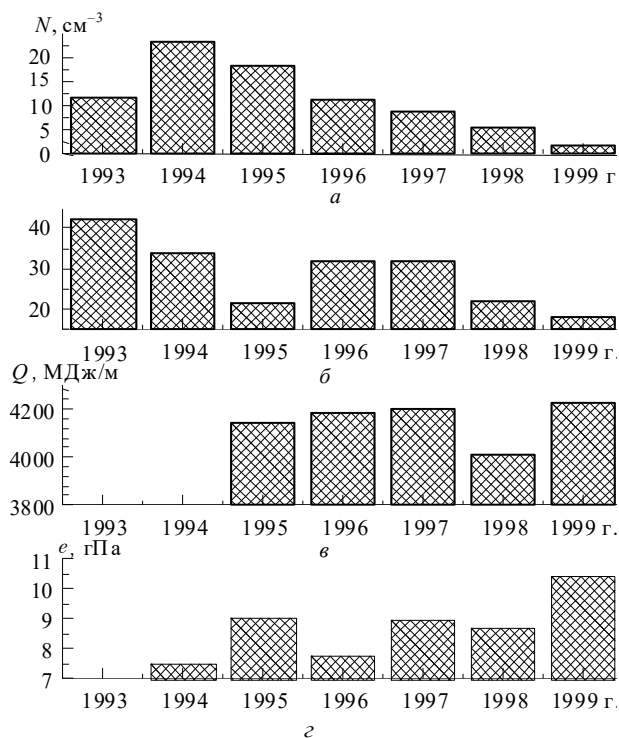


Рис. 3. Изменение в период с 1993 по 1999 г. среднегодовых значений: *a* – счетной концентрации аэрозоля ($d > 0,3$ мкм); *b* – озона; *c* – суммарной солнечной радиации; *d* – упругости водяного пара

Круглогодичный характер работы TOR-станции позволяет рассмотреть вопрос о том, проявляется ли тренд счетной концентрации аэрозоля, выделенный на рис. 2, *b* для 90-х гг., в основные сезоны года. Многолетняя изменчивость концентрации аэрозоля для основных сезонов года показана на рис. 4. С учетом климатических особенностей пункта наблюдений к холодному периоду относились данные с ноября по март включительно. К весеннему – апрель и май. В летний период вошли июнь – август. И осенний составили сентябрь и октябрь.

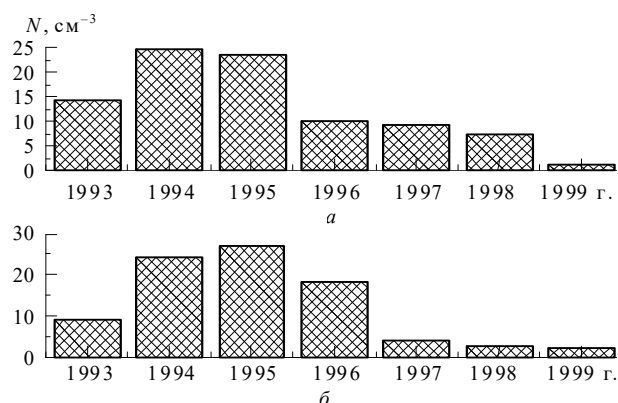


Рис. 4. Многолетний ход счетной концентрации аэрозоля в приземном слое воздуха в разные сезоны года в районе г. Томска: *a* – холодный, *b* – теплый

Из рис. 4 видно, что тенденция к уменьшению счетной концентрации аэрозоля в 90-х гг. подтверждается в холодный и теплый периоды. В осенний и весенний периоды межгодо-

вые колебания концентрации имеют скорее случайный, чем закономерный характер. Причем из сопоставления верхней и нижней частей этого рисунка видно, что тренд счетной концентрации аэрозоля в холодный период начался раньше, чем в теплый. Чем вызвано такое запаздывание, пока не ясно.

Возвратимся к возможной связи тренда концентрации аэрозоля и солнечной активности. Для этого обратимся к рис. 5, на котором приведены временная динамика счетной концентрации и интенсивность солнечной активности, выраженная в числах Вольфа.

Из рис. 5 видно, что изменения счетной концентрации аэрозоля и в слое 0–3 км в 80-х гг. и в приземном слое воздуха в 90-х гг. происходят со сдвигом 2 года по отношению к солнечной активности.

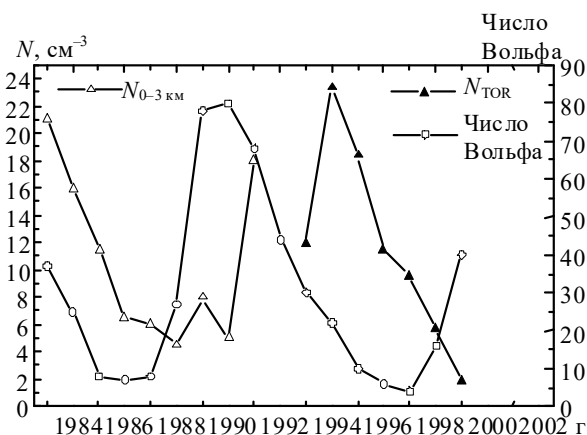


Рис. 5. Многолетний ход чисел Вольфа и счетной концентрации аэрозоля по самолетным данным и по данным TOR-станции

Следовательно, изменение общей циркуляции воздуха над регионами, с чем ранее связывалось появление тренда аэрозоля [8], скорее всего, обусловлено более глобальными процессами, такими как солнечная активность. Вместе с тем пока трудно указать механизм, по которому передается сигнал от Солнца тропосферному аэрозолю. Имеющийся на рис. 5 сдвиг аэрозоля и чисел Вольфа на 2 года, вероятнее всего, свидетельствует об опосредованном механизме такой связи. Вначале происходит воздействие на объект, генерирующий аэрозолеобразующие вещества, например на растительность, а затем уже включаются фотохимические процессы. В пользу такой схемы говорит более раннее наступление максимума концентрации озона, приведенное на рис. 3.

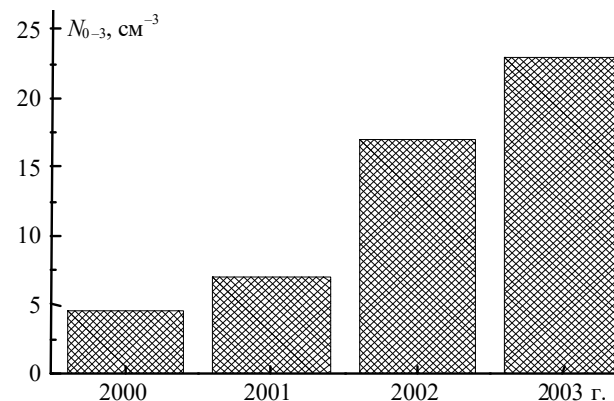


Рис. 6. Прогноз измерений счетной концентрации аэрозоля в приземном слое вблизи г. Томска на 2000–2003 г.

Учитывая связь хода солнечной активности и счетной концентрации аэрозоля, мы попытались сделать прогноз изменения содержания аэрозоля на ближайшие годы. Он приведен на рис. 6 и в особых комментариях не нуждается.

Выполненное исследование, несмотря на то что оно имеет региональный характер, все же позволяет поставить несколько общих вопросов.

Во-первых, если учитывать длительность периода вариаций концентраций аэрозоля и его характер, то возникает вопрос, каким должно быть усреднение временного ряда, чтобы можно было говорить о климатических характеристиках аэрозоля в тропосфере?

Во-вторых, если учитывать амплитуду колебаний концентрации аэрозоля, особенно в приземном слое воздуха (более 10 раз), то возникает вопрос, какова его антропогенная компонента. Либо она столь незначительна в регионе, что не вносит ощутимого вклада в общее содержание аэрозоля, либо антропогенная компонента, подобно природному аэрозолю, изменяет свою абсолютную величину и, соответственно, вклад в зависимости от солнечной активности. В последнем случае оценки вклада антропогенного аэрозоля в изменение климата будут существенно различными, в зависимости от того, из какого периода долговременного тренда они взяты.

В-третьих, в чем заключается механизм «управления» изменением концентрации тропосферного аэрозоля Солнцем?

1. Белан Б.Д. // Аппаратура дистанционного зондирования параметров атмосферы. Томск: изд-во ТФ СО АН СССР, 1987. С. 34–40.
2. Беляев С.П., Гончаров Н.В., Дубровин М.А. // Труды ИЭМ. 1980. Вып. 25(93). С. 31–37.
3. Ковалевский В.К., Толмачев Г.Н. // Аппаратура дистанционного зондирования параметров атмосферы. Томск: изд-во ТФ СО АН СССР, 1987. С. 53–69.
4. Зуев В.Е., Белан Б.Д., Кабанов Д.М. и др. // Оптика атмосферы и океана. 1992. Т. 5. № 10. С. 1012–1021.
5. Белан Б.Д. // Тезисы докладов X Всесоюзного симпозиума по распространению лазерного излучения в атмосфере. Томск: ТНЦ СО РАН, 1989. 77 с.
6. Абакумова Г.М., Ярхо Е.В. // Метеорология и гидрология. 1992. № 11. С. 107–113.
7. Belan B.D., Panchenko M.V., Polkin V.V. // Fourth International Aerosol Conference. Los Angeles, 1994. V. 2. P. 871–872.
8. Аршинова В.Г., Белан Б.Д., Воронцова Е.В. и др. // Оптика атмосферы и океана. 1997. Т. 10. № 8. С. 926–934.
9. Belle T.L., Abdullah A. // Third Conf. on Climate Variat. and Symp. on Contemp. Climate: 1850–2100. Los Angeles, 1985. P. 89–90.
10. Клименко В.В. // Энергия. 1994. № 2. С. 11–17.
11. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К. и др. // Метеорология и гидрология. 1999. № 3. С. 110–118.
12. Монин А.С. Прогноз погоды как задача физики. М.: Наука, 1969. 184 с.

M.Yu. Arshinov, B.D. Belan, V.K. Kovalevskii, A.P. Plotnikov, T.K. Sklyadneva, G.N. Tolmachev. Many-year variability of tropospheric aerosol above West Siberia.

Based on aircraft sensing of aerosol, conducted in 80-th, and ground measurements of its number concentration, conducted during the 90-th years round, we have found that many-year behavior of aerosol concentration follows the 11-year summer cycle of solar activity with 2 year lag. The difference between maximum and minimum number concentrations may reach 10 times, what casts some doubt on the estimate of anthropogenic component contribution in the aerosol general balance. Based on the found connection, we have predicted the aerosol number concentration variation for the period from 2000 to 2003 years.