



УДК 551.594

## Приземный озон и электрическое состояние атмосферы

Ю. В. Шаманский (suv@home.isu.ru)

В. Л. Потемкин (klimat@lin.irk.ru)

**Аннотация.** Рассматриваются результаты длительных синхронных наблюдений за напряженностью электрического поля атмосферы, концентрацией приземного озона и метеорологическими условиями с большим временным разрешением (минуты). С помощью корреляционного и спектрального анализов рядов наблюдений исследуются взаимосвязи между величинами и высказываются гипотезы о возможных механизмах их взаимодействия. Приводится осредненный суточный ход рассматриваемых характеристик.

**Ключевые слова:** атмосферное электричество, атмосферный озон.

### Введение

Приземный озон образуется в атмосфере в результате фотохимических реакций в присутствии коротковолнового солнечного излучения. Существует два механизма, приводящих к повышенному содержанию озона в приземном воздухе. Первый – связан с метеорологическими условиями, когда в условиях жаркой погоды имеет место приток озона из вышележащих слоев атмосферы. В этом случае дневные концентрации озона высокие, а ночные – спадают практически до нуля. Этот механизм обеспечивает повышенные концентрации озона в солнечные дни летних месяцев. Уменьшение концентрации озона происходит под влиянием двуокиси азота. Второй – образование озона в результате химических реакций между углеводородами при воздействии солнечной радиации. Однако значимость такого механизма образования озона значительно ниже. В условиях антропогенного загрязнения повышение концентрации озона обусловлено выхлопными газами автотранспорта. Известна корреляция между концентрацией озона и радона. То есть озон может образоваться в результате диссоциации кислорода под действием ионизирующих излучений. В приземном слое атмосферы основным ионизатором считается естественная радиоактивность земли. Общими факторами, определяющими электрическое состояние атмосферы и содержание озона, могут быть и метеорологические условия. Существует гипотеза аэрозольного происхождения озона при диссоциации молекул воды. Водяной пар и жидкий аэрозоль влияют на электрические свойства атмосферы. В работе [1] указывается на найденный параллелизм электрического поля у земной поверхности и содержания озона в слое 0–20 км над землей. Объясняется эта связь следующим образом. Увеличение концентрации приземного озона возрастает при процес-

сах, связанных с опусканием воздуха. Возрастание напряженности электрического поля обусловлено уменьшением сопротивления атмосферного столба и возрастанием плотности вертикального тока при нисходящих движениях. Флуктуации атмосферного электричества могут служить тем параметром, который позволяет определять тип обмена. Как содержание озона, так и электрические характеристики «чувствительны» к антропогенному влиянию, этим и вызван интерес поиска связи.

### **Методика наблюдений**

Район исследования находится на высоте 2000 м в Восточном Саяне на территории Саянской астрофизической обсерватории Института солнечно-земной физики СО РАН, где по данным геологов наблюдаются достаточно мощные выделения радона – основного ионизатора воздуха у поверхности земли. В районе отсутствует антропогенное загрязнение воздуха промышленными выбросами и транспортом. В течение десяти лет регулярно проводятся измерения приземной концентрации озона [2–5, 7]. Измерения озона в приземном слое атмосферы проводились с помощью озонметра 1006-АНУ с одноминутным осреднением. Погрешности приборов не превышают 10 %. Для регистрации метеорологических характеристик использовалась метеостанция на акустическом принципе, разработанная в Институте оптики атмосферы СО РАН.

В 2004 г. эти наблюдения были дополнены регистрацией электрической проводимости воздуха и напряженности электрического поля. Регистрация электрической проводимости воздуха велась аспирационным конденсатором с внешней собирающей и внутренней потенциальной обкладками. Предельная подвижность улавливаемых ионов составляла  $0,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$ . Электрический ток в конденсаторе измерялся электрометрическим усилителем. Регистрировалась не суммарная электропроводность, а только обусловленная положительными ионами. Напряженность электрического поля производилась электростатическим флюксометром. Приборы постоянно калибровались, и проверялась устойчивость нулевых показаний. Регистрация всех величин производилась с использованием аналого-цифрового преобразователя (АЦП) на компьютере с временным шагом 10 мин.

### **Обсуждение полученных результатов**

Годовой ход  $\text{O}_3$  достаточно простой (рис.1). Максимум в годовом ходе отмечается в мае и минимум в зимнее время года. Амплитуда годового хода составляет около 20 %. Среднегодовое значение концентрации  $\text{O}_3$  – 45 млрд<sup>-1</sup>. Наибольшая изменчивость среднечасовых значений  $\text{O}_3$  отмечается в июле – августе. Коэффициент вариации в эти месяцы достигает значений 0,25. В зимние месяцы коэффициент вариации среднечасовых значений около 0,05. Если принять стоковую гипотезу образования приземного озона, то в зимние месяцы следует ожидать более высоких значений  $\text{O}_3$ , так как зимой при развитии Сибирского антициклона нисходящие движения максимальны до уровня приземных инверсий температуры.

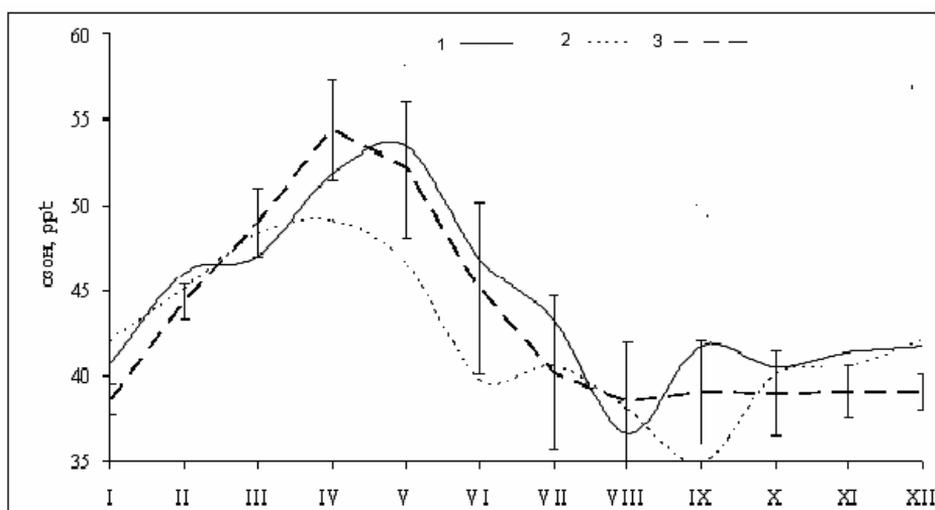


Рис. 1. Годовой ход приземной концентрации озона на станции Монды.  
1 – Европа; 2 – высокие широты; 3 – Монды

Для сравнения на рис. 1 даны годовые концентрации озона в Европе и в приполярных широтах [6].

В течение года наблюдается низкая межсуточная изменчивость концентрации озона в холодное время года и высокая изменчивость в теплое время. Это связано с различной величиной стока над различными поверхностями (снег 0,02–0,03 см/с, грунт 0,1–1 см/с), и при различной температуре. Также это связано со взаимодействием озона с биотой, дегазацией разломов, большим количеством грозовых дней [6]. Межсуточная амплитуда  $O_3$  колеблется от 1–2 ppb в холодное время (январь), до 5–8 ppb в теплое время года (июль).

Суточный ход концентрации  $O_3$  имеет минимум в утренние часы и максимум в послеполуденные часы. Причем в течение года минимумы и максимумы смещаются. Утренний минимум в зимние месяцы наступает около 10 ч, а в летние месяцы – около 8 ч (табл.). Максимумы в летние месяцы отмечаются раньше в околополуденные часы, а зимой смещаются на 18–20 ч. Амплитуды суточных изменений наибольшие в летний и осенний периоды.

Таблица

Время наступления и значения минимумов и максимумов среднееголетнего суточного хода концентрации озона

Месяц	Время минимума, ч	Время максимума, ч	Значение мин, ppb	Значение макс, ppb	Амплитуда сут, ppb
Январь	9–11	19	38	39	1
Апрель	10	17	54	56	2
Июль	8	13–16	38	43	5
Октябрь	9	16	38	40	2

При отсутствии влияния антропогенных источников загрязнения атмосферы суточная изменчивость приземной концентрации озона обусловлена динамикой слоя перемешивания и формированием температурных инверсий в ночное время. Также днем изменчивость выше, чем в вечернее и ночное время, изменчивость в холодное время года меньше по сравнению с теплым. Это объясняется, во-первых, большей фотохимической генерацией днем в летнее время. Во-вторых, летом более интенсивен турбулентный обмен воздушных масс, что приводит к увеличению концентрации озона в приземном слое из-за поступления из верхних слоев атмосферы. В зимние месяцы скорость осаждения озона над снегом на 1–2 порядка меньше, чем над грунтом (снег 0,02–0,03 см/с, грунт 0,1–1 см/с). Зимой фактически отсутствует генерация озона из-за дегазации почвы радиоактивных эманаций радона.

В январе суточный ход выражен слабо. Наличие снежного покрова приводит к сглаживанию суточного хода концентрации озона в приземном слое атмосферы, поскольку на поверхности снега разрушение озона идет менее интенсивно по сравнению с поверхностью открытого грунта. Минимум приходится на 9–11 ч утра, максимум – на 19 ч вечера. Суточная изменчивость минимальная, суточная амплитуда составляет всего лишь 1 ррб. Фотохимическая генерация озона практически отсутствует.

В апреле минимум приходится на 10 ч утра, максимум – на 17 ч. Суточная амплитуда в апреле составляет 2 ррб. Суточные концентрации озона повышены, что связано с общим весенним максимумом содержания озона, который приходится на апрель–май.

В июле самый ярко выраженный по амплитуде и изменчивости суточный ход в году. Минимум приходится на 8 ч утра, максимум наблюдается на протяжении трех часов: с 13 до 16 часов. Суточная амплитуда составляет 5 ррб. Сдвиг максимума концентрации озона относительно полуденного максимума солнечной радиации объясняется формированием конвективного обмена воздушных масс во второй половине дня, что приводит к дополнительному поступлению обогащенного озоном воздуха из вышележащих слоев к земной поверхности. В октябре минимум приходится на 9 ч утра, максимум на – 16 ч. Суточная амплитуда составляет 2 ррб.

Электрические характеристики атмосферы по сравнению с концентрацией озона имеют более значительную изменчивость, как в годовом, так и в суточном ходе. Годовые изменения напряженности электрического поля повсеместно имеют максимум зимой и минимум летом. Они противоположены годовому ходу электропроводности воздуха. Электрическая проводимость определяется действием основных ионизаторов воздуха, во-первых, ионизирующими излучениями почвы, которые связаны с ее промерзанием и снежным покровом. Второй ионизирующий фактор – космические лучи. Их интенсивность у поверхности земли уменьшается в зимние месяцы из-за более высокого атмосферного давления. Изменения напряженности электрического поля обусловлены местными причинами и глобальными, которые разделить невозможно. Проводимость воздуха в при-

земном слое зависит от действия ионизирующих излучений и скорости рекомбинации ионов. Первый и второй факторы тесно связаны с метеорологическими условиями, способствующими выходу радионуклидов из почвы. Этот выход радионуклидов связан с осадками, температурой, атмосферным давлением, снежным покровом, влажностью, направлением и скоростью переноса воздуха, а также концентрацией аэрозолей.

В теплый период года проводимость воздуха подвержена значительным суточным вариациям. Причем в момент восхода солнца происходит довольно резкое возрастание проводимости воздуха с одновременным уменьшением напряженности электрического поля.

В холодный период при наличии снежного покрова амплитуда суточных вариаций, как напряженности поля, так и проводимости уменьшаются. Причем максимум суточного хода напряженности электрического поля приближается к 18–19 ч по гринвичскому времени, что может указывать на уменьшение влияния региональных условий и увеличению проявления глобальных факторов на электрическое поле, которое наблюдается на океанах. Амплитуда суточного хода напряженности электрического поля в зимние месяцы около 20 %.

В летние месяцы суточные изменения напряженности имеют характер двойной волны с двумя максимумами и двумя минимумами. При этом вторичные максимумы и минимумы связаны с локальными условиями и зависят от поясного времени. Вторичный максимум в теплое время появляется около полудня по местному времени.

Для нахождения связи электрических характеристик с концентрацией озона и метеорологическими величинами для каждого месяца по среднечасовым значениям рассчитывались корреляционные матрицы. Так, для всех месяцев корреляция  $O_3$  с температурой воздуха положительна и в среднем около 0,4, что можно объяснить большим выходом радона с ростом температуры. Корреляция  $O_3$  с электрической проводимостью воздуха по среднечасовым данным отрицательна – около  $-0,3$ , что трудно объяснить, поэтому требуются дополнительные исследования с измерением концентрации радона.

На рис. 2 приведен пример записи вариаций электрического поля, электрической проводимости воздуха и  $O_3$  для условий «хорошей погоды», из которого видно, что проводимость и  $O_3$  изменяются в противофазах, а ряд изменений электрического поля происходит синхронно. Под термином «хорошая погода» при измерениях атмосферно-электрических характеристик понимаются условия, при которых влияние метеорологических факторов минимально: облачность нижнего яруса менее 3 баллов, скорость ветра менее 5 м/с и отсутствие атмосферных явлений.

Для анализа вариаций концентрации озона проведен спектральный анализ по среднечасовым значениям. На рис. 3 приведены спектры вариаций  $S(f)$  для июня и января. На спектральных кривых отчетливо видны суточные, полусуточные составляющие и составляющие в несколько суток, которые связаны с естественно-синоптическим периодом. В январе более ярко проявляется максимум 5–7 ч.

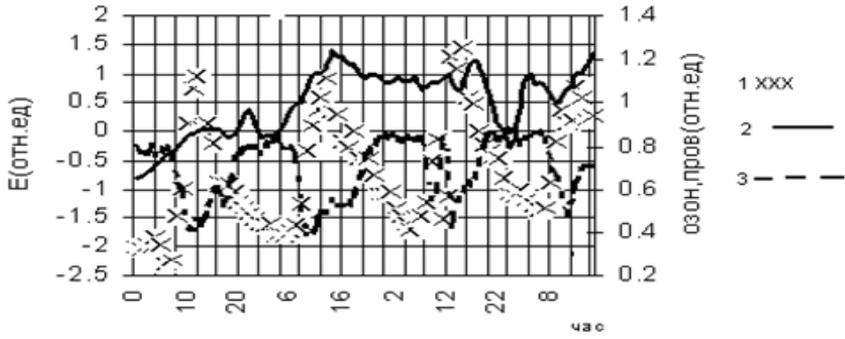


Рис. 2. Фрагмент совместной регистрации  $O_3$ , проводимости и  $E$  (28–31 августа 2004 г.) 1 –  $E$ ; 2 – озон; 3 – электрическая проводимость

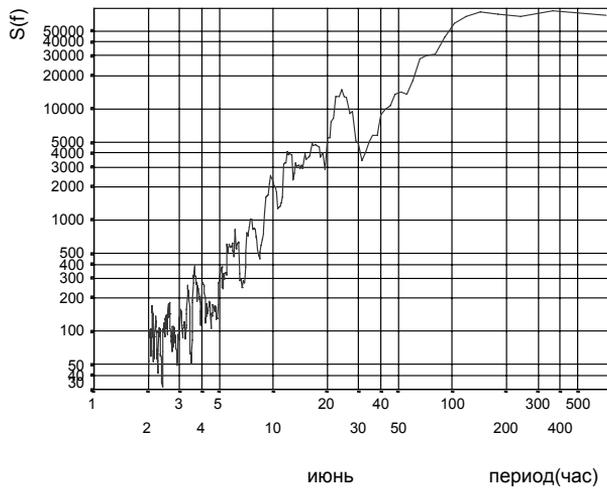
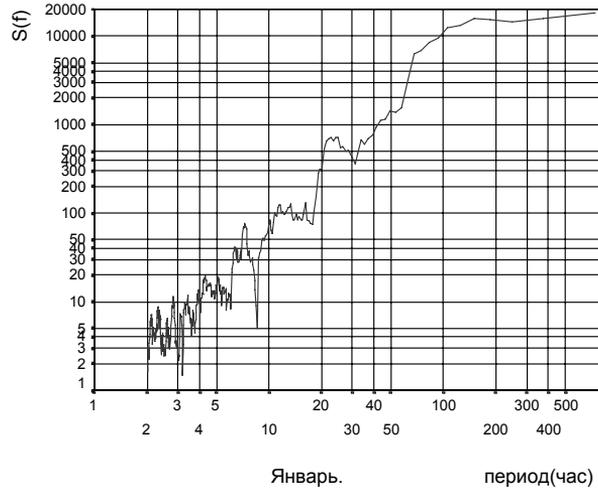


Рис. 3. Спектральные функции вариаций концентрации озона в июне и январе

Большая часть спектра описывается законом « $-5/3$ » Обухова–Колмогорова, т. е. изменения обусловлены турбулентностью в атмосфере. Спектры вариаций для электрических характеристик похожи на спектры изменения  $O_3$  в диапазонах от синоптических до полусуточных, что говорит о сопряженности процессов.

### Заключение

В суточном ходе концентрации озона минимум приходится на утренние часы в момент восхода солнца, а в суточном ходе электрической проводимости в это время отмечается рост. Обычно в условиях хорошей погоды вариации концентрации озона следуют в противофазе с электрической проводимостью воздуха и связаны с вариациями электрического поля. Для решения проблемы связи  $O_3$ , электрических параметров атмосферы с процессами ионизации необходимы прямые измерения ионизирующих излучений и, в основном, радиоактивного газа радона.

### Список литературы

1. Мюлейзен Р. Общие вопросы атмосферного электричества, явления хорошей погоды // Проблемы электричества атмосферы : тр. III междунар. конф. по электричеству атмосферы и косм. пространства. – Л. : Гидрометеиздат, 1969. – 8–16 с.
2. Длительные наблюдения приземных концентраций озона и окиси углерода в Восточной Сибири / В. Л. Потемкин [и др.] // Сиб. экол. журн. – 1999. – № 6. – С. 601–603.
3. Потемкин В. Л. Сезонная динамика концентрации приземного озона над Восточным Саяном / В. Л. Потемкин, Э. В. Шультайс // Оптика атмосферы и океана. – 2004. – Т. 17(4). – С. 317–321.
4. Потемкин В. Л. Исследование процессов распространения диоксида серы и озона на юге Восточной Сибири / В. Л. Потемкин [и др.] // Оптика атмосферы и океана. – 2006. – 19(7). – С. 632–634.
5. Тимофеева С. С. Динамика грозовой активности и ее влияние на вариации озона в регионе оз. Байкал / С. С. Тимофеева, И. В. Латышева, В. Л. Потемкин // Вестн. ИрГТУ. – 2008. – № 2(34). – С. 24–27.
6. Laurila T. Observational study of transport and photochemical formation of ozone over northern Europe // Journal of geophysical research-atmospheres. – 1999. – Vol. 104. – D. 21. – P. 26235–26243.
7. Regional background ozone and carbon monoxide variations in remote Siberia (East Asia) / P. Pochanart [et al.] // J. of Geophys. Res. – 2003. – Vol. 108. – N D1. 4028. – P. 7–18.

## Surrounding Ozone and Electrical Condition of Atmosphere

U. V. Shamansky, V. L. Potemkin

**Annotation.** Results of long time synchronous observations for electric field of the atmosphere, concentration of surrounding ozone, and meteorological conditions are con-

sidered with high time resolution (minutes). Correlation and spectral analyses were applied to evaluation of ozone and electric field interrelation; and some hypotheses on the mechanism of their interaction are discussed. The mean daily changes of considered parameters are obtained.

**Key words:** atmospheric electricity, atmospheric ozone.

*Шаманский Юрий Васильевич*  
кандидат географических наук, доцент  
Иркутский государственный университет  
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1  
тел.: 52-10-94

*Потемкин Владимир Леонидович*  
кандидат географических наук, старший  
научный сотрудник  
Лимнологический институт СО РАН  
664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3