

**Е.В. Батуева, А.В. Базаров, Д.Д. Дарижапов, М.В. Гришаев, В.В. Зуев,
П.В. Зуев, С.В. Смирнов**

Комплексные измерения в Бурятии общего содержания озона, суммарного содержания и вертикального распределения двуокиси азота и спектральной УФ-облученности

*Отдел физических проблем БНЦ СО РАН, г. Улан-Удэ
Институт оптики атмосферы СО РАН,*

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск

Поступила в редакцию 9.11.2001 г.

Представляются результаты спектрофотометрических измерений общего содержания озона (ОСО), суммарного содержания и вертикального распределения двуокиси азота (СС/ВР NO_2) и спектральной УФ-облученности (СУФО), проведенных летом и осенью 1999 г. и осенью 2000 г. в юго-восточной части озера Байкал, Республика Бурятия. Так, установлено, что в условиях безоблачного неба наблюдается выраженная отрицательная связь между ОСО и СУФО. При появлении оптически тонкой перистой облачности наблюдается увеличение СУФО, возникающее, возможно, из-за изменения индикатрисы рассеяния. Между ОСО и СС NO_2 значимой корреляции не наблюдается, вероятно, из-за малой продолжительности временных рядов данных наблюдений.

Введение

Во многих регионах России, включая озеро Байкал, в последние годы стали интенсивно проводиться климато-экологические исследования. Связано это как с реальным ухудшением экологического состояния окружающей среды, так и в связи с наблюдаемым достаточно резким глобальным изменением климата на планете. В частности, одной из приоритетных задач этих исследований является проблема определения доминирующей роли антропогенных или природных факторов в формировании экосистем и в климатических изменениях, так как от правильной оценки этих факторов в значительной степени зависят, например, социально-экономическое развитие регионов и сохранность их природных ресурсов.

К числу важных климато-экологических параметров системы «земля–атмосфера» относится приходящая солнечная ультрафиолетовая радиация (УФР) на уровне подстилающей поверхности, характеристикой которой может служить интенсивность спектрального или интегрального потока. Физико-химическое и биологическое воздействие УФР определяется ее способностью диссоциировать молекулы атмосферных газов, изменять молекулярный состав органических веществ и неорганических материалов, подавлять фотосинтез растений и даже видоизменять структуру молекулы ДНК. Это приводит к трансформации или разрушению химических соединений, материалов или среды как естественного, так и антропогенного про-

исхождения и, в частности, отражается на развитии и продуктивности растительного и животного мира. В свою очередь, поток УФР, проникающий к нижним слоям атмосферы и подстилающей поверхности, контролируется стратосферным озоновым слоем или общим содержанием озона (ОСО). При этом в формировании фотохимического баланса стратосферного озона O_3 существенную роль играет азотный каталитический цикл, на долю которого, по оценкам, приходится до 50% от суммарного каталитического разрушения озона. А важнейшим элементом этого цикла является такая малая газовая составляющая атмосферы, как двуокись азота NO_2 , суммарное содержание (СС) которой достаточно легко контролировать с помощью спектрофотометрической измерительной аппаратуры. Для правильной оценки климато-экологического состояния любой экосистемы, в частности на территории в районе озера Байкал, становится актуальным изучение связей в цепи NO_2 – O_3 –УФР–экосистема.

С этой целью в отделе физических проблем при Президиуме БНЦ СО РАН с помощью ИОА СО РАН на полигоне в п. Истомино (52,17° с. ш., 106,33° в. д.) проводятся комплексные измерения общего содержания озона с 1999 г., суммарного содержания и вертикального распределения (ВР) NO_2 и спектральной УФ-облученности (СУФО) с 2000 г. В данной статье представлены результаты измерений, выполненных в ходе двух полевых сезонов летом и осенью 1999 г. и осенью 2000 г.

1. Краткое описание аппаратуры и методик измерений

Для измерений $SS/VP\ NO_2$, OSO и $SUFO$ используется высокочувствительный автоматизированный спектрофотометр на базе монохроматора МДР-23. Методика измерения $SS/VP\ NO_2$ основана на методе дифференциального поглощения молекулами NO_2 рассеянного в зените солнечного излучения в спектральном диапазоне от 430 до 450 нм. Интенсивность излучения регистрируется со спектральным разрешением 0,9 нм, шаг механического сканирования составляет 0,01 нм, время сканирования – 40 с. Измерения выполняются в сумеречное время утром и вечером при значениях солнечного зенитного угла (СЗУ) от 83 до 96°. Первоначально определяется содержание NO_2 в наклонном столбе, затем рассчитываются среднее содержание в 5-км слоях и суммарное содержание в вертикальном столбе в диапазоне высот от подстилающей поверхности до 50 км [1].

Общее содержание озона определяется по многоволновой методике [2] на основе регистрации рассеянного в зените солнечного излучения в спектральном диапазоне от 290 до 340 нм. Время сканирования – 1,5 мин. Измерения проводятся в дневное время через каждые 30 мин при значениях СЗУ менее 83°.

Для измерения OSO используется также калиброванный фильтровый озонометр М-124. Измерения выполняются по стандартной методике [3] в дневное время, через каждый час как по рассеянному в зените, так и по прямому солнечному излучению при значениях СЗУ менее 85 и 70° соответственно.

Измерение $SUFO$ в диапазоне от 290 до 340 нм выполняется при минимальных значениях СЗУ в околополуденное время. Излучение регистрируется от небесной полусферы, длительность измерения составляет около 8 мин.

2. Обсуждение результатов измерений

2.1. Измерения 1999 г.

В ходе полевой кампании 1999 г. с 29 июля по 7 октября проводились организационные работы и измерения OSO с использованием озонометра М-124 № 29. Результаты этих измерений показаны на рис. 1.

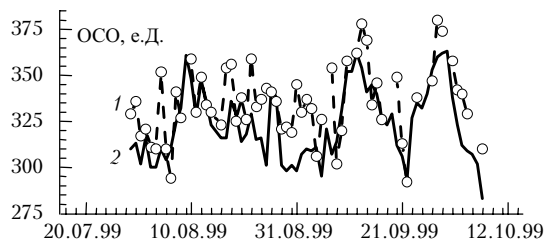


Рис. 1. Изменения OSO над юго-восточной частью оз. Байкал в июле–октябре 1999 г. по данным измерений М-124 № 29 (1) и TOMS/EP (2)

Сравнение их с данными спутниковых измерений (TOMS/Earth Probe) выявило наличие как система-

тических, так и случайных расхождений. Среднее расхождение составляет 14 е. Д., что меньше как естественной изменчивости среднедневного OSO (± 50 е. Д.), так и 5%-й погрешности озонометра М-124 ($\pm 10-25$ е. Д.). Анализ показал, что основной причиной наблюдаемых расхождений является различие методик измерений OSO с помощью М-124 и TOMS, главным образом в условиях облачной атмосферы. После сглаживания 10-дневным скользящим средним, которое уменьшило мелкомасштабную изменчивость, обусловленную погрешностью измерения и межуточными колебаниями озона, корреляция между временными рядами составила 0,8.

На основе данных измерений OSO и данных аэрологического зондирования был выполнен их сравнительный анализ. С этой целью были проведены расчеты корреляции между OSO , температурой, геопотенциальной высотой и направлением и скоростью ветра на изобарических уровнях 300, 200 и 100 гПа. Предварительно все временные ряды были сглажены 10-дневным скользящим средним. Результаты расчетов приведены в таблице. За исключением статистически незначимых коэффициентов корреляции между OSO и температурой на 200-гПа уровне, а также между OSO и направлением ветра на всех уровнях все коэффициенты корреляции являются статистически значимыми на уровне менее 0,05.

Изобарический уровень, гПа	Коэффициент корреляции между OSO и		
	температурой	геопотенциальной высотой	направлением ветра
100	0,73	-0,68	-0,25
200	-0,24	-0,68	-0,26
300	-0,67	-0,76	-0,18

Сопоставление изменений атмосферной циркуляции в верхней тропосфере и нижней стратосфере и колебаний OSO показало, что в первой половине июля и августе, когда циркуляция была преимущественно антициклонической, наблюдались более низкие значения OSO по сравнению с нормой. В сентябре, когда преобладал циклонический тип циркуляции, значения OSO были относительно высокими.

Как известно, высокие барические образования, к которым относятся центральные циклоны и блокирующие антициклоны, охватывают слои атмосферы вплоть до нижней стратосферы. Связанные с этими образованиями горизонтально-вертикальные движения (крупномасштабная квазигоризонтальная адвекция) воздуха вызывают перераспределение как общего содержания, так и вертикального распределения озона. (Происходит локальное нарушение квазиширотного распределения озона.) За счет этого процесса в теплое полугодие рост (или падение) OSO сопровождается одновременным ростом (или падением) температуры в нижней стратосфере. В тропосфере, как правило, в это время наблюдается падение (или рост) геопотенциальной высоты и температуры, т.е. усиление циклоничности (либо антициклоничности) атмосферной циркуляции.

2.2. Измерения 2000 г.

В ходе полевой кампании 2000 г., проведенной с 7 по 20 сентября, кроме измерений ОСО с помощью озонометра М-124 № 29, выполнялись также измерения ОСО, СС/ВР NO₂ и СУФО с использованием автоматизированного спектрофотометра. Сравнение данных этих измерений показало, что расхождения между значениями ОСО не превышают 4–5%. Далее приводятся результаты измерений и их обсуждение.

На рис. 2 представлены временные изменения ВР NO₂ по данным утренних измерений. Хорошо видна в районе климатического максимума (30–35 км) выраженная межсуботная изменчивость. Колебания концентрации NO₂ составляют около $2-3 \cdot 10^{14}$ мол·см⁻².

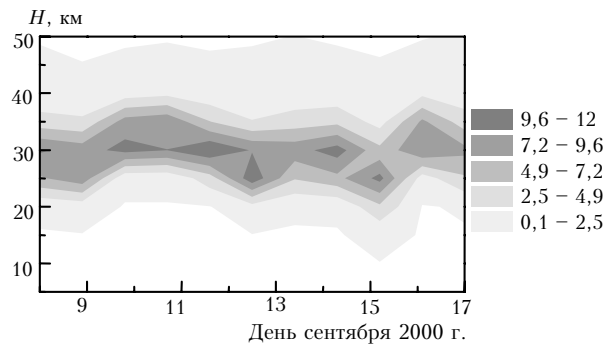


Рис. 2. Изменения ВР NO₂ над юго-восточной частью оз. Байкал в сентябре 2000 г. по данным утренних спектрофотометрических измерений (10^{15} мол/см²)

Это не превышает естественной мелкомасштабной изменчивости NO₂, обусловленной атмосферной циркуляцией воздушных масс в стратосфере.

На рис. 3 представлены временные изменения ОСО и СС NO₂. Корреляционный анализ показал, что между данными дневных измерений ОСО и вечерних

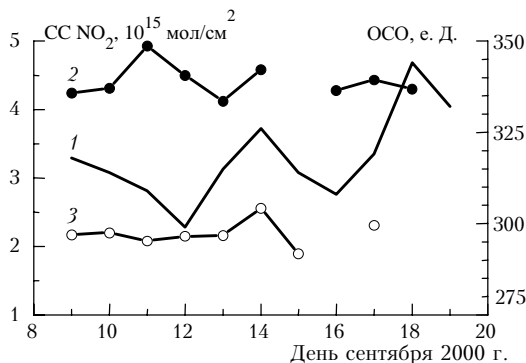


Рис. 3. Изменения ОСО (1) и СС NO₂ вечером (2) и утром (3) над юго-восточной частью оз. Байкал в сентябре 2000 г. по данным спектрофотометрических измерений

измерений СС NO₂, если их ряды сдвинуть относительно друг друга на сутки, имеется отрицательная связь с коэффициентом корреляции $-0,50 \pm 0,22$, между ОСО и СС NO₂ по данным утренних измерений (без временного сдвига) — положительная корреляция ($0,58 \pm 0,17$). Между ОСО и усредненным СС NO₂ корреляция отсутствует вообще ($0,20 \pm 0,17$). Как

видно, все значения коэффициента корреляции являются незначимыми, что обусловлено, вероятно, малой продолжительностью временных рядов данных наблюдений. Поэтому сказать что-либо определенное о взаимосвязи ОСО и СС NO₂ на основании проведенных наблюдений нельзя.

На рис. 4 приведены кривые, отражающие поведение СУФО и ОСО. В те дни, когда небо было безоблачным, наблюдалась выраженная обратная зависимость между ОСО и УФР. При появлении тонкой

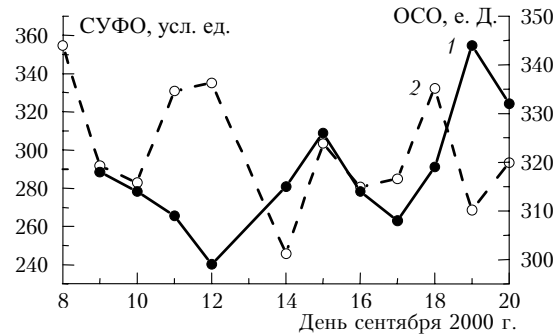


Рис. 4. Изменения ОСО (1) и СУФО в диапазоне 290–340 нм (2) над юго-восточной частью оз. Байкал в сентябре 2000 г. по данным спектрофотометрических измерений

перистой и слоистой облачности отмечалось возрастание СУФО, которое, на наш взгляд, происходит за счет увеличения направленного вперед рассеяния, обусловленного вытягиванием индикатрисы рассеяния на облачных частицах.

Используя данные спектрофотометрических измерений ОСО, выполненных в Истомино и Томске осенью 2000 г., было проведено сравнение временных изменений ОСО в этих двух пунктах. Как видно на рис. 5, прослеживается общая картина эволюции поля озона. Однако изменения в Томске наблюдались

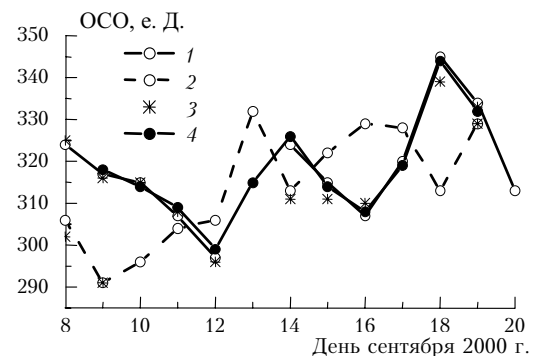


Рис. 5. Эволюция поля ОСО над юго-восточной частью оз. Байкал и над Томском в сентябре 2000 г. по данным измерений М-124 и автоматизированного спектрофотометра: 1 — М-124 № 29, зенит, Истомино; 2 — М-124 № 398, зенит, Томск; 3 — М-124, Солнце; 4 — автоматизированный спектрофотометр, зенит, Истомино

за 2–3 дня раньше, чем в Истомино. Подобные изменения ОСО свидетельствуют об определенной пространственной стабильности поля озона над обширным регионом Сибири в период наблюдений, которая, как показал синоптический анализ, была обусловлена

образованием в тропосфере и нижней стратосфере высокого обширного блокирующего антициклона в паре с центральным малоподвижным циклоном. Антициклон, образовавшийся в конце августа – начале сентября на Среднем Урале, медленно перемещался на восток и в конце сентября разрушился в Забайкалье. Циклон, сформировавшийся над Западной Сибирью во второй декаде сентября, вслед за антициклоном также медленно смещался на восток, сохраняясь до конца месяца.

Заклучение

Представленные результаты спектрофотометрических наблюдений над юго-восточной частью оз. Байкал являются первым шагом на пути долгосрочных исследований атмосферного озона, двуокиси азота и УФ-радиации, начатых в БНЦ СО РАН.

На основе полученных результатов наблюдений и их анализа можно сделать некоторые выводы, а именно:

1) подтверждается наличие в теплом полугодии высокой положительной корреляции между ОСО и температурой в нижней стратосфере и отрицательной

корреляции между ОСО и геопотенциальной высотой и температурой в верхней тропосфере;

2) в условиях безоблачного неба наблюдается выраженная отрицательная связь между ОСО и СУФО;

3) при появлении оптически тонкой перистой облачности наблюдается увеличение СУФО, возникающее, возможно, из-за изменения индикатрисы рассеяния.

Исследования выполнялись в рамках проектов при финансовой поддержке INTAS (грант № 97-1040) и РФФИ (гранты № 99-05-64943 и 00-05-64733).

1. *McKenzie R.L., Johnston P.V., McElroy C.T., Kerr J.B., Solomon J.B.* Altitude distributions of stratospheric constituents from ground-based measurements at twilight // *J. Geophys. Res. D.* 1991. V. 96. № 8. P. 15499–15511.
2. *Гришаев М.В., Зуев В.В., Пташник И.В., Смирнов С.В.* Результаты сравнения общего содержания озона по данным УФ-спектрофотометра с узконаправленной приемной антенной и сетевого озонметра М-124 // *Оптика атмосфер. и океана.* 1999. Т. 12. № 5. С. 434–436.
3. *Техническое описание и инструкция по эксплуатации озонметра М-124.* Л.: ГГО им. А.И. Воейкова, 1983. 54 с.

E. V. Batueva, A. V. Bazarov, D. D. Darizhapov, M. V. Grishaev, V. V. Zuev, P. V. Zuev, and S. V. Smirnov.
Integrated measurements of total ozone, total content and vertical distribution of nitrogen dioxide, and spectral UV irradiance in Buryatia.

The results of spectrophotometric measurements of total ozone, total content and vertical distribution of nitrogen dioxide, and spectral UV irradiance, which were carried out in summer and autumn 1999 and autumn 2000 in the southern coast of Lake Baikal, Buryatia, are presented. As found, a significant negative relation between the total ozone and spectral UV irradiance was observed in the clear sky conditions. An appearance of optically thin cirrus cloudiness caused an increase of spectral UV irradiance, possibly, due to a transformation of the scattering phase function. Significant correlation between total ozone and total nitrogen dioxide was not observed, probably, because of the short temporal series of observations.