

**В.И. Бекорюков, И.В. Бугаева, Г.Р. Захаров, Б.М. Кирюшов,
Г.М. Крученицкий, Д.А. Тарасенко**

ДОЛГОПЕРИОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ОЗОНА И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРОПОСФЕРЫ И СТРАТОСФЕРЫ КАК СЛЕДСТВИЕ ЭВОЛЮЦИИ КЛИМАТООБРАЗУЮЩИХ ЦЕНТРОВ ДЕЙСТВИЯ АТМОСФЕРЫ

Подведены итоги работы по исследованию связи азорского воздействия и его эволюции с общим содержанием озона (ОСО), метеорологическими параметрами тропосферы и стратосферы в Европе и их эволюцией.

Получены первые результаты, указывающие на тесную связь областей минимумов ОСО в Сибири с Сибирским антициклоном. На основании 105-летнего ряда параметров Сибирского антициклона обнаружено сильное возрастание в последние годы давления P в центре Сибирского антициклона и сильная миграция этого центра к западу.

Области аномально низкого ОСО ($\sigma > 2,5$) обычно связаны либо с барическим гребнем в тропосфере и нижней стратосфере (до уровня 100 гПа) [1], либо с центром циркумполярного циклона в средней стратосфере [2]. В первом случае дефицит ОСО определяется низкой плотностью озона в нижней стратосфере, ниже слоя его максимума, во втором – в средней стратосфере, выше слоя максимума.

В Европе влияние второго фактора на уменьшение ОСО практически отсутствует, так как климатическое положение центра циркумполярного циклона в средней стратосфере находится вблизи этого региона, и миграция его на другие долготы может привести только к увеличению ОСО. В последнее время нами опубликован цикл работ по изучению влияния первого фактора на уменьшение ОСО в Европе в зимнее полугодие [3–5]. Обнаружено при этом, что барическая ситуация в виде гребня в тропосфере и нижней стратосфере наблюдается в периоды так называемого азорского воздействия – перемещения антициклона или гребня из субтропической зоны Атлантического океана на Европу или северные районы Атлантики, что отождествляется с высокой широтой приземного центра антициклона φ и с большим значением хорошо коррелированного с φ давления в его центре P .

Азорский антициклон находится как бы в двух «квантовых» состояниях: либо его влияние распространяется лишь на самые нижние слои тропосферы (и тогда его воздействие на поле ОСО отсутствует вообще), либо оно распространяется до уровня около 100 гПа. Последняя ситуация наблюдается при $P \geq 1030$ гПа, $\varphi \geq 40^\circ$ с.ш. Когда подобная ситуация наблюдается на среднемесечной карте барической топографии, средние по региону Западной Европы в области $43\text{--}60^\circ$ с.ш. отрицательные отклонения ОСО превышают 30 е.Д. В противном случае отклонения ОСО либо положительные, либо малые отрицательные.

Основным аргументом сторонников антропогенного влияния на уменьшение озона является несомненный факт резкого уменьшения озона именно в последние годы, что они называют отрицательным трендом озона, не смущаясь по поводу малого периода, использованного для определения тренда. При отсутствии длинного ряда ОСО можно использовать параметры, определяющие поведение ОСО или связанные с ним, имеющие более длинные ряды наблюдений.

На рис. 1 представлены для января 103-летний ряд параметра P , 113-летний ряд отклонений приземной температуры над Лондоном (оба с отфильтрованными короткопериодными колебаниями) и квадратичная аппроксимация среднегодового ряда ОСО на ст. Ароза (Швейцария). Прежде всего обнаруживается примерно 80-летний ход параметра P , находящийся в противофазе с известным так называемым вековым ходом солнечной активности. Амплитуда колебаний очень велика (достигает 5 гПа). Особенно резкий рост P наблюдается в последние годы, когда наиболее сильно понижались значения ОСО в Европе. Так, если значения P , пре-

вышающие критические (1030 гПа), за 90-летний период с 1881 по 1980 гг. в январе наблюдались 10 раз (повторяемость 11%), то за 13-летний период с 1881 по 1993 гг. – 7 раз (повторяемость 54%). Из сказанного выше резонно предполагать наличие противофазных колебаний с аналогичным периодом ОСО в Европе. Наиболее длинный ряд измерений ОСО существует для ст. Ароза (с 1927 г.).

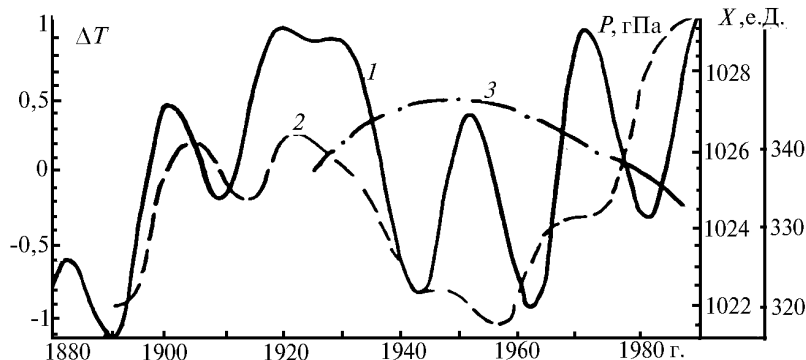


Рис. 1. Долгопериодные колебания для января отклонений приземной температуры в Лондоне от ее многолетней нормы $\Delta T(1)$, давления в центре Азорского антициклона $P(2)$ и квадратичная аппроксимация среднегодовых значений ОСО на ст. Ароза (3)

На рис. 1 изображена квадратичная аппроксимация среднегодовых значений ОСО на ст. Ароза, приведенная в [6]. Противофазность кривых 2 и 3 подтверждает наше предположение. Конечно, использование среднегодовых значений ОСО сглаживает эффект. Приведенные в этой же работе коэффициенты регрессии ОСО за период с 1927 по 1970 г. за различные сезоны это подтверждают. Если коэффициент регрессии для среднегодовых значений ОСО за указанный период равен +0,06, то для среднезимних значений он равен +0,17. Аналогично кривой 2 (за исключением 50-х годов) ведет себя и кривая 1 – многолетний ход отклонений приземной температуры над Лондоном. Это и неудивительно, т.к. в период азорского воздействия наблюдаются во всей Европе южные потоки и нисходящие вертикальные движения (см. ниже). Тогда две важнейшие метеорологические проблемы для Европы (уменьшение озона и увеличение повторяемости теплых зим в последние годы, связываемые с ростом в атмосфере фреонов и углекислого газа соответственно) целесообразно исследовать в рамках единой задачи, тем более что еще в 30-е годы была обнаружена четкая связь ОСО с приземным полем давления и температуры [7]. Если вековой цикл повторяемости азорского воздействия действительно существует, то, поскольку в настоящий момент мы находимся вблизи его максимума, в ближайшие годы следует ожидать постепенного увеличения ОСО и уменьшения повторяемости теплых зим в Европе.

Коэффициенты регрессии параметров азорского антициклона P и φ , а также приземной температуры над Лондоном были вычислены за 103-летний период (1891–1993) и за последние 15 лет (1979–1993). Все они за 103-летний период оказались незначимыми, а за последние 15 лет увеличиваются в 10–100 раз, и, по критерию Фишера, значимы с вероятностью 80% и более. Аналогичная картина наблюдается и с трендами ОСО. Данные результаты наглядно демонстрируют и без того очевидный факт, насколько опасно, основываясь на наличии пусть и большого тренда ОСО, но за короткий период, делать вывод об антропогенном происхождении этого тренда. Тем не менее этот вывод явно преобладает среди как отечественных, так и зарубежных исследователей. Наблюдающиеся в последние годы значительные положительные тренды P , φ , приземной температуры в Лондоне и отрицательный тренд ОСО в Европе следует, вероятно, рассматривать как соответственно восходящую и нисходящую ветви вековой периодичности. Обнаружены также колебания параметров Азорского антициклона с 11-летним и квазидвухлетним периодами, но амплитуда их значительно меньше, чем амплитуда колебаний в вековом цикле.

Вычисленные из системы уравнений гидродинамики вертикальные токи в области азорского воздействия оказались нисходящими в тропосфере (1–2 см/с) и восходящими в средней стратосфере (2–3 см/с). Этот факт имеет большое значение для понимания механизмов связи

между различными слоями атмосферы. Восходящие токи в средней стратосфере обуславливают не только уменьшение ОСО согласно принципу Норманда–Добсона (примерно 1/3 дефицита ОСО, за 2/3 дефицита ответственны южные потоки), но и понижение температуры в средней стратосфере. Эти области пониженных температур (отклонения температуры достигают 10°) наблюдаются на синоптических картах на уровнях 50, 30, 10 гПа, т.е. выше того уровня (около 100 гПа), до которого простирается барическое возмущение, на фоне зонального потока. Вероятно, увеличение повторяемости азорского воздействия в последние годы является одной из причин наблюдаемого отрицательного тренда температуры в средней стратосфере [3,8]. Существующая система вертикальных токов проливает свет на причину хорошо известных корреляционных связей ОСО с метеорологическими параметрами, отрицательных с температурой и давлением в тропосфере и положительных с температурой и давлением в средней стратосфере.

Итак, в области азорского воздействия наряду с понижением ОСО наблюдаются в тропосфере нисходящие токи, повышение температуры (включая приземную), в средней стратосфере – восходящие токи и понижение температуры.

Для более ясного понимания механизмов, способствующих усилению крупномасштабных неzonальных возмущений типа Азорского антициклона и проникновению их в среднюю атмосферу, был использован метод численного моделирования с применением численной модели планетарных волн. При этом исследовалось влияние нижнего граничного условия, задаваемого в виде возмущения геопотенциала и температуры на уровне 500 гПа, на высотнoширотную структуру планетарной волны. Расчет спектральных характеристик оператора планетарных волн показал, что максимальное усиление неzonальных возмущений, связанных с азорским воздействием, наблюдается, когда широтная структура источника на нижней границе близка к широтной структуре 1-й собственной функции оператора планетарных волн. Это в свою очередь наблюдается при усилении долготных контрастов температуры на нижней границе в области широт 40–50°с.ш. т.е. как раз на тех широтах, куда мигрирует Азорский антициклон в периоды азорского воздействия.

Из сказанного выше следует, в частности, что основной причиной уменьшения озона в Европе в последние годы является увеличение повторяемости азорского воздействия.

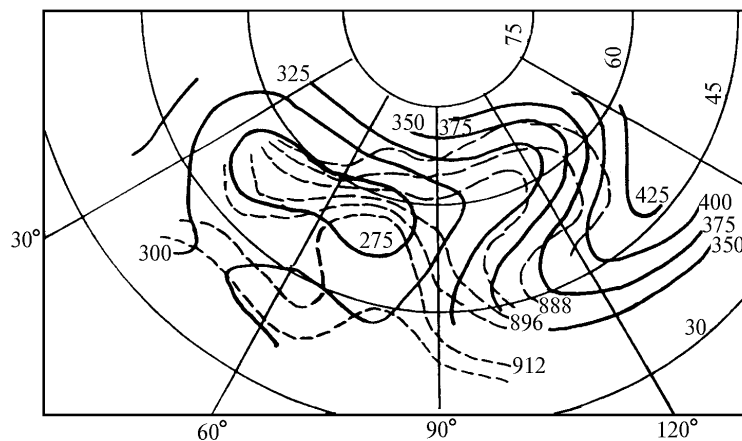


Рис. 2. Поля ОСО (сплошные линии) и геопотенциала уровня 300 гПа (штриховые) в Сибири за 2 февраля 1995 г.

К настоящему времени получены первые результаты об эволюции другого климатообразующего центра действия атмосферы – Сибирского антициклона. На рис. 2 и 3 показаны примеры связи ОСО с барической ситуацией, обусловленной распространением возмущений, вызванных Сибирским антициклоном, в тропосферу и нижнюю стратосферу в зимне-весенний период 1995 г., когда над Сибирью наблюдалось рекордно низкое содержание озона. Сплошными кривыми построены изолинии ОСО по данным М–124, штриховыми – изолинии геопотенциала на уровне 300 гПа (рис. 2) и уровне 500 гПа (рис. 3). (Уровень 500 гПа на рис. 3 взят лишь потому, что с 1995 г. в Росгидрометцентре перестали строить среднемесячные карты геопотенциала на уровнях 300 и 200 гПа. Однако структура этих карт на указанных уровнях

практически одинакова). Рис. 2 соответствует конкретной дате – 2 февраля 1995 г., рис. 3 – среднемесячным полям ОСО и геопотенциала для апреля 1995 г. Сходство полей в обоих случаях очевидно, причем поля ОСО ведут себя так же, как и при наличии барического гребня, обусловленного азорским воздействием. Однако поведение Сибирского и Азорского антициклонов различно. Так, если Азорский антициклон мигрирует в основном по широте, то Сибирский – по долготе.

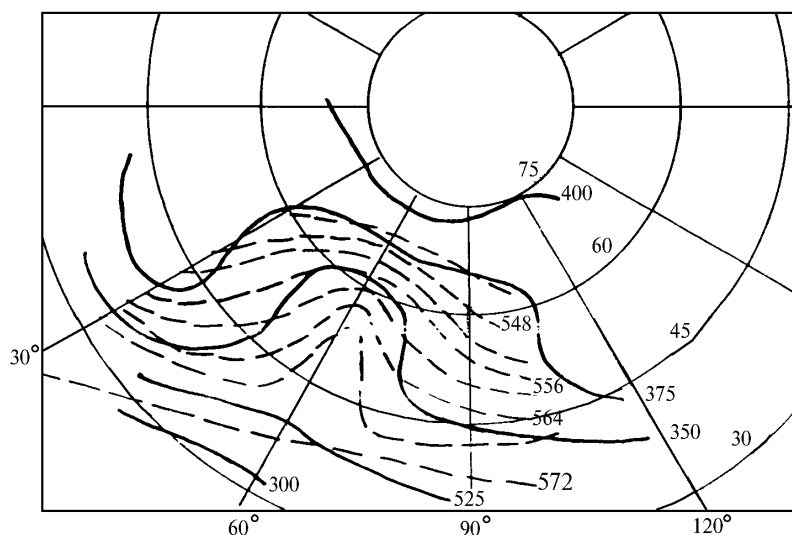


Рис. 3. Средние за апрель 1995 г. поля ОСО (сплошные кривые) и геопотенциала уровня 500 гПа (штриховые)

На среднемесячных картах барической топографии гребень в тропосфере и нижней стратосфере, обусловленный Сибирским антициклоном, наблюдается значительно реже, чем обусловленный Азорским антициклоном. Если распространение возмущения, обусловленного Азорским антициклоном, чаще всего наблюдается в январе, то обусловленного Сибирским антициклоном, – в апреле. Кстати, барический гребень на рис. 3 наиболее ярко выражен из всех наблюдавшихся ранее на среднемесячных картах.

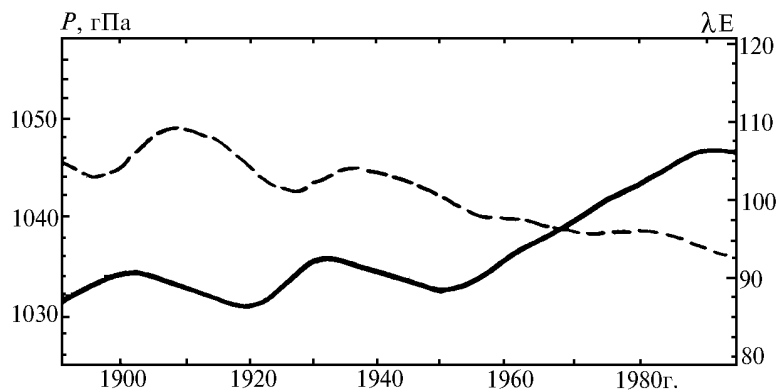


Рис. 4. Временной ход давления в центре Сибирского антициклона P (сплошная линия) и восточной долготы этого центра λ (штриховая) в январе

Далее, ни на одной из среднемесячных карт барической топографии гребень в тропосфере и нижней стратосфере, обусловленный Сибирским антициклоном, не располагается восточнее 70° в.д. хотя среднемноголетняя долгота его центра в зимние месяцы составляет около 100° , в марте 95° , в апреле 85° , в мае 71° в.д. На рис. 4 изображен многолетний (за 105 лет) ход давления P в центре Сибирского антициклона (сплошные кривые) и долготы его центра (штриховые) для января с отфильтрованными короткопериодными (до 15 лет) колебаниями. Наблю-

даются в последние годы сильный рост P и сильная миграция центра Сибирского антициклона к западу. На данный момент есть основания лишь предполагать, что и тот, и другой факты должны способствовать увеличению вероятности проникновения возмущений барического поля в тропосферу и нижнюю стратосферу, т.е. уменьшение ОСО в этом регионе. В то же время практически отсутствует тренд широты центра Сибирского антициклона.

Главный вывод, который можно сделать, состоит в том, что в последние годы наблюдается резкая смена циркуляции, которая носит, очевидно, глобальный характер, охватывает тропосферу, а следовательно, и стратосферу. Поэтому, не отрицая возможности вклада антропогенного фактора в наблюдающееся в последние годы уменьшение озона, следует все-таки подчеркнуть, что без тщательного исследования влияния на вариации поля озона такого мощного фактора, как изменение циркуляции, делать выводы о решающем вкладе в уменьшение ОСО антропогенного воздействия преждевременно. Тем более, что это связано с такими высокочувствительными мероприятиями, как перепрофилирование промышленности согласно Монреальскому протоколу.

В качестве аналогии можно привести проблему Каспийского моря, когда попытки спасти его от обмеления сменились сегодня задачей спасения его прибрежных районов от затопления.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проекта 93-05-08103, 96-05-64267).

1. Бекорюков В.И., Захаров Г.Р., Куколева А.А., Фиолетов В.Э. О связи областей аномально низкого содержания озона с барической ситуацией // Метеорология и гидрология. 1990. N 12. С.103–105.
2. Бекорюков В.И. Сезонный ход общего содержания озона в стратосферном циркумполярном вихре // Современное состояние исследований озоносферы в СССР. М.: Гидрометеиздат, 1980. С.212–218.
3. Бекорюков В.И., Бугаева И.В., Захаров Г.Р., Кошельков Ю.П., Тарасенко Д.А. О связи азорского воздействия и общего содержания озона над Западной Европой // Метеорология и гидрология. 1994. N 5. С. 83–90.
4. Бекорюков В.И., Бугаева И.В., Захаров Г.Р., Кошельков Ю.П., Криволюцкий А.А., Тарасенко Д.А. Исследование параметров Азорского антициклона, влияющих на вариации озона в Западной Европе // Изв. АН. Сер. ФАО. 1995. Т. 31. N 1. С.41–45.
5. Бекорюков В.И., Бугаева И.В., Захаров Г.Р., Кирушов Б.М., Тарасенко Д.А. Азорский антициклон, озон и метеорологические параметры тропосферы и стратосферы // Метеорология и гидрология. 1995. N 7. С.40–47.
6. Dutch H.U., Staebelin J. Discussion of 60 year total ozone record at Aroza based on measurements of the vertical distribution and meteorological parameter // Planet. and Space Science. 1989. V. 13. N 12. P.1587–1599.
7. Добсон Д., Митчелл А. Атмосферный озон и метеорология // Некоторые проблемы современной метеорологии. Л.: Гидрометеиздат, 1937. С.143–154.
8. Labitzke K., van Loon H. Some Complications in Determining Trends in the Stratosphere, Preprint of the XXVIII Plenary Meeting of COSPAR, Symposium 1, Hague, 1990.

Центральная аэрологическая обсерватория,
г. Долгопрудный Московской обл.

Поступила в редакцию
2 апреля 1996 г.

V.I. Bekorukov, I.V. Bugaeva, G.R. Zakharov, B.M. Kirushov,
G.M. Kruchenitsky and D.A. Tarasenko. **The Long-Period Oscillations of Ozone and Meteorological Parameters of the Troposphere and Stratosphere as the Result of Evolution of Climatoforming Centres of Atmospheric Activity.**

The results of investigation of a connection between Aroze High and its evolution and the total ozone content, the meteorological parameters of the troposphere and stratosphere in Europe and their evolution are presented.

The first proofs of the close connection between the regions with the total ozone content minimums in Siberia and the parameters of Siberian High were obtained. On the base of 105-years series of Siberian anticyclone parameters the strong increase of the pressure in the centre of the anticyclone and the strong migration of that centre to the west during recent years was found.