

ОПТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И БАЗЫ ДАННЫХ ОПТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
ОБ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

УДК 551.510.41

Зависимость концентраций приземного озона от адвективных факторов (на примере г. Новосибирска)

Т.С. Селегей, Н.Н. Филоненко, Т.Н. Ленковская*

ГУ «Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт»
630090, г. Новосибирск, ул. Советская, 30

Поступила в редакцию 10.08.2009 г.

Рассматривается влияние адвективных факторов на формирование концентраций приземного озона в г. Новосибирске. Показано, что в отдельные годы за счет поступления обогащенных озоном воздушных масс с южных территорий наблюдаются не по сезону высокие концентрации приземного озона в первых полугодиях календарного года, что подтверждается зависимостями среднемесячных концентраций приземного озона от среднемесячных температур воздуха.

Выявлено, что адвективный фактор хорошо просматривается также при прохождении фронтальных разделов между воздушными массами. При прохождении холодных фронтов происходит уменьшение концентраций озона в среднем на 40%, при прохождении теплых фронтов их увеличение на 25–30%. Представлены результаты анализа синоптических ситуаций, приводящих к появлению высоких концентраций приземного озона за счет адвекции воздушных масс с южных территорий, а также за счет стока из стратосферы.

Ключевые слова: концентрация озона, воздушная масса, адвекция, синоптический анализ, циклон, антициклон, холодный фронт, теплый фронт; ozone concentration, air mass, advection, synoptic analysis, cyclone, anticyclone, cold front, warm front.

Наблюдения за концентрациями приземного озона в г. Новосибирске были начаты в 2002 г. и вначале носили эпизодический характер. С 2003 г. они стали стационарными и продолжают оставаться таковыми до настоящего времени. Наблюдения проводятся на одном посту, который расположен в центре города внутри жилмассива. Осуществляет наблюдения Западно-Сибирский центр мониторинга окружающей среды (ЗапСибЦМС) отечественным озонометром 3.02.П-А производства ЗАО «ОПТЭК», который основан на эффекте гетерогенной хемилюминесценции. Прибор в автоматическом режиме выдает значения концентраций озона через каждые 20 мин.

Особенности суточных и годовых колебаний концентраций приземного озона в условиях г. Новосибирска были опубликованы в [1].

В данной статье рассматривается влияние адвективных факторов на формирование концентраций приземного озона в Новосибирске в период наблюдений за озоном 2002–2008 гг. Адвекция воздушной массы всегда обусловлена крупномасштабными циркуляционными процессами и означает приход воздушной массы с иными свойствами и газовым составом.

Обзор публикаций по приземному озону [2–4 и др.] показал, что колебания концентраций приземного озона в городах РФ, в основном, связывают с его поступлением из вышерасположенных слоев за счет

конвективного перемешивания, фотохимического образования под действием солнечного излучения и выбросов вредных веществ в атмосферу от промышленных предприятий и автотранспорта. То есть делается упор на местные причины формирования концентраций озона и практически не освещается вопрос, насколько они зависят от адвективных факторов.

Известно, что каждая приходящая воздушная масса (тропическая, умеренных широт, полярная) несет в себе определенный запас озона [5], который тем выше, чем больше такая масса получила тепла и солнечной энергии в момент своего формирования. Озоновое загрязнение вместе с атмосферными массами может перемещаться на многие сотни и тысячи километров. Для Новосибирска тропические воздушные массы, наиболее насыщенные приземным озоном, поступают при юго-западном и южном переносе воздушных масс. Эти ветры в городе имеют наибольшую повторяемость по розе ветров (Ю – 25%, ЮЗ – 24%). Если такая воздушная масса несет в себе хороший заряд приземного озона (что не всегда имеет место, и проследить транзит приземного озона с территорий формирования воздушной массы до г. Новосибирска не представляется возможным из-за отсутствия системы мониторинга по пути ее следования), в городе, особенно в зимнее время, наблюдаются не по сезону высокие концентрации приземного озона. Это явление хорошо можно проследить по зависимости концентраций приземного озона от температуры воздуха (рис. 1).

* Тамара Семеновна Селегей; Надежда Никифоровна Филоненко; Татьяна Николаевна Ленковская (seleгей@sibnigmi.ru).

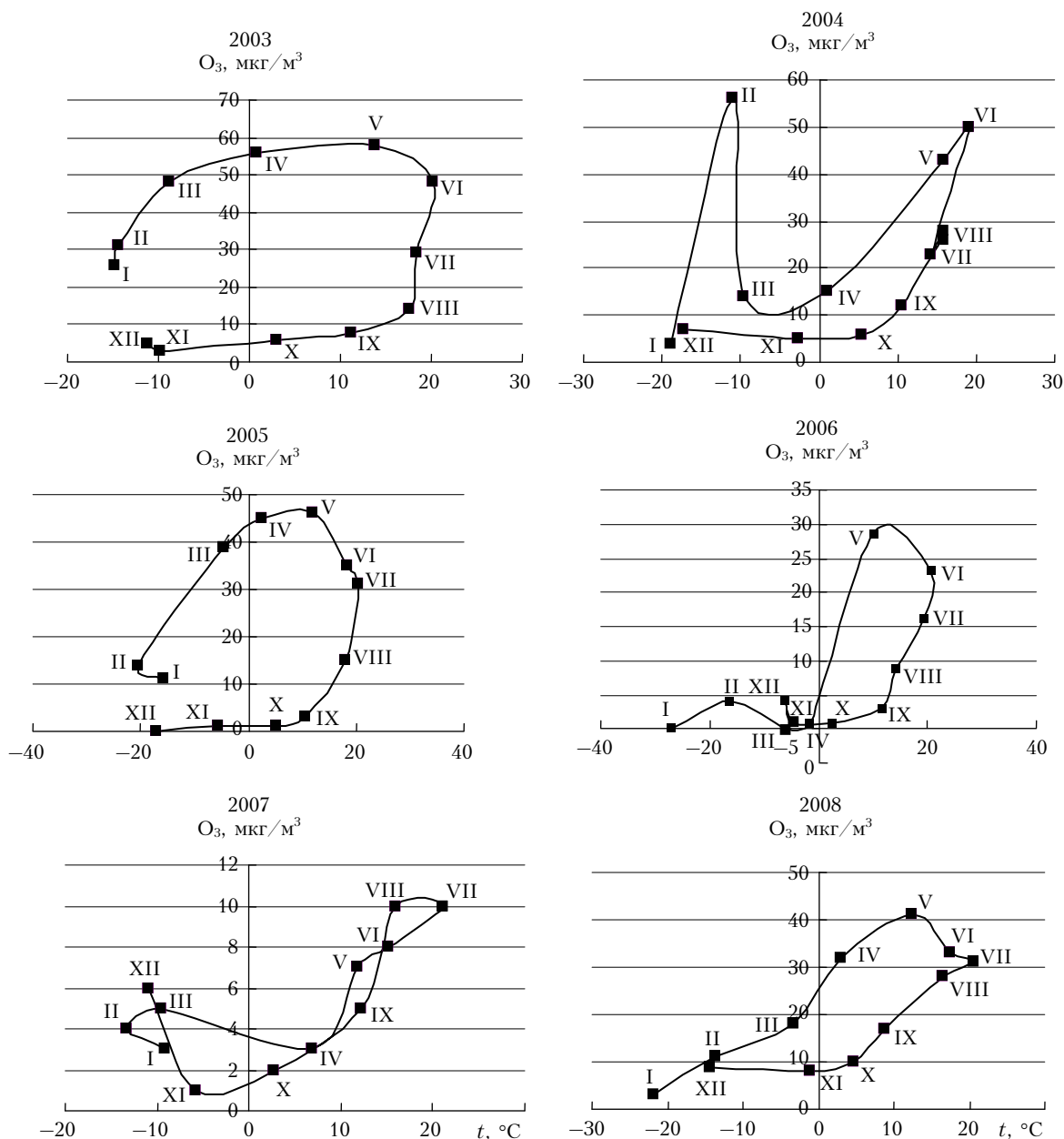


Рис. 1. Зависимость среднемесячных концентраций приземного озона в Новосибирске от среднемесячных температур воздуха

Построенные графики связи среднемесячных концентраций озона и среднемесячных температур атмосферного воздуха демонстрируют их своеобразный характер. Увеличение концентраций озона, приходящееся на первое полугодие (кривые подъема), и последующее падение концентраций озона (кривые спада) при тех же самых значениях температур воздуха осуществляются по различным связям. Самый большой размах концентраций озона наблюдался в 2003–2005 гг., в остальные годы он был меньше, в 2007 г. такой размах почти исчез, а в 2008 г. вновь обозначился.

Было высказано предположение, что в период с января по июнь с южными и юго-западными ветрами в Новосибирск поступают теплые воздушные мас-

сы, обогащенные озоном. Натолкнуло на эту мысль сообщение [7], в котором указывалось, что на юге Азии в результате индустриальной и сельскохозяйственной деятельности, приуроченной к началу календарного года, в сочетании с определенными погодными явлениями могут образовываться гигантские облака, состоящие из пыли, дыма и приземного озона. Эти облака имеют почти континентальные размеры и перемещаются на соседние страны. Озон, содержащийся в таких облаках, постепенно их покидает и растекается на большие расстояния. При наличии такого облака и атмосферной циркуляции, направленной на юг Западной Сибири, озонемкие массы вполне могут быть причиной появления высоких концентраций озона наиболее часто именно

в первых полугодиях конкретного года. Высказанная гипотеза объясняет появление высоких концентраций озона в зимние месяцы и их большие значения в пасмурные дни.

При этом если юго-западные (южные) воздушные потоки в зимние месяцы были обусловлены выходом южных циклонов на территорию г. Новосибирска, эффект увеличения концентраций приземного озона возрастает.

В качестве примера рассматривается эпизод, имевший место в феврале 2004 г., когда в Новосибирске наблюдались высокие концентрации приземного озона, которые привели к образованию не характерного для годового хода зимнего максимума, оказавшегося выше майского (естественного). Наибольших величин концентрации озона достигли во второй декаде февраля 2004 г. и составили 80–125 мкг/м³ при обычных их значениях в это время года примерно 10–30 мкг/м³. Синоптическая ситуация в этот период показывала, что Новосибирск находится под влиянием устойчивых юго-западных потоков (по АТ₅₀₀ гПа). Приземные синоптические карты за 10.02.04 показывали обширную циклоническую область, которая занимала всю территорию ЕТС и Западной Сибири с вытянутой ложбиной на юг, в которой находилась фронтальная система. На волне холодного фронта 11.02.04 в районе Тегерана образовался приземный циклон, который к 12.02.04 стал быстро набирать силу и стремительно смещаться в сторону Новосибирска (рис. 2, а).

В этот момент в городе отмечались самые высокие концентрации приземного озона (рис. 2, б). К 00 ч по Гринвичу 13.02.04 циклон подошел к Новосибирску, а 14.02.04 ушел в низовья Енисея, после чего заток южного воздуха, насыщенного озоном, прекратился и его концентрации в городе снизились до своих обычных среднесезонных значений, равных 10–30 мкг/м³. Южный циклон за весь период оставался низким и не просматривался даже на высотах АТ₉₂₅ гПа. Он прошел через территорию Новосибирской области своей передней частью, движимый юго-западными ветрами. На рис. 2, а показана траектория его движения.

Хотелось отметить и тот факт, что приблизительно в это же время в квартирах жителей, где на ночь были открыты форточки, пожелтели или погибли комнатные растения с нежной листвой. Содержание других измеряемых загрязняющих веществ в атмосферном воздухе Новосибирска в это время находилось в пределах нормы, суточная температура воздуха колебалась от +1,0 до –15,0 °С (отсутствовал сильный мороз), поэтому гибель комнатных растений вполне логично связать с необычно высокими концентрациями приземного озона.

Наиболее ярко адвективный фактор проявляется при прохождении атмосферных фронтов. В статье [6] прошло сообщение, что при прохождении холодных фронтов происходит скачкообразное изменение концентраций отдельных примесей, в том числе и приземного озона, на 30%.

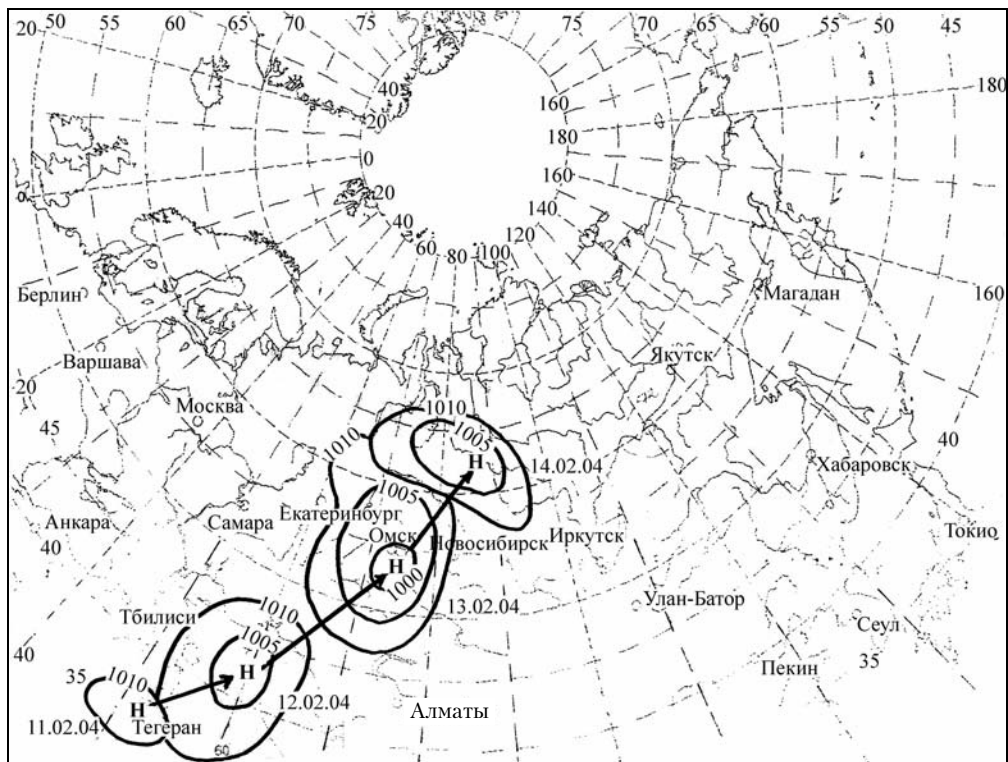
С целью проверки этого сообщения нами были выявлены случаи прохождения холодных фронтов

через территорию Новосибирска. За три наиболее озономоемких года (2003–2005 гг.) выявлено 83 случая таких ситуаций. Были проанализированы значения суточных максимальных концентраций озона накануне прохождения холодного фронта и в последующий день после его прохождения. Суточная оценка изменения концентраций приземного озона при прохождении фронтов была выбрана с целью дальнейшего использования полученных результатов в прогностической схеме появления его высоких концентраций. Оказалось, что из 83 случаев только в трех не произошло уменьшение максимальных концентраций озона при смене теплой воздушной массы на холодную.

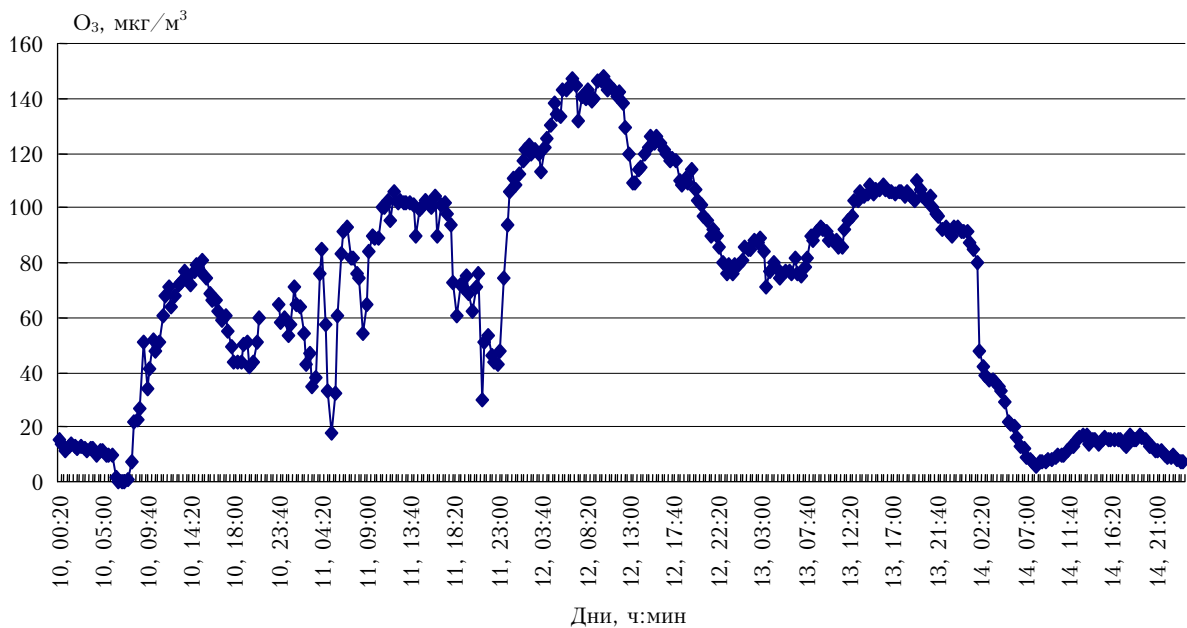
В остальных случаях отмечается уменьшение максимальных концентраций озона на величины, которые могут колебаться от 0 до 40 мкг/м³ в зимний период и 6–76 мкг/м³ в летний. В среднем наибольший скачок максимальных концентраций озона после прохождения холодных фронтов наблюдается в теплое время года с мая по август и составляет 35–40 мкг/м³. В это же время зафиксированы отдельные случаи самых больших уменьшений максимальных концентраций озона после холодного фронта, достигающих 76 мкг/м³. Во вторую половину зимы и весной скачок максимальных концентраций озона составляет 20–25 мкг/м³, а осенью и в начале зимы всего 10–15 мкг/м³. Таким образом, средний скачок изменения концентраций озона после прохождения холодных фронтов определяется общим содержанием озона в различное время года, а средний процент уменьшения концентраций озона за год составляет для условий г. Новосибирска 40%, что подтверждает исследования [6].

Так как диапазон колебаний суточных максимальных концентраций О₃ после прохождения холодных фронтов значителен (от 0 до 76 мкг/м³), была сделана попытка связать эту величину с контрастностью температур пришедшей холодной и сменяемой теплой воздушных масс, а также с их влажностью. Для этих целей были проанализированы средние за сутки значения температуры и влажности воздуха до и после прохождения холодного фронта, а также количество выпавших осадков. Оказалось, что такая зависимость хотя и не четко, но просматривается, следуя логике физических процессов: чем холоднее поступающий воздух, тем на больший процент снижаются значения максимальных концентраций озона на следующие сутки. При этом если еще поступает и более влажная масса, эффект уменьшения концентраций озона увеличивается. При поступлении более сухой массы основным определяющим фактором остается температурная контрастность холодного фронта. Зависимость нарушается при выпадении осадков, которые увеличивают процент снижения концентраций озона после холодного фронта. За фронтом концентрации озона стабилизируются на 2-е сут и в дальнейшем изменяются слабо.

Примеры изменения концентраций приземного озона в дни прохождения холодных фронтов показаны на рис. 3.



a



b

Рис. 2. Выход южного циклона (11–14 февраля 2004 г.): *a* – траектория движения циклона; *b* – колебания концентраций приземного озона в Новосибирске

5 февраля 2003 г. (рис. 3, *a*) на Новосибирск осуществлялся заток холодного воздуха в тылу циклона двумя фронтальными системами – наступлением холодного полярного фронта, а за ним холодного арктического фронта. Около 3 ч ночи первый холодный фронт прошел через город, вызвав уменьшение концентраций приземного озона с 80 до

35 мкг/м³; около 8 ч утра прошел холодный арктический фронт, который обусловил дальнейшее падение концентраций озона до нулевых значений. Адвекция холодных воздушных масс на территорию Новосибирска сохранялась в течение всего дня, и такими же низкими оставались значения концентраций озона. Подобная ситуация наблюдалась и 18 февраля

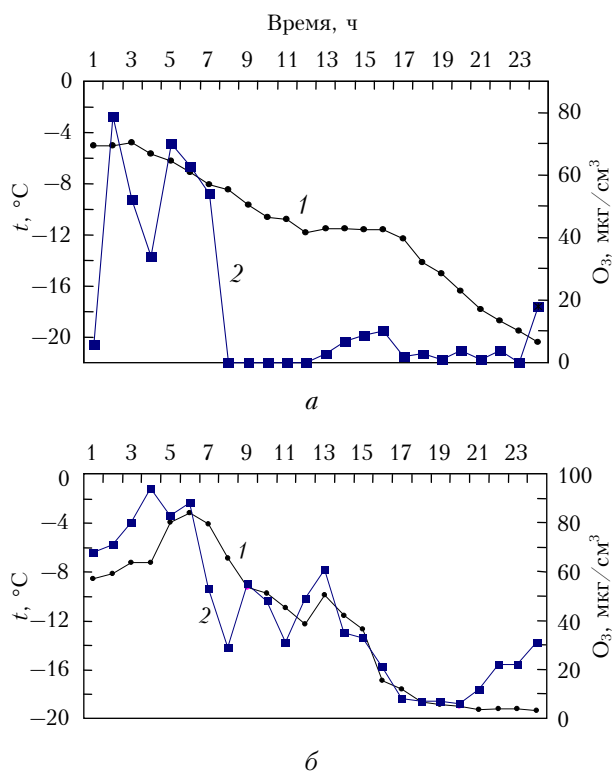


Рис. 3. Прохождение холодных фронтов через территорию Новосибирска 5.02 (а) и 18.02.2003 г. (б). Кривая 1 – температура; 2 – озон

2003 г. (рис. 3, б). Ночью город еще находился в теплом секторе, за которым следовали 2 холодных фронта, первый прошел город в 06–08 ч утра, а второй в 14–15 ч, которые вызвали понижение концентраций приземного озона до 5–6 мкг/м³.

Аналогичные исследования были выполнены для условий прохождения теплых фронтов. Всего было проанализировано 49 случаев прохождения теплых фронтов через г. Новосибирск.

Оказалось, что и при прохождении теплых фронтов происходит скачкообразное изменение концентрации озона. В среднем за год она увеличивается на 17–18 мкг/м³, или на 25–26%, но от месяца к месяцу эта величина значительно меняется, достигая максимума летом (до 30 мкг/м³) и минимума к осени (до 8–20 мкг/м³). Причем годовой ход суточной разницы максимальных концентраций повторяет практически годовой ход этой же величины для холодных фронтов только с обратным знаком.

Однако этот процесс в отличие от прохождения холодных фронтов бывает часто сглажен, иногда сопровождается не увеличением максимальных концентраций озона, а их уменьшением (6 случаев из 49).

Скорее всего, это можно объяснить тем, что наиболее интенсивная адвекция тепла в средней тропосфере наблюдается перед линией теплого фронта, а за линией фронта она несколько ослабевает. Температурные контрасты теплых фронтов, а также ув-

лажнение сменяемых масс не выявили какого-либо влияния на суточную разницу максимальных концентраций О₃.

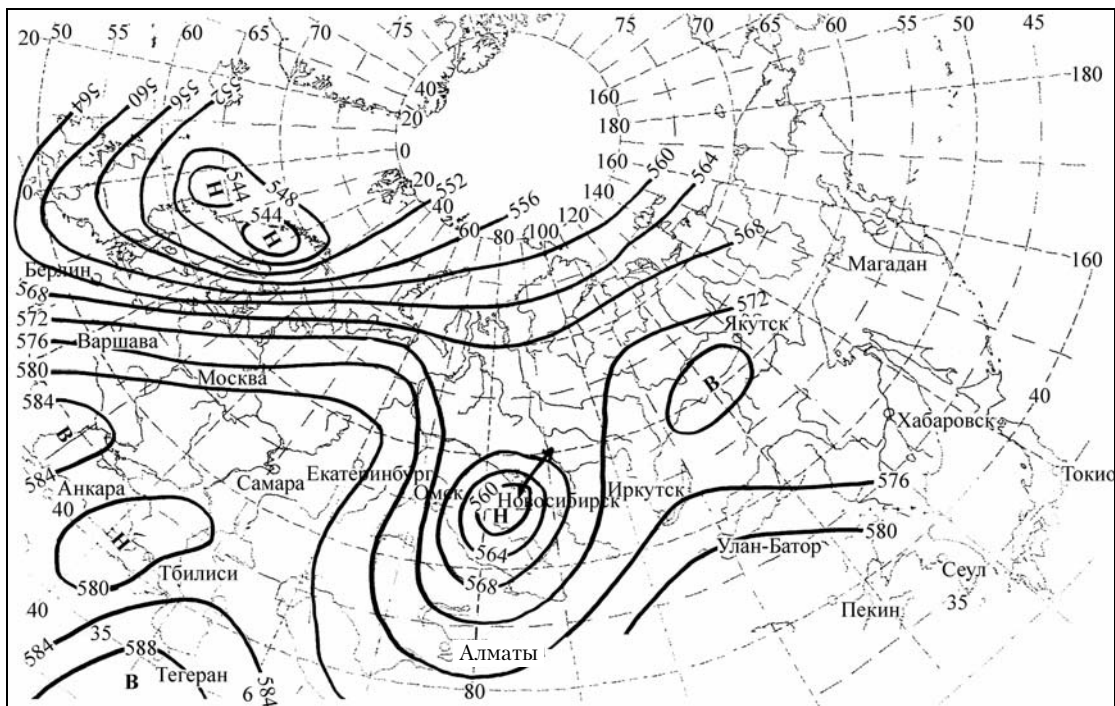
Кроме рассмотренных случаев повышения приземных концентраций озона в Новосибирске в зависимости от адвективных факторов, была обнаружена синоптическая ситуация его стока из стратосферы. Этот эпизод был зафиксирован 2–8 июля 2002 г., когда концентрации приземного озона достигали уровней 160–250 мкг/м³ и эти уровни непрерывно без суточных колебаний держались около 4 сут. К сожалению, эти данные носили прерывистый характер и трудно определить точное время начала процесса. Синоптический анализ данного эпизода выявил следующую картину. На земле в районе Новосибирска наблюдалось размытое антициклональное поле с ядром над Екатеринбургом и вытянутым гребнем на Новосибирскую область.

Такая ситуация без каких-либо заметных изменений продержалась со 2 до 8 июля 2002 г. Третьего июля над районами НСО на АТ₉₂₅ гПа образовался высотный циклон небольшого радиуса, но очень высокий (просматривался на АТ₂₅₀ гПа и даже АТ₁₀₀ гПа, т.е. до высот 12–16 км). При этом тропопауза опускалась с 11 до 7,5 км. Циклон имел характер высотного вихря, засасывающего воздушные массы, насыщенные стратосферным озоном (рис. 4, а). Каждый этап его заполнения сопровождался резким падением концентраций озона у земли (рис. 4, б). Высотный циклон простоял над Новосибирском с 3 по 8 июля, но как только он наполнился и ушел на северо-восток, концентрации приземного озона в г. Новосибирске упали до 10–30 мкг/м³.

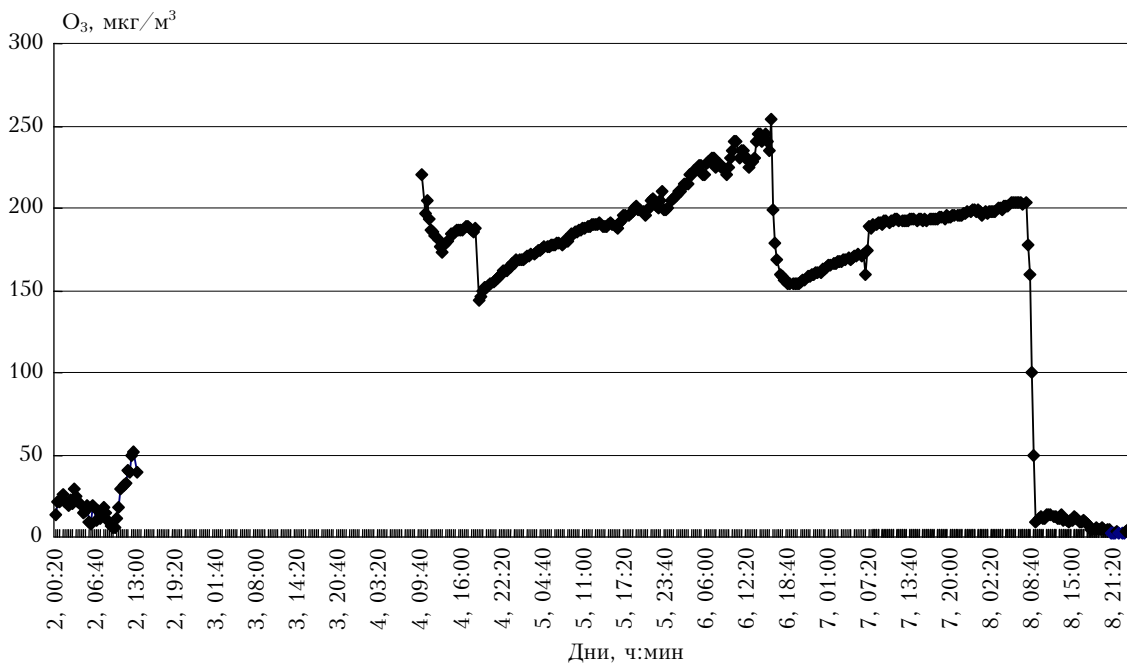
Очевидно, сочетание размытого антициклонального поля у земли с его нисходящими потоками и высотного циклона-вихря с его недостаточно изученной внутренней циркуляцией может рассматриваться как один из механизмов притока озона из стратосферы в приземный слой воздуха. Возможно, наше утверждение спорно и наблюдавшиеся высокие концентрации приземного озона в период 2–8 июля 2002 г. имеют другое объяснение.

В заключение можно сказать, что концентрации приземного озона в г. Новосибирске формируются за счет местных ресурсов, а также зависят и от адвективных факторов. Господствующие юго-западная и южная циркуляции в отдельные периоды могут приносить на территорию г. Новосибирска воздушные массы, обогащенные озоном, что приводит к увеличению концентраций приземного озона до значений, превышающих в 5–10 раз их среднесезонные значения. Особенно роль адвективных факторов видна при прохождении фронтальных разделов.

Очевидно, имеется еще множество неизученных причин, приводящих к появлению высоких концентраций приземного озона, выявление которых позволит лучше их прогнозировать и вовремя предотвращать их пагубное воздействие на окружающую среду.



a



b

Рис. 4. Сток приземного озона из стратосферы: a – положение высотного циклона (2–8.07.02) на АТ₅₀₀ гПа; б – колебания концентраций приземного озона в Новосибирске

Работа выполнена в рамках ЦНТП «Научные исследования и разработки в области гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды».

1. Звягинцев А.М., Селегей Т.С., Кузнецова И.Н. Изменчивость приземного озона в г. Новосибирске // Оптика атмосфер. и океана. 2007. Т. 20, № 7. С. 647–650.
2. Белан Б.Д., Ковалевский В.К., Плотников А.П., Скляднева Т.К. Временная динамика озона и оксидов азота в приземном слое в районе г. Томска // Оптика атмосфер. и океана. 1998. Т. 9, № 12. С. 1325–1327.
3. Звягинцев А.М., Кузнецова И.Н. Изменчивость приземного озона в окрестностях Москвы: результаты десятилетних регулярных наблюдений // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2002. Т. 38, № 4. С. 486–495.

4. Демин В.И., Карпечко А.Ю., Белоглазов М.И., Кюро Е. О роли турбулентного перемешивания в формировании приземных концентраций озона на Кольском полуострове // Оптика атмосф. и океана. 2006. Т. 19, № 5. С. 448–450.
5. Мизун Ю.В., Мизун Ю.Г. Озонные дыры и гибель человечества. М.: Вече, 1998. 509 с.
6. Рассказчикова Т.М., Аршинова В.Г., Белан Б.Д. О влиянии синоптических условий на некоторые газовые составляющие атмосферы // Контроль и реабилитация окружающей среды: II Междунар. симпоз. Томск, 2000. Томск: СО РАН, 2000. С. 13.
7. Гигантское коричневое облако над Землей. URL: <http://www.xmol.ru/?id = 332>.

T.S. Selegey, N.N. Filonenko, T.N. Lenkovskaya. **The dependence of the ground-level ozone concentrations on advection factors: Novosibirsk city case.**

The paper considers the influence of advection factors on the occurrence of ground-level ozone concentrations in the Novosibirsk city. In certain years the entrance of ozone-rich air masses from southern areas provided usual for the season high concentrations of the ground-level ozone, observed during the first half-year period. This was confirmed by the dependence of month mean ground-level ozone concentrations on month mean air temperatures.

The study revealed that advection factor was apparent also during the crossing of frontal boundaries between air masses. Passing of the cold front resulted in ozone concentration decrease approximately by 40%, while passing of the warm front – in concentration increase by 25–30%.

The paper includes results of the analysis of synoptic situations, which caused the occurrence of high ground-level ozone concentrations due to the advection of air masses from southern areas, as well as due to the inflow of ozone from the stratosphere.