

В.И. Демин, М.И. Белоглазов

О влиянии местных циркуляционных процессов на динамику приземного озона

*Полярный геофизический институт Кольского научного центра РАН,
г. Апатиты Мурманской обл.*

Поступила в редакцию 27.01.2004 г.

Рассмотрено влияние микроклиматических и ландшафтных особенностей на результаты атмосферного мониторинга. В качестве примера проанализированы материалы измерений приземной концентрации озона (ПКО) на атмосферных станциях Полярного геофизического института в центральной части Кольского полуострова (г. Апатиты и пос. Ловозеро). Обнаружены нерегулярные изменения ПКО до 15–20 ppb в спокойных ночных условиях. Показано, что причиной данных вариаций ПКО являются стоковые явления и связанные с ними процессы накопления и «обрушения» воздушных масс.

В настоящее время все более ясной становится огромная роль малых газовых составляющих в проблеме изменения климата. При этом наземная мониторинговая сеть непрерывно расширяется. Однако до сих пор практически неизученным остается вопрос, каким образом вторичные течения в приземном слое, обусловленные особенностями местоположения мониторинговых станций, влияют на результаты измерений малых газовых составляющих и аэрозоля. Это обстоятельство создает существенные трудности при интерпретации и сопоставлении результатов измерений на разных станциях, расположенных хотя и относительно близко друг от друга, но в различных, с точки зрения микроклимата, обстоятельствах. Между тем учет этих особенностей оказывается совершенно необходимым при выборе фоновой точки, которая должна отображать не локальные, а региональные процессы.

Цель данной работы — на примере поведения приземной концентрации озона (ПКО) в центральной части Кольского полуострова продемонстрировать заметную роль микро- и мезоклиматических процессов в динамике малых газовых составляющих в приземном слое. Так, например, многолетние наблюдения на Апатитском атмосферном полигоне ПГИ обнаруживают ночные колебания ПКО значительной амплитуды (рис. 1), которые совершенно не характерны для расположенной в 90 км к северу от Апатит обсерватории ПГИ «Ловозеро».

Эти колебания не могут быть результатом антропогенного воздействия собственно города, расположенного в 2 км восточнее, так как измерения ПКО, осуществляемые непосредственно в центре города (Академгородок, здание ПГИ), однозначно показывают, что в ночные часы концентрация озона, вследствие малой концентрации озоноразрушающих веществ, независимо от метеорологической обстановки, фактически не отличается от регио-

нальных фоновых значений, определяемых по данным обс. «Ловозеро».

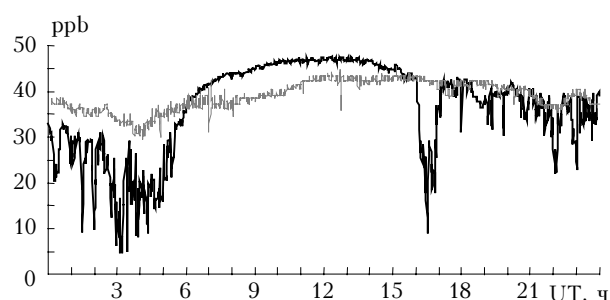


Рис. 1. Суточный ход ПКО на полигоне ПГИ в Апатитах и в обс. «Ловозеро» 06.04.02

Это не может быть вызвано и диффузией окислов азота от автомобильной дороги, проходящей в 0,5–1,5 км от измерительной площадки, так как поток автомобилей в ночное время весьма незначителен. Об этом же свидетельствует и решение уравнения распространения примеси от линейного источника [1], которое в упрощенном виде записывается в следующем виде:

$$\frac{q}{M} = \frac{1}{(n+1)k_1x} \exp\left(-\frac{u_1z^{n+1}}{(1+n)^2k_1x}\right),$$

где q/M — отношение концентраций примеси в точке наблюдения к ее значению у источника; x — расстояние между ними; z — высота источника загрязнения; k_1 и u_1 — коэффициент турбулентности и скорость ветра на высоте 1 м; $n = 0,15 \div 0,20$.

Если взять разумные величины: $x = 500$ м, $k_1 = 0,04$ (коэффициент турбулентности, характерный для ночного времени [2]) и скорость ветра $u_1 = 0,5$ м/с, то отношение q/M окажется невелико

($\approx 0,04$). А поскольку на пути возможного распространения загрязнений от движущегося автотранспорта расположен лесной массив, то на самом деле это отношение окажется еще меньше.

Наконец, обнаруженные ночные колебания не могут быть следствием и волновых процессов на верхней границе пограничного слоя, так как в этом случае колебания носили бы более общий характер и наблюдались, хотя бы иногда, и в г. Апатиты, и в obs. «Ловозеро», чего в действительности не было зарегистрировано.

Анализ синоптических ситуаций показал, что появлению описанных колебаний предшествует сильное радиационное охлаждение приземного слоя при практически штилевых условиях у земли и ясном или малооблачном небе. С учетом сказанного это сочетание определенно указывает на возможность существования микромасштабного динамического процесса, вызванного особенностями местоположения измерительной площадки Апатитского атмосферного полигона.

Первая особенность — расположение полигона на обширной лесной поляне. Поэтому в соответствии с известными механизмами [3–8] в ночные часы на полигоне должны наблюдаться более низкие значения концентрации озона по сравнению с открытым ровным местом — вследствие более значительного ослабления турбулентного обмена. Вторая особенность — нахождение площадки на склоне (рис. 2, а). Перепад высот на расстоянии 500 м оказывается не менее 8 м, т.е. почти 3° , — величина, вполне достаточная для возникновения стоковых явлений.

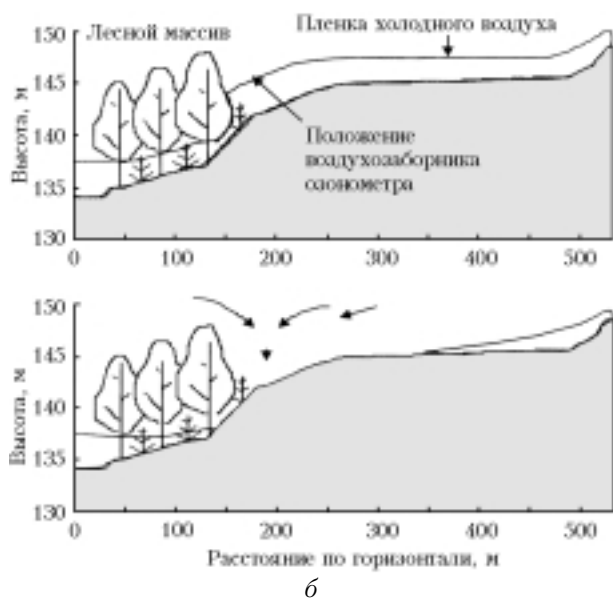


Рис. 2. Вертикальный профиль местности по линии стока холодного воздуха на полигоне ПГИ в Апатитах: формирование «озера холода» на поляне (а); прорыв холодного воздуха вниз (б)

Для их появления требуются, во-первых, значительное вертикальное расслоение, вызванное сильным радиационным охлаждением, и, во-вторых,

динамическая устойчивость атмосферы, поскольку основной поток какого-либо синоптического процесса, имеющего скорость более 3–5 м/с, способен полностью погасить микромасштабные процессы. Направление стокового ветра примерно перпендикулярно изогипсам, а его интенсивность зависит как от разности плотности воздуха по вертикали, так и от орографических особенностей местности. В большинстве случаев, однако, скорость ветра не превышает 1 м/с, и часто она оказывается меньше порога чувствительности приборов. При этом сток холодного воздуха может происходить как непрерывно, иногда с быстро меняющейся скоростью, так и в виде эпизодических обрушений — воздушных лавин [9]. Последнее наиболее вероятно при нахождении на пути стока зарослей деревьев и кустарников, создающих для него трудно преодолимое препятствие, в результате чего он скапливается и застаивается в промежутках между деревьями и в низину почти не поступает [7, 8].

Сочетание отмеченных выше особенностей местоположения мониторинговой площадки позволяет следующим образом описать процесс появления ночных колебаний ПКО. Перед заходом Солнца в приземном слое формируется инверсия. Вследствие большего ослабления турбулентного обмена непосредственно на поляне концентрация озона снижается. Появление стокового ветра приводит к накоплению холодного воздуха, так как наличие древесной растительности препятствует его стоку далее вниз. Ситуация усугубляется тем, что здание полигона с измерительным комплексом расположено на самом краю поляны и у устья долины, по которой происходит сток, т.е. непосредственно в наиболее глубокой части образующегося озера холодного воздуха. Если радиационное выхолаживание продолжается, то продолжающийся приток холодного воздуха приводит к возрастанию потенциальной энергии системы и в определенный момент — вследствие нарушений условий равновесия — к сбросу накопившейся массы холодного воздуха вниз. Возникший дефицит массы воздуха быстро компенсируется противотоком — в этот момент резко возрастает турбулентность, так как запирающий слой, созданный поляной, исчезает (рис. 2, б), и концентрация озона возрастает до значений, характерных для слоя воздуха, находящегося над верхней границей леса. О значительном возрастании турбулентности свидетельствуют «рваный», типичный для неустановившегося турбулентного режима, вид изменений концентрации озона и резкие, без преобладающего направления и быстро затухающие пульсации скорости ветра (рис. 3).

Если в течение ночи синоптические условия не меняются, то описанный процесс может повторяться неоднократно, прекращение которого возможно в случае смены синоптической обстановки, в случае усиления ветра или уплотнения облачности. Утреннее исчезновение ночных колебаний совпадает с восходом Солнца, в то время как их появление ночью отличается большим многообразием. Это соответствует общепринятым в метеорологии представле-

ниям, согласно которым начало разрушения (ослабления) инверсии (вертикальной расслоенности воздуха и стокового ветра) совпадает с восходом Солнца, а вечерний коллапс пограничного слоя тесно связан с турбулентным состоянием атмосферы, т.е. с ее предысторией, которое может быть существенно различным для разных дней.

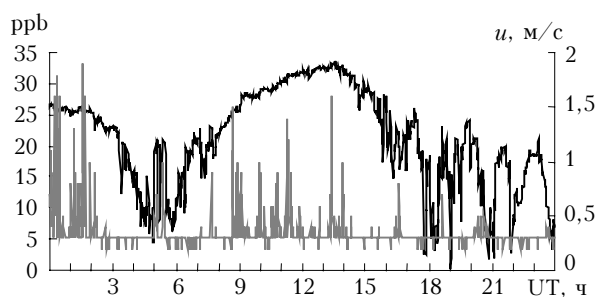


Рис. 3. Суточный ход ПКО и скорости ветра на полигоне ПГИ в Апатитах 04.03.02

Результаты измерений приземной концентрации озона, выполненных на Кольском полуострове, позволяют сделать следующие выводы:

— при определенных условиях местные микроклиматические циркуляции в приземном слое воздуха могут оказывать заметное влияние на характер суточных вариаций ПКО;

— источником нерегулярных ночных колебаний ПКО амплитудой до 15–20 ppb, наблюдающихся на измерительной площадке Апатитского полигона в феврале–апреле, являются особенности местоположения пункта измерения на склоне обширной лесной поляны; в результате этого возникает стоковый ветер, приводящий к накоплению холодной

массы воздуха, которая (после достижения некоторого критического значения) обрушивается через барьер лесного пояса дальше вниз по склону, и это приводит к кратковременному увеличению турбулентности в приземном слое и к повышению ПКО; в течение ночи данный процесс может повторяться несколько раз.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 02-05-64114, 04-05-79085 и 02-05-79148), INTAS (грант № 01-0016), INCO-COPERNICUS (грант № ICA2-СТ-2000-10038), а также Программы фундаментальных исследований ОФН РАН «Физика атмосферы: электрические процессы, радиофизические методы исследований» (гос. контракт № 10002-251/ОФН-12/059-063/060603-547).

1. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеониздат, 1986. 272 с.
2. Климатические условия распространения примесей в атмосфере: Справочное пособие / Под ред. Э.Ю. Безуглой и М.Е. Берлянда. Л.: Гидрометеониздат, 1983. 328 с.
3. Гейгер Р. Климат приземного слоя воздуха. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1960. 486 с.
4. Микроклимат СССР. Л.: Гидрометеониздат, 1967. 286 с.
5. Мищенко З.А. Биоклимат дня и ночи. Л.: Гидрометеониздат, 1984. 280 с.
6. Сапожникова С.А. Местный климат. Л.: ГМИ, 1950. 242 с.
7. Ярославцев И.М. Заморозки. Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1948. 26 с.
8. Алисов Б.П., Дроздов О.А., Рубинштейн Е.С. Курс климатологии. Часть 1. Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1952. 488 с.
9. Микроклимат северной части казахского мелкосопочника. Л.: Гидрометеониздат, 1958. 208 с.

V.I. Demin, M.I. Beloglazov. On the influence of local circulation processes on surface ozone dynamics.

The influence of microclimatic and landscape features on the results of atmospheric monitoring is considered. As an example, the measurements of surface ozone concentration (SOC) at atmospheric stations of the Polar Geophysical Institute in the central part of the Kola Peninsula (Apatity and Lovozero) are analyzed. The irregular changes in SOC up to 15–20 ppb under quiet night conditions are found out. It is shown that the reasons of the SOC variations are the sink phenomenon and the processes of accumulation and collapse of air masses.