

УДК 551.510.42

## ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУХА НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ И УКРАИНЕ В УСЛОВИЯХ ЖАРКОГО ЛЕТА 2010 г.

© 2011 г. А. М. Звягинцев\*, О. Б. Блюм\*\*, А. А. Глазкова\*\*\*, С. Н. Котельников\*\*\*\*, И. Н. Кузнецова\*\*\*\*, В. А. Лапченко\*\*\*\*, Е. А. Лезина\*\*\*\*, Е. А. Миллер\*, В. А. Миляев\*\*\*\*, А. П. Попиков\*\*\*\*, Е. Г. Семутникова\*\*\*\*, О. А. Тарасова\*\*\*\*, И. Ю. Шалыгина\*\*\*

\*Центральная аэрологическая обсерватория

141700 Долгопрудный, Московская обл., ул. Первомайская, 3

E-mail: azvyagintsev@cao-rhms.ru

\*\*Национальный ботанический сад им. Н.Н. Грышко НАН Украины

01014 Украина, Киев, ул. Тимирязевская, 1

E-mail: blum@voliacable.com

\*\*\*Гидрометцентр Российской Федерации

123242 Москва, Большой Предтеченский пер., 11–13

E-mail: tuza@tocom.ru

\*\*\*\*Тарусский филиал Института общей физики РАН

249100 Таруса Калужская обл., ул. Энгельса, 6

E-mail: KotelnikovSN@yandex.ru

\*\*\*\*\*Карадагский природный заповедник НАН Украины

98188 Украина, Феодосия, пгт. Курортное, ул. Науки, 24

E-mail: lapchenko@pochta.ru

\*\*\*\*\*Государственное природоохранное учреждение “Мосэкомониторинг”

119019 Москва, ул. Новый Арбат, д. 11, стр. 1

E-mail: info@mosecom.ru

\*\*\*\*\*Всемирная метеорологическая организация

Женева, Швейцария

E-mail: OTarasova@yandex.ru

Поступила в редакцию 10.02.2011 г., после доработки 15.04.2011 г.

Представлены и проанализированы изменения концентраций ряда первичных ( $PM_{10}$ , CO и  $NO_x$ ) и вторичных (озон) загрязнителей атмосферы в московском регионе, Кировской области, г. Киеве и Крыму в условиях аномально жаркого лета 2010 г. В московском регионе концентрации озона,  $PM_{10}$ , CO и  $NO_x$  в период с конца июля по конец августа 2010 г. практически непрерывно превышали предельно допустимые. Наибольшее загрязнение атмосферы наблюдалось в период 4–9 августа, когда регион находился в интенсивном шлейфе пожаров от лесов и торфяников. Максимальные разовые концентрации озона, превысившие предельно допустимые в 2–3 раза, сопровождалась высокими концентрациями продуктов горения: концентрации  $PM_{10}$  и CO были также выше предельно допустимых в 3–7 раз. Максимальные уровни загрязнений наблюдались при метеорологических условиях, неблагоприятных для рассеяния загрязнений, в первую очередь, при малом вертикальном градиенте температуры в нижней части пограничного слоя атмосферы. Оценено число случаев дополнительной смертности вследствие превышений предельно допустимых концентраций  $PM_{10}$  и озона в Москве. В Кировской области, Киеве и Крыму, практически не подвергшихся влиянию пожаров, при погодных условиях, близких к московским, качество воздуха оставалось, в основном, удовлетворительным.

**Ключевые слова:** загрязнение воздуха, приземный озон, взвешенные частицы, углерода монооксид, жара, эмиссии пожаров, смертность.

### ВВЕДЕНИЕ

Лето 2010 г. на европейской части России и Украине выдалось сухим и необычно жарким, что явилось следствием установления над этими тер-

риториями малоподвижного блокирующего антициклона необычной интенсивности и длительности (около 2 мес) существования [1]. В таких малоподвижных воздушных массах в приземном слое атмосферы нередко возникают эпизоды со

Характеристики станций наблюдений, данные которых использованы в работе

Пункт наблюдений	Организация	Широта, °N	Долгота, °E	Измеряемые составляющие
Москва	ГПУ “Мосэкомониторинг”	55.7	37.6	O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub> , CO, NO, NO <sub>2</sub>
Вятские Поляны	ИОФАН	56.2	51.1	O <sub>3</sub>
Долгопрудный	ЦАО	55.8	37.6	O <sub>3</sub>
Звенигород	ГПУ “Мосэкомониторинг”	55.7	36.8	O <sub>3</sub> , CO, NO, NO <sub>2</sub>
Зеленоград	ГПУ “Мосэкомониторинг”	56.0	37.3	O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub> , CO, NO, NO <sub>2</sub>
Киев	НБС	50.4	30.5	O <sub>3</sub> , NO, NO <sub>2</sub>
Коктебель	КарПЗ	45.0	35.4	O <sub>3</sub> , NO, NO <sub>2</sub>
Павловский Посад	ГПУ “Мосэкомониторинг”	55.8	38.7	O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub> , CO, NO, NO <sub>2</sub>

значительным фотохимическим загрязнением воздуха, опасным для здоровья [2]. Экологическую ситуацию в московском регионе усугубили пожары лесов и торфяников к востоку и югу от Москвы, значительно увеличившие концентрации загрязнителей атмосферы в регионе. Схожие ситуации имели место в московском регионе летом 2002 г. [3], а также в Западной Европе в августе 2003 г. [4–6], но они были не столь продолжительны. Настоящая работа посвящена сравнительному анализу состава воздуха в ряде пунктов центральной части европейской территории России (ЕТР) и Украины в июле–августе 2010 г.

### ИСТОЧНИКИ ДАННЫХ

Использованы результаты измерений малых газовых составляющих атмосферы (МГС) – озон, монооксид углерода CO, диоксид азота NO<sub>2</sub> – и взвешенных частиц PM<sub>10</sub> в московском регионе на около 30 автоматических станциях контроля загрязнения атмосферы ГПУ “Мосэкомониторинг”, озона на станции Долгопрудный и в Кировской области, а также озона и NO<sub>2</sub> в Киеве и Карадагском природном заповеднике в Крыму (табл.). Аппаратура для наблюдений МГС на станциях ГПУ “Мосэкомониторинг” описана в [7], в частности, для измерений концентрации озона использованы УФ-фотометрические газоанализаторы. Концентрации озона на станции Долгопрудный измеряли с помощью электрохимического газоанализатора [8], на станции Вятские Поляны – с помощью хемилюминесцентных газоанализаторов 3.02 П-А производства ЗАО “ОПТЭК”, в Киеве – с помощью УФ-фотометрического газоанализатора TEI-49i производства “THERMO” (США), в Карадагском природном заповеднике – с помощью хемилюминесцентных газоанализаторов 3.02 П-А и “Лань” (последний – производства Украины). Концентрации оксидов азота в Киеве и Карадагском природном заповед-

нике измеряли с помощью хемилюминесцентного газоанализатора “Лань”. Для анализа данных дополнительно использованы результаты измерений стандартных метеопараметров (в том числе в Москве – на станции ВВЦ, международный № 27612), радиозондовых измерений на аэрологической станции Долгопрудный, а также измерений профиля температуры в пограничном слое атмосферы на станции Долгопрудный с помощью прибора МТП-5 [9].

### РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

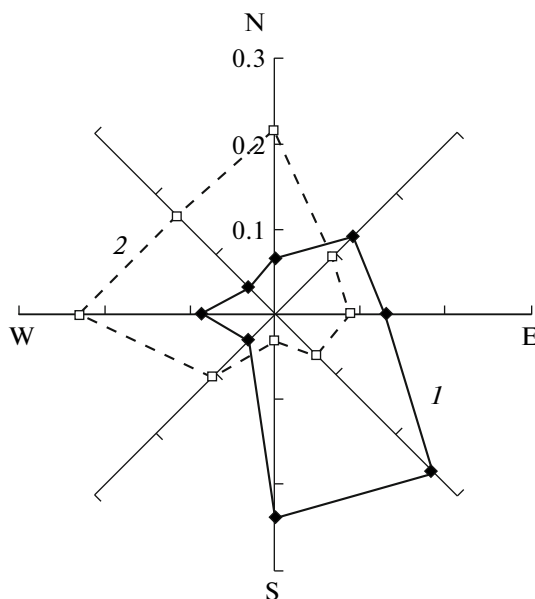
Качество воздуха по рекомендациям ВОЗ [10] принято оценивать, прежде всего, по концентрациям в нем озона, взвешенных частиц (PM<sub>10</sub> и PM<sub>2.5</sub>), CO, NO<sub>x</sub> (NO<sub>x</sub> = NO + NO<sub>2</sub>) и SO<sub>2</sub> (в московском регионе концентрации SO<sub>2</sub> всегда малы и на качество воздуха практически не влияют [11]). В фоновых районах мира вдали от крупных промышленных производств концентрации PM<sub>10</sub>, CO, NO<sub>x</sub> и SO<sub>2</sub> обычно на 1–3 порядка меньше предельно допустимых (ПДК), и лишь концентрации озона, который является естественным компонентом атмосферы, могут достигать до 0.5–0.8 ПДК. В опасных для здоровья концентрациях (выше ПДК) озон обычно образуется в фотохимических реакциях с участием NO<sub>x</sub> (практически всегда антропогенного происхождения) и летучих органических соединений (ЛОС), которые могут быть как естественного, так и антропогенного происхождения [2, 12]. Дополнительно озон образуется в атмосфере в фотохимических реакциях окисления CO или метана с участием NO<sub>x</sub> в роли катализаторов (т.е. при образовании озона они практически не расходуются).

Летом 2010 г. в результате аномалий крупномасштабных атмосферных процессов над ЕТР доминировали восточные и южные направления пере-

носа воздушных масс (рис. 1), нетипичные для московского региона (обычно преобладает северо-западный перенос). Такие направления переноса воздушных масс приводят здесь к повышенным уровням приземного озона [13]. Также должны были заметно повысить уровни озона аномально высокие температуры [8, 14], имевшие место летом во всех рассматриваемых пунктах наблюдений в России и Украине (<http://meteo.infospace.ru/>). Возникшие на огромных территориях от Московской до Нижегородской областей и южнее пожары лесов и торфяников привели к поступлению продуктов горения в центральные области ЕТР. Шлейфы дымов многократно распространялись на московский мегаполис, вызывая появление сильной мглы (видимость уменьшалась до 100–200 м), едкие запахи гари и значительное увеличение концентраций предшественников озона.

На рис. 2 приведены временные зависимости максимальных за сутки разовых концентраций важнейших загрязнителей — средних по всем станциям ГПУ «Мосэкомониторинг» и наибольших наблюдаемых на одной из станций — в период, когда загрязнение было наибольшим. Средние концентрации по всем станциям ГПУ «Мосэкомониторинг», как правило, меньше максимальных в 1.3–2.5 раза. При построении рис. 2 принято, что разовые ПДК составляют для озона  $160 \text{ мкг м}^{-3}$ , СО  $5 \text{ мг м}^{-3}$ ,  $\text{NO}_2$   $200 \text{ мкг м}^{-3}$  и  $\text{PM}_{10}$   $500 \text{ мкг м}^{-3}$  [15].

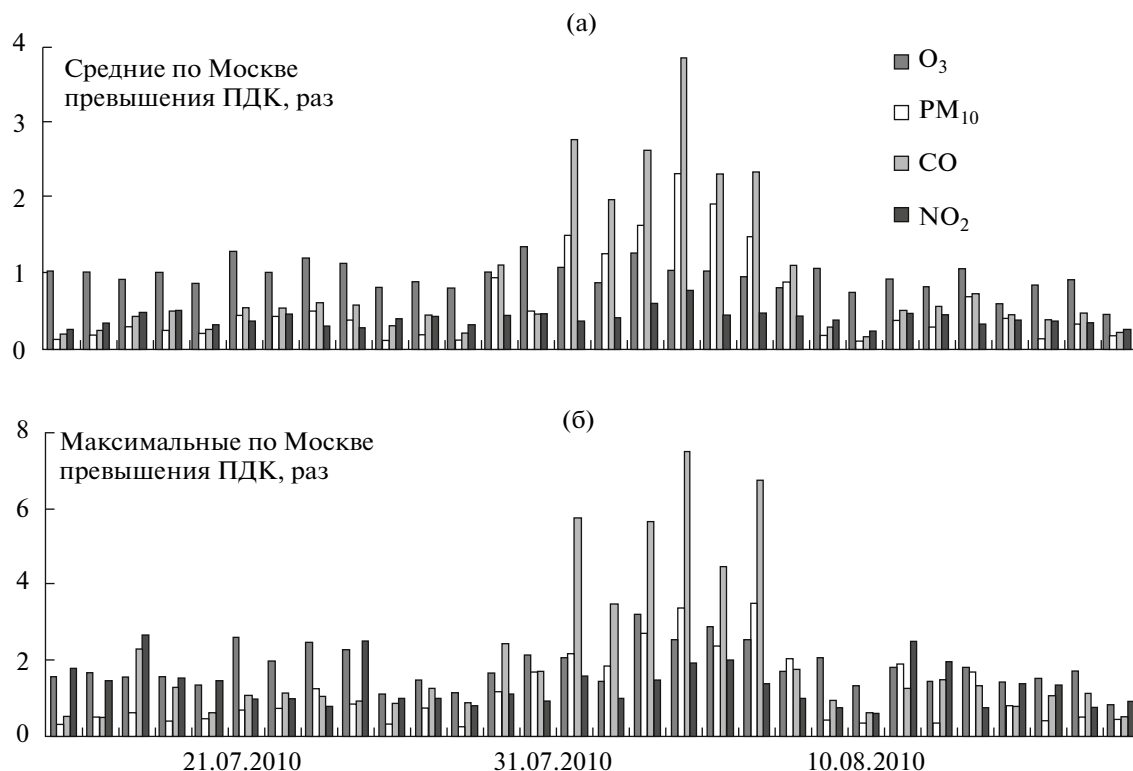
В Западной Европе и США подавляющее большинство случаев признания качества воздуха неудовлетворительным вызывается превышениями ПДК озона и  $\text{PM}_{10}$  [16]. Если  $\text{PM}_{10}$ , СО и  $\text{NO}_2$  имеют вполне конкретные источники выбросов, которые, в принципе, можно регулировать, то озон образуется в фотохимических процессах непосредственно в атмосфере, и прогнозирование его концентраций с помощью химическо-транспортных моделей затруднено, как правило, из-за неполноты и недостаточного качества исходных данных для расчетов [2, 4]. Согласно накопленной для московского региона статистике [8, 14], необходимыми условиями для возникновения разовых концентраций озона выше ПДК практически всегда являются приземная температура выше  $28^\circ\text{C}$ , относительная влажность менее 50% и скорость ветра в приземном слое не более  $3 \text{ м с}^{-1}$ . Именно такие условия существовали длительное время на большей части европейской территории России и Украины с конца июня по конец августа 2010 г. Эти условия не являются достаточными для формирования концентраций озона, существенно превышающих ПДК, что видно из временного хода концентраций озона в Кировской области и Украине (рис. 3), хотя концентрации озона и здесь



**Рис. 1.** Розы ветров в пограничном слое атмосферы в московском регионе в июле–августе 2010 г. на уровне 925 гПа по данным аэрологической станции Долгопрудный (1), а также в 2000–2006 гг. по данным 2-х мерных траекторий ЕМЕП (2; <http://emep.int>).

были повышенными по отношению к средним многолетним значениям [17].

В московском регионе разовые концентрации озона стали систематически превышать ПДК, начиная с 21 июля. Высокому уровню фотохимического загрязнения воздуха в регионе, как правило, сопутствовала мгла, которая, по данным метеорологической станции № 27612, в период с 19 июля по 18 августа наблюдалась в течение 20 суток, причем с 3 по 10 августа непрерывно. Наибольшие разовые концентрации озона наблюдались 6 августа: на станции Зеленоград-15 (в 40 км к северо-западу от Москвы)  $508 \text{ мкг м}^{-3}$ , на станции Звенигород (в 50 км к западу от Москвы)  $403 \text{ мкг м}^{-3}$ , на станции Долгопрудный (в 2 км к северу от Москвы)  $344 \text{ мкг м}^{-3}$ ; при этом наибольшая зарегистрированная концентрация в пределах МКАД была  $328 \text{ мкг м}^{-3}$ . Синоптическая ситуация для этого дня (рис. 4) с обширным антициклоном, расположившимся над центром ЕТР и Украиной, характерна для описываемого периода лета 2010 г. Влияние антициклона ощущалось и на его окраинах, в частности, в Крыму, хотя и в значительно меньшей мере, чем в центре ЕТР. Следует отметить, что максимальные концентрации озона в различные дни зарегистрированы на разных станциях: около половины рассмотренных дней они наблюдались на станции Зеленоград-15, они также отмечены как на юго-востоке Москвы (Косино), так и на западе (ул. Туристская). Ранее, по наблюдениям с



**Рис. 2.** Временной ход отношений средних разовых по всем станциям (а) и максимальных (б) разовых концентраций малых газовых составляющих и аэрозоля ( $PM_{10}$ ), зарегистрированных системой ГПУ “Мосэкомониторинг”, к соответствующим предельно допустимым концентрациям.

1991 г., наибольшая разовая концентрация озона в московском регионе наблюдалась во время лесных и торфяных пожаров в 2002 г. –  $276 \text{ мкг м}^{-3}$  [3].

Причину того факта, что на большинстве станций московского региона максимальные концентрации озона наблюдались именно 6 августа (рис. 2, 5), можно понять из сопоставления временных вариаций концентраций озона, других малых газовых составляющих атмосферы и метеопараметров (рис. 5–7). Продукты горения лесов и торфяников накрыли Москву, начиная с 27 июля: именно с этого дня отмечено сильное задымление, резко возросли концентрации  $PM_{10}$  и  $CO$  (рис. 5), появился почти не исчезающий запах гари. Эта ситуация отчетливо наблюдалась также на снимках земной поверхности из космоса (<http://modis.gsfc.nasa.gov/>). В период с 6 по 9 августа, когда загрязнение московского региона продуктами горения лесов и торфяников оказалось наибольшим, а максимальные в течение суток температуры превышали  $32^\circ\text{C}$  (рис. 6), зарегистрированы также максимальные разовые концентрации  $PM_{10}$  (до  $1.7 \text{ мг м}^{-3}$  7 августа),  $CO$  (до  $37 \text{ мг м}^{-3}$  7 августа) и  $NO_2$ . Высокий коэффициент корреляции между максимальными в течение суток разовыми концентрациями  $PM_{10}$  и  $CO$ , усредненными по всем

станциям ГПУ “Мосэкомониторинг” (в период с 19 июля по 19 августа он составил 0.975), указывает на то, что основным источником  $PM_{10}$  и  $CO$  являлись пожары.

В течение всего июля и первой половины августа ночью наблюдались температурные инверсии, которые разрушались только днем (рис. 6). Инверсии приводили к накоплению в пограничном слое предшественников озона ( $ЛОС$ ,  $CO$ ,  $NO_x$  и др.), участвующих в процессе фотохимической генерации озона в светлое время суток. При вертикальном перемешивании происходил вынос этих предшественников и самого озона в более высокие слои тропосферы, ослабляя тем самым скорость генерации озона. Условия для интенсивного вертикального перемешивания возникали только днем, когда атмосфера становилась неустойчивой (это заведомо происходило при превышении сухоадиабатического градиента температуры  $grT_{CA} = 9.8^\circ\text{C км}^{-1}$  [18]); перемешивание шло тем интенсивнее, чем больше был вертикальный градиент температуры. На рис. 6 и 7 хорошо видно, что в рассматриваемый период наиболее слабым вертикальное перемешивание оказалось 6 августа: максимальный суточный вертикальный градиент температуры  $grT_{max}$  в нижнем 200-м слое

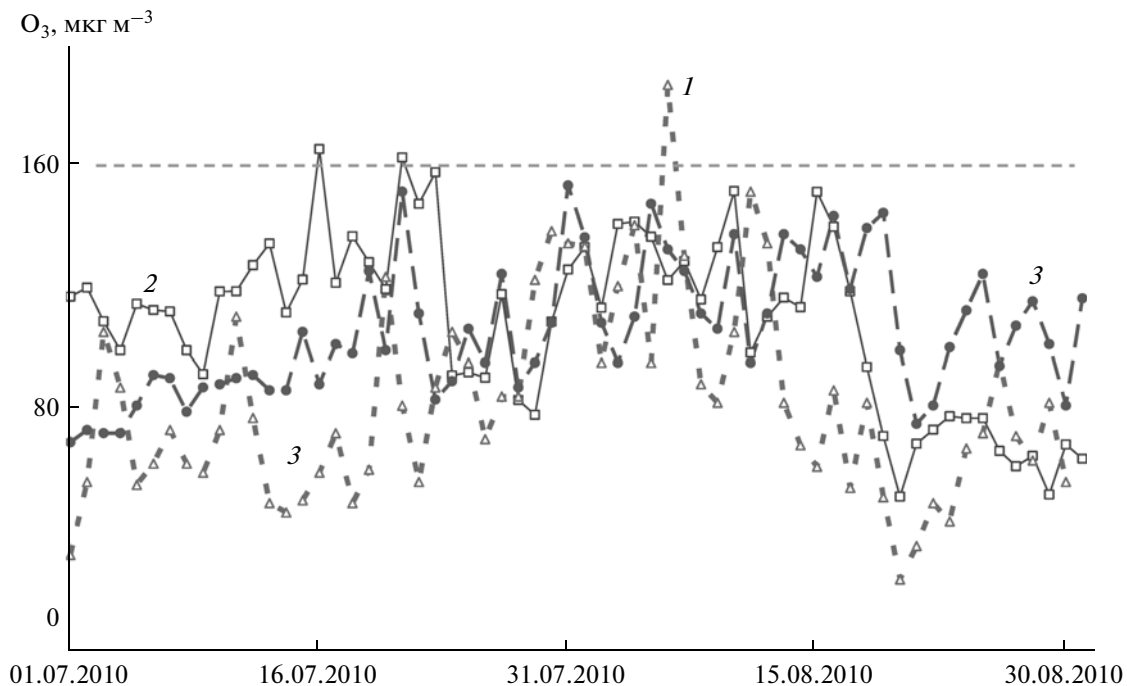


Рис. 3. Временной ход максимальных суточных средних за 1 ч концентраций приземного озона на станциях Вятские Поляны (1), Киев (2) и Карадагский природный заповедник (3). Пунктирная прямая — уровень ПДК для озона.

тропосферы едва достиг  $6^{\circ}\text{C км}^{-1}$ , поздно был достигнут час суток  $t_b$  (ч мск), начиная с которого  $gT$  превышал половину  $gT_{CA}$ , и минимальной была длительность времени суток без инверсии. Поэтому поздно наблюдался и утренний максимум концентрации CO — около 13 ч мск (рис. 7) вместо обычных 9–10. К тому же 6 и 7 августа скорость южного ветра на уровне 925 гПа была очень низкой ( $1\text{--}2\text{ м с}^{-1}$ ), что также способствовало слабости вертикального перемешивания. Подобное слабое вертикальное перемешивание воздуха в пограничном слое имело место в московском регионе и в эпизодах с максимальными концентрациями озона в 1999 и 2002 гг. [3, 19]. То обстоятельство, что наибольшая концентрация озона наблюдалась на станции Зеленоград-15, связано, по-видимому, с тем, что максимальные концентрации озона образуются в процессе движения пятна загрязнений по ветру через несколько часов после накопления в пограничном слое атмосферы его предшественников в пропорциях, оптимальных для фотохимической генерации [12, 20].

Если до появления сильных пожаров максимальные концентрации озона в московском регионе не поднимались выше  $160\text{--}200\text{ мкг м}^{-3}$ , то после появления продуктов горения они увеличились в  $1.5\text{--}2.5$  раза. Поэтому естественно предположить, что существенную роль в интенсификации фотохимической генерации озона, кроме ЛОС, здесь сыграли и высокие концентрации CO

[12, 21–23]. На рис. 5 видно, что если до 26 июля ход CO в светлое время суток зеркально отображал ход озона, как это обычно наблюдается в средних многолетних данных [17], то начиная с 27 июля утренний максимум концентрации CO сместился к полудню, ближе к максимуму озона (в период максимального задымления 6 и 7 августа максимум концентрации CO наблюдался около 13 ч мск летнего — рис. 5, 7).

Загрязненные продуктами природных пожаров воздушные массы перемещались практически только в пределах центра ЕТР и на качество воздуха на расстояниях 800 км от Москвы влияния уже практически не оказывали (рис. 3). В Кировской области, Киеве и Крыму максимальные разовые концентрации приземного озона в период высоких температур находились в диапазоне  $100\text{--}180\text{ мкг м}^{-3}$ , ненамного превышая обычные уровни (лишь в Киеве 15 и 16 августа максимальные средние за 1 ч концентрации озона составили 196 и 181  $\text{мкг м}^{-3}$  соответственно), а концентрации  $\text{NO}_x$  изменились незначительно.

В период с 19 июля по 18 августа на станции Долгопрудный зарегистрировано 25 дней, когда разовые концентрации озона превысили отечественную ПДК, причем в восьми из них был превышен порог тревоги ЕС, а в 30 — рекомендуемый ВОЗ безопасный норматив для усредненной за 8 ч концентрации  $100\text{ мкг м}^{-3}$  [10]. Концентрации озона в московском регионе, как правило, превы-

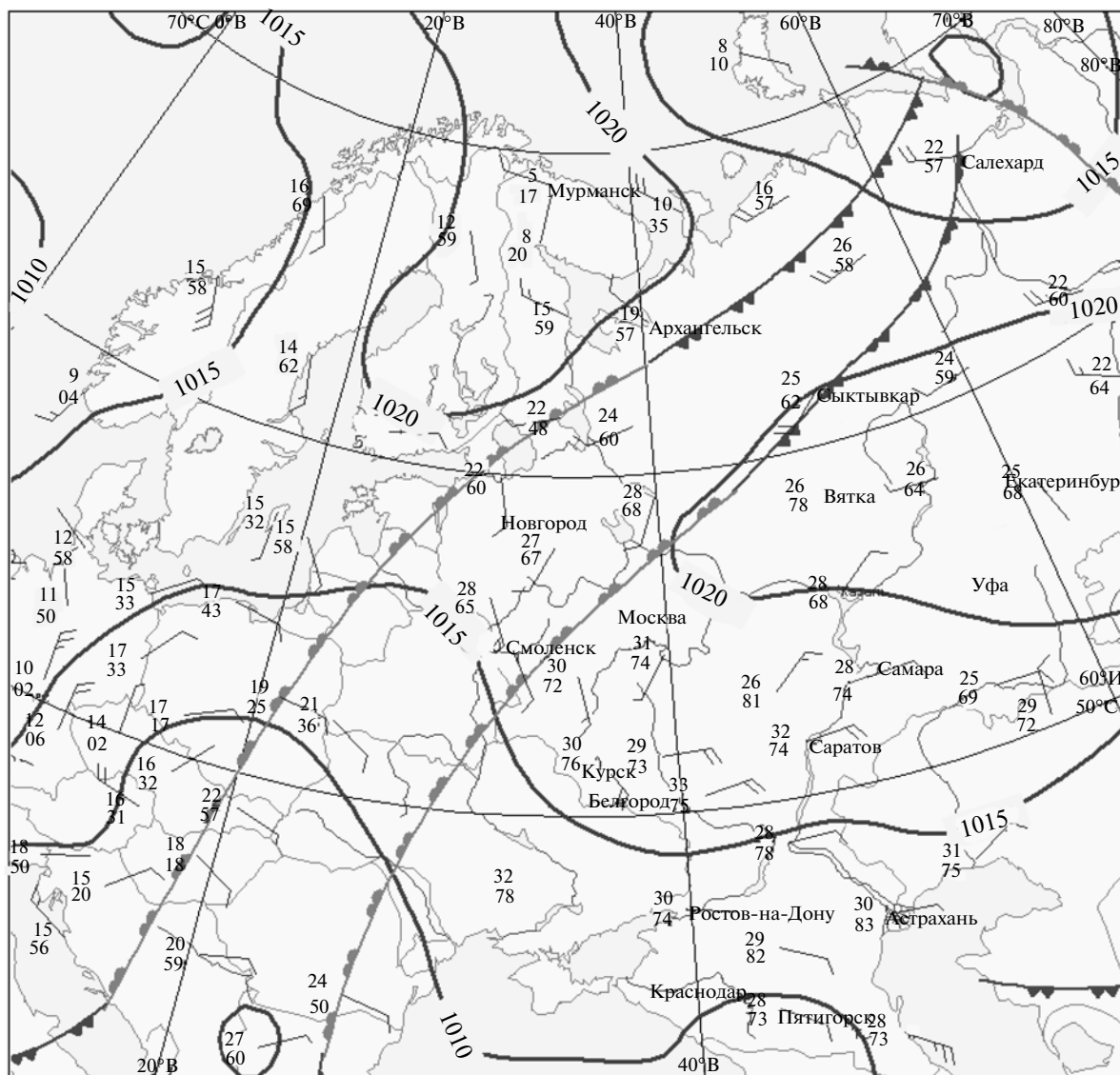


Рис. 4. Карта погоды 06.08.2010 г.

шали наблюдавшиеся в Западной Европе во время “тепловой волны” в августе 2003 г. и, в соответствии с данными публикаций [24–26], вероятно, стали причиной преждевременной смерти сотен человек.

Исходя из установленной специалистами ВОЗ закономерности, “увеличение ежедневной смертности в диапазоне 0.3–0.5% происходит на каждые  $10 \text{ мкг м}^{-3}$  прироста концентрации озона в усредненной за 8 часов концентрации выше расчетного базисного уровня  $70 \text{ мкг м}^{-3}$ ” [10]. При среднем числе регистрируемых в июле и августе смертей в Москве в месяц по 9700 (по данным Росстата [27]) и практически ежедневном превышении этого уровня средними за 8 ч концентра-

циями озона, наблюдавшимися на станции Долгопрудная (рис. 8), получим, что в период с 17 июля по 19 августа добавочная смертность населения только в Москве за счет повышенных концентраций озона могла составить от 290 до 480 человек, что близко к аналогичным показателям для Великобритании и Франции летом 2003 г. [25, 26]. Еще большую долю в повышение смертности летом 2010 г. внесли и высокие концентрации  $\text{PM}_{10}$ . Согласно [10], среднесуточная “концентрация ( $\text{PM}_{10}$ )  $150 \text{ мкг м}^{-3}$  может соответствовать примерно 5% увеличению ежедневной смертности, ... а уровень, составляющий  $100 \text{ мкг м}^{-3}$ , ассоциируется с приблизительно 2.5% увеличением ежедневной смертности”. Соответствующий рас-

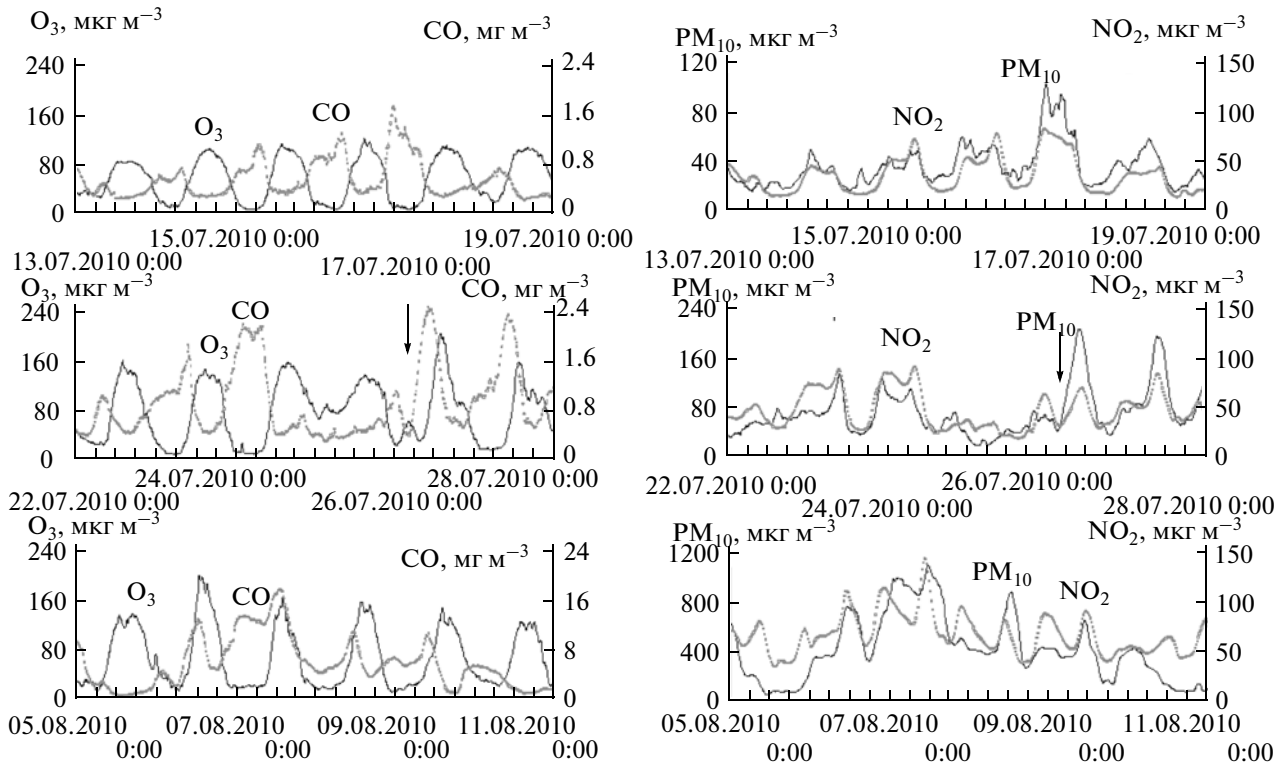


Рис. 5. Временной ход разовых концентраций приземного озона и CO (слева), PM<sub>10</sub> и NO<sub>2</sub> (справа), усредненных по станциям ГПУ "Мосэкомониторинг". Стрелками обозначено визуальное начало воздействия пожаров 26.07.2010 г.

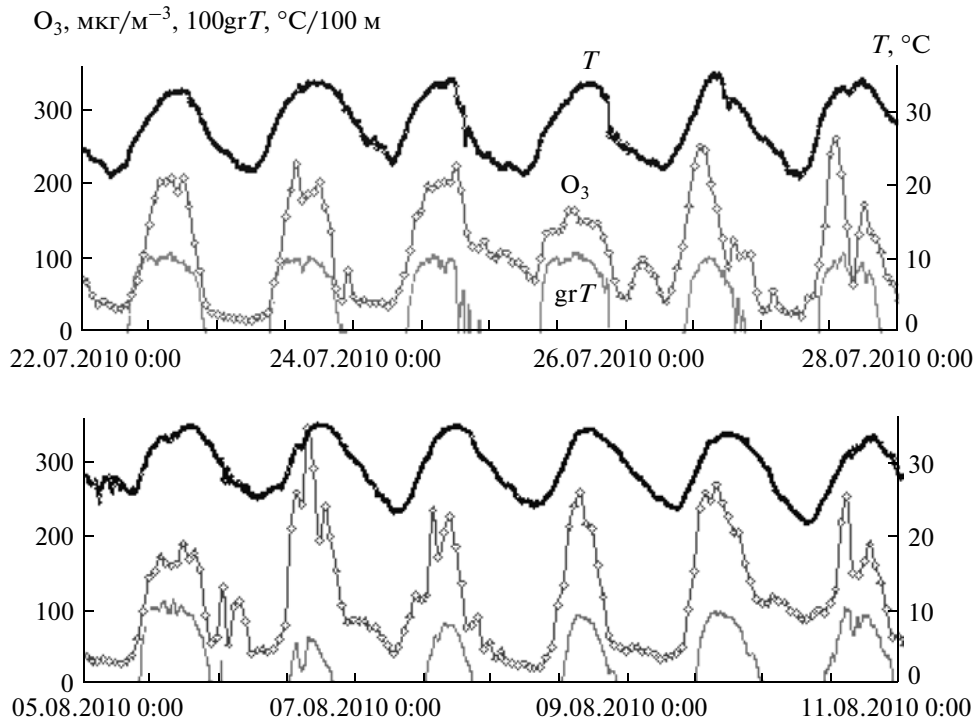
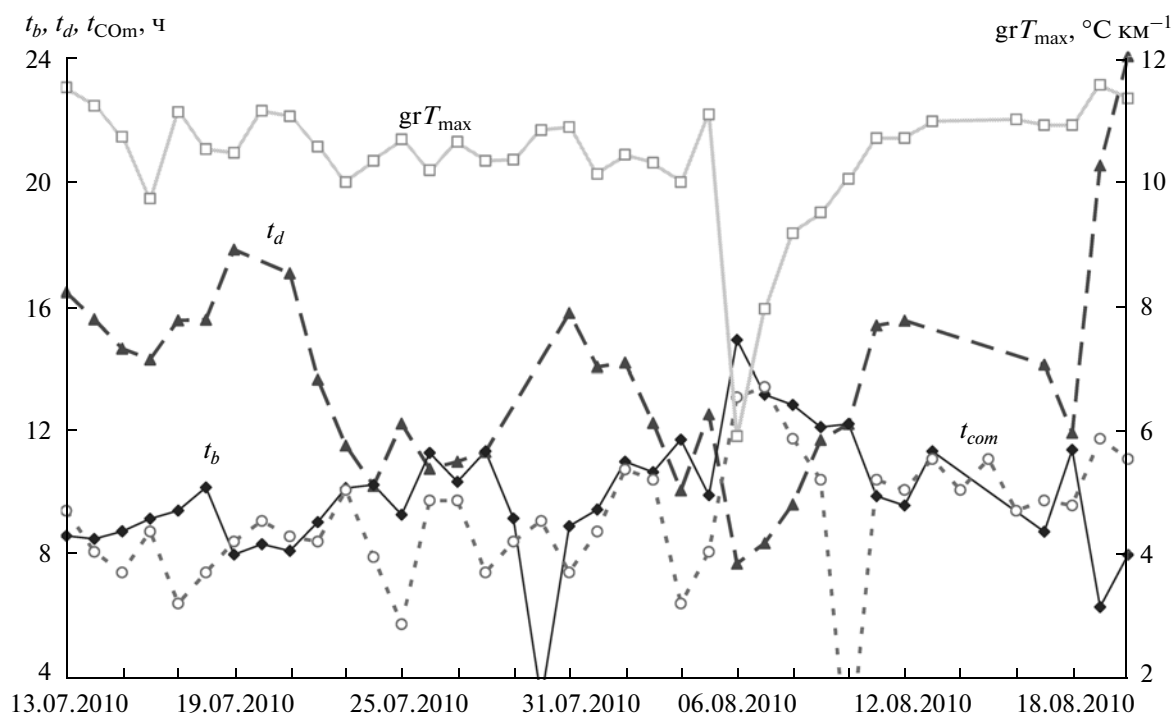
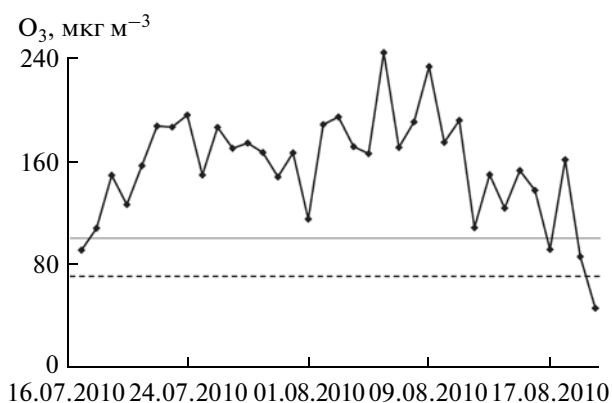


Рис. 6. Временной ход разовых концентраций приземного озона O<sub>3</sub>, температуры T и ее вертикального градиента grT в нижнем 200-м слое тропосферы по данным станции Долгопрудный. Отрицательные градиенты температуры в периоды ночных инверсий на рисунке не показаны.



**Рис. 7.** Временной ход максимальных в течение суток вертикальных градиентов температуры  $grT_{max}$  ( $^{\circ}\text{C km}^{-1}$ ) в нижнем 200-м слое тропосферы, часа суток  $t_b$  (ч мск), начиная с которого  $grT$  превышал  $4.9^{\circ}\text{C km}^{-1}$ , длительности промежутка времени  $t_d$  (ч), в течение которого на протяжении суток наблюдался положительный  $grT$  (все три кривые — по данным станции Долгопрудный), и времени суток  $t_{COM}$  (ч мск), когда наблюдался утренний максимум концентрации СО (по данным, усредненным по станциям ГПУ “Мосэкомониторинг”).

чет, использующий среднесуточные концентрации, средние по всем наблюдательным станциям ГПУ “Мосэкомониторинг”, приводит приблизительно к 500 дополнительным случаям общей



**Рис. 8.** Временной ход максимальных средних за 8 ч концентраций озона на станции Долгопрудный в период 17 июля—20 августа 2011 г. Сплошная прямая — уровень  $100 \text{ mcg m}^{-3}$ , рекомендуемый ВОЗ в качестве ПДК для максимальной средней за 8 ч концентрации озона; пунктирная — уровень  $70 \text{ mcg m}^{-3}$ , начиная с которого, согласно данным ВОЗ, отмечается влияние концентрации озона на смертность населения.

смертности, причем около 370 из них — в период с 4 по 9 августа. Это значительно больше, чем рассчитано по результатам тепловой волны в центре ЕТР летом 2002 г. [28]. Число зарегистрированных в июле и августе 2010 г. смертей в Москве в сумме превысило среднестатистическое за тот же период в 2006—2009 гг. на 9999 случаев (при стандартном отклонении для среднестатистических значений около 350) [27]. В период с сентября по декабрь 2010 г. число зарегистрированных смертей ежемесячно было меньше среднестатистического (в целом за эти 4 месяца — на 3680). Это указывает на то, что погодные аномалии лета 2010 г. приблизили сроки смерти не только тех граждан, чья смерть должна была наступить в оставшиеся месяцы 2010 г., но и в последующие годы. Из приведенных данных также видно, что дополнительная смертность населения, связанная с загрязнением воздуха в Москве в июле—августе 2010 г., могла составить около 10% от дополнительной общей смертности, основную часть которой составила, по-видимому, смертность от жары.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В течение июля—августа 2010 г. в воздухе московского региона в течение около 30 дней для озо-



на,  $PM_{10}$ , CO и  $NO_x$  почти непрерывно наблюдались концентрации, превышающие предельно допустимые. Наибольшие концентрации этих веществ наблюдались в период 4–9 августа, когда регион находился в интенсивном шлейфе пожаров лесов и торфяников. В период задымления заметно изменился характер суточных вариаций  $PM_{10}$  и CO и возросли концентрации всех загрязнителей атмосферы. Максимальные концентрации озона наблюдались 6 августа, что, по-видимому, явилось результатом замедленного прогрева земной поверхности в первой половине дня и, как следствие, ослабленного рассеяния предшествующих озона при вертикальном перемешивании. Максимальные значения концентраций всех загрязнителей и в особенности озона существенно превышали уровни, которые наблюдались в периоды наиболее интенсивных тепловых волн в московском регионе в 2002 г. и в странах Западной Европы в 2003 г. Такой уровень загрязнений в московском регионе, несомненно, привел к ухудшению здоровья его жителей и дополнительным случаям смертности, в первую очередь, из-за повышенных концентраций  $PM_{10}$  и озона. В Кировской области, Киеве и Крыму, практически не подвергшихся влиянию пожаров, при погодных условиях, близких к московским, качество воздуха оставалось в основном удовлетворительным.

Работа выполнена при частичной поддержке проектов РФФИ №№ 11-05-01144-а и 11-05-91061-НЦНИ\_а.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шакина Н.П., Иванова А.Р. Блокирующие антициклоны: современное состояние исследований и прогнозирования // Метеорология и гидрология. 2010. № 11. С. 5–18.
2. Air Quality Criteria for Ozone and Related Photochemical Oxidants. Volume I. U.S. EPA, Washington, D.C., EPA/600/R-05/004aF. 2006. 821 p.
3. Звягинцев А.М., Беликов И.Б., Егоров В.И. и др. Положительные аномалии приземного озона в июле–августе 2002 г. в Москве и ее окрестностях // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2004. Т. 40. № 1. С. 75–86.
4. Ordonez C., Elguindi N., Stein O. et al. Global model simulations of air pollution during the 2003 European heat wave // Atmos. Chem. Phys. 2010. V. 10. P. 789–815.
5. Solberg S., Hov O., Soevde A. et al. European surface ozone in the extreme summer 2003 // J. Geophys. Res. 2008. V. 113. D07307, doi:10.1029/2007JD009098.
6. Tressol M., Ordonez C., Zbinden R. et al. Air pollution during the 2003 European heat wave as seen by MOZAIC airliners // Atmos. Chem. Phys. 2008. V. 8. P. 2133–2150.
7. Горчаков Г.И., Семутникова Е.Г., Зоткин Е.В. и др. Вариации газовых компонент загрязнения в воздушном бассейне г. Москвы // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2006. Т. 42. № 2. С. 176–190.
8. Звягинцев А.М., Кузнецова И.Н. Изменчивость приземного озона в окрестностях Москвы: результаты десятилетних регулярных наблюдений // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2002. Т. 38. № 4. С. 486–495.
9. Кадыгров Е.Н. Микроволновая радиометрия атмосферного пограничного слоя – метод, аппаратура, результаты измерений // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22. № 7. С. 697–704.
10. WHO. Air Quality Guidelines: Global Update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. – WHO. 2006. 484 p.
11. Бюллетень о состоянии атмосферного воздуха в городе Москве в 2005 г. М.: Мосэкомониторинг, 2006. 72 с.
12. Seinfeld J.H., Pandis S.N. Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change. – N. Y.: Wiley-Intersc. Publ., 1998. 1326 p.
13. Звягинцев А.М., Какаджанова Г., Тарасова О.А. Влияние направлений переноса на сезонный ход концентраций малых газовых составляющих атмосферы в Европе // Метеорология и гидрология. 2010. № 7. С. 18–28.
14. Звягинцев А.М., Беликов И.Б., Еланский Н.Ф. и др. Статистическое моделирование максимальных суточных концентраций приземного озона // Оптика атмосферы и океана. 2010. Т. 23. № 2. С. 127–135.
15. Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.1338-03 “Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест” (с дополнениями и изменениями № 2 ГН 2.1.6.1983-05).
16. Демин В.И., Звягинцев А.М., Кузнецова И.Н. О действующих в Российской Федерации нормативах по содержанию озона в атмосферном воздухе // Экология человека. 2009. № 1. С. 4–8.
17. Звягинцев А.М., Беликов И.Б., Еланский Н.Ф. и др. Изменчивость концентраций приземного озона в Москве и Киеве // Метеорология и гидрология. 2010. № 12. С. 26–35.
18. Матвеев Л. Т. Основы общей метеорологии. Физика атмосферы. СПб: Гидрометеиздат, 2000. 751 с.
19. Звягинцев А.М., Кузнецова И.Н. Изменчивость приземного озона в окрестностях Москвы: результаты десятилетних регулярных наблюдений // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2002. Т. 38. № 4. С. 486–495.
20. Sillman S. The relation between ozone,  $NO_x$  and hydrocarbons in urban and polluted rural environments // Atmos. Environ. 1999. V. 33. P. 1821–1845.
21. Chin M., Jacob D.J., Munger J.W. et al. Relationship of ozone and carbon monoxide over North America // J. Geophys. Res. 1994. V. 99. № D7. P. 14565–14574.
22. Morris G.A., Hersey S., Thompson A.M. et al. Alaskan and Canadian forest fires exacerbate ozone pollution over Houston, Texas, on 19 and 20 July 2004 // J. Geophys. Res. 2006. V. 111. P. D24S03. doi:10.1029/2006JD007090.
23. Stohl A., Berg T., Burkhardt J.F. et al. Arctic smoke – record high air pollution levels in the European Arctic due to agricultural fires in Eastern Europe in spring 2006 // Atmos. Chem. Phys. 2007. V. 7. P. 511–534.

24. Fischer P., Brunekreef B., Lebrecht E. Air pollution related deaths during the 2003 heat wave in the Netherlands // Atmos Environ. 2004. V. 38. № 8. P. 1083–1085.
25. Filleul L., Cassadou S., Médina S. et al. The relation between temperature, ozone and mortality in nine French cities during the heat wave of 2003 // Environ. Health Perspect. 2006. V. 114. № 9. P. 1344–1347.
26. Stedman J.R., Kent A.J. An analysis of the spatial patterns of human health related surface ozone metrics across the UK in 1995, 2003 and 2005 // Atmos. Environ. 2008. V. 42. № 8. P. 1702–1716.
27. <http://www.gks.ru>.
28. Ревич Б.А. Изменение климата и угроза здоровью населения России // Россия в окружающем мире: 2004 (аналитический ежегодник) / Под ред. Н.Н. Марфенина. М.: Модус-К-Этерна, 2005. С. 62–80.

## Air Pollution over European Russia and Ukraine under the Hot Summer Conditions of 2010

A. M. Zvyagintsev<sup>a</sup>, O. B. Blyum<sup>b</sup>, A. A. Glazkova<sup>c</sup>, S. N. Kotel'nikov<sup>d</sup>, I. N. Kuznetsova<sup>e</sup>,  
V. A. Lapchenko<sup>e</sup>, E. A. Lezina<sup>f</sup>, E. A. Miller<sup>a</sup>, V. A. Milyaev<sup>d</sup>, A. P. Popikov<sup>f</sup>,  
E. G. Semutnikova<sup>f</sup>, O. A. Tarasova<sup>g</sup>, and I. Yu. Shalygina<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Central Aerological Observatory, Pervomaiskaya ul. 3, Dolgoprudnyi, Moscow oblast, 141700 Russia  
e-mail: [azvyagintsev@cao-rhms.ru](mailto:azvyagintsev@cao-rhms.ru)

<sup>b</sup> N.N. Gryshko National Botanical Garden, National Academy of Sciences of Ukraine,  
Timiryazevskaya ul. 1, Kiev, 01014 Ukraine  
e-mail: [blum@voliacable.com](mailto:blum@voliacable.com)

<sup>c</sup> Russian Hydrometeorological Research Center, Bolshoi Predtechenskii per. 11–13, Moscow, 123242 Russia  
e-mail: [muza@mecom.ru](mailto:muza@mecom.ru)

<sup>d</sup> General Physics Institute, Tarusa Branch, Russian Academy of Sciences, ul. Engel'sa 6, Tarusa,  
Kaluzhskaya oblast, 249100 Russia  
e-mail: [KotelnikovSN@yandex.ru](mailto:KotelnikovSN@yandex.ru)

<sup>e</sup> Karadag Nature Reserve, National Academy of Sciences of Ukraine, ul. Nauki 24, the urban village of Kurortnoe,  
Feodosiya, 98188 Ukraine  
e-mail: [lapchenko@pochta.ru](mailto:lapchenko@pochta.ru)

<sup>f</sup> Mosecomonitoring, State Environmental Institution, ul. Novyi Arbat 11, bldg 1, Moscow, 119019 Russia  
e-mail: [info@mosecom.ru](mailto:info@mosecom.ru)

<sup>g</sup> World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland  
e-mail: [OTarasova@yandex.ru](mailto:OTarasova@yandex.ru)

Received February 10, 2011; in final form, April 15, 2011

**Abstract**—Variations in the concentrations of both primary (PM<sub>10</sub>, CO, and NO<sub>x</sub>) and secondary (ozone) pollutants in the atmosphere over the Moscow and Kirovsk regions, Kiev, and Crimea under the conditions of the anomalously hot summer of 2011 are given and analyzed. The concentrations of ozone, PM<sub>10</sub>, CO, and NO<sub>x</sub> in the atmosphere over the Moscow region exceeded their maximum permissible levels almost continuously from late July to late August 2010. The highest level of atmospheric pollution was observed on August 4–9, when the Moscow region was within a severe plume of forest and peatbog fires. The maximum single concentrations of ozone, which exceeded its maximum permissible level two–three times, were accompanied by high concentrations of combustion products: the concentrations of PM<sub>10</sub> and CO were also three–seven times higher than their maximum permissible concentrations. The maximum levels of air pollution were observed under the meteorological conditions that were unfavorable for pollution scattering, first of all, at a small vertical temperature gradient in the lower atmospheric boundary layer. The number of additional cases of mortality due to the exceeded maximum permissible concentrations of PM<sub>10</sub> and ozone in the atmosphere over Moscow was estimated. Under the weather conditions that were close to those for the Moscow region, the air quality remained mainly satisfactory in the Kirovsk region, Kiev, and Crimea, which were almost not affected by fires.

**Keywords:** air pollution, surface ozone, particulate matter, carbon monoxide, hot weather, fire emissions, mortality.