

УДК 551.510

Характеристики температуры в нижнем 600-метровом слое по данным дистанционных измерений приборами МТП-5

И.Н. Кузнецова¹, Е.Н. Кадыгров², Е.А. Миллер², М.И. Нахаев^{1*}

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение «Гидрометцентр России»
123242, г. Москва, Б. Предтеченский пер., 11–13

²Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Центральная аэрологическая обсерватория»
141700, г. Долгопрудный, ул. Первомайская, 3

Поступила в редакцию 24.01.2012 г.

Представлены средние многолетние характеристики температуры по измерениям приборами МТП-5 в нижнем 600-метровом слое атмосферы в центре и в ближнем пригороде Московского мегаполиса и других пунктах; обсуждается типовой суточный ход температуры в отдельные сезоны. Показано, что суммарное влияние большого города на термическую структуру нижних слоев атмосферы проявляется в средних за 1 мес характеристиках температуры, выражается в образовании значительной неоднородности поля температуры и в усилении термической неустойчивости в центре большого города.

Ключевые слова: атмосферный пограничный слой, стратификация, типовой суточный ход, влияние мегаполиса; atmospheric boundary layer, influence of megacity, temperature stratification, typical daily variations of temperature.

Введение

Температура в пограничном слое атмосферы, подчиняясь суточным и сезонным модуляциям, является одной из самых изменчивых метеорологических характеристик. Для оценки значительных преобразований термической структуры нижних слоев необходимы данные мониторинга с высоким временным и вертикальным разрешением. Такого рода данные получают с помощью наблюдений на высотных сооружениях. В нашей стране регулярные стационарные измерения температуры и ветра осуществляются в Москве (телебашня Останкино) и Обнинске (ВММ – высотная метеорологическая мачта). Обобщение результатов наблюдений за температурными и ветровыми характеристиками в 1964–1975 гг., полученных на ВММ в Обнинске, представлено в работе [1]; там же даются некоторые сведения об аналогичных характеристиках, полученные по наблюдениям на телевизионной башне в Останкино.

Принципиально новый вид мониторинга термического состояния нижних слоев атмосферы – дистанционное микроволновое зондирование – стал возможным благодаря использованию разработанных в Центральной аэрологической обсерватории (ЦАО) метеорологических температурных профиломеров МТП-5 [2]. С 2000 г. непрерывные измерения

приборами МТП-5 ведутся в центральной части Москвы; в режиме экспериментальных измерений проводится микроволновое зондирование в ближнем северном пригороде (г. Долгопрудный). Сегодня приборы МТП-5 регулярно используются в нескольких пунктах России (около 20 пунктов), а также в некоторых зарубежных странах (Япония, США, Италия, Норвегия, Австралия, Китай, Тайвань); уникальные данные получены по измерениям МТП-5 в высоких широтах, в частности в Антарктиде [2–4].

На основе данных МТП-5 сделаны первые оценки влияния Московского мегаполиса на температуру атмосферного пограничного слоя (АПС) [5–7]. Благодаря продолжительным дистанционным наблюдениям приборами МТП-5 в Москве и пригороде, стало возможным получение средних многолетних характеристик температуры в нижнем 600-метровом слое атмосферы. В настоящей статье представлены результаты мониторинга температуры в период 2004–2009 гг. в разнесенных примерно на 20 км пунктах наблюдений: в центре Москвы (ниже – центр) и на окраине мегаполиса, в г. Долгопрудный (ниже – пригород). Принимая во внимание значительную географическую неоднородность термического режима АПС, определяемого сезонным и суточным циклами радиационного баланса, а также атмосферным переносом и локальными факторами, часть материалов представлена по данным наблюдений еще в двух пунктах измерений приборами МТП-5 – в г. Нижний Новгород и в Красноярске.

Переходя к обсуждению, необходимо подчеркнуть, что в настоящей статье представляются ре-

* Ирина Николаевна Кузнецова (muza@mecom.ru); Евгений Николаевич Кадыгров (ldz@cao-rhms.ru); Евгений Алланович Миллер (src_attex@mtu-net.ru); Мурат Ислемгалеевич Нахаев (muza@mecom.ru).

зультаты расчетов режимных характеристик температуры в АПС на урбанизированных территориях; статистически надежных рядов измерений МТП-5 на фоновых территориях пока еще не получено.

Результаты и обсуждение

1. Средний годовой профиль температуры в слое 0–600 м

Насколько и в чем различаются средние многолетние профили температуры в удаленных друг от друга пунктах (от десятков до тысяч км), находящимся в одном широтном поясе, показывают приведенные на рис. 1 результаты расчетов, полученные по измерениям МТП-5 в центре и в ближнем пригороде Москвы (г. Долгопрудный), в Нижнем Новгороде и в Красноярске.

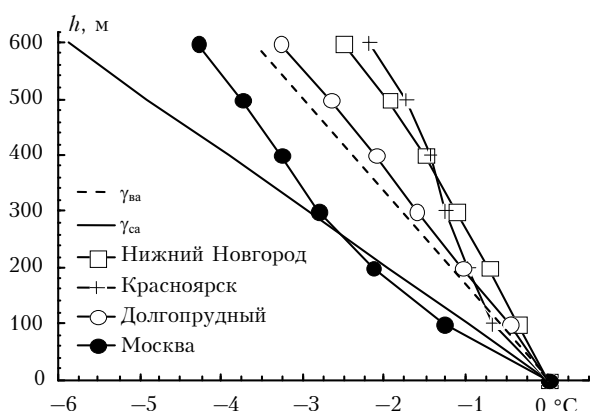


Рис. 1. Профили средней годовой температуры $T_{\text{ср.год}}^*(h)$ в слое 0–600 м в четырех пунктах измерений МТП-5 (в отклонениях от $T_{\text{ср.год}}(h_0)$)

Для удобства сравнений стратификации в разных пунктах показаны профили отклонений средней годовой температуры на каждом уровне измерений ($T_{\text{ср.год}}^*(h)$) в слое 0–600 м от приземной температуры, рассчитанные по формуле

$$T_{\text{ср.год}}^*(h) = T_{\text{ср.год}}(h) - T_{\text{ср.год}}(0), \quad (1)$$

где $T_{\text{ср.год}}(h)$ – средняя за год температура воздуха на высоте h ($h = 100, 200, 300, 400, 500, 600$ м); $T_{\text{ср.год}}(0)$ – средняя за год приземная температура воздуха, °С.

При необходимости можно восстановить реальные средние годовые профили для каждого пункта, учитывая, что в рассматриваемый период в центре Москвы $T_{\text{ср.год}}(0)$ составила 6,6 °С, в г. Долгопрудный – 5,4 °С, в Нижнем Новгороде – 5,0 °С, в Красноярске – 1,3 °С.

Из рис. 1 видно, что профили температуры в четырех пунктах даже при годовом осреднении имеют заметные отличия. Так, в центре Московского мегаполиса нижний 200-метровый слой в среднем за год термически неустойчивый: градиент температуры ($\gamma_{\text{ср.год}}$) больше сухоадиабатического градиента ($\gamma_{\text{са}}$). На окраине Московского мегаполиса

и в Нижнем Новгороде $\gamma_{\text{ср.год}}$ в нижнем 100-метровом слое меньше влажно-адиабатического ($\gamma_{\text{ва}}$), в Красноярске – немного его превышает, но меньше $\gamma_{\text{са}}$. Отметим, в Нижнем Новгороде и в Красноярске измерения МТП-5 проводятся в центральной части города, но, по-видимому, на термический режим городского АПС (особенно в теплый период) существенное влияние оказывают обусловленная орографией локальная циркуляция (оба города расположены на берегах крупных рек), а также активное испарение с поверхности водного зеркала.

Антропогенные факторы (сжигание топлива, прямые выбросы тепла, газовое и аэрозольное загрязнение и др.) существенно деформируют термическую структуру городского пограничного слоя [8–10], вследствие чего образуется пространственная неоднородность термического (конвективного) перемешивания, а следовательно, и условий для рассеивания примесей. На примере данных в разнесенных на 20 км пунктах измерений МТП-5 в Московском регионе можно оценить степень «городского» влияния на конвективные процессы в пограничном слое. На рис. 2 показаны распределения градиентов температуры в приземном слое (0–100 м) в центре и в ближнем пригороде, полученные по измерениям в период 2007–2009 гг.

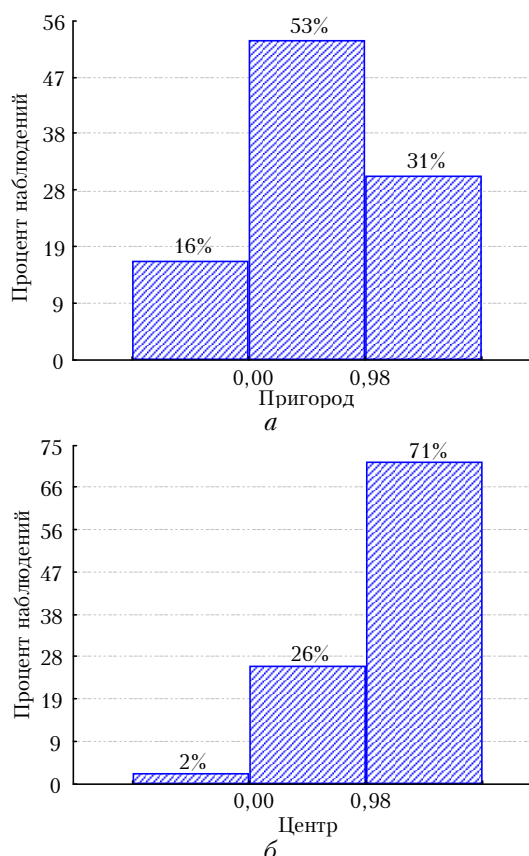


Рис. 2. Повторяемость (в градусах) вертикального градиента температуры γ (°С/100 м) в слое 0–100 м в пригороде (а) и в центре Московского мегаполиса (б)

Отличия в распределении выражены: а) в смещении вправо максимума повторяемости термиче-

ской неустойчивости ($\gamma > \gamma_{ca}$) в центре мегаполиса относительно максимума в пригороде, б) в многократном превышении повторяемости приземной инверсии температуры ($\gamma < 0 \text{ } ^\circ\text{C}/100 \text{ м}$) за городом по сравнению с центром города.

Можно отметить и некоторые сезонные особенности термической устойчивости, полученные по данным измерений 2004–2009 гг.: в центре Москвы повторяемость $\gamma > \gamma_{ca}$ в слое 0–100 м летом составляет около 60%, зимой 88%, в пригороде соответственно примерно 40 и 45%. Повторяемость $\gamma < 0 \text{ } ^\circ\text{C}/100 \text{ м}$ (приземная температурная инверсия) составляет в характерные зимние месяцы в центре города около 2, в Долгопрудном почти 25, летом – 3 и 32% соответственно.

Приведенные цифры указывают на главный признак влияния большого города на термический режим АПС – повышение термической неустойчивости от окраин к центру, так же направлен и вектор усиления вертикального перемешивания.

2. Сезонные особенности суточного хода температуры

По сравнению со средними годовыми количественными различия сезонных и внутрисуточных характеристик температур в пунктах мегаполиса увеличиваются. Ниже обсуждаются некоторые характерные черты сезонного типового суточного хода температуры в слое 0–600 м, полученные по данным МТП-5 в центре и в ближнем пригороде Москвы.

Зима. Типовой суточный ход температуры $T(h)$ зимой в центре Москвы в слое 0–600 м представлен на рис. 3; здесь же показаны разность температуры между центром и ближним пригородом ($\Delta T(h)_{ц-п}$) в слое 0–300 м, а также суточный ход вертикальных градиентов температуры в слое 0–100 м в пунктах. Видно, что внутрисуточные колебания температуры (амплитуда температуры меньше $1 \text{ } ^\circ\text{C}$) наблюдаются зимой в основном в нижнем 200-метровом слое (рис. 3, а). В течение всех суток приземный воздух в центре Москвы теплее, чем за городом (рис. 3, б); разность средней месячной приземной температуры «центр–пригород» более $1 \text{ } ^\circ\text{C}$ сохраняется почти 20 ч (с 16:00 до 11:00 утра), а максимальные различия ($1,2\text{--}1,6 \text{ } ^\circ\text{C}$) приходятся на темное время суток – с 18:00 до 10:00.

На высоте 100 м температура в центре города близка к температуре на окраине в течение всех суток (рис. 3, б), т.е. на этой высоте поле температуры над всем мегаполисом почти однородно. Днем (12:00–16:00) практически нет контрастов температуры и на высотах 200–300 м, но большую часть суток этот слой над центром города немного холоднее, чем на окраинах (с 22:00 до 9:00 примерно на $0,6\text{--}1,0 \text{ } ^\circ\text{C}$), т.е. здесь появляется так называемая ночная «линза холода», обеспечивающая смещение приземного воздуха с более холодным из вышележащих слоев. Преобладание ночью в окрестностях термической устойчивости ($\gamma \leq 0 \text{ } ^\circ\text{C}/100 \text{ м}$) при сохранении над центром конвективного перемешивания

(рис. 3, в) определяет метеорологическую обусловленность увеличения загрязнения приземного воздуха от центра города к окраинам. Этот эффект усиливается при ослаблении скорости переноса в АПС до $3\text{--}5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ [11].

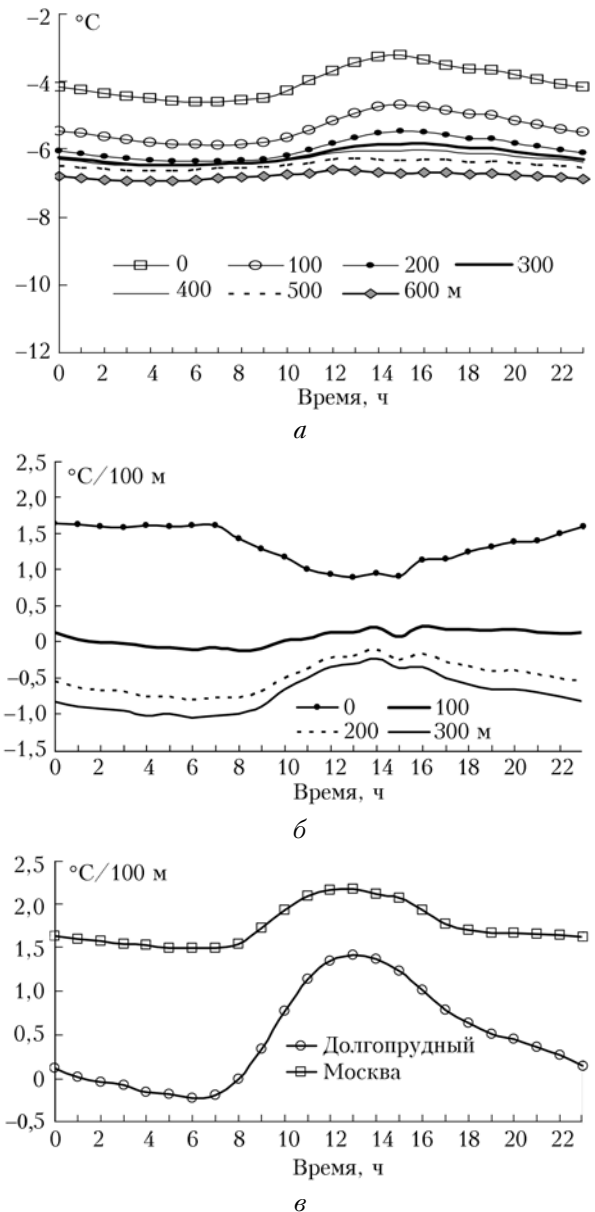


Рис. 3. Типовой суточный ход температуры в слое 0–600 м в центре Москвы (а), разности температуры между центром и пригородом в слое 0–300 м (б), вертикальных градиентов температуры в слое 0–100 м в центре и в пригороде (в). Зима

Заметим также, что преобладание в центре города практически в течение суток конвективного перемешивания ($\gamma \geq \gamma_{ca}$), очевидно, во многом связано с потерями тепла (прямыми и скрытыми) в разгар отопительного сезона.

Весна. Типовой суточный ход температуры $T(h)$ в центре Москвы в слое 0–600 м (на примере апреля), а также внутрисуточные изменения градиентов

температуры в центре и пригороде иллюстрирует рис. 4; здесь же показана разность температуры между центром и ближним пригородом ($\Delta T(h)_{ц-п}$) в слое 0–300 м.

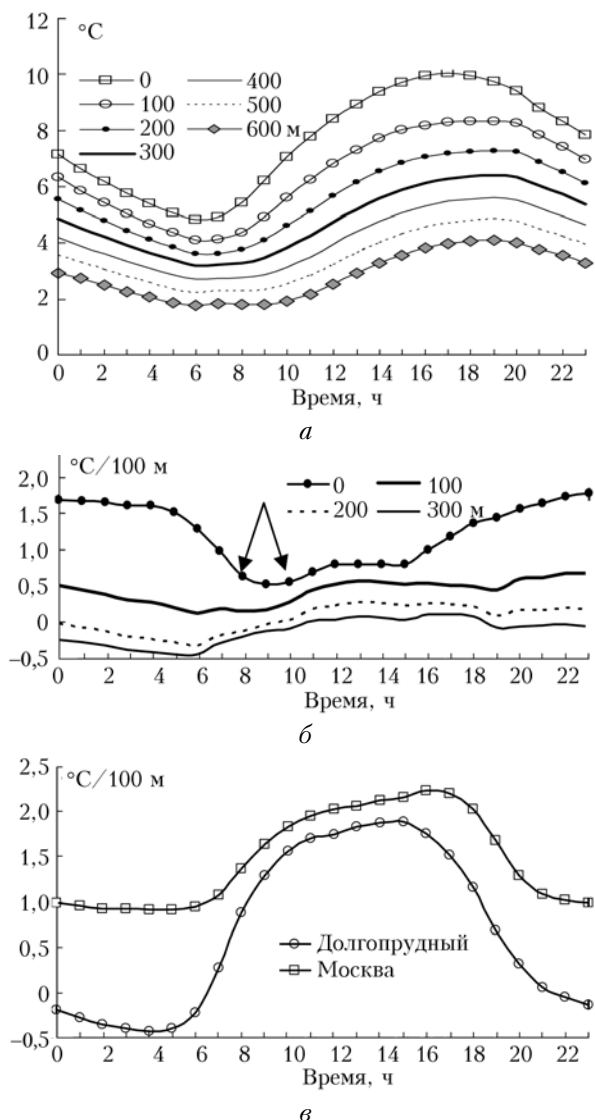


Рис. 4. Типовой суточный ход температуры в слое 0–600 м в центре Москвы (а), разности температуры между центром и пригородом в слое 0–300 м (б), вертикальных градиентов температуры в слое 0–100 м в центре и в пригороде (в). Весна

В середине апреля термическая структура атмосферного пограничного слоя перестраивается на режим теплого сезона: суточная амплитуда приземной средней месячной температуры увеличивается до 5 °C (рис. 4, а), тепловая волна распространяется до высоты 600 м, где суточная амплитуда температуры достигает почти 2 °C (такой она остается и летом). Нижний слой атмосферы (до 150–200 м) в течение суток в городе теплее, чем в окрестностях: ночью различия в приземной температуре максимальны (1,6–1,8 °C), днем они не превышают 1 °C (рис. 4, б).

Одной из особенностей термической структуры нижней атмосферы весной является ослабление (по сравнению с зимой) ночной «линзы холода» над центральной частью мегаполиса. Она образуется в слое 200–300 м и выражена в основном с 3:00 до 6:00. Другой отличительной чертой весеннего режима является нехарактерный ни для какого другого месяца утренний «провал» в суточном ходе $\Delta T(h)_{ц-п}$ (рис. 4, б, стрелка), с 8:00 до 10:00 величина разности приземной температуры между центром города и пригородом достигает суточного минимума. По-видимому, это является следствием ослабления в городе притока солнечной радиации из-за повышенного содержания аэрозоля. Известно, что в первые месяцы весны с еще не защищенной растительным покровом подстилающей поверхности в городской воздух попадает большое количество аэрозоля; в дополуночное время наблюдается значительное увеличение мутности атмосферы [12].

Возможно, определенную роль в уменьшении притока солнечной радиации на подстилающую поверхность в городе играют и антропогенные газы, суточный максимум которых приходится именно на указанные часы. Но следует отметить, что значительного накопления газовых примесей в приземном слое из-за преобладающих умеренных скоростей переноса воздушных масс в апреле не происходит; с нашей точки зрения антропогенные газы оказывают более заметное влияние летом.

В апреле наблюдаются самые большие в году вертикальные градиенты температуры в приземном воздухе: в городе они достигают 2,2 °C/100 м, в окрестностях — 1,8 °C/100 м (рис. 4, в). Столь значительные градиенты температуры формируются при малом альбедо свободной от растительности подстилающей поверхности и в еще продолжающийся отопительный сезон с сопутствующими ему потерями антропогенного тепла.

Лето. Термический режим летом отличается от других сезонов прежде всего самой большой суточной амплитудой температуры (A) — у земли в среднем за месяц $A = 6$ °C, на высоте 100 м $A = 4$ °C (рис. 5, а). Уже весь нижний 300-метровый слой над центром мегаполиса в течение суток теплее окрестностей (рис. 5, б). Наибольшие контрасты температуры «центр–пригород» наблюдаются с 22:00 до 04:00, у земли в среднем за 1 мес $\Delta T(0)_{ц-п}$ приближается к 2 °C, на высоте 100 м $\Delta T(h)_{ц-п}$ около 1 °C. Ночью в центре мегаполиса — слабоустойчивая близкая к изотермии стратификация температуры (заметим, устойчивее, чем во все другие сезоны), а в окрестностях города — температурная инверсия, сохраняющаяся в среднем почти 09:00.

Другой отличительной чертой летнего сезона является нагревание в ранние утренние часы (при малых высотах солнца) слоя 100–300 м над городом. Этот радиационный эффект обнаруживается в увеличении со временем разности температуры «центр–пригород» в слое 100–300 м ($\Delta T(100-300)_{ц-п}$) при одновременном уменьшении разности приземной температуры ($\Delta T(0)_{ц-п}$). На рис. 5, б этот процесс показан стрелкой: за 3 ч (с 06:00 до 09:00)

$\Delta T(0)_{\text{ц-п}}$ уменьшается на $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, а $\Delta T(100-300)_{\text{ц-п}}$ за это время увеличивается на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

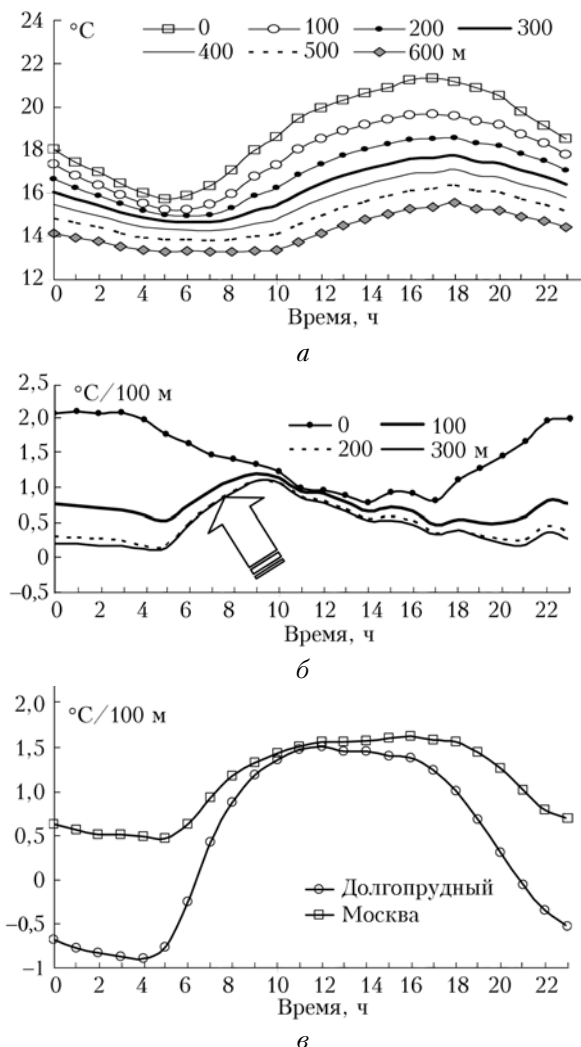


Рис. 5. Типовой суточный ход температуры в слое 0–600 м в центре Москвы (а), разности температур между центром и пригородом в слое 0–300 м (б), вертикальных градиентов температуры в слое 0–100 м в центре и в пригороде (в). Лето

Причиной нагрева приподнятого над городом слоя 100–300 м при низком солнце является, по-видимому, поглощение солнечной радиации скопившимися в этом слое газовыми примесями и аэрозолями. Отметим, летом чаще, чем в другие сезоны, в утренние часы наблюдаются слабые ветры, а также дымка или мгла [12]. При слабоустойчивой термической стратификации в нижних слоях атмосферы происходит накопление антропогенных примесей, включая водяной пар.

Очевидно, повышение летом уровня загрязнения воздушного бассейна города (с вечера до утра) является главной причиной еще одного эффекта — уменьшения вертикального градиента температуры в центре мегаполиса на фоне максимальной инсоляции (рис. 5, в). Например, в 8:00 средний градиент температуры в слое 0–100 м составляет в цен-

тре города в апреле $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$, а в июле $1,2\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$, в Долгопрудном — $0,9\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ в оба месяца.

В середине лета верхняя граница слоя перемешивания с вертикальным градиентом температуры не меньше $\gamma_{\text{са}}$ поднимается до высот 200–300 м на 1 ч позже, чем в апреле. Конвективный «прорыв пограничного слоя» и быстрое рассеивание накопленных утром примесей в июле происходят около 10:00. После этого температурные контрасты «центр–окраина» уменьшаются, интенсивное вертикальное перемешивание приводит к «сближению» газового состава в послеполуденные часы, летом в мегаполисе в эти часы отмечается главный минимум загрязнения приземного городского воздуха [13, <http://mosecom.ru/reports/>].

Осень. К середине октября термический режим АПС приобретает практически зимние черты; из-за преобладания ветреной погоды температурные контрасты «центр–пригород» меньше, чем в другие сезоны. Примерно до $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ уменьшается амплитуда среднего за 1 мес суточного хода приземной температуры, до $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ — на высоте 100 м (рис. 6, а).

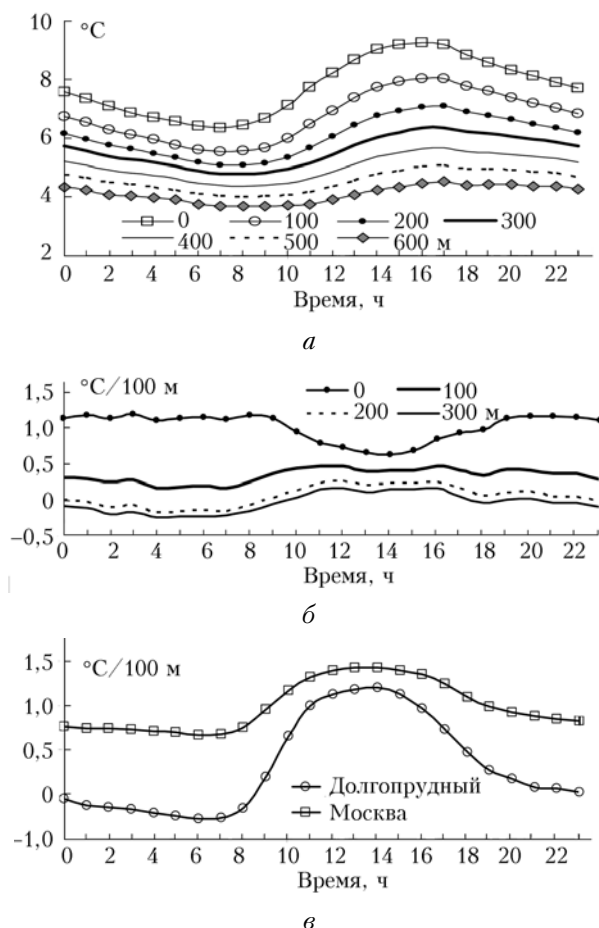


Рис. 6. Типовой суточный ход температуры в слое 0–600 м в центре Москвы (а), разности температур между центром и пригородом в слое 0–300 м (б), вертикальных градиентов температуры в слое 0–100 м в центре и в пригороде (в). Осень

В темное время суток (19:00–08:00) разность приземной температуры между центром и пригородом в среднем немного больше 1 °С (до 1,2), днем она меньше 1 °С (рис. 6, б). В среднем за 1 мес центр мегаполиса остается теплее окраин в течение всех суток в слое не выше 100–150 м.

Едва выраженные различия «центр–пригород» вполне согласуются с особенностями стратификации температуры в нижнем слое атмосферы (рис. 6, в). Во-первых, в центре мегаполиса ночной γ больше, чем в июле, и составляет в слое 0–100 м 0,7 °С/100 м. В пригороде приземный слой стратифицирован устойчиво, но инверсия менее продолжительная, чем в июле, – в среднем наблюдается с 01:00 до 08:00 с максимальным градиентом 0,3 °С/100 м в 05:00–07:00 (в июле 0,9 °С/100 м в 04:00). Днем в центре города сохраняется термическая неустойчивость, в пригороде вертикальный градиент температуры превышает сухадиабатический только с 11:00 до 16:00.

Обсуждавшиеся средние месячные характеристики дают общее представление о термической неоднородности пограничного слоя в мегаполисе. При этом надо учитывать, что пригородный пункт измерения МТП-5 (г. Долгопрудный) находится в зоне распространения теплового шлейфа Москвы [7], а измерения МТП-5 на здании Гидрометцентра России отражают термическое состояние в наиболее теплой части Москвы, хотя центр городского острова тепла находится юго-восточнее. По нашим расчетам (2007–2009 гг.), средняя годовая приземная температура на метеостанции Балчуг (юго-восток центра Москвы) на 0,65 °С больше, а на метеостанции ВДНХ (север города) на 0,6 °С меньше, чем в районе Гидрометцентра России, по измерениям МТП-5 на нижнем уровне ($h = 0$).

Заключение

Средние годовые температурные характеристики, полученные по измерениям МТП-5 в центре и на окраине Москвы, в Красноярске и в Нижнем Новгороде, показывают, что процессы теплообмена в АПС в больших городах при общих закономерностях имеют локальные особенности, отражая влияние топографических факторов и воздействие антропогенных источников тепла и влаги, а также газового и аэрозольного загрязнения.

Суммарное влияние большого города на термическую структуру нижних слоев атмосферы проявляется в средних за 1 мес характеристиках температуры, полученных по измерениям прибором МТП-5, выражается в усилении термической неустойчивости в центре и образовании значительной неоднородности поля температуры. В холодный (отопительный) сезон повторяемость градиентов температуры $\gamma > \gamma_{ca}$ в слое 0–100 м в центре мегаполиса почти в 2 раза больше, чем в пригороде (около 90 и 45% соответственно), летом – в 1,5 ра-

за (примерно 60 и 40%). Частота приземной инверсии температуры в центре мегаполиса не превышает 3–5%, что в 5–8 раз меньше повторяемости в пригороде.

Весной и летом из-за увеличения повторяемости условий для накопления примесей наблюдается нагревание загрязненных нижних слоев городской атмосферы при малых высотах солнца, способствующее усилению термической устойчивости и ослаблению вертикального перемешивания в утренние часы.

Высота купола городского тепла колеблется от 100 м зимой до 300–500 м летом. В холодный сезон над ночным островом тепла образуется «линза холода», указывающая на усиление термической неустойчивости и вертикального обмена над центром мегаполиса.

Выражаем признательность Гидрометеобюро Москвы и Московской области за предоставленные данные, за организацию и многолетнее сопровождение измерений приборами МТП-5.

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ (проекты № 11-05-91061-НЦНИ-а, 11-05-01144-а).

1. *Типовые* характеристики нижнего 300-метрового слоя атмосферы по измерениям на высотной мачте / Под ред. Н.Л. Бызовой. М.: Гидрометеиздат, 1982. 68 с.
2. *Кадыгров Е.Н.* Микроволновая радиометрия атмосферного пограничного слоя: метод, аппаратура, результаты измерений // Оптика атмосф. и океана. 2009. Т. 22, № 7. С. 697–704.
3. *Ferrario M.E., Rossa A., Pernigotti D., Sansone M., Benassi A.* Presentation and first assessment of a radiometer network in the Italian region Veneto // Preprints of 6-th International Conference on Urban Climate. Goteborg, Sweden. 2006. P. 288–291.
4. *Kadygrov E.N., Koldaev A.V., Argenti S., Conidi A.* A New Microwave Temperature Profiler-First Measurements in Polar Regions // Proc. Thirteenth Science Team Meeting. Droomfield, Colorado, March 31–April 4, 2003 (http://www.arm.gov/publications/proceeding/conf13/extended_abs/kadygrov-en.pdf)
5. *Кадыгров Е.Н., Кузнецова И.Н., Голицын Г.С.* Остров тепла в пограничном слое атмосферы над большим городом: новые результаты на основе дистанционных данных // Докл. РАН. 2002. Т. 385, № 4. С. 541–548.
6. *Кузнецова И.Н., Хайкин М.Н., Кадыгров Е.Н.* Влияние городской среды на температуру в пограничном слое атмосферы по данным микроволновых измерений в Москве и окрестностях // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 2004. Т. 40, № 5. С. 678–688.
7. *Кузнецова И.Н., Нахаев М.И.* Сезонные особенности термической структуры нижних слоев атмосферы в Московском мегаполисе по данным микроволновых измерений температуры // 80 лет Гидрометцентру России. М.: ТРИАДА ЛТД., 2010. С. 389–400.
8. *Оке Т.Р.* Климат пограничного слоя. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 248 с.
9. *Voogt J.A., Oke T.R.* Thermal remote sensing of urban areas // Remote Sens. Environ. 2003. V. 86, iss. 3. P. 370–384.
10. *Антонович В.В., Белан Б.Д., Козлов А.В., Пестунов Д.А., Фофанов А.В.* Выделение вклада города в

- изменение термодинамических характеристик воздуха на примере г. Томска // Оптика атмосф. и океана. 2005. Т. 18, № 8. С. 638–642.
11. Кузнецова И.Н., Нахаев М.И., Шалыгина И.Ю., Лезина Е.А. Метеорологические предпосылки формирования зимних эпизодов высокого загрязнения воздуха в г. Москва // Метеорол. и гидрол. 2008. № 3. С. 48–59.
12. Справочник эколого-климатических характеристик г. Москвы (по наблюдениям Метеорологической обсерватории МГУ). М.: Изд-во МГУ. 2003. Т. 1. 308 с.
13. Горчаков Г.И., Семутникова Е.Г., Зоткин Е.В., Карпов А.В., Лезина Е.А., Ульяновко А.В. Вариации газовых компонент загрязнения в воздушном бассейне г. Москвы // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 2006. Т. 42, № 2. С. 176–190.

I.N. Kuznetsova, E.N. Kadygrov, E.A. Miller, M.I. Nakhaev. Characteristics of lowest 600 m atmospheric layer temperature on the basis of MTP-5 profiler data.

The mean temperature characteristics of the lowest 600 atmospheric layer in Moscow and Moscow suburbs for the period of 2004–2009 are presented. Measurement data were from two microwave temperature profiles. One profil was in operation at the central part of Moscow, second – in the suburb (Dolgoprudny). It was shown that total influence of megacity on the atmospheric boundary layer thermal structure is well indicated by data about monthly mean characteristics of temperature, expressed in a big inhomogeneity of temperature field and in the increase of thermal fluctuation in the central part of the megacity.