

Анализ межсезонных и межгодовых особенностей температурной стратификации городского острова тепла

Е.А. Миллер¹, Е.А. Воробьева², Е.Н. Кадыгров^{1*}

¹Государственное учреждение «Центральная аэрологическая обсерватория»

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

²Московский физико-технический институт

141700, г. Долгопрудный, Московская обл., Институтский пер., 7

Поступила в редакцию 21.01.2009 г.

Приведены результаты исследования термического режима нижней части пограничного слоя атмосферы над центром Москвы и пригородом (г. Долгопрудный). Данные о профилях температуры были получены в 2006–2007 гг. с помощью микроволновых температурных профиломеров МТП-5. По результатам измерений МТП-5 приборов были построены высотно-температурные распределения частоты обнаружения определенных значений градиентов и получены статистически обоснованные результаты особенностей в пространственно-высотных характеристиках температурной стратификации. Определены характерные высоты и количественные характеристики различий в центре и на окраине мегаполиса для высотных температурных градиентов каждого из сезонов. Анализ повторяемости инверсий по срокам суток с точки зрения межсезонных различий ставит вопросы о природе устойчивости различий для центра мегаполиса и его окраин.

Ключевые слова: городской остров тепла, микроволновый температурный профиломер, пограничный слой атмосферы.

Введение

Исследованиям городского «острова тепла» и его влияния на характеристики пограничного слоя атмосферы (ПСА) в последние годы посвящено достаточно большое количество работ [1]. Для анализа межгодовых и сезонных особенностей влияния мегаполиса на характеристики температурной стратификации пограничного слоя атмосферы требуются длинные временные ряды данных для максимально доступных высот. Возможность получать при этом и пространственно распределенные результаты измерений является дополнительным преимуществом.

Обеспечить такую полноту данных об особенностях температурной стратификации в районе Москвы позволяют дистанционные метеорологические температурные профиломеры МТП-5, установленные как в центре города (район Красной Пресни), так и за пределами мегаполиса (в г. Долгопрудном на территории Центральной аэрологической обсерватории). Прибор МТП-5, измеряющий собственное тепловое излучение атмосферы на длине волны 5 мм, позволяет получать синхронные профили температуры с разрешением по вертикали 50 м каждые 5 мин [2, 3]. Оба прибора установлены на крышах зданий и направлены в сторону открытого пространства, в Долгопрудном — это низкие здания и лесной массив, а в центре Москвы — крыши домов.

* Евгений Алланович Миллер (src_attex@mtu-net.ru);
Екатерина Александровна Воробьева (ekattex@mail.ru);
Евгений Николаевич Кадыгров (src_attex@mtu-net.ru).

Подготовка первичных данных

Результаты измерений профилей температуры, полученные с помощью приборов МТП-5, ранее неоднократно использовались в работах по исследованию пространственно-временной неоднородности температурной стратификации в районе мегаполиса [4, 5]. В данной статье проведен анализ изменчивости распределения температурных градиентов для двух сезонов — зимнего и летнего 2006 и 2007 гг.

На первом этапе обработки данных по всем рядам были рассчитаны среднечасовые значения. Существенных различий как в динамике температурных рядов, так и в диапазоне измеренных температур для каждого из сезонов между мегаполисом и пригородом замечено не было. Следует отметить, что межгодовые отличия ярко выражены для зимнего периода наблюдений [6, 7]. Зима 2006 г. была холоднее, и перепады температур имели большую амплитуду, например с 15 по 19 января. В летние месяцы измерений средние температуры существенно не различались между собой. Изменение температуры лежало в пределах от 5 до 30 °С в оба срока. Кроме того, в летний период ярко выражена суточная изменчивость температуры для всех высот в диапазоне от 0 до 600 м. Для зимнего периода суточная изменчивость температуры имела не только меньшие амплитуды, но и распространялась до более низких высот по сравнению с летними профилями.

При дальнейшей обработке временные ряды данных были синхронизированы и из них были

исключены интервалы технологических перерывов в измерениях. Данные, представленные в таблице, показывают общее количество профилей, использованное в обработке данных.

Число обработанных профилей		
Год	Месяц	Количество профилей
2006	Январь	744
	Февраль	672
	Июль	372
	Август	677
2007	Январь	515
	Февраль	387
	Июнь	453
	Июль	416
	Август	637

На следующем этапе подготовки данных рассчитывались характеристики инверсий, такие как высота инверсии, высота нижней границы и мощность инверсии. Определялись сроки и продолжительность периодов наблюдения профилей с температурной инверсией. В качестве примера на рис. 1 показана сравнительная динамика инверсий в Москве и Долгопрудном в период с 1 по 8 января 2006 г.

Ряды данных с характеристиками инверсий позволили посчитать статистическое распределение слу-

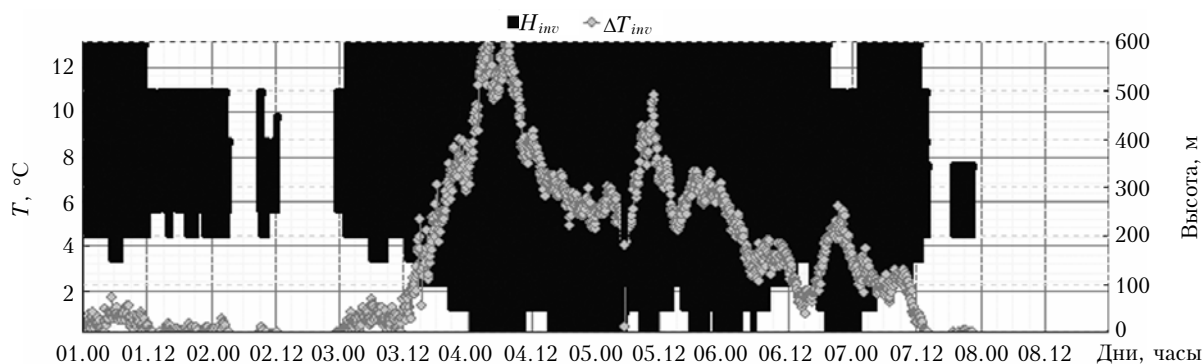
чаев наблюдения профилей с температурной инверсией на определенный срок суток.

Для временных рядов с профилями были посчитаны температурные градиенты на каждые 100 м как $dT = T(H_i) - T(H_{i+1})$. По этим данным были построены статистические распределения повторяемости температурных градиентов как функции высот.

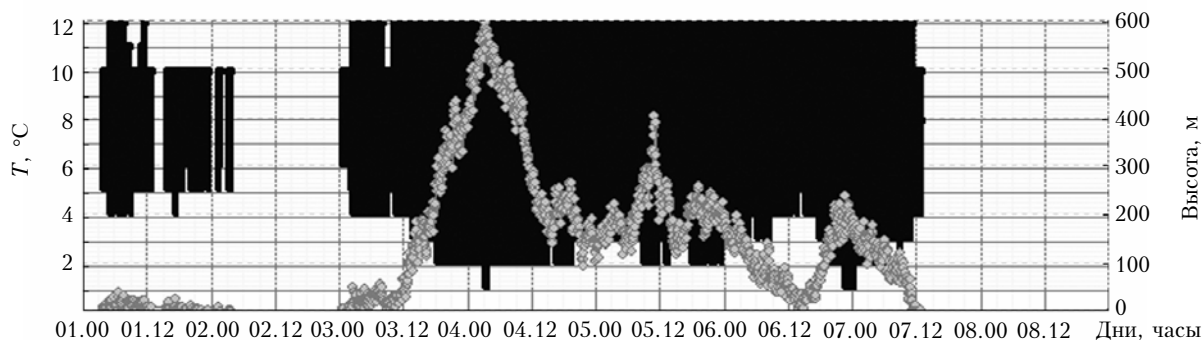
Результаты обработки

На рис. 2 представлены результаты статистического распределения повторяемости инверсий на определенный срок суток.

Видно, что количество инверсий зимой в Москве и Долгопрудном почти совпадает. Резкое различие в количестве инверсий для двух зим объясняется более теплыми зимними месяцами 2007 г., о чем говорилось ранее. Однако для летнего сезона как 2006, так и 2007 г. мы наблюдаем ярко выраженные отличия не только по частоте случаев, но и по срокам образования и разрушения наблюдаемых инверсий. Если в Долгопрудном в ночные часы количество наблюдаемых инверсий ночью почти близко к зимнему периоду, то в Москве летом количество инверсий уменьшается почти в 2 раза. Летом инверсии днем почти не наблюдаются ни в пригороде, ни в городе. Время разрушения (образования) инверсий в Москве, как правило, на 1 ч раньше (позже).



а



б

Рис. 1. Динамика инверсионных профилей температуры в Долгопрудном (а) и Москве (б) в период с 1 по 8 января 2006 г. H_{inv} — высотная характеристика инверсионного профиля (правая шкала), ΔT_{inv} — глубина инверсии (левая шкала). В нижней части графиков — высотно-временной разрез температурного поля

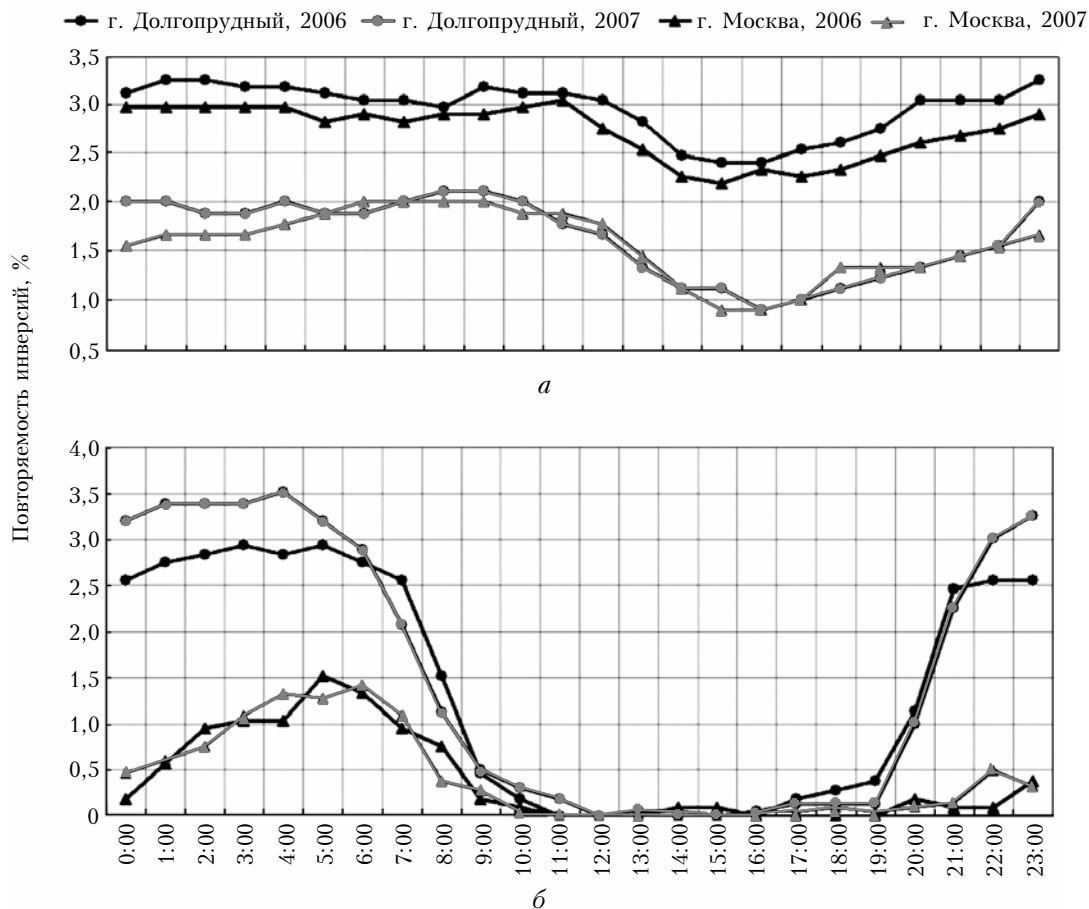


Рис. 2. Повторяемость инверсий в зависимости от времени суток для гг. Москва и Долгопрудный: *a* – зимний период; *б* – летний период 2006 и 2007 гг.

Похожий результат был получен авторами [8] для июня 2001 г. Максимальная разница в распределении пришлась на летний период. Вероятно, это связано с различием характеристик подстилающей поверхности. Следовало ожидать максимальных различий в зимний период, когда антропогенная машина мегаполиса работала на полную мощность, однако это не так. Чтобы получить лучшее представление о характере распределения температурных градиентов для периодов зимы и лета 2006 и 2007 гг., были построены матрицы статистического распределения частоты случаев обнаружения заданного градиента на заданной высоте. На рис. 3 представлены результаты построений, где цветовая шкала отражает процент случаев обнаружения определенной величины градиента dT на заданной высоте.

Характер распределения температурных градиентов имеет общую форму для Москвы и Долгопрудного в каждый из сезонов. Между сезонными распределениями очевиден контраст формы. Межсезонные различия становятся очевидней, если использовать полученные результаты и разделить между собой распределение градиентов, соответствующих инверсному профилю и адиабатическому. На рис. 4, *a*, *б* представлены результаты сравнения распределения случаев обнаружения инверсных градиентов как функции высоты.

Из рис. 4, *a* видно, что во время теплой зимы в 2007 г. отмечено меньше инверсных градиентов, чем в 2006 г.

В городе до высот 200 м инверсные градиенты зимой практически не наблюдаются в отличие от пригорода. Выше 300 м разница между распределением для мегаполиса и пригорода становится незначительной. Выше 400 м число случаев с инверсными градиентами уменьшается. Рис. 4, *б* показывает, что распределения инверсных температурных градиентов летом сильно отличаются по типу от распределений, характерных для зимы. Появляются профили с отрицательными градиентами в нижнем слое ПСА у мегаполиса, при этом наблюдается явное различие по количеству с пригородом. Общим и для зимы, и для лета остается уменьшение к минимальным значениям разницы в распределении температурных градиентов отрицательной величины для слоев выше 300 м. На рис. 4, *в*, *г* представлены распределения положительных градиентов температурных профилей для разных сезонов в 2006 и 2007 гг., полученные как суммы положительных градиентов в распределениях (см. рис. 3) для высот 0–600 м. Как и для отрицательных градиентов, разница в распределении выше 300 м незначительна. При этом число положительных градиентов температурной стратификации в мегаполисе (Москва)

зимой больше, чем в пригороде (Долгопрудный). Для положительных градиентов летом при изменен-

ной форме распределения сохраняются общие характеристики с описанными ранее случаями.

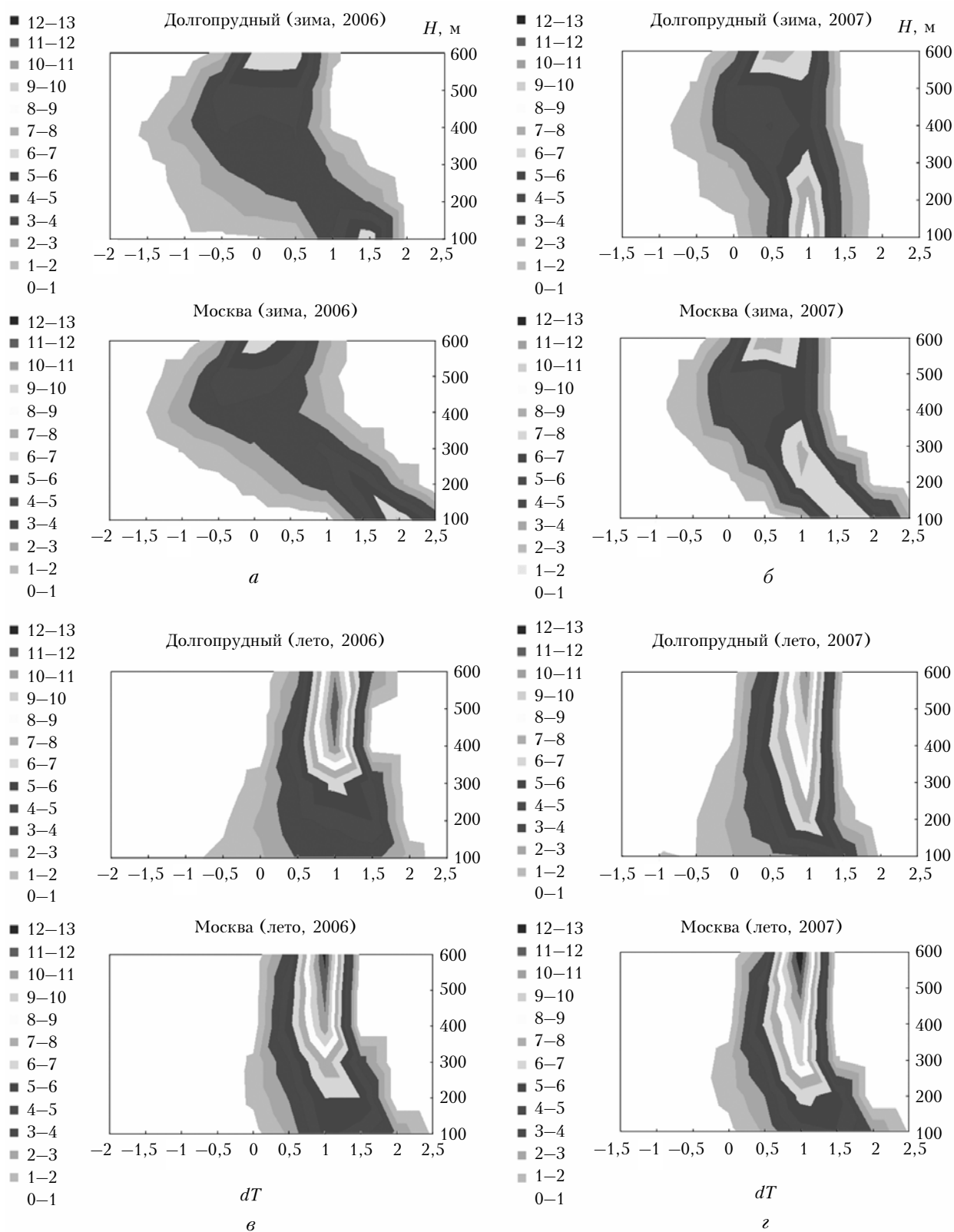


Рис. 3. Статистическое распределение температурных градиентов для гг. Москва и Долгопрудный: *а* – зима 2006 г.; *б* – зима 2007 г.; *в* – лето 2006 г. и *г* – лето 2007 г.

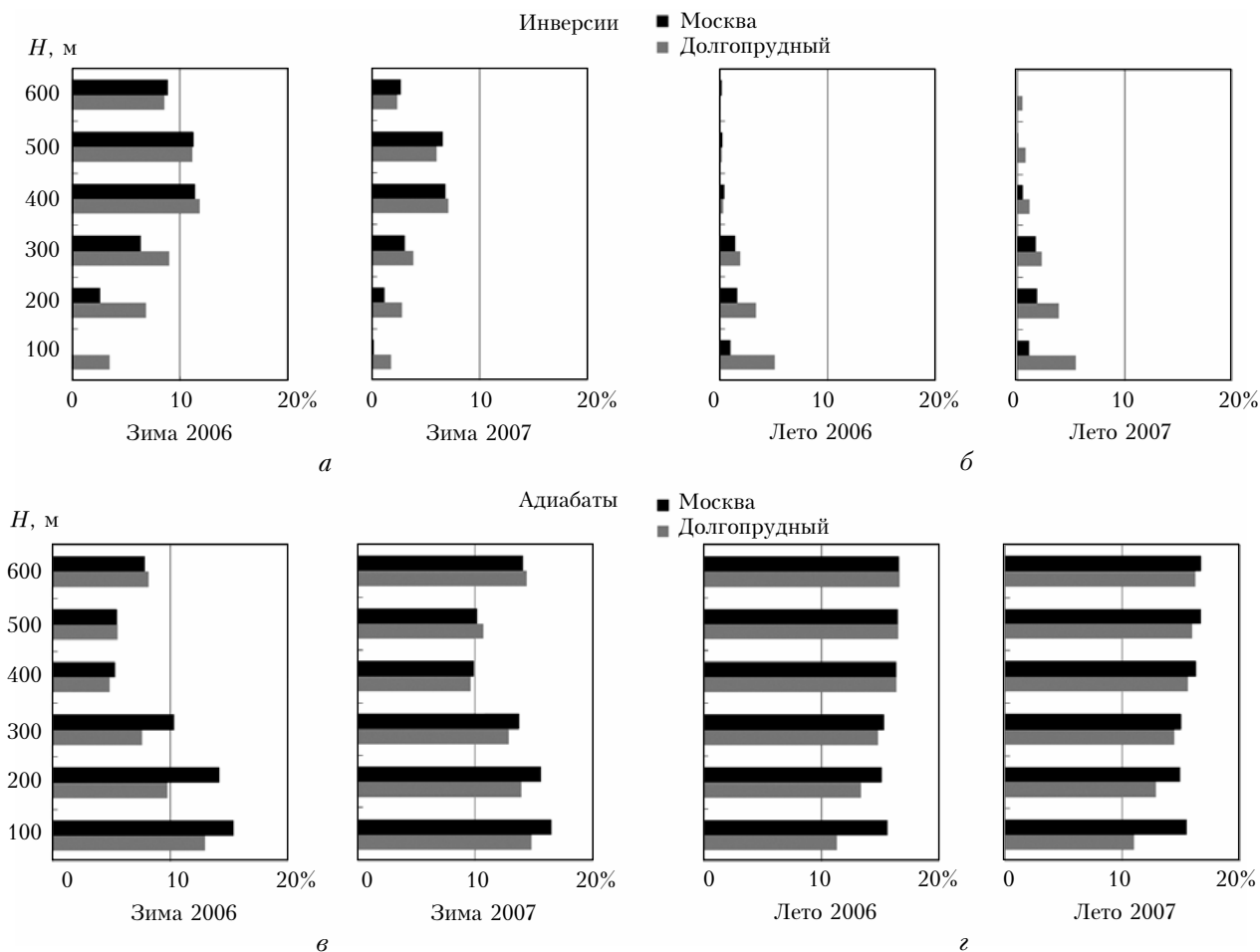


Рис. 4. Распределение температурных градиентов для гг. Москва и Долгопрудный по высоте: *а, б* – отрицательные градиенты; *в, з* – положительные градиенты

Заключение

В работе использовались данные температурно-зондирования пограничного слоя атмосферы, полученные с применением микроволновых температурных профиломеров МТП-5. Уникальные возможности этих приборов позволили получить непрерывные ряды данных о температурной стратификации, отражающие особенности межгодовых и сезонных различий термического режима пограничного слоя атмосферы мегаполиса и его пригорода. Наиболее выражены эти различия для условий интенсивного радиационного прогрева и выхолаживания в период летних сезонов 2006–2007 гг. Анализ повторяемости инверсий по срокам суток с точки зрения межсезонных различий ставит вопросы о природе различий в устойчивости ПСА для центра мегаполиса и его окраин. Возможно, это связано с различием характеристик подстилающей поверхности.

При исследовании температурной стратификации в условиях Московского мегаполиса и на его окраинах нас интересовал вопрос о характерных высотах пограничного слоя атмосферы, на которых сказывается влияние температурной неоднородности острова тепла. В первую очередь нас интересовала

сезонная зависимость, и, кроме того, имея достаточно длинные ряды данных в своем распоряжении, мы могли оценить межгодовые различия особенностей температурной стратификации. По результатам анализа градиентных распределений можно говорить об уменьшении различий выше 300 м вне зависимости от особенностей межгодовых и межсезонных различий.

Авторы выражают благодарность коллегам А.В. Колдаеву и А.В. Троицкому за полезные обсуждения результатов данной работы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 08-05-00213а).

1. Оке Т.Р. Климат пограничного слоя. Л.: Гидрометеоиздат, 1982. 248 с.
2. Troitsky A.V., Gaikovich K.P., Gromov V.D., Kadygrov E.N., Kosov A.S. Thermal sounding of the atmospheric boundary layer in the oxygen band center at 60 GHz // IEEE Trans. on Geosci. and Remote Sens. 1993. V. 31. N 1. P. 116–120.
3. Kadygrov E.N., Pick D.R. The potential for temperature retrieval from an angular-scanning single-channel microwave radiometer and some comparison with *in situ* observations // Meteorol. Appl. 1998. N 5. P. 393–404.

4. *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.
5. *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. атмосфер. и океана. 2004. Т. 40. № 5. С. 678–688.
6. *Khaikine M.N., Kuznetsova I.N., Kadygrov E.N., Miller E.A.* Investigation of thermal-spatial parameters of an urban heat island on the basis of passive microwave remote sensing // Theor. Appl. Climatol. 2006. V. 84. N 1–3. P. 161–169.
7. *Воробьева Е.А., Миллер Е.А.* Анализ межсезонных особенностей температурной стратификации в условиях городского острова тепла и на его окраинах: Тезисы докл. // XV Рабочая группа «Аэрозоли Сибири». Томск, ноябрь 2008. С. 40–41.
8. *Kuznetsova I.N., Kadygrov E.N., Khaikine M.N.* Investigation of megapolicy influence to the atmospheric boundary layer on the basis of passive microwave remote sensing data // ICUC-5. Lodz. Poland. September, 2003.

E.A. Miller, E.A. Vorobyeva, E.N. Kadygrov. **Study of seasonal and interannual features of temperature stratification of urban heat islands.**

This report presents the investigation results of thermal regime of lower atmospheric boundary layer (ABL) above Moscow city (central part) and its suburb (Dolgoprudny). The data were obtained by means of the passive microwave radiometers MTP-5. The period under observation was 2006–2007. Using this data, the height-temperature distributions of the frequency of particular height gradients was calculated. The statistically grounded results about the differences in features of spatial-height characteristics of thermal stratifications were obtained. The typical heights and numerical characteristics of differences between Moscow center and suburb temperature gradients for each season were obtained.