

О.Р. Драничер, асп.

Одесский государственный экологический университет

ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ ПОТОКОВ ТЕПЛА НА ФОРМИРОВАНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НАД МЕГАПОЛИСОМ ПАРИЖ

С помощью модели численного прогноза погоды Enviro-HIRLAM получена оценка влияния антропогенных потоков тепла на метеорологические поля над мегаполисом Париж. Выполнено два краткосрочных численных эксперимента: контрольный и с модификацией параметра в схеме подстилающей поверхности. Результаты анализируются на основе суточного хода метеорологических величин и их различий в двух экспериментах для городской, пригородной и сельской местности.

Ключевые слова: антропогенные потоки тепла, городской остров тепла, схема параметризации подстилающей поверхности.

Введение. Антропогенные потоки тепла (АПТ) включают в себя тепло, выделяемое двигателями внутреннего сгорания автомобилей, тепло, образующееся в производственных процессах, проведенное тепло через стены зданий или излучаемое непосредственно в атмосферу системами кондиционирования воздуха, а также метаболическое тепло, выделяемое людьми и животными [1].

В масштабе планеты потоки антропогенного тепла слабо влияют на глобальный температурный режим: они составляют примерно $0,03 \text{ Вт/м}^2$, что на четыре порядка меньше, чем средний приток солнечной радиации в земную климатическую систему (240 Вт/м^2). Но при концентрации этих потоков в городах, занимающих менее 0,05% поверхности Земли, их среднее значение превышает 60 Вт/м^2 , а в центре крупных мегаполисов достигает сотен Вт/м^2 и сопоставимо с потоком солнечной радиации. Антропогенные потоки тепла влияют на климат не только отдельных городов, но и целых регионов. Так, над европейским регионом они составляют $0,6 \text{ Вт/м}^2$, т.е. в несколько раз больше, чем над сушей Земли в целом [2]. Тем не менее, обычно антропогенный поток тепла исключен из климатических моделей, несмотря на его огромное локальное значение.

Среди методов изучения термодинамического режима городов численное моделирование представляется одним из наиболее эффективных. Оно позволяет оценить роль различных физических факторов, проявляющихся в крупных городах, и выделить среди них такие, которые оказывают наибольшее воздействие на метеорологический режим городов.

Основная цель – оценка влияния мегаполиса Париж на формирование метеорологических полей с использованием модели Enviro-HIRLAM и оценка роли антропогенного фактора в схеме параметризации подстилающей поверхности.

Методика исследования. Enviro-HIRLAM (Environment – High Resolution Limited Area Model – модель высокого разрешения по ограниченной территории) представляет собой систему моделирования численного прогноза погоды и атмосферного переноса химических веществ. Она применяется для научных исследований и оперативного прогнозирования как погоды, так и химической ситуации в атмосфере [3-6]. Метеорологический и химический модули решают уравнения эмиссии, адвекции, горизонтального и вертикального распространения, влажного и сухого осаждения, конвекции, химических преобразований и обратных связей для аэрозолей [3-4]. Численная реализация системы включает вложенные области для достижения более высокого разрешения, различные типы урбанизации [7-8], решение

уравнений химических преобразований, динамики аэрозолей и механизмов обратных связей [6].

Город Париж расположен в северной части центральной Франции в полуравнинной местности, в регионе Иль-де-Франс на берегах реки Сена. Париж является мегаполисом с населением 11,8 миллионов жителей (по переписи 2007 г.). Площадь города составляет около 87 тыс. км².

В ходе исследования было проведено два численных эксперимента с высоким разрешением (2,5 x 2,5 км) для даты 11 июля 2009 г. Эксперименты включали контрольную прогонку со стандартными значениями характеристик в схеме параметризации подстилающей поверхности (CTRL) и модифицированную прогонку с завышенным значением для антропогенного потока тепла составляющим 150 Вт/м² (URB).

Антропогенные потоки тепла были получены из модели LUCY (Large scale Urban Consumption of energy model), которая учитывает потоки энергии от движения транспорта, метаболизма и потребления энергии [9].

Выбор даты основывался на критерии условия малоградиентного поля в течение дня для минимизации синоптического влияния. Критериями для такого дня были ясное небо, низкая влажность, маленькая скорость и неустойчивое направление ветра, высокое атмосферное давление и горизонтально-однородное поле приземной температуры воздуха.

Модельная область с Парижем в центре, а также её характеристики представлены на рис.1 и в табл.1 соответственно.

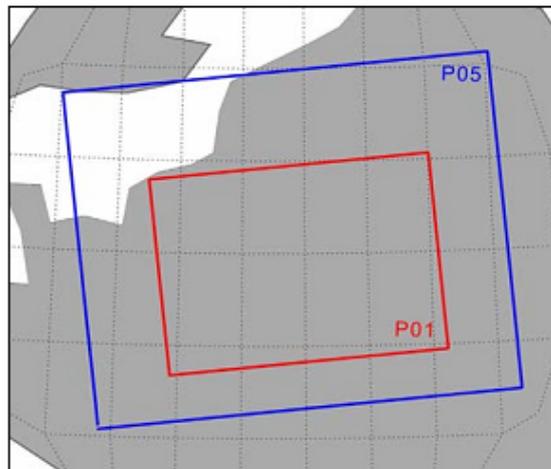


Рис.1 – Географические границы модельной области P01 для района мегаполиса Париж, расположенного в центре области.

Таблица 1 – Характеристики модельной области P01.

Горизонтальное разрешение (км)	Общее количество узлов сетки в области	Количество городских узлов сетки в области	Количество городских ячеек в области	Площадь, покрытая урбанизированными ячейками (км ²)
2.5 x 2.5	10148	580	220	1267.2

По результатам моделирования (прогноз на 24 часа) был проанализирован суточный ход метеорологических величин, таких как скорость ветра на высоте 10 м, относительная влажность и температура воздуха на высоте 2 м, а также потоков явного

и скрытого тепла у поверхности земли. Таким образом, для каждого срока по Гринвичу (далее UTC) были построены поля разницы для указанных величин (DIF), полученные путем вычитания результатов контрольной прогонки (CTRL) из результатов модифицированной (урбанизированной) прогонки (URB)

$$DIF = URB - CTRL . \quad (1)$$

Результаты исследования и их анализ. В ходе исследования была проанализирована приземная температура воздуха в трех узлах сеточной области, ближайших к станциям наблюдений расположенным в черте города и за его пределами (табл.2) для возможности последующего сравнения.

Таблица 2 – Метеорологические станции в черте города Париж и за его пределами.

Станция	Тип станции	Широта, град	Долгота, град
LNVP	Город (Urban)	48.83 °с.ш.	2.36 °в.д.
SIRTA	Пригород (Suburban)	48.72 °с.ш.	2.21 °в.д.
CHARTES	Сельская местность (Rural)	48.50 °с.ш.	1.50 °в.д.

На рис. 2 четко просматривается наличие острова тепла города (ОТГ) над Парижем, где температура воздуха превышает температуру воздуха в его окрестностях [10-12]. При контрольной прогонке величина ОТГ в среднем составила +0,9°C, а при урбанизированной URB – +1,8 °C.

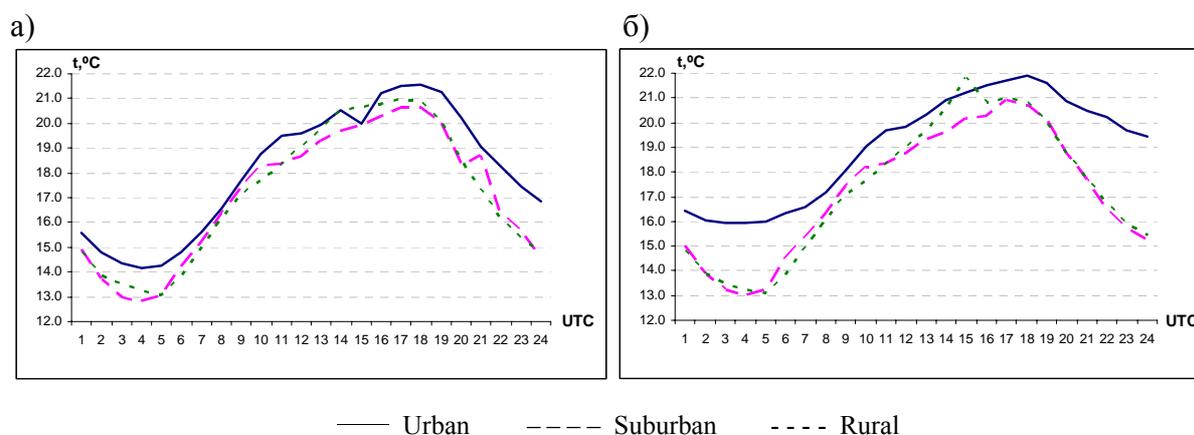


Рис.2 – Суточный ход приземной температуры воздуха в узлах сетки при контрольной прогонке CTRL (а) и модифицированной прогонке URB (б).

Суточный ход в пригородной и сельской местностях практически не различается между двумя режимами моделирования (рис.3). Наибольшая разница между двумя прогонками просматривается в суточном ходе приземной температуры над городской местностью в периоды 01-09 и 20-24 UTC с максимумами 1,8°C в 04 UTC и 2,6 °C в 24 UTC соответственно. Таким образом, включение в модель антропогенных потоков тепла увеличило приземную температуру воздуха в городе в среднем на 1°C.

Анализ результатов контрольной и модифицированной (урбанизированной) прогонок показал различную степень модификации метеорологических полей над мегаполисом Париж и его окрестностями.

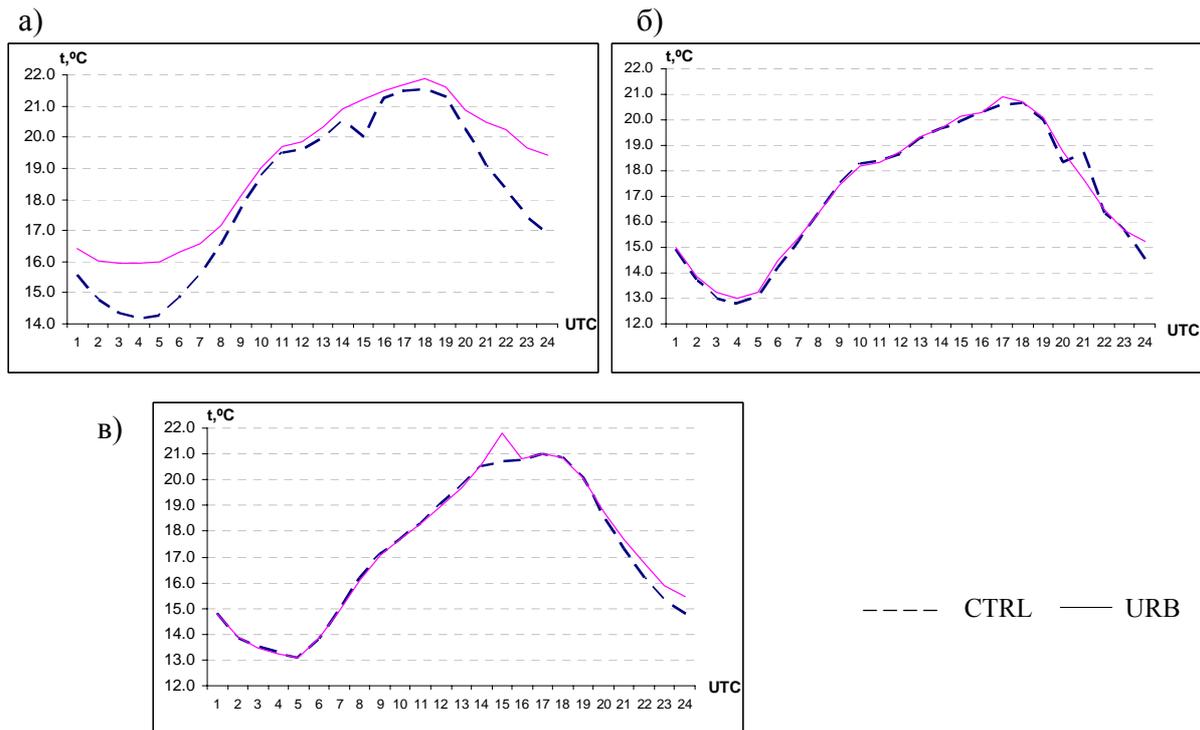


Рис.3- Суточный ход приземной температуры воздуха на городской (Urban) (а), пригородной (Suburban) (б) и сельской (Rural) (в) местности при двух режимах прогонки: контрольной CTRL и урбанизированной URB.

Приземная температура воздуха выше в урбанизированной прогонке. Наибольшие изменения, в зависимости от доли урбанизации в каждой ячейке сетки, произошли над районом мегаполиса.

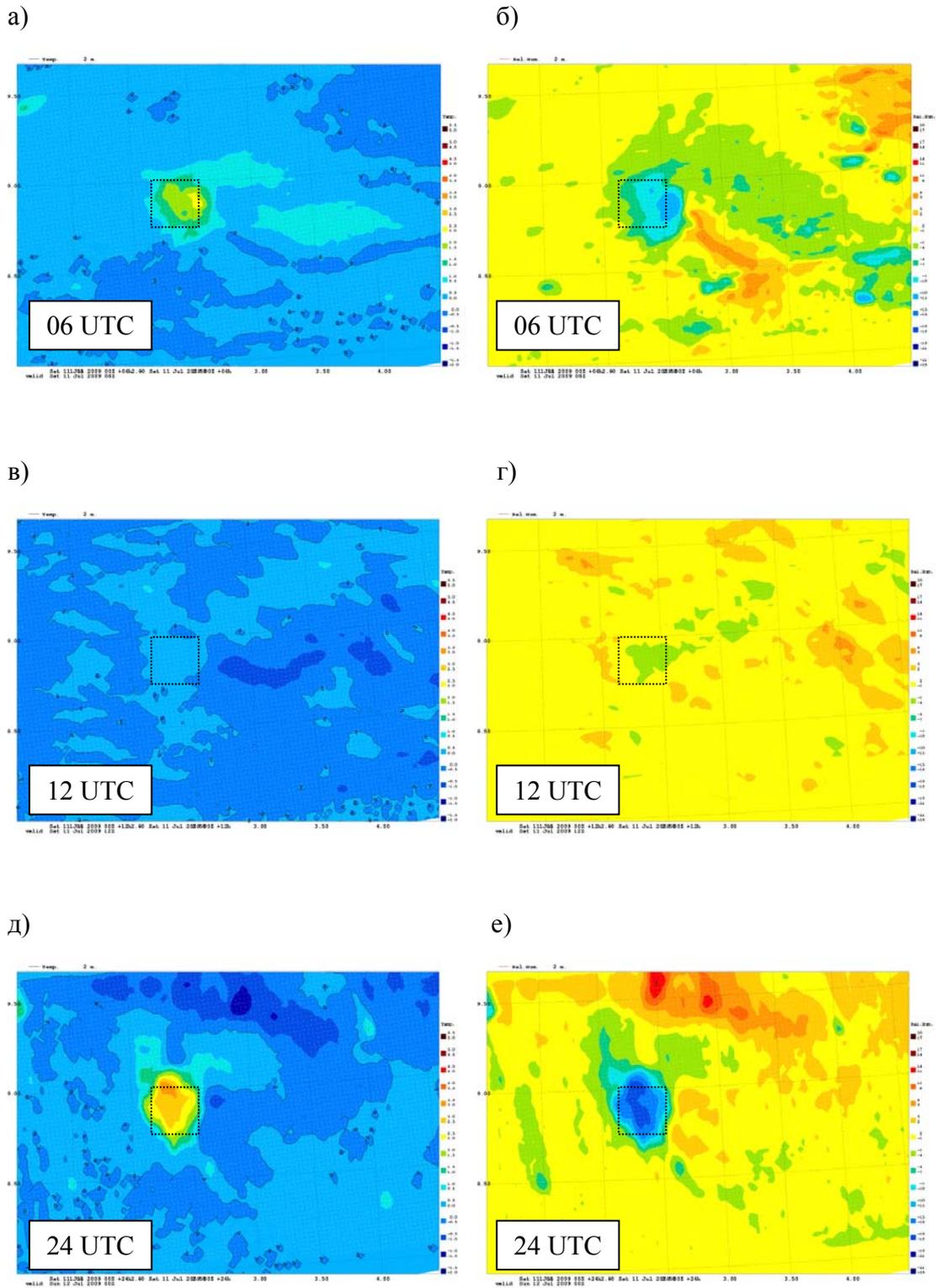
Так в периоды 00-09 и 20-24 UTC в полях приземной температуры воздуха наблюдается ОТГ с наибольшей интенсивностью в ночное время и ранние утренние часы. Очевидно, это связано с более медленным выделением тепла от городской инфраструктуры по сравнению с сельской местностью или дополнительным выделением тепла за счет антропогенных источников (рис.4 а,в,д). Температура воздуха в городе в среднем на 0,6–2,5 °C выше по сравнению с его окрестностями. С 03 по 06 UTC ОТГ вытягивается на восток по направлению ветра.

В поле влажности город проявляет себя как "остров сухости". Влажность воздуха в крупном городе ниже, чем в окрестностях. Это связано с повышением температуры и общим снижением содержания влаги в атмосфере над городом в результате уменьшения испарения с подстилающей поверхности.

Острова сухости для относительной влажности прослеживаются в периоды 00-06 и 21-24 UTC. Наибольший контраст влажности в системе город — окрестности наблюдается в вечернее время (максимумом в 24 UTC). Учет влияния АПТ приводит к уменьшению относительной влажности в среднем на 7,5% (рис. 4 б,г,е).

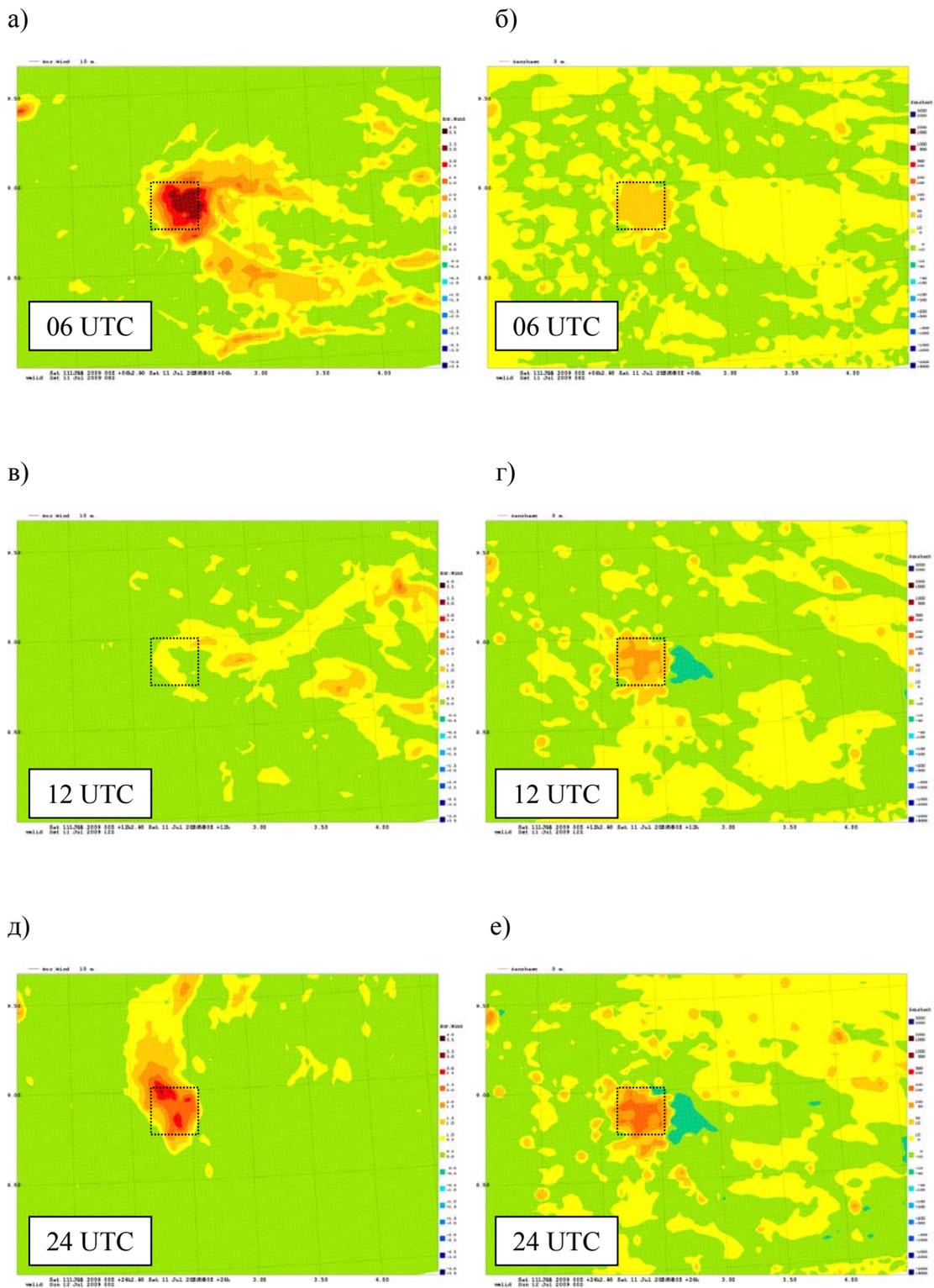
Ветровой режим над городом и его окрестностями характеризуется формированием местной циркуляции. При слабых ветрах до 2-3 м/с у поверхности земли может возникнуть поток холодного воздуха, направленного к "острову тепла", а у вершины "острова тепла" формируется поток теплого воздуха к окраинам города.

Различия между двумя экспериментами в поле скорости приземного ветра составила в среднем 2,5 м/с. Наибольшие различия наблюдаются в периоды 00-06 UTC (максимум 4 м/с в 03 UTC) и 20-24 UTC (максимум 5 м/с в 22 UTC) (рис.5 а,в,д).



--- схематическое месторасположение г.Париж

Рис.4 – Поля различий между контрольной и модифицированной прогонками для приземной температуры воздуха (а, в, д) и относительной влажности (б, г, е) на 11.07.2009.



--- схематическое месторасположение г.Париж

Рис. 5 – Поля различий между контрольной и модифицированной прогонками для скорости приземного ветра (а, в, д) и потоков явного тепла (б, г, е) на 11.07.2009.

Для потоков явного тепла аккумуляция происходит на протяжении суток и достигает величины 300 Вт/м^2 к сроку 24 UTC (рис.5 б,г,е). В результатах, полученных для потоков скрытого тепла, значимых различий не наблюдается.

Выводы. Антропогенные потоки тепла представляют компонент энергетического баланса города, который практически отсутствует в сельской местности. По результатам моделирования установлено, что учет фактических свойств города, изменяет структуру метеорологических полей в приземного слое, и наиболее ярко проявляется в ночные и ранние утренние часы. Наиболее чувствительна к антропогенным изменениям характеристик подстилающей поверхности приземная температура воздуха. Включение АПТ в моделирование повышает температуру воздуха над городом, увеличивает потоки явного тепла в атмосферу и тем самым приводит к образованию городского острова тепла в ночное время и ранние утренние часы. В островах тепла увеличивается скорость ветра и из-за уменьшения испарения на застроенных участках снижается относительная влажность воздуха. Значимых изменений в потоках скрытого тепла при этом не наблюдается.

Полученные количественные характеристики метеорологических параметров соответствуют литературным данным [7-8].

Приведенные выше и кратко проанализированные данные моделирования позволяют уточнить ряд представлений об особенностях и закономерностях формирования метеорологического режима большого города. В дальнейшем должно проводиться более детальное изучение чувствительности метеорологических полей к выбору параметров в схеме параметризации подстилающей поверхности.

Благодарности. Данная работа была выполнена в рамках программы международной летней школы молодых ученых YSSS-2011 “*Integrated Modelling of Meteorological and Chemical Transport Processes / Impact of Chemical Weather on Numerical Weather Prediction and Climate Modelling*” (ОГЭКУ, Одесса, Украина, 3-9 июля 2011г.), и в, частности, в рамках научно-исследовательского проекта «*The Influence of Metropolitan Areas on Meteorology*» (http://www.ysss.osenu.org.ua/files/files/031/cf_files/ysss2011_exercise-urban.pdf).

Автор выражает благодарность организаторам летней школы за возможность использования полученных результатов в публикации. Автор благодарен коллегам по проекту - А. Муес (Свободный университет Берлина, Германия), Х. Торосу (Стамбульский технический университет, Турция) и Н. Головатюку (Одесский государственный экологический университет (ОГЭКУ) Украина) - за советы и научные обсуждения. Автор благодарен также А. Мазеикису (Вильнюсский университет, Литва) за техническую помощь при моделировании на Enviro-HIRLAM; А. Махуре (Датский метеорологический институт, г. Копенгаген) и С. Иванову (ОГЭКУ) за ценные замечания и комментарии.

Список литературы

1. Sugawara H, Narita K. Roughness length for heat over an urban canopy // *Theoretical and Applied Climatology*. – 2009. – №95. – P. 291-299.
2. Тепло больших городов // Электронное издание «Наука и технологии России». http://strf.ru/material.aspx?CatalogId=221&d_no=24229
3. Korsholm U.S. Integrated modeling of aerosol indirect effects. Development and application of an online coupled chemical weather model. PhD thesis. – 2009. <http://www.dmi.dk/dmi/sr09-01.pdf>

4. Korsholm U. S., Baklanov A., Gross A., Mahura A., Sass B. H., Kaas E. Online coupled chemical weather forecasting based on HIRLAM – overview and prospective of Enviro-HIRLAM // HIRLAM Newsletter.- 2008. -№ 54. - P.151-168.
5. Baklanov A., Grimmond S., Mahura A., Athanassiadou M. Meteorological and air quality models for urban areas. Springer DOI 10.1007/978-3-642-00298-4. – 2009.
6. Baklanov A., Korsholm U., Mahura A., Petersen C., Gross A. ENVIRO-HIRLAM: on-line coupled modelling of urban meteorology and air pollution. Adv. Sci. Res., – 2008. – №2, – P. 41-46.
7. Baklanov A., Mahura A., Nielsen N.W., Petersen C. Approaches for urbanization of DMI-HIRLAM NWP model // HIRLAM Newsletter. – 2005. – №49. – P. 61-75.
8. Mahura A., Petersen C., Baklanov A., Amstrup B., Korsholm U.S., Sattler K. Verification of long-term DMI-HIRLAM NWP model runs using urbanization and building effect parameterization modules // HIRLAM Newsletter. – 2008. – №53. – P. 50-60.
9. Allen L., Beevers S., Lindberg F., Iannarino M., Kitiwiron N., Grimmond G.S.B. Global to city scale urban anthropogenic heat flux: model and variability // Scientific Report. – 2010. – P. 1-87. http://megapoli.dmi.dk/publ/MEGAPOLI_sr10-01.pdf
10. Ландсберг Г.Е. Климат города: Пер. с англ. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 248с.
11. Оке Т.Р. Климаты пограничного слоя: Пер. с англ. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 360с.
12. Маринин И.Л. Енгальчева О.Р. Основне характеристики и пространственное распределение острова тепла г. Одесса // Вісник Державного Одеського Екологічного університету. –2010. –№10. – С. 135-142.

Вплив антропогенних потоків тепла на формування метеорологічних полів над мегаполісом Париж. Дранічер О.Р.

За допомогою моделі чисельного прогнозу погоди (ЧПП) Enviro-HIRLAM отримана оцінка впливу антропогенних потоків тепла на метеорологічні поля над мегаполісом Париж. Виконано два короткострокових чисельних експерименту: контрольний і з модифікацією параметра в схемі підстильної поверхні. Результати аналізуються на основі добового ходу метеорологічних величин та їх відмінностей в двох експериментах для міської, приміської та сільської місцевості.

Ключові слова: антропогенні потоки тепла, міський острів тепла, схема параметризації підстильної поверхні.

The influence of the anthropogenic heat fluxes on the meteorological fields formation over the metropolitan area of Paris. Dranicher O.R.

The estimate of anthropogenic heat fluxes influence on meteorological fields over the metropolitan area of Paris is performed by the numerical weather prediction model Enviro-HIRLAM. The control and land-surface modified runs have been tested. The simulated outputs are evaluated for a diurnal cycle of meteorological variables and their differences between two runs for the urban, suburban and rural area.

Key words: anthropogenic heat fluxes, urban heat island, land surface parameterization.