

В.В. Антонович, Б.Д. Белан, А.В. Козлов, Д.А. Пестунов, А.В. Фофонов

Выделение вклада города в изменение термодинамических характеристик воздуха на примере г. Томска

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 6.06.2005 г.

Делается попытка выделения вклада города в изменение термодинамических характеристик воздуха. Для этого используются два полигона, расположенных с наветренной и подветренной сторон г. Томска. На полигонах установлены две мачты, на которых размещены два идентичных комплекса, позволяющих измерять температуру и влажность воздуха, скорость и направление ветра на четырех высотах: 10, 20, 30 и 40 м. Оба комплекса работают синхронно с июля 2004 г. Приводятся предварительные данные мониторинга, показывающие масштабы г. Томска как острова тепла.

В настоящее время большая часть населения на планете проживает в городах. И тенденция к увеличению численности городского населения усиливается. Поэтому вопрос о качестве окружающей среды на таких территориях становится более актуальным. Скопление на ограниченном пространстве значительного количества предприятий, автотранспорта, зданий и сооружений с устройствами их жизнеобеспечения не может не модифицировать окружающую среду. Давно установлено, что это приводит к образованию «острова тепла» на месте расположения города [1]. Как известно, городской остров тепла, характеризующийся повышением приземной температуры воздуха относительно фоновых наблюдений в сельской местности, является наиболее очевидным результатом влияния процессов урбанизации. Основными причинами, вызывающими возникновение городского острова тепла, являются дополнительное выделение тепла на территории города, различия во влажностных характеристиках и шероховатости поверхностей, а также альbedo городских и сельскохозяйственных территорий [2]. В последнее время различные исследователи обращают внимание на вертикальную структуру городской застройки, которая способствует формированию нагрева приземной атмосферы через аккумуляцию тепла в городских «каньонах» и самих зданиях [3].

В этой связи вызывают повышенный интерес количественное измерение потоков антропогенного тепла и пространственное их распределение. Усредненные по различным районам городской застройки приводимые данные обычно дают меньше 100 Вт/м² [1]. Однако в условиях больших мегаполисов величины излишнего антропогенного нагрева могут значительно возрастать и играть важную роль в температурном режиме городской среды, особенно ночью и в зимний период.

Изучение острова тепла над Томском также обнаружило его значительное влияние на город-

скую атмосферу [4]. Дальнейшие исследования показали, что это характерно для многих городов Сибири [5].

Поскольку данные [4, 5] получены в ходе кратковременных экспедиционных экспериментов, то было целесообразно организовать мониторинговые изучения подобных процессов. Такие исследования нами начаты и осуществлялись по следующей методологии.

ИОА СО РАН располагает двумя полигонами. Один — базовый экспериментальный комплекс (БЭК) — находится в Академгородке и имеет координаты 56°29' с.ш., 85°04' в.д. и высоту 170 м над уровнем моря. Второй — «Фоновый», расположен около п. Киреевск, находящегося в 60 км к западу от города на берегу р. Оби (координаты 56°25' с.ш., 84°04' в.д. и высота 80 м над уровнем моря). Их взаимное положение показано на рис. 1.

Видно, что при преобладающем западно-восточном переносе воздух будет последовательно проходить вначале через полигон «Фоновый», затем через г. Томск и только потом попадет на БЭК.

На обоих полигонах установлены идентичные автоматические комплексы для измерения метеорологических величин в приземном слое атмосферы. Оба комплекса представляют собой вантовые мачты «Унжа-2», оснащенные на четырех уровнях датчиками температуры и влажности воздуха и анемометрами электромеханического типа М-127 (рис. 2) (конструктивные особенности комплекса описаны в [6–8]). В качестве датчиков скорости и направления ветра применяются серийные анемометры М-127, установленные на высотах 10, 20, 30 и 40 м от земли, на выносных держателях в южном и северном направлениях. Такое распределение позволяет учитывать возмущения воздушных потоков остовом мачты. На этих же высотах установлены электронные датчики температуры и влажности. Внешний вид одного из комплексов приведен на рис. 2.

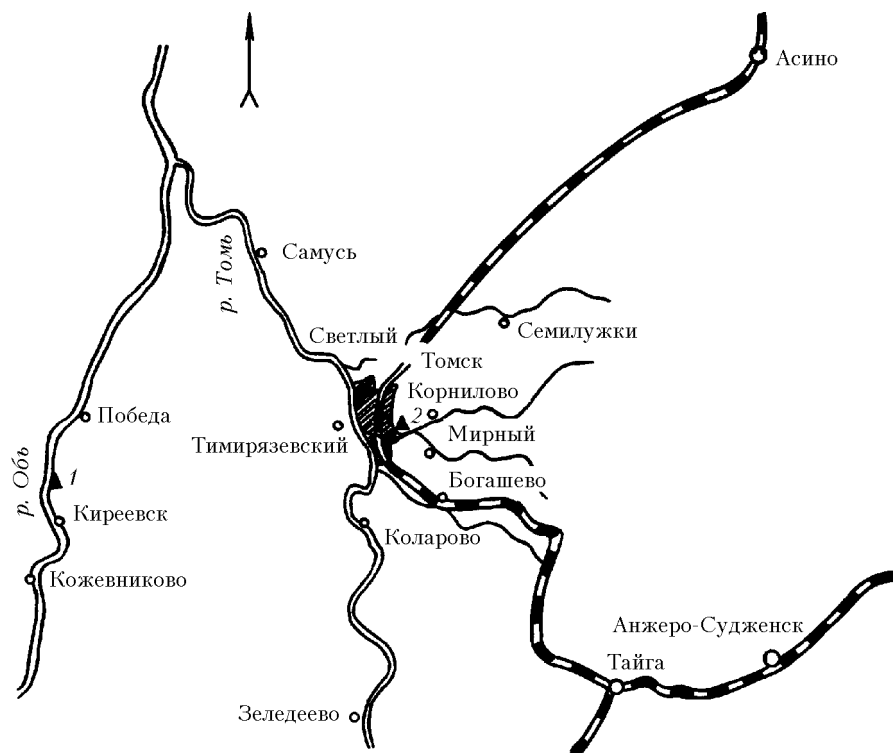


Рис. 1. Расположение полигонов ИОА СО РАН: 1 – Фоновый, 2 – БЭК



Рис. 2. Внешний вид измерительных комплексов

Основываясь на многолетнем опыте эксплуатации автоматического измерительного комплекса TOR-станции [9], для сбора и передачи на ЭВМ данных от измерительных приборов была разработана и реализована электронная система регистрации на базе микроконтроллера PIC16F877 (рис. 3).

Благодаря оригинальному техническому решению удалось избежать промежуточных цифроана-

логовых и аналого-цифровых преобразований сигналов в аппаратном блоке комплекса при определении скорости и направления ветра. Однако основное достоинство разработки заключается в применении единой системы регистрации импульсов, генерируемых анемометрами, что, несомненно, положительно сказывается в составлении верной картины ветрового поля в целом. Расчетные погрешности измерения скорости и направления воздушных потоков, вносимые электроникой (исключая погрешности самих анемометров), не превышают 5% при скоростях ветра 50 м/с и составляют только 0,1% при 1 м/с [10].

Использование встроенного в микроконтроллер 10-разрядного АЦП позволило подключить к системе аналоговые выходы датчиков температуры и влажности. Посредством контроллера также реализована термостабилизация корпуса, в котором находится аппаратный блок. Меняя основные параметры измерений и обработки информации с помощью комплекса, можно получать мгновенные профили для метеорологических величин приземной атмосферы, а также рассчитывать потоки тепла, влаги, количества движения в режиме мониторинга.

Схема управления измерениями и обработки полученной информации представлена на рис. 3.

Собранные данные передаются по радиоканалу в ЭВМ, установленные на каждом из полигонов. После первичной обработки и создания файлов по каждому измерению они передаются в центр сбора информации, расположенный в Институте. При этом для передачи с БЭКа в Институт используется оптоволоконный канал, а для передачи с полигона «Фоновый» — радиотелефонный канал.



Рис. 3. Блок-схема управления измерениями и обработки информации, собранной пространственно-распределенными исследовательскими комплексами

С июля 2003 г. комплекс начал работать в Академгородке на БЭЖе, с июля 2004 г. — на полигоне «Фоновый». Ниже приводятся первые результаты организованного таким образом мониторинга.

Суточное поведение усредненных разностей температур ($T_u - T_r$) и относительной влажности ($U_u - U_r$) на различных уровнях в приземном слое атмосферы приведено на рис. 4.

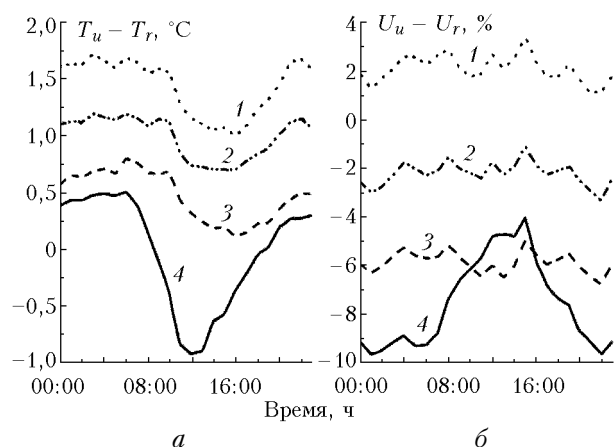


Рис. 4. Суточный ход усредненных значений разностей температур и относительной влажности между пригородным (u) и фоновым (r) пунктами на всех измерительных уровнях: а — 1 — ΔT_1 ; 2 — ΔT_2 ; 3 — ΔT_3 ; 4 — ΔT_4 ; б — 1 — ΔU_1 ; 2 — ΔU_2 ; 3 — ΔU_3 ; 4 — ΔU_4

Видно, что средние температуры в ближайшей окрестности Томска за рассматриваемый период, в целом, превышали наблюдаемые в фоновой точке, а сравнение дневных и ночных значений дает увеличение последних как минимум на $0,5^\circ\text{C}$. Также видно, что различия температур между пригородом и сельской местностью уменьшаются с высотой. Если, на высоте 10 м разница изменяется в течение суток от $1,7$ до $1,2^\circ\text{C}$, то на уровне 40 м от поверхности земли — от $0,5$ до $-0,8^\circ\text{C}$. Возможно, вблизи

этой высоты (40 м) находился уровень воздействия городского острова тепла на вертикальную стратификацию атмосферы в период измерений. Однако такое предположение нуждается в более детальной проверке. В пользу такой гипотезы говорит только динамика внутреннего слоя перемешивания [11].

Относительная влажность выше в пригороде на нижнем уровне и ведет себя почти нейтрально в суточном ходе (рис. 4). На вышележащих высотах 20, 30 и 40 м она становится выше в фоновом районе, что при постоянстве абсолютного содержания водяного пара вполне объяснимо, здесь ниже температура воздуха [5].

Параметризация полученных данных по температурным интервалам позволила нам выявить меняющуюся конфигурацию городского острова тепла (рис. 5). При положительных или небольших отрицательных температурах его влияние на окрестности Томска определяется направлением прихода воздушных масс. Для Академгородка оно сводится почти к нулю при юго-восточного направлении их движения. Однако для температур ниже -10°C наблюдается значительное увеличение влияния антропогенного нагрева на всех уровнях измерений независимо от направлений ветра, а для температур менее -20°C разность уже превышает 2°C . Таким образом, зарегистрировано формирование над городом тепловой «шапки», накрывающей обширные пригородные районы.

Эти данные хорошо согласуются с приводимыми различными авторами результатами исследований антропогенного прогрева городской среды относительно сельской местности. Отметим, что для условий центра городские температурные и влажностные разности по отношению не только к фоновым, но и пригородным значениям еще существеннее. Исследования, проведенные на мобильной станции ИОА СО РАН в г. Красноярске в зимнее время, показали превышение температур в центральной его части над отдаленными городскими районами до 7°C [5].

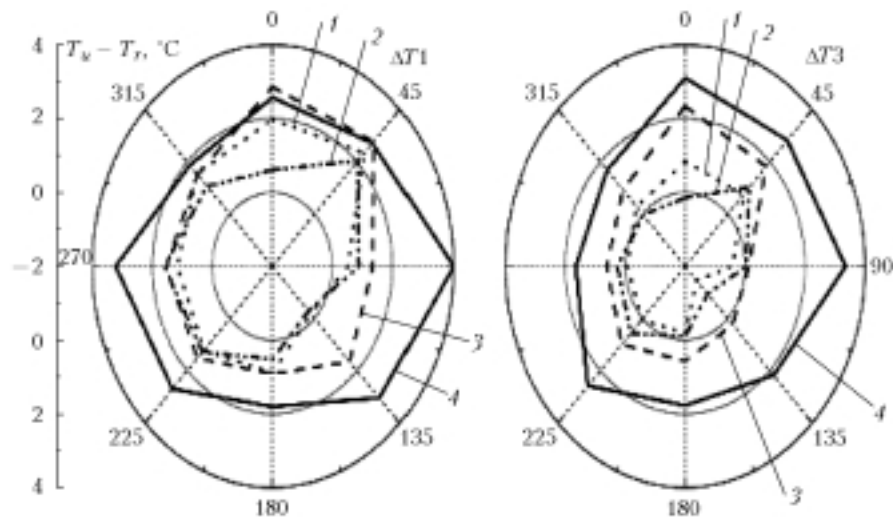


Рис. 5. Распределение температурных разностей между пригородом (u) и фоновым (r) районами на 1-м и 3-м измерительных уровнях в зависимости от прихода воздушных масс: 1 – $T_u - T_r > 0$ °С; 2 – 0 ± 10 °С; 3 – 10 ± 20 °С; 4 – $T_u - T_r < -20$ °С

На рис. 6 приведены распределения средних величин скорости ветра на верхних уровнях мачт в Томске и Киреевске. Они выбраны исходя из того, что близлежащий лес превышает высоту 20–25 м, следовательно, будет оказывать влияние на результаты измерений на нижних трех уровнях.

Из рис. 6 видно, что скорость ветра заметно больше над урбанизированной территорией, чем над фоновой. Причем различия увеличиваются в ночное время. Возможно, на суточном ходе скорости ветра сказывается действие бриза, который имеется у реки Обь в безледный период. Днем его направление совпадает с основным переносом, ночью – противоположно. Но даже наличием бриза объяснить такую большую разницу невозможно. Чтобы проверить, не является ли эта разница ошибкой измерений, на рис. 6 для полигона «Фо-

новый» нанесены данные обоих датчиков V_S (К) и V_N (К) ветра на высоте 40 м. Видно, что в пределах ошибок измерений их показания совпадают между собой.

Таким образом, уже первые полученные данные свидетельствуют о заметном вкладе города в изменение термодинамических характеристик воздуха.

В дальнейшем предполагается дооснастить оба измерительных комплекса приборами для измерения газового и аэрозольного состава воздуха, что позволит перейти к комплексной оценке влияния города на качество воздуха.

Работа выполнена по Программе СО РАН № 24 проект 24.3.3, при поддержке междисциплинарного проекта СО РАН № 130, Программы Президиума РАН № 13, проект 13.2.

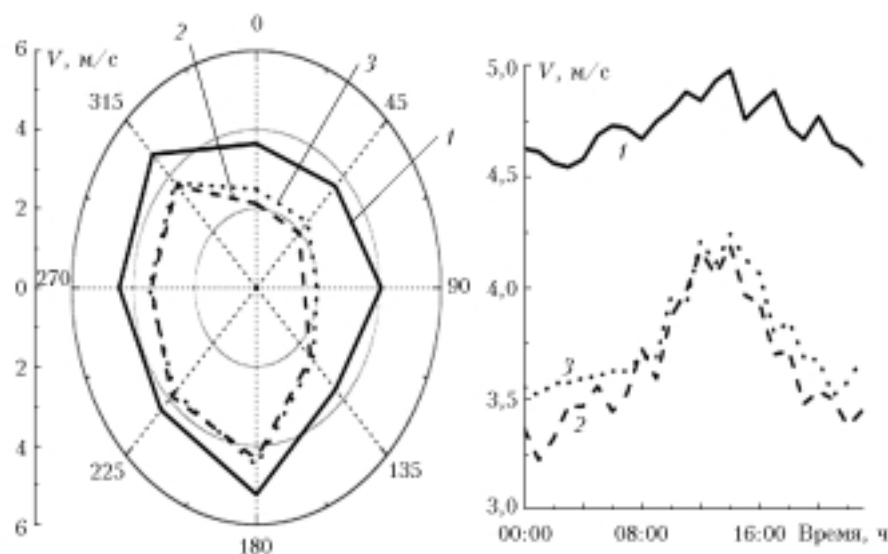


Рис. 6. Распределение средней скорости ветра на верхних измерительных уровнях в г. Томске (Т) и п. Киреевск (К) по направлениям и времени суток: 1 – V_{S4} (Т); 2 – V_{S4} (К); 3 – V_{N4} (К)

1. Ландсберг Г.Е. Климат города. Л.: Гидрометеонздат, 1983. 248 с.
2. Белан Б.Д., Скляднева Т.К., Ужегова Н.В. Различия альbedo подстилающей поверхности г. Новосибирска и его окрестностей // Оптика атмосф. и океана. 2005. Т. 18. № 3. С. 238–241.
3. Hongli Fan, David J. Sailor. Modeling the impacts of anthropogenic heating on the urban climate of Philadelphia: a comparison of implementation in two PBL schemes // Atmos. Environ. 2005. V. 39. N 1. P. 73–84.
4. Белан Б.Д., Рассказчикова Т.М. Воздействие Томска на температурно-влажностный режим воздуха // Оптика атмосф. и океана. 2001. Т. 14. № 4. С. 294–297.
5. Белан Б.Д., Ивлев Г.А., Пирогов В.А., Покровский Е.В., Симоненков Д.В., Ужегова Н.В., Фофонов А.В. Сравнительная оценка состава воздуха промышленных городов Сибири в холодный период // Географ. и природ. ресурсы. 2005. № 01. С. 152–157.
6. Пестунов Д.А., Антонович В.В., Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Ивлев Г.А., Ковалевский В.К., Козлов А.В., Покровский Е.В., Симоненков Д.В., Толмачев Г.Н., Фофонов А.В. Комплекс для измерения потоков тепла, влаги и количества движения // Матер. II Всерос. конф. молодых ученых «Материаловедение, технологии и экология в третьем тысячелетии». Томск: Копировальный центр «Южный», 2003. С. 248–250.
7. Пестунов Д.А., Ковалевский В.К., Козлов А.В., Фофонов А.В. Автоматический измерительный метеопост на базе микроконтроллера // Матер. Всерос. науч.-практ. конф. «Электронные средства и системы управления». Томск: ИОА СО РАН, 2003. С. 117–119.
8. Пестунов Д.А., Антонович В.В., Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Ивлев Г.А., Ковалевский В.К., Козлов А.В., Покровский Е.В., Симоненков Д.В., Толмачев Г.Н., Фофонов А.В. Комплексные измерения потоков тепла, влаги и количества движения в приземном слое воздуха // Матер. IV Междунар. симп. «Контроль и реабилитация окружающей среды». Томск: Копировальный центр «Южный», 2004. С. 13–14.
9. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Ковалевский В.К., Плотников А.П., Покровский Е.В., Скляднева Т.К., Толмачев Г.Н. Автоматический пост для контроля качества воздуха // Метеорол. и гидрол. 1999. № 3. С. 110–118.
10. Фофонов А.В., Ковалевский В.К., Козлов А.В., Пестунов Д.А. О некоторых аспектах измерения параметров ветра анемометрами электромеханического типа // Матер. докл. 5-го Сибирского совещания по климатоэкологическому мониторингу. Томск, 2003. С. 185–187.
11. Белан Б.Д. Динамика слоя перемешивания по аэрозольным данным // Оптика атмосф. и океана. 1994. Т. 7. № 8. С. 1044–1054.

V.V. Antonovich, B.D. Belan, A.V. Kozlov, D.A. Pestunov, A.V. Fofonov. Separation of the city contribution to variation of thermodynamic characteristics of the air for Tomsk as an example.

In this paper, an attempt is undertaken to separate the city contribution to variation of thermodynamic characteristics of the air, using two sites situated on the windward and leeward sides of Tomsk. At the sites, two masts are installed, each carrying identical systems for measurements of the air humidity and temperature, wind speed and direction at four heights: 10, 20, 30, and 40 m. The both systems have been operated synchronously since July 2004. Tentative monitoring data, indicating the scale of Tomsk as a heat island, are presented.