

АТМОСФЕРНАЯ РАДИАЦИЯ, ОПТИЧЕСКАЯ ПОГОДА И КЛИМАТ

УДК 551.510.42

## Оценка интенсивности и размеров острова тепла и влаги в г. Томск на основе прямых измерений

Н.В. Дудорова, Б.Д. Белан\*

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН  
634055, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1*

Поступила в редакцию 30.12.2015 г.

С помощью мобильной станции АКВ-2 было проведено 12 серий измерений температуры и влажности воздуха в г. Томск и на его окраинах в разные сезоны года и при различных погодных условиях. Показано, что во все сезоны наблюдается остров тепла, среднее приращение температуры в городе составляет 2 °С зимой и 1 °С летом. Поля абсолютной влажности воздуха в Томске в теплое и холодное полугодия существенно различаются. Показано, что зимой источники влажности носят преимущественно антропогенный характер, а летом влажность в городе имеет естественное происхождение.

*Ключевые слова:* городской остров тепла и влаги, мобильная станция; urban heat and moisture island, mobile station.

### Введение

Скопление промышленных объектов в современных городах приводит к тому, что на ограниченной территории в окружающую среду выбрасывается большое количество всевозможных примесей, не наблюдающихся в естественных условиях. Кроме химических соединений в разных состояниях и разной природы в городе также происходит выброс дополнительной тепловой энергии, вследствие чего город становится островом тепла [1]. В результате повышения температуры воздуха на ограниченной территории города возникает местная локальная циркуляция воздуха [2], особенностью которой заключается в том, что в тени города возникают возвратные потоки воздуха, противоположные направлению основного потока с наветренной стороны. Эта обратная циркуляция частично запирает выбросы предприятий на территории города. Над ним возникает дымка, состоящая из газообразных и аэрозольных веществ, получившая название «шапка» загрязнений.

Несмотря на многочисленные исследования городского острова тепла (ГОТ), например [1, 3–6], данная тема не теряет актуальности, поскольку до сих пор не определены все закономерности его образования и, соответственно, способы борьбы с этим преимущественно негативным явлением. Очевидно, что для установления всех основных причин образования ГОТ необходимо иметь информацию о пространственном распределении и временной изменчивости метеопараметров, главным из которых в данном случае является температура воздуха. Как

правило, исследования городского острова тепла основаны либо на натуральных измерениях с двух или нескольких стационарных постов наблюдений [4, 5], либо на модельных расчетах параметров ГОТ [6]. Для изучения пространственного распределения температуры городского воздуха и интенсивности острова тепла также используют мобильные измерительные станции [7]. Под интенсивностью острова тепла понимается разность средних значений городской и фоновой температуры воздуха.

Цель данной работы — на основе прямых измерений температуры и влажности городского воздуха определить интенсивность и пространственное распределение городского острова тепла и влаги в разные сезоны года и время суток в г. Томск, который является характерным городом средней полосы России и может рассматриваться как типичный.

### 1. Методы исследований

Исследования острова тепла и влаги проводились на территории г. Томск, общая площадь которого составляет 294,6 км<sup>2</sup>, население 528,6 тыс. человек (на 2009 г.) [8]. Измерения метеорологических величин были выполнены в период 2004–2010 гг. с помощью мобильной станции АКВ-2 [9] на шасси автомобиля ГАЗ-66 КУНГ, созданной в 2004 г. в Институте оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН. Комплекс оборудования станции в автоматическом режиме позволяет ежесекундно измерять температуру и влажность воздуха, скорость и направление ветра, суммарную солнечную радиацию, дисперсный состав аэрозоля, концентрацию газов NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>.

\* Нина Викторовна Дудорова (ninosh@mail.ru); Борис Денисович Белан (bbd@iao.ru).

Выбор маршрута движения мобильной станции основывался на максимальном обхвате всех главных магистралей города за минимальное время движения [10]. Мобильная станция совершает заданный маршрут по городу в течение нескольких часов. За это время значения температуры и влажности воздуха меняются (естественный суточный ход), что может существенно исказить размеры и интенсивность городского острова тепла и влаги, определяемые по разности городских и фоновых значений метеорологических величин. В связи с этим была введена поправка на их суточный ход.

Фоновые значения температуры и влажности воздуха, в зависимости от направления ветра, были взяты с двух пунктов: TOR-станции и метеостанции, расположенных на восточной и южной окраинах города соответственно. TOR-станция – автоматический комплекс, измеряющий ряд атмосферных характеристик с интервалом один раз в час [11]. Ввиду того что на TOR-станции измерения параметров производятся ежечасно, а на метеостанции раз в 3 ч, TOR-станция принималась за основную фоновую точку. Данные метеостанции использовались только в тех случаях, когда при западном ветре TOR-станция находилась под влиянием воздушного потока, прошедшего через город.

## 2. Результаты измерений и обсуждение

С целью определения характеристик ГОТ в разных условиях за период 2004–2010 гг. в Томске было проведено 12 циклов измерений городского воздуха с помощью мобильной станции. Результаты представлены в табл. 1, где использованы следующие обозначения:  $x_{\max}$ ,  $x_{\min}$  – максимальные и минимальные значения метеорологических величин;  $\bar{x}_{\text{гор}}$ ,  $\bar{x}_{\text{фон}}$  – значения метеовеличин, усредненные по всему маршруту движения мобильной станции в городе и фоновом районе. При этом на основе следующих выражений рассчитывались средняя интенсивность острова тепла (влаги)  $\Delta x_{\text{cp}} = \bar{x}_{\text{гор}} - \bar{x}_{\text{фон}}$  и максимальный контраст температуры (влажности)  $\Delta x_{\max} = x_{\max} - x_{\min}$ .

Анализ температуры и влажности воздуха в городе и за его пределами показал, что в городе при любых условиях наблюдается остров тепла и влаги. Из результатов измерений, представленных в табл. 1, видно, что разница температуры ( $\Delta t_{\text{cp}}$ ) и абсолютной влажности ( $\Delta a_{\text{cp}}$ ) между средними городскими значениями ( $\bar{t}_{\text{гор}}$ ,  $\bar{a}_{\text{гор}}$ ) и средними фоновыми значениями ( $\bar{t}_{\text{фон}}$ ,  $\bar{a}_{\text{фон}}$ ) почти всегда положительна.

Таблица 1

Значения температуры  $t$  и абсолютной влажности  $a$  воздуха по данным экспериментов, проведенных в г. Томск и на его окраинах с помощью мобильной станции АКВ-2

Дата, время эксперимента	$t_{\max}$ , °C	$t_{\min}$ , °C	$\bar{t}_{\text{гор}}$ , °C	$\bar{t}_{\text{фон}}$ , °C	$\Delta t_{\max}$ , $\Delta t_{\text{cp}}$	$a_{\max}$ , г/м <sup>3</sup>	$a_{\min}$ , г/м <sup>3</sup>	$\bar{a}_{\text{гор}}$ , г/м <sup>3</sup>	$\bar{a}_{\text{фон}}$ , г/м <sup>3</sup>	$\Delta a_{\max}$ , $\Delta a_{\text{cp}}$	Погодные условия
23.06.2004 11:00–12:00	28,8	26,1	27,5	26,4	2,7 1,1	14,1	12,4	13,0	13,4	1,7 –0,4	Облачность: 10/1 <i>Cu Ci</i> ; СВВ 2,1 м/с; без осадков
11.07.2005 14:30–17:30	24,8	19,7	23,0	22,1	5,1 0,9	13,7	9,2	10,5	10,5	4,5 0	Облачность: 7/4 <i>Cu Ci</i> ; Ю 3 м/с; без осадков
26.08.2005 08:30–12:05	15,0	12,1	13,7	12,7	2,9 1,0	12,9	10,8	11,8	11,2	2,1 0,6	Облачность: 10/10 <i>Ns</i> ; Штиль; слабый ливн. дождь
14.05.2009 15:00–17:30	17,1	12,1	15,0	13,7	5,0 1,3	8,3	6,0	7,1	6,5	2,3 0,6	Облачность: 3/0 <i>Ci fib</i> ; СЗЗ 1,6 м/с; без осадков
31.05.2009 11:20–17:00	22,0	16,9	20,3	19,0	5,1 1,3	12,6	10,1	11,4	11,1	2,5 0,3	Облачность: 10/7 <i>Cb Ci</i> ; ЮЗЗ 1,6 м/с; слабый ливн. дождь
17.07.2009 02:00–07:00	23,6	16,7	20,2	19,0	6,9 1,2	13,0	10,2	11,4	11,0	2,8 0,4	Облачность: 4/0 <i>Ci</i> ; СВВ 1,6 м/с; без осадков
25.12.2009 13:30–19:00	–24,5	–29,4	–26,4	–28,5	4,9 2,1	0,57	0,34	0,46	0,36	0,23 0,10	Облачность: <i>As Ci</i> 10/0; Ю 2,4 м/с; слабый снег
26.01.2010 13:00–17:00	–29,0	–33,2	–30,4	–32,3	4,2 1,9	0,36	0,23	0,31	0,25	0,13 0,06	Ясно; ССЗ 1,2 м/с; без осадков; лед. иглы
04.02.2010 00:00–03:40	–23,4	–27,8	–25,3	–27,1	4,4 1,8	0,53	0,37	0,47	0,40	0,16 0,07	Ясно; ССВ 2,1 м/с; без осадков
11.02.2010 12:20–16:20	–20,2	–24,0	–22,0	–22,9	3,8 0,9	0,71	0,47	0,60	0,54	0,24 0,06	Ясно; ССВ 1,7 м/с; без осадков
12.02.2010 20:00–23:00	–20,3	–28,5	–22,9	–24,9	8,2 2,0	0,74	0,38	0,60	0,56	0,36 0,04	Ясно; Ю 1,7 м/с; без осадков
09.04.2010 11:30–16:20	–1,7	–6,4	–3,4	–5,0	4,7 1,6	3,1	1,6	2,4	2,1	1,5 0,3	Ясно; З 1,6 м/с; без осадков

## 2.1. Пространственное распределение температуры воздуха в Томске

Проведение измерений по ходу движения мобильной станции АКВ-2 и оптимизация маршрута движения, обеспечивающая высокую плотность от-

счетов, дают возможность построения карт распределения метеопараметров и примесей воздуха [10]. На рис. 1 представлены типичные пространственные распределения температуры воздуха в Томске по данным измерений с помощью мобильной станции АКВ-2. Видно, что распределение температуры

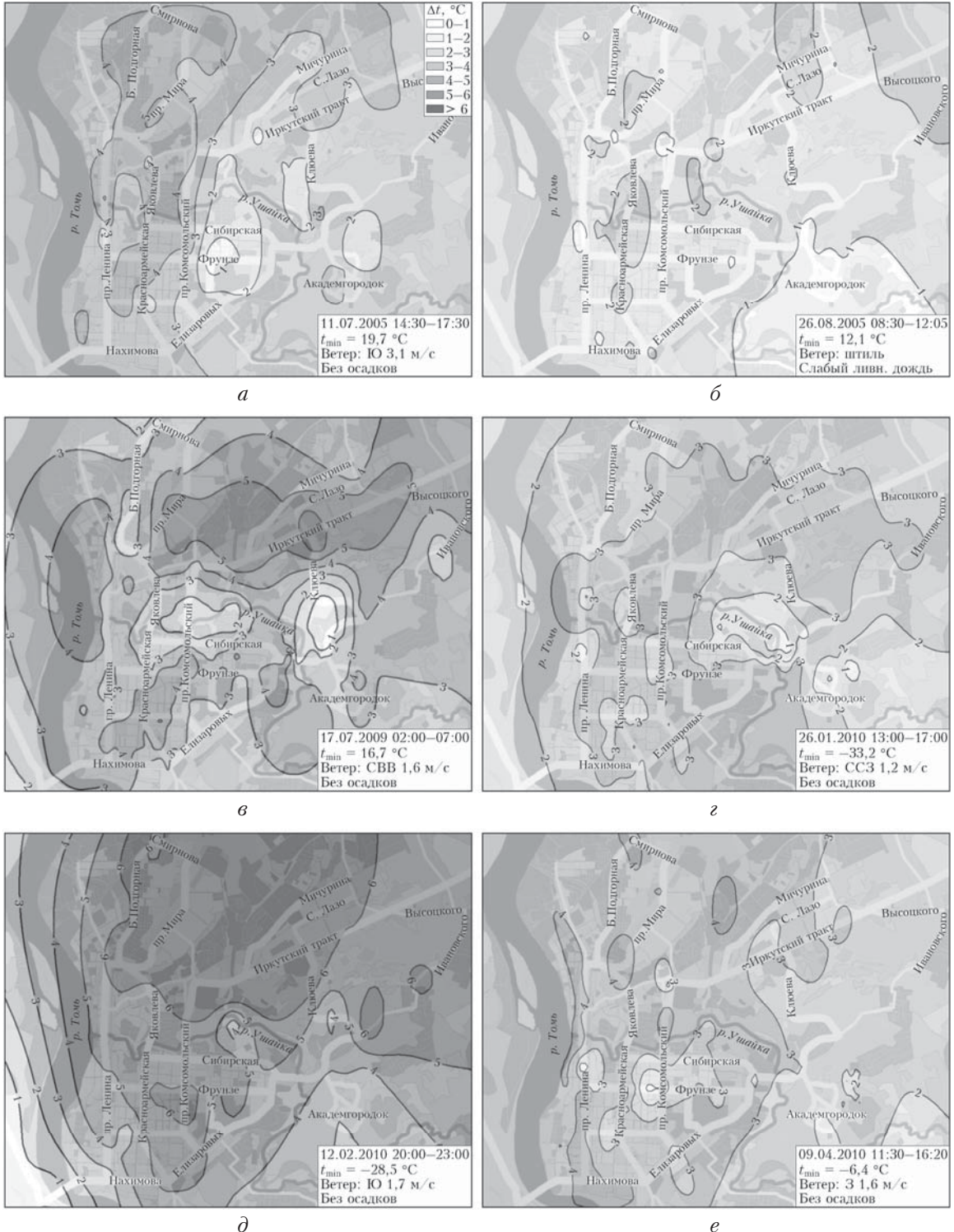


Рис. 1. Распределение разности температуры воздуха ( $\Delta t$ ) между измеренной в каждой точке маршрута мобильной станцией и ее минимальным значением на маршруте по территории Томска в теплое 11.07.2005 (а); 26.08.2005 (б); 17.07.2009 (в) и холодное 26.01.2010 (г); 12.02.2010 (д); 09.04.2010 (е) полугодия

воздуха характеризуется замкнутыми изолиниями, характерными для городского острова тепла [1]. При этом повышение температуры воздуха наблюдается в районах наиболее плотной жилой застройки и расположения промышленных предприятий города [12]. Анализ пространственного распределения температуры воздуха над Томском показал, что средняя площадь ГОТ составляет около  $S_{ГОТ} = 50 \text{ км}^2$  и располагается над густонаселенными и промышленными кварталами.

Наибольшие контрасты температур в городе в теплое время года наблюдались после захода солнца (см. табл. 1 – измерения 17.07.2009), что хорошо согласуется с многочисленными измерениями городского острова тепла, как, например, в работе Askerman [3]. Соответствующее темному времени суток пространственное распределение температуры представлено на рис. 1, в. Видно, что минимальные значения температуры на периферии города приходятся на район русла р. Ушайки, в то время как на главных перекрестках города и в спальном районе Иркутского тракта наблюдаются теплые области, создавая перепады температуры внутри города до  $6,9 \text{ °C}$  при средней интенсивности острова тепла  $1,2 \text{ °C}$ .

Днем в теплое время года интенсивность городского острова тепла в Томске в среднем составляет  $1,38 \text{ °C}$  при максимальных контрастах температур  $4,94 \text{ °C}$ .

Наименьшая интенсивность острова тепла в теплое время года наблюдалась в условиях сплошной облачности и при наличии слабых ливневых осадков (см. табл. 1 – 26.08.2005). В данном случае максимальная разность температур между центром города и окраинами составляла  $2,9 \text{ °C}$ , а средняя разность значений температуры  $\Delta t_{ср}$  была равна  $1 \text{ °C}$ .

В холодное время года средняя интенсивность острова тепла в Томске составила около  $2 \text{ °C}$ . Максимальная интенсивность ГОТ в холодное полугодие наблюдалась в вечернее время сразу после захода солнца (см. табл. 1 – 12.02.2010). В данном случае максимальный контраст температуры  $\Delta t_{max}$  достигал  $8,2 \text{ °C}$ .

В светлое время суток, а также после полуночи городской остров тепла менее интенсивный, чем

вечером. Максимальные контрасты температур составляли  $3,8\text{--}4,9 \text{ °C}$  днем (см. табл. 1 – 25.12.2009, 26.01.2010, 11.02.2010) и  $4,4 \text{ °C}$  ночью (см. табл. 1 – 04.02.2010).

Весной средняя интенсивность острова тепла в Томске составила  $1,6 \text{ °C}$  с максимальными контрастами температур  $\Delta t_{max}$  до  $4,7 \text{ °C}$  (см. табл. 1 – 09.04.2010). При этом из пространственного распределения температуры воздуха на территории города (рис. 1, е) видно, что максимальные значения  $\Delta t$  наблюдаются в районах с повышенной антропогенной нагрузкой.

Стоит также отметить, что анализ пространственных распределений температуры воздуха выявил сдвиг «центра тяжести» городского острова тепла в направлении ветра. При этом наблюдается четкая граница ГОТ с наветренной стороны и несколько размытая с подветренной (рис. 1, в–д).

На рис. 2 представлена интенсивность острова тепла  $\Delta t_{ср}$  в Томске в зависимости от даты измерений. Можно отметить выраженный годовой ход данной величины с максимумом зимой и минимумом летом. При этом в теплое время года  $\Delta t_{ср}$  в Томске составляет около  $1 \text{ °C}$ , в холодное около  $2 \text{ °C}$ . В связи с этим можно предположить, что основной вклад в образование ГОТ в Томске вносят прямые выбросы тепла антропогенного происхождения, которые зимой в несколько раз больше, чем летом [4].

## 2.2. Пространственное распределение влажности воздуха в Томске

Анализ результатов измерений влажности воздуха (см. табл. 1) показал, что поля абсолютной влажности воздуха в Томске в теплое и холодное время года существенно различаются. На рис. 3 представлены типичные пространственные распределения абсолютной влажности воздуха в Томске по данным измерений с помощью мобильной станции АКВ-2.

В теплое время года различие абсолютной влажности воздуха в центре города и на его периферии  $\Delta a_{ср}$  достигает  $0,6 \text{ г/м}^3$ . При этом среднее значение абсолютной влажности за городом  $\bar{a}_{фон}$  составляет

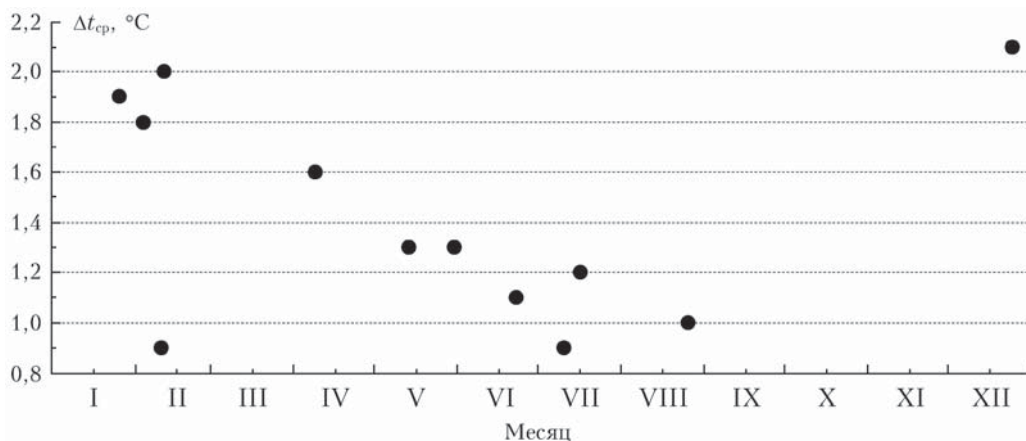


Рис. 2. Годовой ход интенсивности острова тепла в Томске

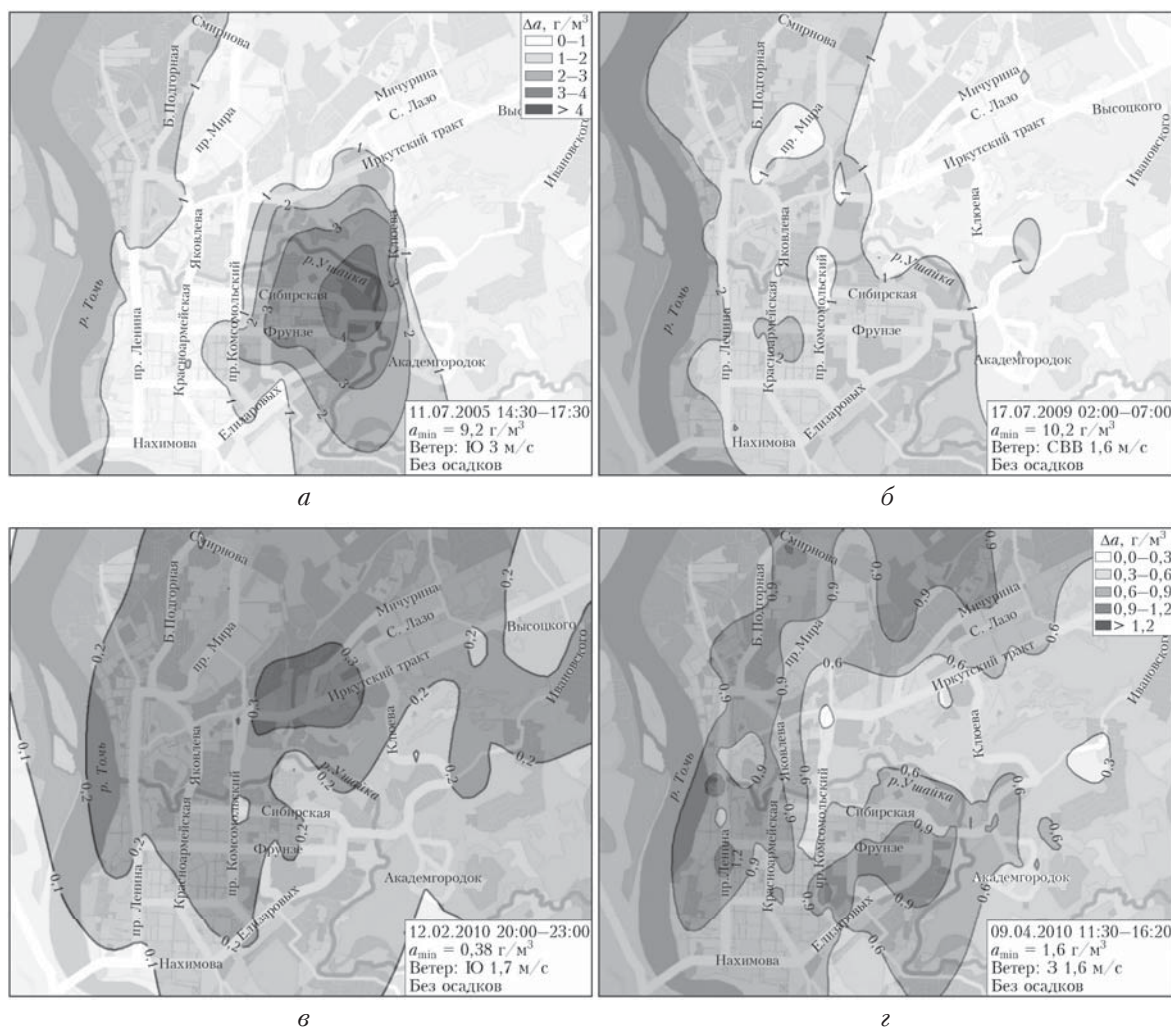


Рис. 3. Распределение разности абсолютной влажности воздуха ( $\Delta a$ ) между измеренной в каждой точке маршрута мобильной станцией и ее минимальным значением на маршруте по территории Томска в теплое 11.07.2005 (а); 17.07.2009 (б) и холодное 12.02.2010 (в); 09.04.2010 (г) полугодия

7–14 г/м<sup>3</sup>. Таким образом, можно утверждать, что городская добавка абсолютной влажности не превышает 10% его фонового значения. Анализ пространственных распределений абсолютной влажности на территории Томска (рис. 3, а, б) показал, что летом основными причинами повышения влажности в городе являются естественные источники влаги, так как области максимальных значений  $a$  располагаются вблизи рек Томь и Ушайка.

В холодное время года разница абсолютной влажности в городе и за городом  $\Delta a_{\text{ср}}$  составляет 0,04–0,1 г/м<sup>3</sup>, что не превышает 30% фонового значения  $\bar{a}_{\text{фон}}$ , которое в среднем составляет 0,31–0,60 г/м<sup>3</sup>. Анализируя пространственное распределение абсолютной влажности на территории Томска в холодное время года (например, на рис. 3, в), можно предположить, что основные источники влаги являются антропогенными, так как области максимальных значений  $\Delta a$  повторяют очертания районов с повышенной антропогенной нагрузкой.

Весной (до схода льда на реках) абсолютная влажность в центре города так же, как и зимой, име-

ет повышенные значения. Пространственное распределение абсолютной влажности на территории Томска весной, приведенное на рис. 3, г, а также данные, приведенные в табл. 1 (09.04.2010), показывают, что максимальные значения  $\Delta a$  наблюдаются в районах с повышенной антропогенной нагрузкой. Однако разница значений абсолютной влажности между центром города и периферией заметно превосходит зимние значения и составляет около 0,3 г/м<sup>3</sup> при средних городских значениях  $a$  около 2,4 г/м<sup>3</sup>. Значимое увеличение влаги в данный период, по сравнению с зимними значениями, можно объяснить тем, что к антропогенному источнику водяного пара в городе добавляется влага от растаявшего снежного покрова на главных магистралях.

Стоит отметить, что для задач определения теплового баланса подстилающей поверхности необходимо выделить вклад антропогенных и естественных источников влаги, поскольку для испарения воды с подстилающей поверхности требуется расход энергии, а при сжигании топлива вода сразу выделяется в виде пара.

### 2.3. Вклад антропогенного водяного пара (образующегося при сжигании топлива) в увеличение влажности в городе

Аналогично расчету прямых выбросов тепла [13] можно определить общее количество водяного пара, образующегося при сжигании всех видов топлива в городе, на основе следующего выражения:

$$W_Z(\Delta\tau) = M_Z(\Delta\tau)/S_{\text{ГОТ}},$$

где  $M_Z(\Delta\tau)$  – масса выброшенного пара за определенный период времени  $\Delta\tau$ .

В табл. 2 представлена динамика образования антропогенной влаги в городе по месяцам в результате сжигания всех видов топлива за 1 сут. Методика расчета  $W_Z$  представлена в [14].

Видно, что в холодный период года влаги выделяется в несколько раз больше, чем в теплый. Рассмотрим, как эти данные соотносятся с прямыми измерениями городского превышения влаги по отношению к фоновому значению в разные периоды года.

На рис. 4 представлены средние значения водяного пара, образующегося при сжигании топлива за 1 сут. Очевидно, что, несмотря на возникающую локальную циркуляцию воздушных масс в городе (из-за образования острова тепла), при наличии ветра будет происходить снос «городской шапки», сопровождающийся уменьшением общего содержания водяного пара. Так, при скорости сноса «городской шапки»  $V_{\text{снос}} = 1$  м/с за 1 сут она сместится на 86,4 км, что существенно увеличит площадь распределения антропогенного водяного пара по сравнению с  $S_{\text{ГОТ}}$ . Соответственно при размере ГОТ в Томске около 8 км среднее значение антропогенной добавки в общее содержание влаги  $\Delta W_{\text{топл}} = W_Z(1 \text{ сут})/10,8$ .

Так, например, для января 2004 г. общая суточная добавка антропогенной влаги  $0,039$  г/см<sup>2</sup> при ветровом сносе «городской шапки» площадью  $50$  км<sup>2</sup> со скоростью  $1-2$  м/с будет обеспечивать среднюю добавку  $\Delta W_{\text{топл}}$  порядка  $0,0018-0,0036$  г/см<sup>2</sup>.

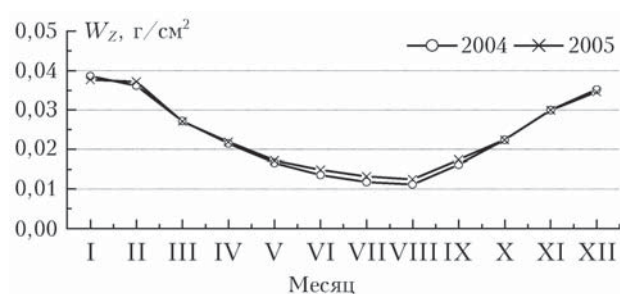


Рис. 4. Общее количество водяного пара, образующегося при сжигании всех видов топлива в городе за 1 сут

Далее, на основе результатов измерений абсолютной влажности воздуха с помощью мобильной станции (см. табл. 1) можно утверждать, что в зимний период года абсолютная влажность воздуха  $a$  в пределах ГОТ на  $0,04-0,1$  г/м<sup>3</sup> превышает фоновые значения. Полагая, что данное повышение концентрации водяного пара наблюдается во всем приземном слое воздуха (около 300 м), получим, что общее содержание водяного пара  $W_{\text{гор}}$  в пределах ГОТ превышает фоновое значение  $W_{\text{фон}}$  на величину  $\Delta W_{\text{моб}}$ , равную порядка  $0,0012-0,003$  г/см<sup>2</sup>, что хорошо согласуется с вышеприведенной оценкой  $\Delta W_{\text{топл}}$ , полученной на основе оценки прямых выбросов водяного пара при сжигании всех видов топлива.

Таким образом, можно заключить, что в зимний период года основным источником повышения концентрации водяного пара в городе является его образование при сжигании всех видов топлива.

В летний период добавка водяного пара, образующегося при сжигании всех видов топлива, в общую концентрацию водяного пара в пределах ГОТ является незначительной. Из результатов измерений абсолютной влажности воздуха внутри и за пределами ГОТ с помощью мобильной станции и дальнейшей оценки общего содержания водяного пара (см. табл. 2) видно, что в пределах ГОТ  $W_{\text{гор}}$  превышает фоновое значение  $W_{\text{фон}}$  на величину  $\Delta W_{\text{моб}}$  порядка  $0,01-0,02$  г/см<sup>2</sup>. При этом для июля 2004 г.

Таблица 2

Динамика образования водяного пара в городе за 1 сут в результате сжигания всех видов топлива в 2004 г. и сравнение с оценкой по данным измерений мобильной станции

Месяц	$W_Z(1 \text{ сут}), \text{ г/см}^2$	$\Delta W_{\text{топл}}, \text{ г/см}^2$		$\Delta W_{\text{моб}}, \text{ г/см}^2$
		$V_{\text{снос}} = 1 \text{ м/с}$	$V_{\text{снос}} = 2 \text{ м/с}$	
Январь	0,039	0,0036	0,0018	0,0018
Февраль	0,036	0,0034	0,0017	0,0018–0,0021
Март	0,027	0,0025	0,0012	–
Апрель	0,021	0,0020	0,0010	0,009
Май	0,017	0,0015	0,0008	0,009–0,018
Июнь	0,014	0,0013	0,0006	–0,012
Июль	0,012	0,0011	0,0005	0,012
Август	0,011	0,0010	0,0005	0,018
Сентябрь	0,016	0,0015	0,0007	–
Октябрь	0,022	0,0021	0,0011	–
Ноябрь	0,030	0,0028	0,0014	–
Декабрь	0,035	0,0033	0,0016	0,003

значение  $\Delta W_{\text{топл}}$  при ветровом сносе со скоростью  $V_{\text{снос}} = 1$  м/с должно составлять  $0,0011$  г/см<sup>2</sup>, что более чем на порядок отличается от  $\Delta W_{\text{моб}}$  ( $\Delta W_{\text{топл}} \ll \Delta W_{\text{моб}}$  летом).

Таким образом, можно сделать вывод, что в летний период года основной причиной повышения концентрации водяного пара в городе является наличие источников воды (реки, озера и т.п.). Водяной пар, образующийся при сжигании топлива, вносит незначительный вклад в повышение его общей концентрации в городе в летний период.

### Заключение

Выполненная оценка интенсивности и размеров городского острова тепла и влаги в Томске с помощью трассовых измерений мобильной станции показала, что площадь острова тепла и влаги существенно меньше общей площади города и составляет около 50 км<sup>2</sup>. Во все сезоны наблюдается остров тепла со средней интенсивностью около 2 °С зимой и 1 °С летом. Поля абсолютной влажности воздуха в Томске в теплое и холодное время года существенно различаются. В теплое время года различие абсолютной влажности воздуха в центре города и на его периферии не превышает 10% его фонового значения. В холодное время года разница абсолютной влажности в городе и за городом достигает 30% фонового значения. При этом зимой источники дополнительной влаги в городе являются антропогенными, а летом влажность в городе превышает фоновые значения из-за естественных причин — наличия водоемов.

1. Ландсберг Г.Е. Климат города. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 248 с.
2. Белан Б.Д. К вопросу о формировании «шапки» загрязнений над промышленными центрами // Оптика атмосфер. и океана. 1996. Т. 9, № 4. С. 460–463.
3. Ackerman B. Temporal march of the Chicago heat island // J. Clim. Appl. Meteorol. 1985. V. 24, N 6. P. 547–553.

4. Матвеев Л.Т., Матвеев Ю.Л. Формирование и особенности острова тепла в большом городе // Докл. АН. 2000. Т. 370, № 2. С. 249–252.
5. Матвеев Ю.Л., Меркурьева Н.А. Особенности формирования температурно-влажностного режима в большом городе // Оптика атмосфер. и океана. 1997. Т. 10, № 10. С. 1181–1187.
6. Пененко В.В., Коротков М.Г. Моделирование мезоклиматов и загрязнения атмосферы промышленных регионов (на примере г. Томска) // Оптика атмосфер. и океана. 1997. Т. 10, № 6. С. 590–597.
7. Kores R.J. Daily spatial and secular variations of atmospheric humidity in a small city // J. Appl. Meteorol. 1973. V. 12, N 4. P. 639–648.
8. Паспорт муниципального образования. URL: [http://www2.admin.tomsk.ru/www/passport.nsf/passport\\_web?OpenView&RestrictToCategory=8BVBFF7799B19CA50C6256DA9002BE913](http://www2.admin.tomsk.ru/www/passport.nsf/passport_web?OpenView&RestrictToCategory=8BVBFF7799B19CA50C6256DA9002BE913)
9. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Ивлев Г.А., Козлов А.В., Пестунов Д.А., Покровский Е.В., Симоненков Д.В., Ужегова Н.В., Фофонов А.В. Мобильная станция АКВ-2 и ее применение на примере г. Томска // Оптика атмосфер. и океана. 2005. Т. 18, № 8. С. 643–648.
10. Ужегова (Дудорова) Н.В., Антохин П.Н., Белан Б.Д., Ивлев Г.А., Козлов А.В., Фофонов А.В. Выделение антропогенного вклада в изменение температуры, влажности, газового и аэрозольного состава городского воздуха // Оптика атмосфер. и океана. 2011. Т. 24, № 7. С. 589–596.
11. 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 мониторинга малых газовых составляющих атмосферного воздуха // Метеорол. и гидрол. 1999. № 3. С. 110–118.
12. Язиков Е.Г., Таловская А.В., Жорняк Л.В. Оценка эколого-геохимического состояния территории г. Томска по данным изучения пылеаэрозолей и почв. Томск: Изд-во ТПУ, 2010. 264 с.
13. Белан Б.Д., Пелымский О.А., Ужегова Н.В. Исследование антропогенной составляющей теплового баланса города // Оптика атмосфер. и океана. 2009. Т. 22, № 6. С. 558–561.
14. Дудорова Н.В., Белан Б.Д. Тепловой баланс подстилающей поверхности г. Томска в 2004–2005 гг. // Оптика атмосфер. и океана. 2015. Т. 28, № 3. С. 229–237.

#### *N.V. Dudorova, B.D. Belan. Estimation of the intensity and size of the heat and moisture island in Tomsk from direct measurements.*

Twelve air temperature and humidity measurement series were carried out with the use of AKV-2 mobile station in Tomsk and its suburbs in different seasons and under different weather conditions. The urban heat island effect is shown to be observed in Tomsk in all seasons; the mean temperature increment is 2 °C in winter and 1 °C in summer. The fields of absolute humidity differ significantly for warm and cold seasons in Tomsk. It is shown that the humidity in Tomsk is mainly of anthropogenic origin in winter and of natural origin in summer.