

## Исследование антропогенной составляющей теплового баланса города

Б.Д. Белан<sup>1,2</sup>, О.А. Пельмский<sup>3</sup>, Н.В. Ужегова<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН  
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1

<sup>2</sup>Томский государственный университет  
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

<sup>3</sup>ОАО «Территориальная генерирующая компания № 11», Томский филиал  
634041, г. Томск, пр. Кирова, 36

Поступила в редакцию 24.02.2009 г.

Проведена оценка вклада антропогенного компонента в общий тепловой баланс города (на примере г. Томска). Период исследования составил 4 года, с 2004 по 2007 г. Все антропогенное тепло в городе подразделялось на три компонента: антропогенное тепло от сожженного топлива (предприятия, транспорт, бытовой газ), от потребляемой электрической энергии и от отопления помещений. Наибольший вклад в нагрев воздуха оказывает сожженное топливо, наименьший вносит электрическая энергия. Общее значение антропогенного тепла от всех видов источников составляет зимой 18 Вт/м<sup>2</sup>, летом 4 Вт/м<sup>2</sup>. В зимние месяцы (с ноября по февраль) антропогенный приток тепла составляет от 25 до 80% по отношению к притоку солнечной радиации.

*Ключевые слова:* антропогенное тепло, город.

### Введение

Исследования термодинамического режима городов показали, что город является «островом тепла» [1]. В середине XX в. производилось много попыток оценки теплового баланса города. При этом антропогенным компонентом этого баланса, как правило, пренебрегали, так как по результатам выполненных оценок этот компонент не превышал 3–4% приходной части суммарного теплового баланса города. Во второй половине XX в. рост населения городов приобрел лавинообразный характер, где его численность увеличилась в 2 раза. Сейчас население планеты составляет 6,6 млрд человек, возрастая в год примерно на 80 млн. Доля городского населения выросла до 45%. Соответственно потребление энергоресурсов увеличилось в десятки раз. К концу 2009 г. в мире будет насчитываться 1 млрд автомобилей. И только в автомобильных двигателях в мире ежегодно сжигается около 2 млрд т нефтяного топлива. Возникает резонный вопрос: «Правомерно ли исключать антропогенную составляющую при исследовании теплового баланса города?»

В настоящей статье дается оценка величины вклада антропогенного компонента в общий тепловой баланс города (на примере г. Томска).

Томск расположен на юге Западной Сибири и является административным центром Томской области. Площадь города — 294,6 км<sup>2</sup>. Население —

512,6 тыс. человек. Современный Томск — один из крупных промышленных центров Западной Сибири. Промышленность занимает ведущее место в экономике Томской области, в ней занята почти четверть работающего населения. На территории Томской области работает около 3500 промышленных предприятий. Наибольшее развитие получили: машиностроение и металлообработка — ПО «Сибкабель», «Сибэлектромотор», заводы — подшипниковый, режущих инструментов, манометровый, электромеханический, электроламповый, радиотехнический и др., химическая промышленность, заводы — химический, химико-фармацевтический и др., деревообрабатывающая промышленность — карандашная, спичечная и мебельная фабрики, производство строительных материалов, пищевая промышленность.

### Методика исследования

Все антропогенное тепло в городе  $Q_F$  можно разделить на следующие компоненты:

$$Q_F = Q_{FF} + Q_{FE} + Q_{FH} + Q_{FM},$$

где  $Q_{FF}$  — антропогенное тепло от сожженного топлива (предприятия, транспорт, бытовой газ);  $Q_{FE}$  — антропогенное тепло от потребляемой электрической энергии;  $Q_{FH}$  — антропогенное тепло от отопления помещений;  $Q_{FM}$  — антропогенное тепло от метаболизма человека (в данной статье не рассматривается).

Для проведения оценок использовались данные по г. Томску из следующих источников:

\* Борис Денисович Белан (bbd@iao.ru); Олег Анатольевич Пельмский; Нина Викторовна Ужегова.

– количество потребленного топлива (тонн) крупными и малыми предприятиями и автотранспортом – «Томскоблстат»;

– количество произведенной электрической энергии (кВт·ч) и тепловой энергии (Гкал) на отопление зданий – ОАО «ТГК № 11», Томский филиал;

– количество потребленной электрической энергии (кВт·ч) – ОАО «Томская энергосбытовая компания»;

– количество автотранспорта – Управление ГИБДД УВД по Томской области.

Период исследования составил четыре года – с 2004 по 2007.

Ежегодные данные интерполировались по месяцам соответственно потреблению электрической энергии. Далее все исходные данные пересчитывались в единый массив и приводились к одинаковой размерности – мощность антропогенного теплового потока на единицу поверхности ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ): для удобства сравнения с общим потоком солнечной радиации. Перевод одних единиц в другие происходил следующим образом:

$$X [\text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{мес}] = X \cdot 10^3 / (D \cdot 24) \text{ Вт};$$

$$Y [\text{Гкал}/\text{мес}] = Y \cdot 4,19 \cdot 10^9 / (D \cdot 24 \cdot 3600) \text{ Вт},$$

где  $X$  – количество произведенной или потребленной электрической энергии;  $Y$  – количество произведенной тепловой энергии;  $D$  – количество дней в месяце.

В этом исследовании мы полагаем, что вся потребленная электроэнергия трансформируется в тепло.

## Результаты и обсуждение

Для оценки вклада отдельных компонентов в общий антропогенный поток тепла вначале были рассчитаны потоки тепла по всей выборке от каждого источника и общий баланс. Эти данные представлены на рис. 1.

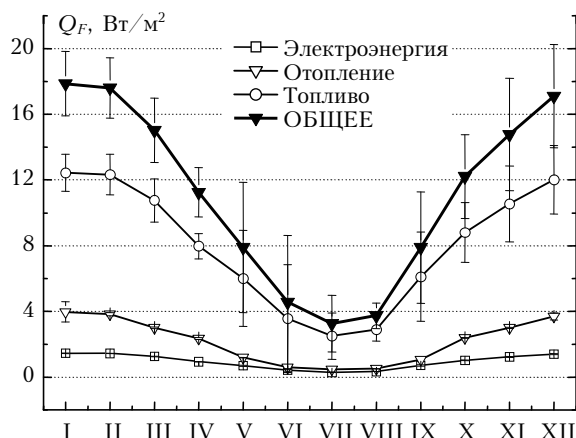


Рис. 1. Среднее значение антропогенного тепла от всех видов источников

Видно, что наибольший вклад в общий баланс антропогенного тепла вносит сожженное топливо.

Вторым по значимости фактором является поступление энергии от отопления помещений. Наименьший вклад в нагрев воздуха вносит электрическая энергия. Производство тепловой и электрической энергии, а следовательно, и потребление предприятиями топлива для этих нужд зависят от температуры воздуха и продолжительности светового дня. Таким образом, все три величины связаны друг с другом и, соответственно, имеют подобный годовой ход. Поэтому максимум выброса тепла приходится на холодное время года, а минимум на летние месяцы.

Поскольку климатические параметры могут значительно изменяться год от года, то представляет интерес рассмотреть динамику составляющих антропогенного потока тепла в межгодовом разрезе. Такие данные приведены на рис. 2 отдельно по всем компонентам для разных лет, вошедших в обработку.

Видно, что годовой ход поступления антропогенного тепла от всех видов источников подобен и обратно пропорционален температуре воздуха. На рис. 2, в, г особенно четко видна обратная зависимость выработки тепловой энергии от средней зимней температуры воздуха. Так, например, в 2006 г. в Томске наблюдалась достаточно холодная зима, когда средняя температура января составляла  $-30^\circ\text{C}$ . Поэтому выброс антропогенного тепла от этого вида источника в январе 2006 г. превышает аналогичный в 2007 г. почти в 2 раза. Также видно (рис. 2, в), что в теплое время года особых межгодовых различий не наблюдается. В то же время энергия, затрачиваемая на отопление помещений, за исключением зимних месяцев (декабрь–февраль), мало изменяется год от года.

Рассмотрим тенденции изменения составляющих антропогенного потока тепла в городе. Это может иметь прогностическое значение.

Оказалось, что общее количество автомобилей, по данным Главного управления ГИБДД Томской области, с 2002 по 2008 г. в Томске увеличилось на 25 тыс. единиц (рис. 3).

Рост произошел в основном за счет личного легкового транспорта. Это дает основание говорить о том, что наблюдается увеличение выбросов данной составляющей антропогенного тепла за счет сжигания топлива автомобильным транспортом.

В подтверждение этого вывода приведем рис. 4, где показана динамика потребления топлива средними и крупными предприятиями города, а также автотранспортом. Видно, что с 2004 по 2007 г. имеется положительный тренд и расход топлива увеличился на 10%. При этом увеличения производства тепловой энергии в Томске не наблюдается. С одной стороны, это производство обратно пропорционально средней температуре зимнего периода в городе. С другой стороны, возможно, сказались мероприятия по экономии энергоресурсов, проведенные областной администрацией.

Если обратиться к динамике потребления электрической энергии в городе, то также можно наблюдать подъем (рис. 5).

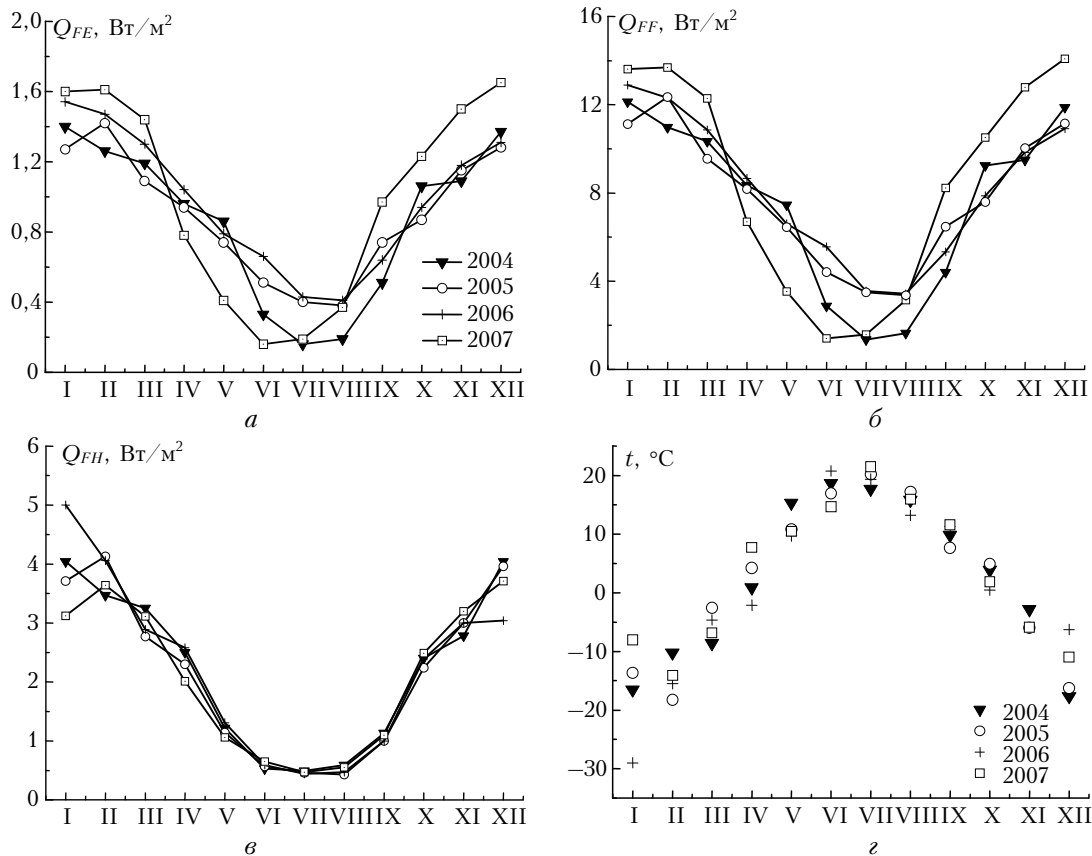


Рис. 2. Антропогенное тепло от потребленной электрической энергии (а), сожженного топлива (б), отопления помещений (в), среднемесячная температура воздуха в города (г)

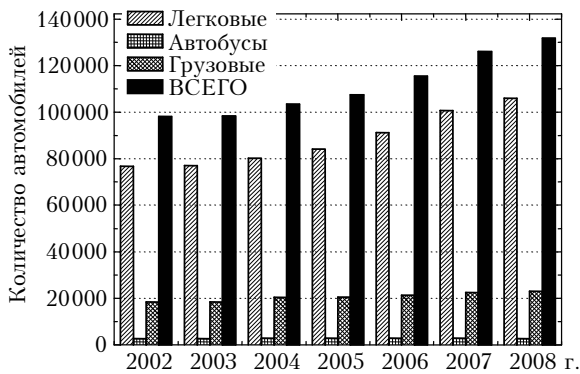


Рис. 3. Динамка состояния автомобильного парка г. Томска

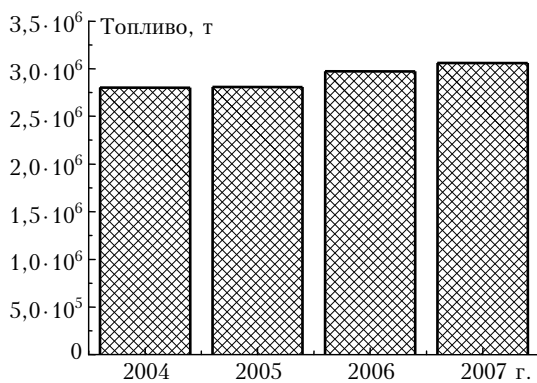


Рис. 4. Динамика потребления топлива предприятиями и автотранспортом в г. Томске

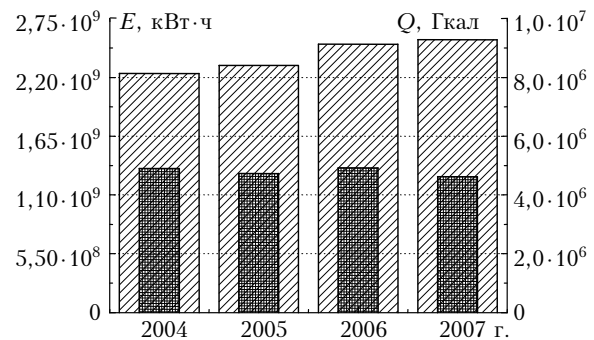


Рис. 5. Динамика потребления электрической энергии  $E$  (светлые столбики) и производства тепловой энергии  $Q$  (темные) в г. Томске

За исследуемый период рост составил 14,2%. Увеличение этих показателей произошло за счет ввода новых производств, что также ведет к дополнительным выбросам тепла в городе.

Обобщая вышеизложенные факты (рис. 6), можно сделать вывод, что за исследуемый период в г. Томске динамика общего количества тепла, выброшенного в атмосферу города, положительна. Увеличение за 4 года составляет 8,5%. Как изменится подобная тенденция в условиях наступившего экономического кризиса, пока непонятно.

Чтобы оценить значимость антропогенного потока тепла для термического режима города, сравним его величину с притоком солнечной радиации

к подстилающей поверхности. Для этого воспользуемся данными, приведенными в [2]. Из рис. 7, где представлены годовые ходы притока солнечной радиации и антропогенного тепла, а гистограммой показана антропогенная добавка тепла в процентах по отношению к суммарной солнечной радиации. Видно, что в зимние месяцы (с ноября по февраль), антропогенный приток тепла составляет около 25–80% от потока всей солнечной радиации. Это находит отражение и в термодинамическом режиме города, когда температура воздуха в этот период значительно выше, чем за его пределами [3].

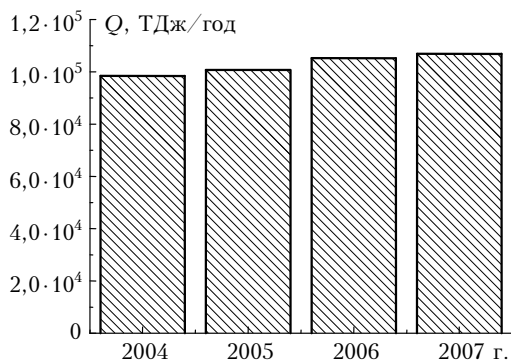


Рис. 6. Динамика общего количества тепла, выброшенного в атмосферу города

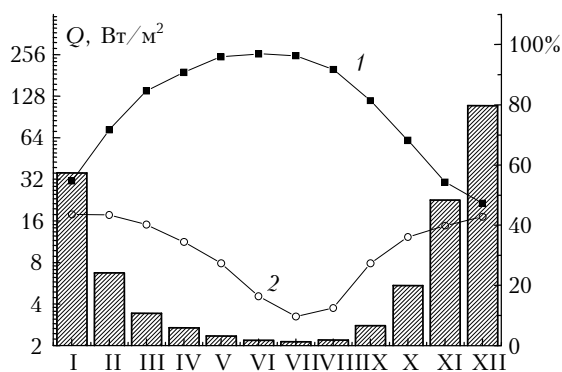


Рис. 7. Приход суммарной солнечной радиации и антропогенный поток тепла в городе на единицу площади: 1 – суммарная солнечная радиация; 2 – антропогенное тепло; – доля антропогенного тепла

В заключение проведем сопоставление полученных оценок с данными других авторов [4] (таблица).

Средний ежегодный приток антропогенного тепла в городах (сравнение литературных данных) [4]

Город	Период	Плотность населения (чел. на км <sup>2</sup> · 10 <sup>3</sup> )	Использование энергии на душу населения (ГДж/год)	Q <sub>F</sub> , Вт/м <sup>2</sup>
Манхеттен (40°42' с.ш.)	1965	28,8	169	159
Москва (55°45' с.ш.)	1970	7,3	530	127
Гонконг (22°18' с.ш.)	1971	37,2	28	33
Лос-Анджелес (33°56' с.ш.)	1965–1970	2,0	331	21
Фэрбенкс (64°50' с.ш.)	1967–1975	0,55	314	6
<b>Томск (56°30' с.ш.)</b>	<b>2004–2007</b>	<b>1,7</b>	<b>200</b>	<b>11</b>

Видно, что средний ежегодный приток антропогенного тепла в Томске неплохо согласуется с подобными исследованиями в других городах и самый большой приток антропогенного тепла наблюдается в густонаселенных развитых городах с холодным климатом. При этом немаловажное значение имеет плотность населения.

## Заключение

Основной вклад в антропогенный компонент тепла вносит сожженное топливо (предприятия, транспорт, бытовой газ).

В зимние месяцы доля антропогенного тепла по отношению к общему притоку солнечной радиации составляет примерно 25–80%.

При расчете теплового баланса города пренебрегать антропогенной составляющей баланса недопустимо.

1. Ландсберг Г.Е. Климат города. Л.: Гидрометеоздат, 1983. 247 с.
2. Складнева Т.К., Белан Б.Д. Радиационный режим в районе г. Томска в 1995–2005 гг. // Оптика атмосф. и океана. 2007. Т. 20. № 1. С. 62–67.
3. Белан Б.Д., Рассказчикова Т.М. Воздействие Томска на температурно-влажностный режим воздуха // Оптика атмосф. и океана. 2001. Т. 14. № 4. С. 294–297.
4. Oke T.R. The urban energy balance // Progr. Phys. Geogr. 1988. V. 12. N 4. P. 471–508.

### *B.D. Belan, O.A. Pelymskii, N.V. Uzhegova. Investigation of the anthropogenic component in the urban thermal balance.*

The estimation of size of the contribution of anthropogenic components ( $Q_F$ ) in the city general thermal balance (at the example of Tomsk) is carried out. The period of research was four years since 2004 to 2007. All anthropogenic heat in the city was subdivided into three components: anthropogenic heat from the burnt fuel (enterprises, transport, household gas), from consumed electric energy, from heating premises. The greatest contribution to heating air renders the burnt fuel, the least one brings electricity. The general value of anthropogenic heat from all kinds of sources makes in the winter 18  $\text{Wt}/\text{m}^2$ , in summer 4  $\text{Wt}/\text{m}^2$ . In winter months (since November to February), the anthropogenic inflow of heat makes from 25 to 80% relative to the inflow of solar radiation.