

DOI: 10.25702/KSC.2588-0039.2018.41.183-186

## О РОЛИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В ФОРМИРОВАНИИ ОСТРОВА ТЕПЛА В ГОРОДЕ АПАТИТЫ

В.И. Демин<sup>1</sup>, Б.В. Козелов<sup>1</sup>, А.П. Собакин<sup>4</sup>, Ю.В. Меньшов<sup>3</sup>, Ю.А. Горбань<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ФГБНУ "Полярный геофизический институт", г. Апатиты, Россия

<sup>2</sup>Апатитская ТЭЦ филиала "Кольский" ПАО "ТГК-1", г. Апатиты, Россия

<sup>3</sup>Территориально-ситуационный центр ФКУ Упрдор «Кола», г. Петрозаводск, Россия

<sup>4</sup>СЗФ ФГБУ "Авиаметтелеком Росгидромета", г. Мурманск, Россия

**Аннотация.** Температура воздуха зимой в г. Апатиты (Мурманская область) выше, чем в его пригородах. При отсутствии ветра и ясном небе перепад температуры между городскими и ближайшими фоновыми участками может достигать 10-16°C. Влияние теплотребления на эту разность не обнаружено. Положительная аномалия в г. Апатиты создается стоком холодного воздуха с верхней части холма, занимаемого городом.

### Введение

Модификация радиационных, термических, влажностных и аэродинамических характеристик ландшафта и хозяйственная деятельность на территории города приводит к появлению городского острова тепла (ГОТ): температура воздуха внутри застройки выше по сравнению с температурой в пригородах. ГОТ является наглядным примером изменения климатических ресурсов территории в результате деятельности человека, что и обуславливает повышенный интерес к данному явлению.

Исследования ГОТ в г. Апатиты (Мурманская область) представляет особый интерес. Во-первых, величина ранее обнаруженного в городе ГОТ (до 10°C [10]) при небольших размерах города (менее 56 тыс. жителей) сопоставима с интенсивностью подобных явлений в крупнейших мегаполисах мира. Во-вторых, благодаря небольшой инсоляции и полярной ночи, здесь в наибольшей степени должна проявиться роль антропогенного тепла. Интенсивный зимний ГОТ на территории, где нет промышленных предприятий, при отсутствии солнечной радиации может свидетельствовать о просчетах в проектировании систем отопления жилых зданий и значительных потерях на тепловых сетях.

Целью данной работы является изучение роли тепловой энергии в возникновении положительной тепловой аномалии в г. Апатиты.

### Использованные данные

В работе использованы измерения температуры воздуха на автоматических метеорологических станциях (АМС) Полярного геофизического института, Апатитской ТЭЦ, Территориально-ситуационного центра ФКУ «Управление Федеральной автомобильной магистрали Санкт-Петербург – Мурманск» (ФКУ Упрдор «Кола»), авиационной метеорологической станции «Апатиты» (АМСГ).

### Результаты и обсуждение

Характерной чертой микроклимата г. Апатиты является возникновение периодов, когда внутри городской застройки оказывается намного теплее, чем в его ближайших пригородах [3]. Данное явление возникает в тихую и ясную погоду: зимой в любое время суток, а летом – только в ночные часы.

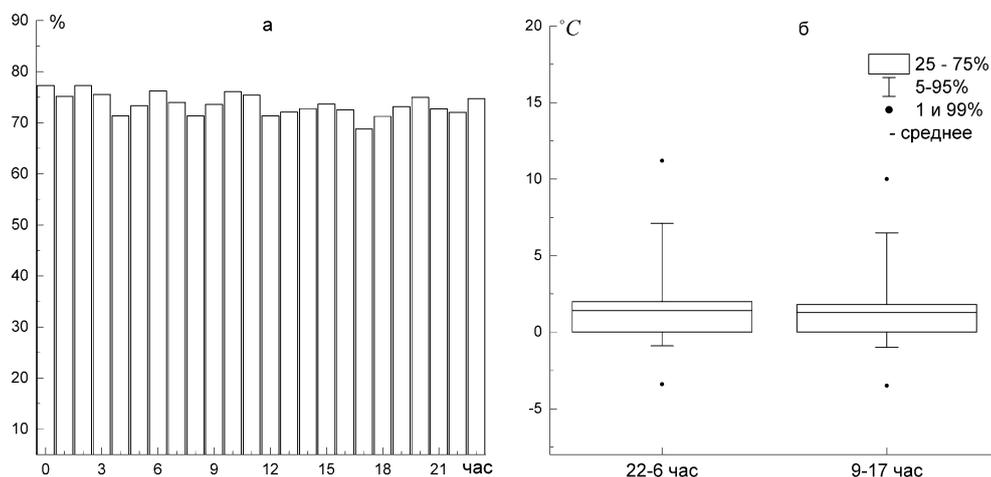
Факт более высоких температур в городе послужил основанием для заключения о существовании в Апатитах ГОТ, максимальная интенсивность которого оценивалась от 5–8°C [8, 9] до 10°C [10]. Заметим, что по более продолжительной серии измерений (2014-2018 гг.), выполненных в Полярном геофизическом институте, разности температур между городом и ближайшими пригородами могут достигать даже больших значений: до 10–16°C зимой и до 6–8°C в ночные часы летом [3].

Традиционный метод обнаружения и оценки ГОТ, когда сравниваются температуры внутри города ( $T_{\text{город}}$ ) и в ближайшей сельской местности ( $T_{\text{село}}$ ), а положительный знак разности  $T_{\text{город}} - T_{\text{село}}$  без каких-либо дополнительных условий принимается за интенсивность ГОТ, а также его применение к г. Апатиты был подвергнут критике в работах [2, 3]. По механизму возникновения ГОТ – явление исключительно антропогенное, в то время как неоднородности в поле температуры могут существовать и по естественным причинам. Город Апатиты занимает верхнюю часть холма, приподнятого над окружающей местностью на 30–70 м, где из-за стока холодного воздуха вниз теплее, чем в средних и нижних частях склонов, подножиях холма и на прилегающей равнине. Аномалия создается одновременно за счет стока холодного воздуха и

антропогенных факторов. Так как предполагалось, что «равнинное положение исключает влияние инверсий на температурный режим городской территории» [4], ГОТ в Апатитах оказался необоснованно завышенным. Несмотря на существенное уменьшение, скорректированное в работе [1] значение ГОТ (средняя интенсивность равна 1-1.5°C, а максимальная – примерно 5°C) для города, площадь которого вместе с парками всего около 3 км<sup>2</sup> по-прежнему сопоставимо с ГОТ крупнейших мегаполисов мира. Например, в Москве его интенсивность зимой в диапазоне 0–2°C наблюдается примерно в 58% времени ночью и в 89% днем [5].

Важным фактором формирования и динамики городского климата являются антропогенные потоки тепла (АПТ), к которым относят тепло, выделяемое двигателями внутреннего сгорания автомобилей, тепло, возникающее при работе электрических установок и в производственных процессах, тепло, затраченное на обогрев зданий, и тепло, генерируемое человеком при метаболических процессах.

На рис. 1а показано распределение по времени существования в г. Апатиты положительной аномалии температуры воздуха зимой (декабрь-февраль) по данным метеорологических измерений в период 2014-2018 гг. Как видно, ее появление не зависит от времен суток. Средние разности температуры в Апатитах («Академгородок») и на АМСГ «Апатиты» (~ 15 км от города) в рабочие (9-18 час) и в ночные часы (22-6 час) не имеют статистически значимого различия (соответственно 1.3°C и 1.4°C, рис. 1б). Так как на исследуемой территории города нет промышленных предприятий, а потребление электрической энергии и интенсивность движения автотранспорта (объем сжигаемого ими топлива) имеют выраженный суточный ход, единственный антропогенный фактор, который одинаково проявляется как в дневное, так и в ночное (нерабочее) время – тепло, затраченное на обогрев зданий (по различным оценкам вклад в АПТ метаболического тепла составляет 2–3% и поэтому, как правило, не учитывается [7]).



**Рисунок 1.** Вероятность появления положительной аномалии температуры воздуха в г. Апатиты в различные часы (а) и распределение аномалий в ночное и в дневное (рабочее) время (б), декабрь-февраль.

Расход тепла в отопительной сети  $Q$  пропорционален температуре наружного воздуха  $t$ :

$$Q = Q_p \frac{t_i - t}{t_i - t_p},$$

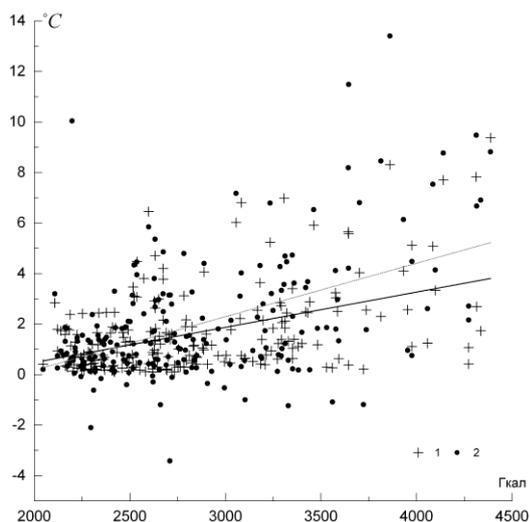
где  $t_p$  – расчетная температура наружного воздуха,  $t_n$  – температура воздуха в отапливаемых помещениях,  $Q_p$  – расчетная тепловая нагрузка ТЭЦ соответствующая расчетной температуре  $t_p$  [6]. Так как отпуск тепла не следует за быстрыми изменениями температуры воздуха, а задается на много часов вперед, в работе будут анализироваться среднесуточные значения.

Интенсивность ГОТ ( $\Delta t_{TOT}$ ) из-за рассеивания тепловой энергии:

$$\Delta t_{TOT} \sim Q.$$

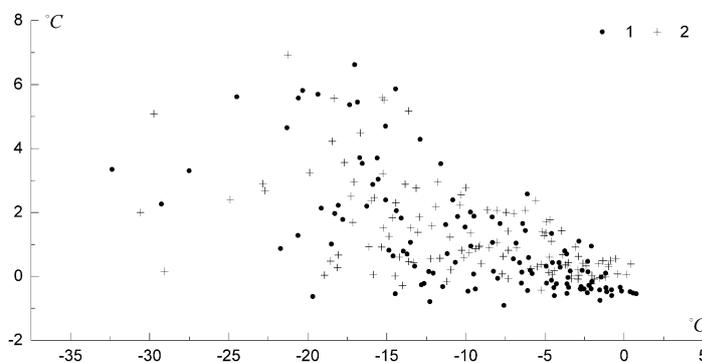
Как показано на рис. 2, разность среднесуточных температур между городской и фоновой метеорологическими станциями (МС) увеличивается вместе с ростом потребляемой городом тепловой энергии. Значительный разброс точек вызван тем, что на разность температур оказывают сильное влияние погодные условия (главным образом, облачность и ветер). Тем не менее, коэффициент корреляции ( $r$ ) между данными параметрами статистически значим и равен 0.46. При существующих подходах к изучению и моделированию ГОТ такой результат можно было бы рассматривать как прямое доказательство влияния города на тепловой режим приземного воздуха. Однако если на тот же рис. 2 нанести разности температур в те же самые дни между фоновыми АДМС-1166 (также, как и городские МС, расположена в верхней части

холма (210 м н.у.м.) и АМСГ «Апатиты», которые никак не связаны с теплотреблением в городе, мы обнаружим точно такую же зависимость ( $r=0.50$ ). Результат объясняется тем, что причиной понижения температуры воздуха часто является радиационное охлаждение подстилающей поверхности и приземного слоя воздуха, возникающее при установлении тихой и малооблачной погоды. Но радиационное выхолаживание запускает и механизмы, создающие микроклиматические различия по элементам рельефа. Для иллюстрации на рис. 3 показано, как усиливается разность температур между верхней частью холма (АДМС-1166, г. Апатиты) и прилегающей равниной (МС «Зашеек», АМСГ «Апатиты») при общем понижении температуры воздуха на равнине. Аналогичное фоновым условиям понижение температуры воздуха в городе будет сопровождаться возрастанием потребления тепловой энергии, что приведет к появлению корреляции между величиной положительной аномалии в городе и объемом потребляемого топлива.



**Рисунок 2.** Зависимость от суточного потребления г. Апатиты тепловой энергии разности среднесуточных температур зимой: г. Апатиты и АМСГ «Апатиты» (1) и АДМС-1166 и АМСГ «Апатиты» (2); прим.: выбраны дни с положительной аномалией температуры в городе.

холодного воздуха. Различие температур между верхней частью городского холма и прилегающей равниной создается стоком холодного воздуха и антропогенным ГОТ. Если теплотребление в городе вносит заметный вклад в величину положительной аномалии температуры воздуха, то вместе с ростом теплотребления разность температур в городе и на АДМС-1166 должна увеличиваться. Однако в действительности этого не наблюдается (рис. 4). Т.о., антропогенные источники тепла никак себя не проявляют в поле температуры воздуха в городе.



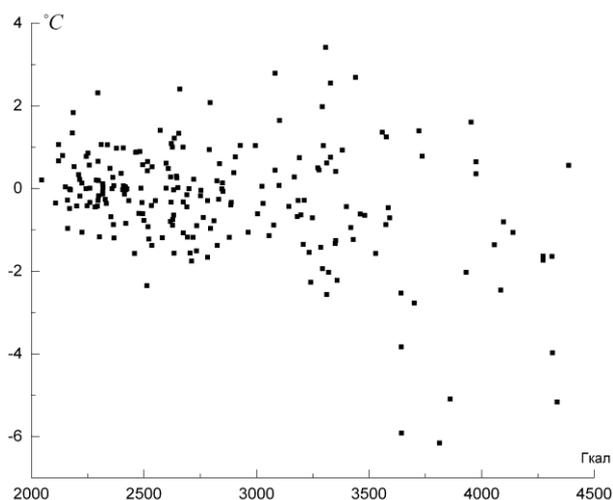
**Рисунок 3.** Разность среднесуточных температур между верхней частью холма и прилегающей равниной в зависимости от температуры воздуха на равнине: 1 – АДМС-1166 и МС «Зашеек», 2 – г. Апатиты и АМСГ «Апатиты», 2014-2015 гг.

Полученный результат говорит о том, что использование мезомасштабных климатических моделей для моделирования ГОТ, в которых одним из входных параметров является АПТ, не гарантирует исключения искажающей роли микроклимата на результаты расчета. Чтобы выделить именно антропогенный эффект, необходимо сравнивать участки только со схожим набором естественных процессов, формирующих микроклимат. В случае г. Апатиты зимой, когда снежный покров сглаживает неоднородности подстилающей поверхности, наиболее значимым микроклиматическим фактором является положение города в верхней части холма. При оценке ГОТ городские температуры следует сопоставлять с их значениями не на прилегающей к холму равнине, а в верхних частях фоновых холмов.

АДМС-1166 удалена от Апатит на 50 км к ЮЗ, однако обусловленная горизонтальным градиентом различие температур между Апатитами и АДМС-1166 около  $0.3^{\circ}\text{C}$ , что, очевидно, не мешает выявлению ГОТ, если его величина достигает  $5-10^{\circ}\text{C}$ . Кроме того, нами будут рассматриваться разности температур, а не их абсолютные значения.

Различие температур между верхней частью холма, где установлена АДМС-1166, и прилегающей к нему равниной создается стоком

Нельзя говорить о полном отсутствии ГОТ в г. Апатиты – строительство города и его функционирование всегда сопровождаются изменениями теплового баланса ландшафта, вследствие чего ГОТ в той или иной степени должен присутствовать в любом городе. Однако можно уверенно говорить о его очень небольшой интенсивности, из-за чего он не выделяется на фоне значительных микроклиматических вариаций. Предположительно это вызвано небольшими размерами города – 1.5 на 2.5 км: воздушная масса быстро пересекает техногенную территорию, не претерпевая существенной трансформации.



**Рисунок 4.** Зависимость разности среднесуточных температур зимой в г. Апатиты и на АДМС-1166 от суточного потребления тепла г. Апатиты (отобраны дни с положительной температурной аномалией в городе), 2016-2018 гг.

### Заключение

В г. Апатиты зимой, а ночью во все сезоны, в тихую и ясную погоду может возникать значительная положительная аномалия температуры воздуха по отношению к окружающей сельской местности. Перепад температуры между городскими районами и пригородами зимой может достигать 10–16°C. Данное явление возникает из-за стока холодного воздуха с верхней части холма, на котором расположен г. Апатиты, и ГОТ. Разность температуры воздуха между центральной частью города и верхней частью фонового холма не увеличивается при росте теплопотребления в зимний период. Это говорит о небольшой интенсивности ГОТ в г. Апатиты, вследствие чего он не выявляется на фоне значительных естественных микроклиматических вариаций температуры. Слабый ГОТ может быть обусловлен размерами города, которые не способствуют застою воздушных масс и их заметной тепловой трансформации.

### Литература

1. Варенцов М.И., Константинов П.И. Первичный анализ вклада антропогенного фактора в формирование «острова тепла» города Апатиты по данным дистанционного зондирования // Земля из космоса - наиболее эффективные решения. 2018. №9 (25). С. 27-31
2. Демин В.И., Козелов Б.В., Елизарова Н.И., Меньшов Ю.В. Влияние рельефа на формирование «острова тепла» в г. Апатиты //Фундаментальная и прикладная климатология. 2016. № 2. С. 95-106.
3. Демин В.И., Козелов Б.В., Елизарова Н.И., Меньшов Ю.В. Влияние микроклимата на точность оценки городского «острова тепла» // Труды ГГО. 2017. Вып. 584. с. 74-93
4. Константинов П. И, Грищенко М. Ю., Варенцов М. И. Картографирование островов тепла городов Заполярья по совмещенным данным полевых измерений и космических снимков на примере г. Апатиты (Мурманская область) // Исследование Земли из космоса. 2015. № 3. С. 27—33.
5. Кузнецова И.Н., Брусова Н.Е., Нахаев М.И. Городской остров тепла в Москве: определение, границы, изменчивость // Метеорол. и гидрол. 2017. № 5. С. 49–61.
6. Хандожко Л.А. Экономическая метеорология. - СПб.: Гидрометиздат, 2005. - 491с.
7. Allen L., Beevers S., Lindberg F., et al. MEGAPOLI News Letter Project Scientific Report Global to City Scale Anthropogenic Heat Flux: Model and Variability. L.: 2010. 87 p.
8. Konstantinov P.I., Grishchenko M.Y., Varentsov M.I. 2015. Mapping urban heat islands of arctic cities using combined data on field measurements and satellite images based on the example of the city of Apatity (Murmansk oblast). Izvestiya RAS – Atmospheric and Oceanic Physics. vol. 51, No. 9, p. 992 – 998
9. Konstantinov P. et. al. I. et al. Urban Heat Island's intensity research of Arctic city during winter (Apatity case-study) and its influence on inhabitants' thermal comfort // EMS Annual Meeting Abstracts Vol. 13, EMS2016-25, 2016 [https://meetingorganizer.copernicus.org/EMS2016/EMS2016-25.pdf]
10. Varentsov M. et al. Experimental research of urban heat island effect for the biggest Arctic cities. Arctic Frontiers conference, Tromsø, Norway, January 28, 2016. Эл. публикация доступна по ссылке [https://istina.msu.ru/download/22094094/1fD7PQ:qWmTumG2ojM7-TmafPxUDs-ZaZA]