DOI: 10.21513/2410-8758-2019-3-76-91 УДК 551.584.2, 551.588.7

ВЛИЯНИЕ МИКРОКЛИМАТА НА ОЦЕНКИ ИНТЕНСИВНОСТИ ГОРОДСКОГО ОСТРОВА ТЕПЛА

В.И. Демин [1)], Б.В. Козелов [1)], Ю.А. Горбань [2)], Ю.В. Меньшов [3)], А.П. Собакин [4)]*

[1)] ФГБНУ Полярный геофизический институт,
Россия, 184209, г. Апатиты, Академгородок, 26а; **demin@pgia.ru*

[2)] АМСГ «Апатиты» СЗФ ФГБУ "Авиаметтелеком Росгидромета",
Россия, 184209, Мурманская область, г. Апатиты, Аэропорт г. Апатиты

[3)]Территориально-ситуационный центр ФКУ Упрдор «Кола»,
Россия, 185035, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Антикайнена, д. 1а

[4)] Апатитская ТЭЦ филиала "Кольский" ПАО "ТГК-1", Апатиты,
Россия, 184209, г. Апатиты, Апатитская ТЭЦ

Реферат. Аномалии в поле температуры над урбанизированной территорией возникают под влиянием техногенной среды и естественных микроклиматических процессов, создаваемых неоднородностями подстилающей поверхности и рельефом. На примере г. Апатиты (Мурманская область) показано, что для корректной оценки величины городского острова тепла необходимо сравнивать температуру на городских и фоновых участках только со схожими механизмами формирования естественного микроклимата. В г. Апатиты теплее, чем в его пригородах. Зимой в ясную и тихую погоду разность температуры воздуха может достигать 10-15°С, а летом (только ночью) – 6-8°С. Однако объявление данного явления только антропогенным приводит к необоснованному завышению интенсивности городского острова тепла. Город расположен в верхней части холма, откуда стекает холодный воздух. Температура в городе выше, чем на окружающей равнине, но не превышает температуру воздуха в эти же самые периоды времени в верхней части фонового холма с аналогичными условиями для стока холодного воздуха. Это указывает на слабый городской остров тепла. Микроклимат существенно влияет на оценки городского острова тепла, полученные по данным прямых метеорологических измерений, дистанционного зондирования и математического моделирования.

Ключевые слова. Климат города, городской остров тепла, микроклимат, дистанционное зондирование.

Введение

Наиболее известной особенностью городского микроклимата является городской остров тепла (ГОТ). Как правило, под ним подразумевают более высокие температуры воздуха внутри застройки относительно окружающей

сельской местности. В действительности тепловая аномалия, создаваемая городом, захватывает не только приземный и пограничные слои атмосферы, но проявляется также в температуре подстилающей поверхности, почвы и грунтовых вод.

Согласно существующим представлениям, ГОТ возникает в результате изменения радиационных, термических, влажностных и аэродинамических характеристик ландшафта в процессе городского строительства и деятельности человека (Oke et al., 2017). Антропогенный ГОТ в поле температуры следует отличать от аномалий, создаваемых естественными неоднородностями подстилающей поверхности и рельефом. Оба явления (антропогенный ГОТ и естественный микроклимат) в наибольшей степени проявляются в одинаковых погодных условиях (штиль, малооблачная погода), и создаваемые ими аномалии накладываются друг на друга.

Для примера: с началом хозяйственного освоения районов Сибири и Крайнего Севера были разработаны градостроительные рекомендации, согласно которым в регионах с сильными морозами при выборе площадок для новых городов, «*следует избегать понижений рельефа, где накапливается холодный воздух… Непременным условием выбора должна явиться возможность стока охлажденного воздуха с территории населенного места и, желательно, отсутствие или минимум поступления холодного воздуха с вышерасположенных участков*» (процитировано по (Справочник…, 1977)). Таким местоположениям соответствуют участки на верхней трети склонов (возвышенности, песчаные гряды, крутые берега рек). Важно также, что эти же самые участки, выбранные из климатических соображений, будучи образованными аллювиальными отложениями, одновременно оказываются и наиболее удобными для строительства, так как позволяют избежать работ на заболоченных и переувлажненных грунтах (Инженерная…, 1976; Справочник…, 1977). Естественные положительные аномалии температуры (воздуха и почвы) уже изначально присутствовали на территории многих будущих городов. В процессе городского строительства и жизнедеятельности возник антропогенный ГОТ, который усилил существующий термический контраст. Выдавать всю сегодняшнюю тепловую аномалию за ГОТ некорректно, так как необоснованно завышается интенсивность явления.

Цель данной работы – показать на примере г. Апатиты, как существующие методы обнаружения и оценки ГОТ дают некорректные результаты в случае игнорирования микроклимата.

Использованные данные

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

Результаты и обсуждение

В поле температуры воздуха ГОТ должен проявляться в виде замкнутых вокруг города изотерм с горизонтальным градиентом, направленным от окрестностей к его центру или районам с наиболее плотной застройкой. Провести такие изотермы на практике не всегда представляется возможным из-за редкой сети МС и изучение ГОТ часто сводят к сравнению температуры воздуха ($T_{город}$) на городской и ближайшей к ней фоновой МС ($T_{село}$). Положительный знак разности

$$\Delta T_{ГОТ} = T_{город} - T_{село}$$

рассматривается как присутствие ГОТ, а её численное значение служит его количественной характеристикой (интенсивность ГОТ). Главным критерием выбора фоновой МС является расстояние от города. При этом микроклимат, существенно влияющий на разность температур, часто выпадает из поля зрения. Между тем на границах контрастных по микроклимату участков климатические показатели меняются даже сильнее, чем при переходе из одной климатической зоны в другую (Гольцберг, 1967). В частности, микроклиматическая изменчивость термических характеристик воздуха и почвы может на порядок превышать их характерный широтный и высотный градиент.

Искажающая роль микроклимата в наглядной степени проявляется при оценке ГОТ в небольшом г. Апатиты (Мурманская область). В городе теплее, чем в его ближайших пригородах. В ясную и тихую погоду разность температуры воздуха между городскими и находящимися всего в 1.5-15 км от города фоновыми МС в отдельные моменты зимой достигает 10-15°С, а летом (только ночью) – 6-8°С (Демин и др., 2017а). Если положительную аномалию в городе интерпретировать исключительно как антропогенное явление, можно придти к заключению о существовании очень интенсивного ГОТ на территории с площадью всего около 3 км^2 (вместе с парками), где отсутствуют промышленные предприятия.

В действительности картина оказывается более сложной. Город занимает верхнюю часть холма (максимальная отметка – 200 м н.у.м.), приподнятого над окружающей местностью на 30-70 м (рис.1). Из-за стока холодного воздуха вниз такие местоположения зимой, а ночью – во все сезоны, теплее, чем средние и нижние части склонов, подножия холмов и прилегающая равнина. Наблюдаемая в Апатитах положительная тепловая аномалия возникает одновременно за счет антропогенного ГОТ и упомянутого стока. При этом роль последнего фактора может быть весьма и весьма значительной: по климатическим данным при появлению стоковых течений разность между верхней частью холма и прилегающей равниной увеличивается до 4-5°С, а в отдельных случаях и до 8-12°С (Романова и др., 1983). Так, например, по результатам измерений на агрометеорологическом полигоне в Литве, в пределах очень выровненного участка с перепадом высот менее 30 м характерный диапазон вариаций минимальной температуры при тихой ясной погоде составляет 6-7°С,

а полный диапазон температурных различий, обусловленных рельефом, достигает 9°С (Каушила, 1970). На территории Башкирии в теплую и ясную погоду минимальные температуры на холме в среднем на 5°С выше, чем в долине, при разности высот всего 26 м, а в отдельных случаях разности превышали 9°С (Суханов, 1949). В феврале различия в тихую ясную погоду составляли в среднем 7-8°С, доходя в отдельных случаях до 12°С. В Арктике можно предположить появление зимой и больших разностей: в период полярной ночи радиационное выхолаживание при установлении тихой антициклонической погоды может продолжаться в течение многих дней.

Рисунок 1. Город Апатиты

Расстояние АБ=1.5, ВГ= 2.5 км; отмечены характерные высоты (н.у.м.) и положение городских МС: 1 – «Центр», 2 – «Академгородок»; фото Б. Вахмистрова

Величина ГОТ по определению должна количественно отражать масштаб техногенного воздействия городской среды на поле температуры. Чтобы разность $\Delta T_{ГОТ} = T_{город} - T_{село}$ содержала только антропогенную составляющую, выбор МС не может быть произвольным: механизмы формирования естественного микроклимата на городских и фоновых МС должны быть одинаковыми.

Микроклиматические вариации температуры создаются неоднородностями подстилающей поверхности (теплофизические свойства почв, типы растительности, близость к водоемам, наличие болот и т.д.) и формами рельефа (Гольцберг, 1967). Зимой из-за замерзания водоемов и установления снежного покрова роль последних становится решающей. Из всего многообразия элементов холмистого рельефа принято выделять несколько местоположений с разным микроклиматами, возникающими из-за неодинаковых условий по характеру воздухообмена днем, стока и притока холодного воздуха ночью: вершины, верхние части склонов, средние части склонов, ниж-

ние части склонов, подножия склонов, замкнутые понижения (Романова и др., 1983). Так как г. Апатиты занимает верхнюю часть холма, температура должна сопоставляться с температурой в верхних частях фоновых холмов, а не с температурой на прилегающей к нему местности, где зимой холоднее. Например, находящаяся всего в 1.5-2 км от города МС «Апатиты» (135 м н.у.м.) оказывается расположенной в орографической депрессии, где формируется «озеро холода», – ее показания для оценки ГОТ непригодны. Подходящая для этой задачи фоновая МС (АДМС–1166) находится в верхней части холма в 50 км от города (210 м н.у.м.). На равнине между городскими МС и АДМС-1166 размещается АМСГ «Апатиты» (160 м н.у.м.).

При сравнении температуры в городе и на АДМС-1166 отмечается схожий характер их временных вариаций (рис. 2а). Появление «острова тепла» в г. Апатиты (рис 2б), как правило, совпадает по времени с появлением такой же теплой области в верхней части холма, на которой находится АДМС–1166 (рис. 2в). Это обусловлено тем, что благоприятная для радиационного выхолаживая и начала стоковых явлений синоптическая ситуация охватывает сразу большую территорию. Полной синхронности между разностями не наблюдается из-за неоднородностей в поле ветра (по скорости и направлению) и облачности.

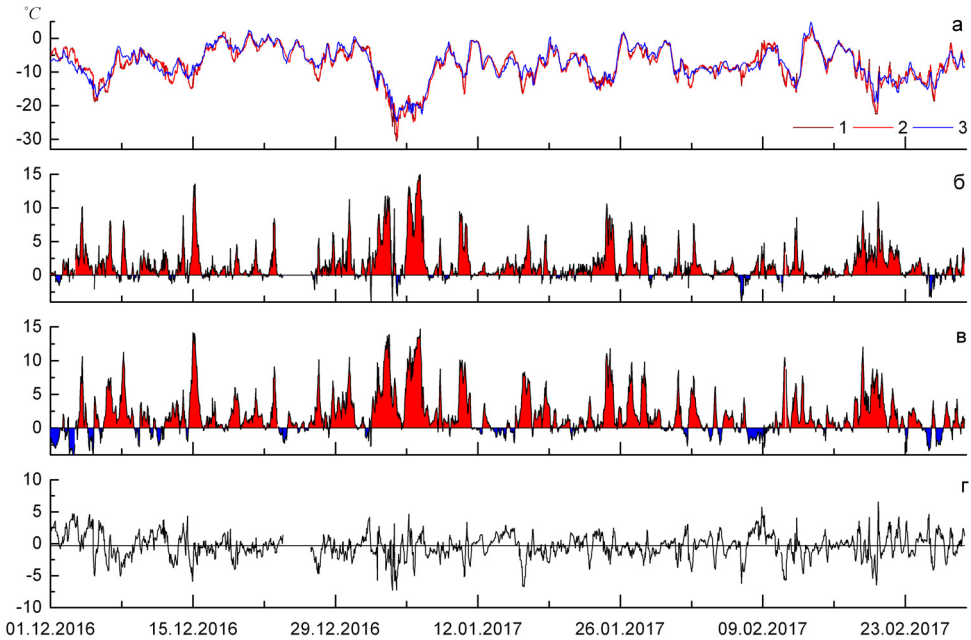

Рисунок 2. Температура воздуха (а) в г. Апатиты (1 – «Академгородок», 2 – «Центр») и на АДМС–1166 (3); разность температур между МС «Апатиты, Академгородок» и АМСГ «Апатиты» (б), АДМС–1166 и АМСГ «Апатиты» (в), разности температур на МС «Апатиты, Академгородок» и АДМС–1166 (г)

Разность температур между городской МС и АМСГ «Апатиты» (рис. 2б) создается стоком холодного воздуха и антропогенным ГОТ. Разность температур между АДМС–1166 и АМСГ «Апатиты» (рис. 2в) – только стоком холод-

ного воздуха. На рис. 2б и 2в хорошо видно, что на фоновом холме без всяких антропогенных потоков тепла возникают положительные аномалии температуры такой же интенсивности, как и в городе, причем в то же самое время.

Появление и усиление ГОТ в Апатитах должно проявляться не только в возникновении положительной аномалии по отношению к пригородам, оказавшимся на равнине (оно может существовать и по естественным причинам), но и в одновременном увеличении разности температур между г. Апатиты и АДМС–1166 на величину ГОТ. Например, при ГОТ, равным 5 или 10°С, температура воздуха в эти периоды была бы на эти 5 или 10°С выше, чем на АДМС-1166. Однако никакой корреляции между величиной положительной аномалии в Апатитах (рис. 2б) и разностью температур между городскими МС и АДМС-1166 (рис. 2г) нет. В моменты времени, когда температура в г. Апатиты значительно выше, чем на окружающей равнине, она остается примерно такой же, как и на фоновом холме (рис. 2а). Средняя за 2016-2018 гг. температура воздуха на МС «Апатиты, Центр», рассчитанная по периодам существования в городе положительной аномалии температуры равна -9.0°С. Средняя температура на АДМС-1166 в эти же самые периоды составляла -8.7°С.

Согласно (Константинов и др., 2015; Varentsov et al., 2018) от 100% до 50% разности температур между городской и ближайшей фоновой МС «Апатиты» объясняется антропогенным ГОТ. Однако в данных работах рельеф либо просто игнорировался («*Апатиты … его равнинное положение… исключает влияние инверсий на температурный режим городской территории*» (Константинов и др., 2015), или неправильно подбирали МС для сравнения: городские оказались в верхней части холма, а фоновые – у подножия холмов или даже в низине, как МС «Апатиты» (Varentsov et al., 2018). Это привело к физически необоснованному завышению ГОТ в небольшом городе, который пересекается в любом направлении за 20-30 мин (рис. 1), до значений, характерных для крупнейших мегаполисов мира (Москва, Лондон, Париж). Сравнение, проведенное с учетом микроклимата, дает совершенно иную оценку: в городе слабый ГОТ, который практически не выделяется на фоне значительных естественных микроклиматических вариаций температуры (разность температуры между городскими и фоновыми МС не выходит за пределы своей естественной микроклиматической изменчивости в холмистом рельефе, а именно – разности, возможной между верхней частью холма и прилегающей к нему равниной).

Ограничения на выбор фоновых участков в виде схожих механизмов формирования естественного микроклимата, очевидно, должны существовать и при проведении маршрутных измерений температуры.

Повторяемость метеорологических условий, при которых в наибольшей степени проявляются микроклиматические неоднородности, не остается постоянной из-за характера доминирующих макроциркуляционных процессов (макроциркуляционные эпохи). В результате разность температур между МС, расположенных на участках с разными микроклиматами, меняется. Данный эффект необходимо учитывать, так как увеличивающаяся со временем (по мере роста города) разность температур между городскими и сельскими

МС (т. н. «ползучий» тренд температуры в городах) является важным приемом изучения ГОТ. Например, увеличение повторяемости штилей или ясных дней приведет к возрастанию разности температур между верхней частью холма и прилегающей равниной, что в случае Апатит будет ошибочно интерпретировано как усиление ГОТ.

Благодаря открытому через Интернет доступу к данным дистанционного зондирования, популярным методом обнаружения ГОТ стал анализ инфракрасных (ИК) изображений со спутников. Интенсивность теплового излучения над городскими территориями выше естественного фона, и городам на ИК-изображениях в целом соответствуют положительная тепловая аномалия, наиболее выраженная над активно действующими промышленными предприятиями, промзонами, районами с плотной жилой застройкой. Так как источником информации в данном методе является тепловое излучение подстилающей поверхности, говорят о поверхностном ГОТ. Характеристики ГОТ в поле температуры поверхности и в поле температуры приземного слоя воздуха существенно различаются, особенно днем в условия солнечного нагрева (таблица). Несмотря на эти различия, они находятся в тесной связи (Urban, 2013), что и обуславливает широкое применение ИК-изображений для изучения городского микроклимата.

В отличие от локальных измерений на МС, инфракрасные изображения городов со спутников позволяют одновременно охватить значительную площадь. Однако метод не позволяет избежать искажающего влияния микроклимата. Это вызвано тем, что температура объектов, от которой зависит интенсивность их излучения, из-за теплообмена с окружающим воздухом и неодинаковых условий для излучения, является чувствительным к микроклимату параметром. Искусственные городские поверхности в той или иной степени также содержат информацию об окружающем микроклимате, по крайней мере, в период с отрицательным радиационным балансом.

Таблица. Основные характеристики поверхностного и атмосферного городского острова тепла (EPA, 2008)

Характеристики	**Поверхностный ГОТ**	**ГОТ в температуре воздуха**
Время появления	Существует всегда (днем и ночью); наиболее интенсивен в дневные часы и летом.	Может быть небольшим или отсутствовать в дневные часы; наиболее интенсивен ночью или на рассвете и зимой.
Максимальная интенсивность и ее вариации по территории города	Днем от 10 до 15 ° С, ночью от 5 до 10 ° С. Большие пространственные и временные вариации.	Днем от -1 до 3 ° С, ночью от 7 до 12 ° С. Небольшие вариации.
Методы обнаружения	Дистанционное зондирование (тепловые снимки).	Прямые метеорологические измерения.

Для иллюстрации на рис. 3 приведены вариации температуры воздуха и поверхности дорожного покрытия по данным автоматической дорожной МС: зимой и ночью изменения достаточно синхронны. В работе (Демин и др., 2017б) показано, как усиление разности температур воздуха между дорожными МС, одна из которых расположена в верхней части холма, а вторая – на прилегающей равнине, за счет стока сопровождается такими же вариациями в разности температур асфальта. Существует также корреляция между температурой кровельных поверхностей и температурой воздуха (Воронин, 2008; Oke et al., 2017). В жаркий солнечный день кровля зданий нагревается до температур, значительно превышающих температуру окружающего воздуха, обеспечивая, наряду с высокой температурой других искусственных городских поверхностей, высокий поверхностный ГОТ (таблица). Ночью она быстро теряет тепло из-за интенсивного на уровне крыш турбулентного обмена; ее температура приближается к температуре окружающего воздуха, а при сильном из-за открытого неба радиационном выхолаживании опускается и ниже. Ночью ГОТ в температуре воздуха и в температуре поверхности имеют достаточно близкие значения (таблица).

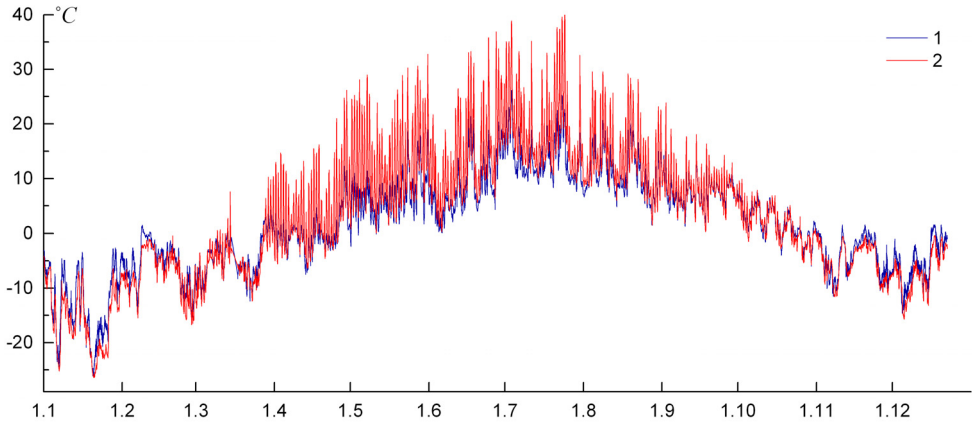

Рисунок 3. Температура воздуха (1) и температура поверхности асфальта (2), Мурманская область, 2016 г.

Средняя интенсивность ГОТ в Апатитах, полученная по инфракрасным изображениям (ИК) со спутника, равна 3.2°С (Константинов и др., 2015) – на порядок выше характерного значения, рассчитанного по 56 крупнейшим городам Европы в зимний период (0.4±0.4°С (Peng et al., 2011). Так как оценка проведена без учета влияния рельефа («*город Апатиты… его равнинное положение*» (Константинов и др., 2015), часть заявленного значения в действительности имеет естественную, а не антропогенную природу. Причем, если исходить из данных рис. 4, где в виде бокс-диаграммы показаны разности температуры воздуха и температуры поверхности асфальта между фоновыми автоматическими дорожными МС в Мурманской области, одна из которых установлена в верхней части холма (210 м н.у.м.), а вторая – на прилегающей к нему равнине (135 м н.у.м.), аномалии поверхностной темпера-

туры в г. Апатиты, создаваемые рельефом, могут достигать нескольких градусов. Отметим, что температура дорожного полотна как части дна уличного каньона при отсутствии солнечной радиации является наиболее высокой в городе (Oke et al., 2017). Факт того, что возможные естественные аномалии сопоставимы по величине со значением общей аномалии в г. Апатиты (3.2°C), говорит о слабости зимнего поверхностного ГОТ. Статистика получена по всему ряду, включая периоды с осадками, облачностью и сильным ветром, а, следовательно, средние значения разностей на рис. 4 даже ниже, чем могут наблюдаться в малооблачные дни, когда технически возможно получение ИК-изображения со спутников.

В районах плохо освещенных метеорологическими наблюдениями тепловые снимки со спутника являются фактически единственным способом обнаружения ГОТ. На наш взгляд, его следует рассматривать как важный, но только как первый этап работы, позволяющим выявить участки с различными аномалиями температуры. Ответ на вопрос, какой количественный вклад в их значение вносит именно ГОТ, требует проведения дополнительных микроклиматических изысканий.

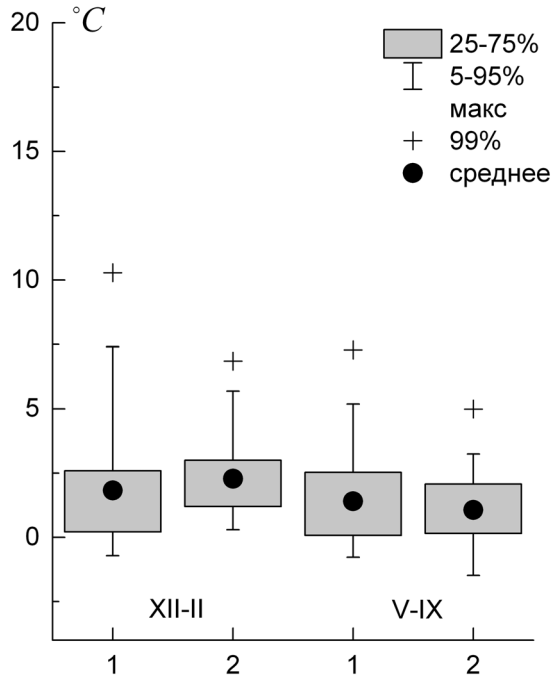

Рисунок 4. Разности температур (1– температура воздуха, 2 – температура дорожного покрытия (асфальт) между автоматическими дорожными МС в верхней части холма и на прилегающей равнине зимой (XII-II) и ночью (23-5час) в теплое время года (V-IX) в 2016-2017 гг.

Мурманская обл., разность высот между МС – 75 м

Несколько неожиданно, но при игнорировании микроклимата могут оказаться некорректными и результаты моделирования ГОТ. В численных экспериментах по воспроизведению временного хода метеовеличин входным

параметром становится поток антропогенного тепла (АГП), к которому относят тепло, образующееся при сжигании топлива в бытовых и промышленных целях, в транспортных средствах, при работе электрических установок, а также тепло, возникающее в технологических или метаболических процессах.

Появление положительной аномалии в г. Апатиты, а также ее интенсивность зимой не зависит от времени (рис. 5). Так как на территории города (рис.1) нет промышленных предприятий с круглосуточным циклом работы, остается только одна компонента АПТ, не имеющая «правильного» суточного хода – тепло, затраченное на обогрев зданий (в движении автомобильного транспорта, в потреблении электрической энергии и даже в объемах метаболического тепла наблюдается очень выраженные суточные вариации с сильным минимумом в ночные часы).

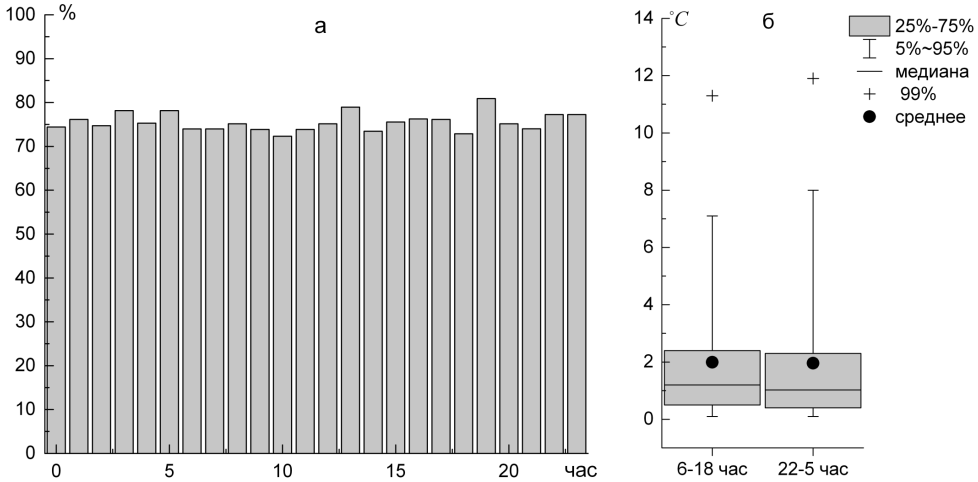

Рисунок 5. Вероятность появления положительной аномалии температуры в г. Апатиты (а) в различные часы и ее статистические характеристики в дневное и ночное время (б), декабрь-февраль

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 – расчётная температура наружного воздуха, t_n – температура воздуха в отапливаемых помещениях, Q_p – расчётная тепловая нагрузка ТЭЦ соответствующая расчётной температуре t_p (Хандожко, 2005).

Понижение температуры воздуха вызывает рост теплопотребления в городе и усиление АПТ. Корреляция между реально наблюдаемой аномалией в городе и аномалией, рассчитанной по модели, в которой входным параметром является АПТ, выглядит физически обоснованной и может рассматриваться как подтверждение антропогенного эффекта (Varentsov et al., 2018). Однако точно такая же зависимость между величиной положительной аномалии и температурой воздуха (и даже с теплопотреблением в удаленном на 50 км г. Апатиты), наблюдается и на фоновом холме (рис. 6). Результат объясняется тем, что низкие температуры возникают за счет радиационного выхолаживания воздушных масс. Усиление аномалии в городе с понижением температуры воздуха не обязательно вызвано ростом теплопотребления – это отражение общего увеличения микроклиматических неоднородностей в поле температуры в холмистом рельефе в данных метеорологических условиях. Если рассматривать динамику температуры воздуха на городском холме не относительно находящейся в понижении МС «Апатиты» (Varentsov et al., 2018), а относительно схожей по микроклимату АДМС-1166, то обнаруживается, что разность температур между городской МС и фоновой АДМС-1166 не увеличивается с ростом теплопотребления (рис. 7). Это говорит о малой роли тепловой энергии, затраченной на обогрев города, в создании наблюдаемой положительной аномалии.

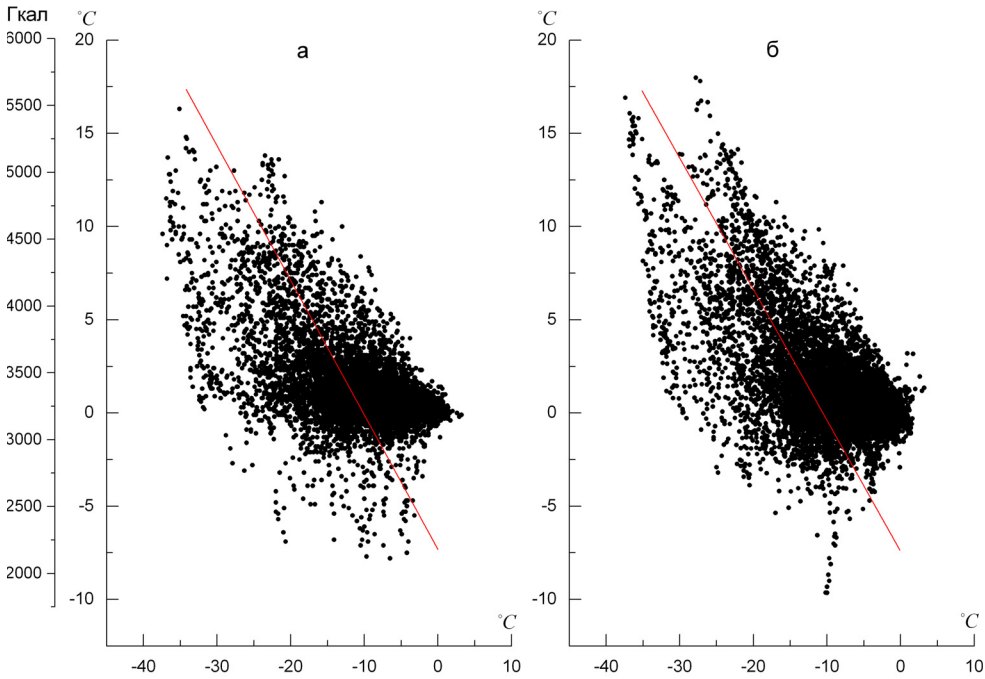

Рисунок 6. Разность температуры (2014-2018 гг.) между верхней частью холма и прилегающей равниной в зависимости от температуры воздуха на равнине: г. Апатиты и АМСГ «Апатиты»

(а), АДМС–1166 и АМСГ «Апатиты» (б)
Красная линия – зависимость суточного потребления тепла г. Апатиты (Гкал) от среднесуточной температуры

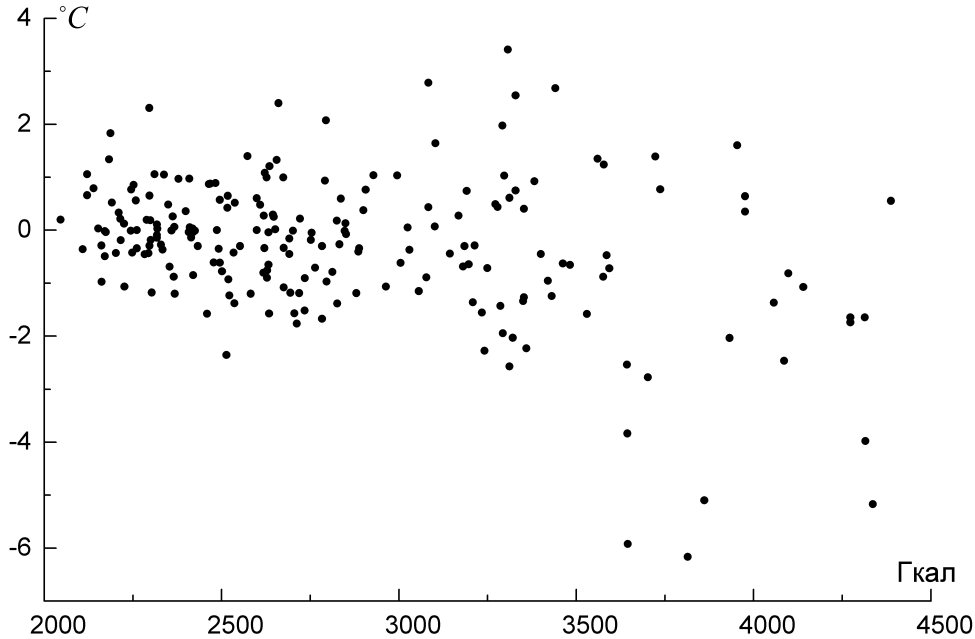

Рисунок 7. Зависимость разности среднесуточных температур зимой в г. Апатиты и на АДМС–1166 от суточного потребления тепла г. Апатиты
Отобраны дни с положительной температурной аномалией в городе, 2016-2018 гг.

Заключение

Микроклиматические вариации температуры в районах с неоднородной подстилающей поверхностью или сложным рельефом могут быть значительными по своей величине и даже на порядок превышать ее характерный широтный и высотный градиенты. Для расположенных на таких территориях городов игнорирование естественных аномалий и объявление более высоких температур внутри застройки следствием только антропогенных процессов является некорректной процедурой. Для расчета интенсивности антропогенного ГОТ предлагается сравнивать температуру на городских и фоновых участках со схожими механизмами формирования естественного микроклимата.

На примере г. Апатиты показано, что оценка ГОТ по данным прямых метеорологических измерений, методами дистанционного зондирования и численного моделирования без рассмотрения особенностей микроклимата, создаваемого холмистым рельефом, не отражает масштаба техногенного воздействия городской среды на тепловой режим местности. В г. Апатиты в ясную и тихую погоду разность температуры воздуха с пригородами зимой может достигать 10-15°С и 6-8°С летом (ночью). Интерпретация данного явления

только как антропогенного эффекта приводит к физически необоснованному завышению интенсивности ГОТ на территории площадью всего 3 км^2 до значений, характерных для крупнейших мегаполисов мира. Город расположен в верхней части холма, и наблюдаемая положительная тепловая аномалия создается одновременно как ГОТ, так и естественными процессами – стоком холодного воздуха. Температура в городе выше, чем на окружающей равнине, но не превышает температуру воздуха в эти же самые периоды времени в верхней части фонового холма с аналогичными условиями для стока холодного воздуха. На фоновом холме без всяких антропогенных потоков тепла возникают положительные аномалии температуры такой же интенсивности, как и в городе, причем часто в то же самое время. Учет микроклимата указывает на слабый ГОТ в Апатитах, который не выделяется на фоне сильной микроклиматической изменчивости температуры.

Список литературы

Воронин А.М., Орлов Ю.Н. 2008. Факторы, влияющие на температуру поверхности плоских кровель – Кровельные и изоляционные материалы, № 4, с. 56-59.

Демин В.И., Козелов Б.В., Елизарова Н.И., Меньшов Ю.В. 2017а. Влияние микроклимата на точность оценки городского «острова тепла» – Труды ГГО, вып. 584, с. 74-93.

Демин В.И., Козелов Б.В. 2017б. О влиянии микроклимата на результаты дистанционных методов оценки городского острова тепла – Труды Гидрометцентра России, вып. 365, с. 15-21.

Гольцберг И.А. 1967. Микроклимат СССР. – Л., Гидрометеоиздат, 282 с.

Инженерная геология СССР. Том 2. Западная Сибирь.1976. – М., изд. МГУ, 495 с.

Каушила К.А. 1970. К вопросу о территориальном распределении и годовом ходе различий минимальной температуры воздуха, обусловленных рельефом – Труды ГГО, вып. 264, с. 90-96.

Константинов П.И., Грищенко М.Ю., Варенцов М.И. 2015. Картографирование островов тепла городов Заполярья по совмещенным данным полевых измерений и космических снимков на примере г. Апатиты (Мурманская область) – Исследование Земли из космоса, № 3, с. 27-33.

Романова Е.Н., Мосолова Г.И., Берсенева И.А. 1983. Микроклиматология и ее значение для сельского хозяйства. – Л., Гидрометеоиздат, 246 с.

Справочник по строительству на вечномерзлых грунтах. 1977. – Л., Стройиздат, 552 с.

Суханов Д.В. 1949. К вопросу об особенностях термического режима низин и лесных полян. – Труды ГГО, вып. 15(77), с. 3-73.

Хандожко Л.А. 2005. Экономическая метеорология. – СПб., Гидрометиздат, 491 с.

Oke T.R., Mills G., Christen A., Voogt J.A. 2017. Urban Climates. – Cambridge University Press, 582 p.

Peng S.S, Piao S.L., Ciais P. et al. 2011. Surface urban heat island across 419 global big cities – Environ. Sci. & Technol., vol. 46, No. 2, pp. 696-703.

Varentsov V., Konstantinov P., Baklanov A. et al. 2018. Anthropogenic and natural drivers of a strong winter urban heat island in a typical Arctic city. – Atmospheric Chemistry and Physics, vol. 18, pp. 17573-17587.

Статья поступила в редакцию: 22.05.2019 г. *После переработки: 17.07.2019 г.*

THE INFLUENCE OF MICROCLIMATE ON THE ASSESSMENT OF INTENSITY OF A HEAT CITY ISLAND

V.I. Demin [1], B.V. Kozelov [1], Yu.A. Gorban [2], Yu.V. Menshov [3], A.P. Sobakin [4]

[1] Polar Geophysical Institute,
26a, Academgorodok, 184209, Apatity, Russian Federation; *demin@pgia.ru*

[2] CAMS "Apatity", FSBE "Aviamettelecom of Roshydromet", North Western Branch,
Aeroport, 184209, Apatity, Russian Federation

[3] Territorial-situational center, Uprdor "Kola",
1a, Antikainen st., 185035, Petrozavodsk,Republic of Karelia, Russian Federation

[4] Apatity Termal power station, TGK-1, Kola Branch
184209, Apatity, Russian Federation

Abstract. Anomalies in the temperature field over the urbanized territory arise under the influence of man-made environment and natural microclimatic processes created by inhomogeneities of the underlying surface and relief. On the example of Apatity (a town in the Murmansk region, Russia) it is shown that for correct estimation of the magnitude of the urban heat island it is necessary to compare the temperature in urban and background areas only having similar mechanisms of formation of natural microclimate. Apatity is warmer than its suburbs. In winter, under clear and calm weather, the temperature difference can reach 10-15°C, and in summer (only at night) 6-8°C. However, the attribution of this phenomenon to anthropogenic factors only leads to an unreasonable overestimation of the intensity of the urban heat island. The city is located at the top of the hill, from where cold air flows down. The temperature in the city is higher than in the surrounding plain, but does not exceed the air temperature for the same time periods at the top of the hill with the similar background conditions for cold air runoff. This indicates a weak urban heat island in Apatity. Microclimate significantly affects the estimates of the urban heat island obtained from direct meteorological measurements, remote sensing and mathematical modeling.

Keywords. Urban climate, urban heat island, microclimate, remote sensing.

References

Voronin A.M., Orlov Y.N. 2008. Faktory, vliyayushchiye na temperaturu poverkhnosti ploskikh krovel' [Factors affecting the surface temperature of flat roofs]. *Krovel'nyye i izolyatsionnyye materialy – Roofing and insulation materials*, no. 4, pp. 56-59.

Demin V.I., Kozelov B.V., Yelizarova N.I., Men'shov Yu.V. 2017a. Vliyaniye mikroklimata na tochnost' otsenki gorodskogo «ostrova tepla» [The influence of the microclimate on the accuracy of the assessment of the urban “heat island”]. *Trudy GGO – Proceedings of the GGO*, vol. 584, pp. 74-93.

Demin V.I., Kozelov B.V. 2017b. O vliyanii mikroklimata na rezul'taty distantsionnykh metodov otsenki gorodskogo ostrova tepla [On the influence of the microclimate on the results of remote methods for assessing the urban heat island]. *Trudy Gidromettsentra Rossii – Proceedings of the Hydrometeorological Center of Russia*, vol. 365, pp. 15-21.

Gol'tsberg I.A. 1967. *Mikroklimat SSSR* [Microclimate of the USSR]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 282 p.

Inzhenernaya geologiya SSSR. Tom 2. Zapadnaya Sibir' [Engineering geology of the USSR. Volume 2. Western Siberia]. 1976. Moscow, 495 p.

Kaushila K.A. 1970. K voprosu o territorial'nom raspredelenii i godovom khode razlichiy minimal'noy temperatury vozdukha, obuslovlennykh rel'yefom [On the issue of the territorial distribution and annual course of differences in the minimum air temperature due to the relief]. *Trudy GGO – Proceedings of the GGO*, vol. 264, pp. 90-96.

Konstantinov P.I., Grishchenko M.Yu., Varentsov M.I. 2015. Kartografirovaniye ostrovov tepla gorodov Zapolyar'ya po sovmeshchennym dannym polevykh izmereniy i kosmicheskikh snimkov na primere g. Apatity (Murmanskaya oblast') [Mapping the heat islands of the cities of the Arctic according to the combined data of field measurements and satellite images on the example of Apatity (Murmansk region)]. *Issledovaniye Zemli iz kosmosa – Exploration of the Earth from Space*, no. 3, pp. 27-33.

Romanova Ye.N., Mosolova G.I., Berseneva I.A. 1983. *Mikroklimatologiya i yeye znacheniye dlya sel'skogo khozyaystva* [Microclimatology and its importance for agriculture]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 246 p.

Spravochnik po stroitel'stvu na vechnomerzlykh gruntakh [Guide to the construction on permafrost]. 1977. Leningrad, Stroyizdat, 552 p.

Sukhanov D.V. K voprosu ob osobennostyakh termicheskogo rezhima nizin i lesnykh polyan. 1949. [On the peculiarities of the thermal regime of lowlands and forest glades]. *Trudy GGO – Proceedings of the GGO*, vol. 15(77), pp. 3-73.

Khandozhko L.A. 2005. *Ekonomicheskaya meteorologiya* [Economic meteorology]. St. Petersburg, Gidrometeoizdat, 491 p.

Oke T.R., Mills G., Christen A., Voogt J.A. 2017. Urban Climates. – Cambridge University Press, 582 p.

Peng S.S, Piao S.L., Ciais P. et al. 2011. Surface urban heat island across 419 global big cities – Environ. Sci. & Technol., vol. 46, No. 2, pp. 696-703.

Varentsov V., Konstantinov P., Baklanov A. et al. 2018. Anthropogenic and natural drivers of a strong winter urban heat island in a typical Arctic city. – Atmospheric Chemistry and Physics, vol. 18, pp. 17573-17587.