

DOI: 10.25702/KSC.2588-0039.2019.42.222-225

ОСОБЕННОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ХОЛМИСТОМ РЕЛЬЕФЕ И ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ГОРОДСКОГО ОСТРОВА ТЕПЛА В АПАТИТАХ

В.И. Демин, Б.В. Козелов

ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Апатиты, Россия
e-mails: demin@pgia.ru, boris.kozelov@gmail.com

Аннотация. С помощью квадрокоптера проведены измерения вертикального распределения температуры воздуха ночью вблизи г. Апатиты (Мурманская область). Город расположен на холме, приподнятом на 50-70 м над окружающей равниной. Когда в городе теплее, чем в находящихся ниже пригородах, температура в нем остается ниже температуры воздуха на соответствующем уровне в атмосфере над равниной, окружающей город. Такое соотношение характерно для фоновых холмов и свидетельствует о слабом тепловом воздействии города на слой воздуха на склоне (слабом городском острове тепла).

Введение

Обзор литературы, посвященной изучению термических аномалий в городах, обнаружению и оценки его интенсивности показывает, что положительную аномалию температуры воздуха в городе, как правило, всегда принимают за городской остров тепла (ГОТ). Однако по механизмам своего возникновения ГОТ – явление сугубо антропогенное. Аномалии же в поле температуры (и весьма значительные по величине) могут существовать и по вполне естественным причинам – из-за неоднородного микроклимата. Корректная оценка ГОТ требует выделить именно антропогенный вклад. Задача представляется непростой, так как и ГОТ, и микроклимат проявляются в одинаковых метеорологических условиях.

Целью данной работы является исследование особенностей распределения температуры воздуха вблизи г. Апатиты (Мурманская область). Обнаружение качественных и количественных отличий этого распределения от аналогичной картины, наблюдаемой в фоновых условиях, позволили бы говорить о признаках воздействия города на тепловой режим воздуха. Актуальность данной работы обусловлена существованием разных оценок величины ГОТ в Апатитах: от 5-10°C [2,6], что соответствует ГОТ крупнейших мегаполисов мира, до его относительно небольшой величины, практически невыделяемой на фоне значительных микроклиматических вариаций температуры [4,5].

Использованные данные

В работе использованы данные Полярного геофизического института о температуре воздуха в г. Апатиты и его окрестностях, полученные с автоматических метеорологических станций, а также с помощью маршрутных полевых измерений и измерений, выполненных квадрокоптером.

Особенности распределения температуры в холмистом рельефе в зимний период

В климатологии к холмистому рельефу относят ландшафты с относительными превышениями высот не более 100-150 м. Это обусловлено тем, что таких превышениях влияние высоты перекрывается (часто полностью) влиянием других микроклиматических факторов. Привычное изменение температуры с высотой начинает уверенно проявляться в тех случаях, когда перепад высот между дном долины (понижением рельефа) и ее бровкой (вершина холма) достигает 200-250 м.

Микроклиматические различия в дневные часы из-за интенсивного турбулентного перемешивания выражены достаточно слабо. Наибольшая изменчивость характерна для минимальных температур – температур в ночное и зимнее время. Пространственные неоднородности в поле минимальной температуры создаются особенностями подстилающей поверхности (характер почвы и растительности, близость водоемов, болот и т.д.), а также формой рельефа. Картина упрощается зимой: в районах со снежным покровом в холодную половину года влияние особенностей подстилающей поверхности уменьшается, так как замерзают водоемы, а снежный покров сглаживает условия излучения. В этот период неравномерности в пространственном распределении температуры создаются в основном неодинаковыми условиями для стока и накопления холодного воздуха. Если ограничиваться только влиянием рельефа, выделяют микроклиматы вершин и верхних частей склонов (есть сток холодного воздуха, отсутствует приток), микроклиматы средних частей склонов (сток холодного воздуха и компенсирующий его приток), нижних частей склонов (приток холодного

воздуха и ухудшенные условия для его стока) и подножий (застой холодного воздуха – озеро холода). Минимальные температуры в этой последовательности (от вершин к подножиям) понижаются.

Результаты и обсуждение

Город Апатиты занимает верхнюю часть довольно обширного холма. Городская застройка начинается с отметок 155–160 м., а центральная часть города расположена на высотах 180–200 м над у.м. Наименьшая высотная отметка в исследуемом районе – 126.7 м н.у.м. (урез озера Имандра). Зимой, а ночью – во все сезоны, холодный воздух, образующийся на склонах в тихую и ясную погоду, стекает вниз, формируя в понижениях рельефа «озера холода». Озеро Имандра – естественная котловина для накопления холодного воздуха. Эта местность зимой характеризуется наиболее низкими температурами, даже по сравнению с другими фоновыми участками. С севера и востока город окружен долиной реки Жемчужная, где также происходит накопление холодного воздуха. Понижается местность и к югу от города. Городской холм в Апатитах теплее окрестностей уже в силу геоморфологических особенностей местности. Возникающая в городе положительная аномалия температуры воздуха возникает одновременно за счет стока холодного воздуха и антропогенного ГОТ.

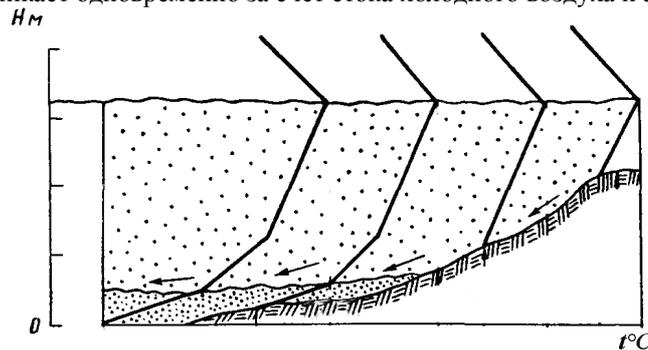


Рисунок 1. Схематичное распределение температуры воздуха над пологим склоном при инверсии.

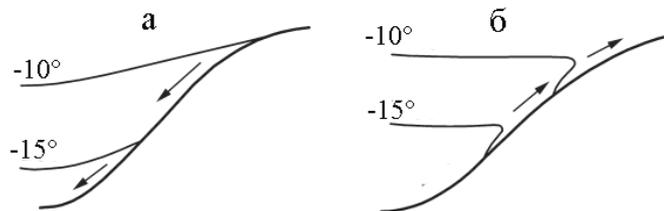


Рисунок 2. Схематичное положение изотерм во время инверсии вблизи поверхности склона на фоновом (а) и городском холме с интенсивным ГОТ (б).

Совершенно очевидно, что для оценки ГОТ нельзя сравнивать значения температуры, измеренные на городском холме, с ее значениями на прилегающей к нему равнине. Ее следует сопоставить с температурой в верхней части фонового холма – только в таком случае можно о какой-то идентичности микроклимата (по крайней мере, с точки воздействия на него форм рельефа). Такое сравнение проведено, например, в работах [4,5]. В частности, показано, что не меньшие, чем в городе, положительные аномалии температуры, причем, как правило, в то же самое время, существуют и на фоновом холме без всякого антропогенного воздействия.

Сопоставление городского и фонового участка с идентичными микроклиматами – наиболее простой и самый надежный способ обнаружения и оценки ГОТ. В данной работе мы выдвигаем предположение, что ГОТ можно обнаружить также по нетипичному расположению изотерм вблизи городского холма.

При радиационном выхолаживании в ясную и тихую погоду возникает инверсия температуры. Стекающий с возвышенностей воздух растекается по прилегающей равнине в виде своеобразной холодной пленки. Заставаясь в низинах, он усиливает инверсию. Самый холодный слой воздуха располагается над дном понижения. Его мощность зависит от морфометрических характеристика рельефа (базис эрозии, площадь воздухообора и т.д.). Здесь отмечаются наибольшие перепады температуры по вертикали. Над этим слоем располагается теплая зона с малым изменением температуры. Вертикальный градиент температуры вблизи холма неодинаковый по высоте и меняется вдоль склонов (рис. 1).

Вертикальная мощность инверсионного слоя непостоянна: этот слой больше над низинами и меньше над вершинами холмов. Однако положение его верхней границы остается примерно одинаковой по всему району независимо от высоты местности [3]. Изотермы с ростом высоты постепенно переходят в горизонтальные линии (температуру на верхней границе инверсии можно считать очень мало меняющейся). Это позволяет представить распределение температуры воздуха вблизи холма примерно так, как показано на рис. 2а. У

самого холма изотермы получают изгиб вверх. Стекающий вниз холодный воздух заменяется более теплым из прилегающих слоев атмосферы. Температура воздуха вблизи склона ниже температуры воздуха на аналогичной высоте в атмосфере над прилегающей к холму равнине. На верхней границе инверсии влияние орографии прекращается, и горизонтальный градиент температуры с приближением к вершине холма быстро уменьшается. Такое распределение температуры следует считать характерным для фонового холма.

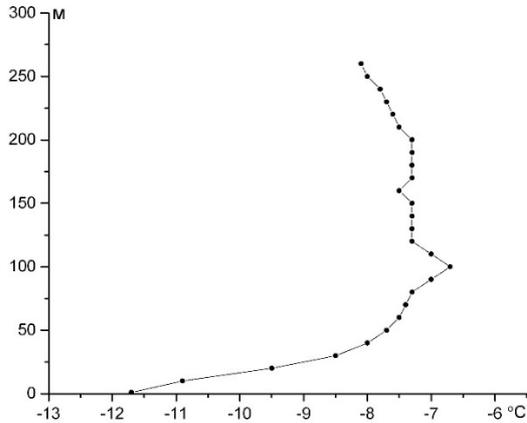


Рисунок 3. Распределение температуры с высотой 26.11.18 в 10ч 25 м, пос. Тик-Губа.

городской застройкой. Отметим, что для поддержания в атмосфере состояния, отраженного на рис. 2б требуется непрерывное поступление энергии для нагрева поступающего в город холодного воздуха, в то время как состояние на рис. 2а сохраняется при неизменных метеорологических условиях, хотя и в этом случае верхняя часть холма остается теплее его подножия и прилегающей равнины.

На основе изложенного, можно предположить, что регистрация более высоких температур воздуха на городском склоне по сравнению с температурой на том же уровне над равниной, может служить признаком ГОТ.

Измерения вертикального распределения температуры воздуха проводились с сентября 2018 г. по март 2019 г при появлении в городе положительной аномалии температуры, которая в дни эксперимента менялась от 2 до 10.8°C. Для измерений использовался квадрокоптер, оборудованный датчиком температуры. Квадрокоптер поднимался до высоты примерно 385 н.у.м. над прилегающей к городскому холму равниной на удалении 1 км от застроенных районов. Пример такого зондирования, осредненный за время подъема и спуска квадрокоптера, показан на рис. 3.

Интерес представляли только значения, измеренные на отметке 200 м н.у.м. — они соответствовали по высоте наиболее высокой и одновременно наиболее теплой части г. Апатиты. Полученные с квадрокоптера значения температуры воздуха сопоставлялись с температурой воздуха в городе в тот же период времени. Связь между ними показана на рис. 4. Проведенных запусков, очевидно, недостаточно, для окончательного ответа. Однако едва ли можно признать случайным, что во всех 6 случаях из 6 температура воздуха в городе ниже, причем в весьма широком диапазоне температур. Видно также, что при низких температурах, которые возникают в т.ч. и вследствие радиационного выхолаживания, разность только усиливается, что подтверждает факт существования более сильных вертикальных и горизонтальных градиентов температуры в холмистом рельефе в зимнюю погоду.

Коэффициенты уравнения регрессии на рис. 4 будут уточнены в ходе дальнейших измерений, но представляется маловероятным, что картина изменится качественно: в верхней части городского холма в среднем на 1-1.5°C холоднее, чем на аналогичной высоте над прилегающей к холму равниной. Исследование

Если на холме располагается город, картина будет иной. Город подогревает слой воздуха и его тепловое воздействие простирается до высот в десятки и сотни метров. По мнению Оке, дневное тепловое влияние города распространяется по вертикали на 0.6–1.5 км, ночное — на 100–300 м [8]. По данным Ландсберга, вертикальная мощность ГОТ составляет 100–300 м [7]. В отсутствии экспериментальных данных можно считать, что ГОТ отмечается до уровня, равного 3–4-кратной высоте зданий [1]. Тепловое воздействие города меняет стратификацию атмосферы. В частности, изотермы у поверхности городского склона должны приобретать изгиб вниз (рис. 2б) — воздух на склоне теплее, чем воздух на соответствующем уровне в атмосфере над равниной. Принципиально разной окажется и направление воздушных течений. В первом случае (фоновый холм) вдоль склона будет наблюдаться сток холодного воздуха вниз и приток теплого воздуха из атмосферы. Во втором — воздух должен подниматься по склону к участкам, занятым

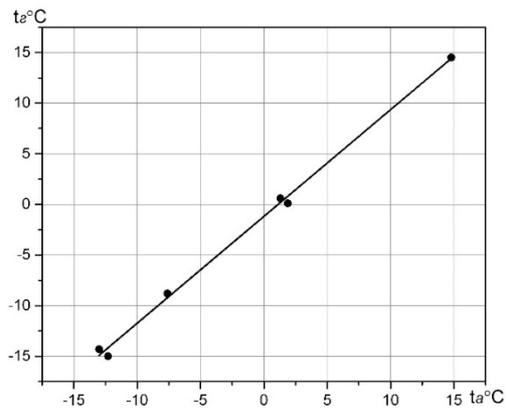


Рисунок 4. Связь температуры воздуха в г. Апатиты (200 м н.у.м.) и на высоте 200 м н.у.м. над равниной, прилегающей к городскому холму.

не показывает признаков выраженного ГОТ, что в целом совпадает с ранее сделанными выводами о слабости данного явления в городе.

Высокие значения ГОТ в г. Апатиты на площади всего около 3 км², сопоставимые или превышающие ГОТ крупнейших мегаполисов мира, получены или полным пренебрежением микроклимата («город Апатиты...его равнинное положение исключает влияние инверсий на температурный режим городской территории» [6]), либо его неправильным учетом, как в работе [2]: температура на городских участках, расположенных в верхней части холма, сопоставлялась с температурой на фоновых участках, расположенных в низине или у подножия холмов, где температура ниже (сравниваются изначально теплые (даже без антропогенного участия) и холодные местоположения) [4].

Заключение

Распределение температуры воздуха вблизи холма с находящимся на нем городом должно отличаться от распределения температуры вблизи фонового холма. Более высокая температура в городе зимой относительно температуры на аналогичных высотах над равниной, окружающий городской холм, можно рассматривать как признак ГОТ.

Проведено изучение вертикального распределения температуры воздуха в холодное полугодие вблизи г. Апатиты в периоды появления в городе положительной аномалии температуры. Температура в городе во всех запусках оказалась ниже, чем температура на соответствующем уровне над равниной. Это говорит о слабом тепловом воздействии города на прилегающий слой воздуха (слабом ГОТ).

Литература

1. Берлянд М. Е., Будыко М.И., Кондратьев К. Я. Климат города и проблемы изменения глобального климата //Метеорология и гидрология. 1973. №1. с. 3-14.
2. 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.
3. Гольцберг И А. Микроклимат СССР. – Л.: Гидрометеиздат. 1967. 282 с.
4. Демин В.И. К вопросу о величине острова тепла в городе Апатиты //Земля из космоса. 2019. №10 (26). с. 46-49.
5. 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.
6. 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.
7. Ландсберг Г.Е. Климат города. – Л.: Гидрометеиздат. 1983. 246 с.
8. Oke T.R. Boundary layer climates. -L.: Routledge. 1987. 435 pp.