

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ «ОСТРОВА ТЕПЛА» В г. АПАТИТЫ

В.И. Демин¹, Б.В. Козелов¹, Н.И. Елизарова², Ю.В. Меньшов³

¹ФГБНУ Полярный геофизический институт, *demin@pgia.ru*

²АМСГ «Апатиты» СЗФ ФГБУ "Авиаметтелеком" Росгидромета, г. Апатиты

³Территориально-ситуационный центр ФКУ Упрдор «Кола», г.Петрозаводск

Аннотация. По данным метеорологических измерений в центральной части г. Апатиты (Мурманская область) теплее своих пригородных районов. Это подтверждается и анализом теплового излучения со спутников. Однако эффект возникает не из-за техногенного воздействия города на тепловой режим приземного слоя воздуха, а за счет положения города в верхней части обширного холма, откуда зимой и ночью стекает выхолаженный воздух. Обнаруженная разница температур между городом и пригородами не превышает диапазон ее естественной микроклиматической изменчивости в условиях холмистого рельефа.

Введение

Характерной чертой микроклимата городов является существование так называемого «острова тепла»: на границе города наблюдается сильный температурный градиент с последующим медленным повышением температуры к центральной его части. Традиционный метод его изучения основан на сравнении измерений внутри города и в ближайшей сельской местности. «Остров тепла» обнаруживается по появлению замкнутых изотерм с горизонтальным градиентом, направленным от окрестностей к центру города или районам с наиболее плотной застройкой. Для изучения явления широко также применяются космические снимки в инфракрасном диапазоне. На таких изображениях «острова тепла» выделяются как зоны повышенной яркости и соответствуют положительным тепловым аномалиям в пределах города.

Несмотря на то, что положительную разность между центральной частью города и его пригородами, как правило, интерпретируют как проявление городского «острова тепла», этот экспериментальный факт требует дополнительного обоснования. Основной причиной его возникновения является модификация подстилающей поверхности застройкой, сопровождаемая изменением теплового баланса городской местности (изменение альbedo, большая площадь поглощающих солнечную радиацию поверхностей, уменьшение затрат тепла на испарение и т.д.), повышенная концентрация загрязняющих веществ, удерживающих уходящее излучение, и выделение техногенного тепла. В связи с этим, городской «остров тепла» рассматривается как один из самых наглядных примеров мезомасштабного изменения климата в результате деятельности человека [Оке, 1982]. Явление является антропогенным и его следует отделять от появления в городе теплой области по естественным причинам, например, топографии [Stewart, 2011].

Действительно, многочисленные полевые исследования показывают, что основные климатические показатели из-за микроклиматической неоднородности на близких расстояниях могут изменяться сильнее, чем даже при переходе из одной климатической зоны в другую [Романова, 1983]. Ситуация осложняется тем, что и «остров тепла» и микроклиматические различия проявляются в схожих метеорологических условиях. В этой связи существует проблема выделения из множества факторов, способствующих пространственной изменчивости температуры воздуха, воздействия именно городской среды. В качестве примера можно рассмотреть ситуацию с установлением причины появления «острова тепла» в небольшом (менее 57 тыс. чел) г. Апатиты (Мурманская обл.).

Исходные данные

В работе использованы данные стационарных и маршрутных измерений температуры воздуха в г. Апатиты, проведенных Полярным геофизическим институтом, данные метеорологических наблюдений на гидрометеорологической станции «Апатиты» (ГМС «Апатиты»), авиационной метеорологической станции «Апатиты» (АМСГ «Апатиты»), данные Территориально-ситуационного центра ФКУ Упрдор «Кола».

Результаты и обсуждение

При изучении в 2014-2016 гг. распределения температуры воздуха в г. Апатиты и его пригородах было обнаружено, что на территории города температура воздуха несколько выше, чем над окружающей местностью. Например, зимой в городе в среднем на 1-2°C теплее. Причем при установлении тихой и малооблачной погоды разность температур между городом и ближайшими пригородами увеличивается до 5-10°C, а ее максимальное зарегистрированное значение составило 13.7°C. При ветре и сплошной облачности эффект практически не проявляется [Демин и др., 2016].

Зимний «остров тепла» в г. Апатиты был выявлен также в работах [Константинов и др., 2015; Konstantinov et al., 2015]. Максимальная зафиксированная разница во время полевых измерений достигала 10°C, а величина «острова тепла» была оценена авторами исследования в 5-8°C, что сопоставимо с «островами тепла» крупнейших мегаполисов. Для сравнения: максимальная интенсивность острова тепла в Лондоне 8.6°C [Kolokotroni, 2006], Париже 8.0 [Lemonsu, 2002], Риме 5.0°C [Bonacquisti, 2006]. Средняя интенсивность (3.2°C), полученная в [Константинов и др., 2015] по инфракрасным изображениям со спутника, также заметно превышает характерные данные для крупнейших городов Европы в зимний период: 0.4±0.4°C [Peng, 2011].

Так как в ноябре-марте радиационный баланс в регионе отрицательный (низкая высота Солнца над горизонтом, малая продолжительность светового дня и даже полярная ночь), то возникновение «острова тепла» в этот период года возможно только за счет рассеивания и удержания загрязненным воздухом техногенного тепла. Интенсивность обнаруженного явления на небольшой площади (всего около 3 км²), где отсутствуют промышленные предприятия, может существовать только за счет огромной потери тепловой энергии в жилом секторе.

Несмотря на то, что на существование внутри г. Апатиты более теплой по сравнению с пригородами области одновременно указывают и прямые измерения температуры воздуха, и данные об инфракрасном излучении подстилающей поверхности, оснований для предположения об исключительно антропогенной природе обнаруженного явления нет.

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 н.у.м. Наименьшая высотная отметка в исследуемом районе – 126.7 м н.у.м. (урез озера Имандра). При таком перепаде высот поле температуры в приземном воздухе может быть неоднородным во вполне естественным причинам. Хорошо известно, что в условиях холмистого рельефа ночью и зимой в тихую погоду при ясном небе охлажденный воздух, образовавшийся на выпуклых формах рельефа, как более тяжелый, стекает вниз по склону и скапливается в понижениях, образуя так называемые «озера холода». Начало стоковых явлений возможно уже при углах наклона порядка нескольких градусов и при относительных превышения 10-12 м [Микроклимат, 1962]. Верхняя часть холма при этом становится более теплой, чем его подножие, так как стекающий воздух заменяется более теплым из прилегающих слоев атмосферы. За счет такого перераспределения холодного воздуха в холмистом рельефе возникают весьма большие градиенты ночных и зимних температур [Гольцберг, 1967; Гейгер, 1960; Микроклимат, 1962; Мищенко, 1984]. Для примера в работе [Каушила, 1970] сообщается, что в условиях очень выровненного участка протяженностью около 500 м разность минимальных температур при ясной штилевой погоде во все сезоны достигала 5-6°C при перепаде высот всего 20 м.

Энергетический механизм формирования микроклимата в холмистом рельефе находится в прямой зависимости от глубины расчленения рельефа по вертикали и от степени континентальности климата. Количественные значения средней микроклиматической изменчивости зимних и летних температур в холмистом рельефе в виде отклонений от значений на ровном месте приведены, например, в работе [Мищенко, 1984]. Так, если исходить их характерного перепада высот ~50-70 м и данных, приведенных в [Мищенко, 1984], можно ожидать, что зимой температура воздуха на вершине холма, где, расположен г. Апатиты будет в среднем на 2°C теплее, чем на ровном месте. Средняя температура в «Академгородке» за декабрь-январь 2014-2016 гг. на 1.4°C теплее, чем на АМСГ «Апатиты» и на 2.2°C выше, чем на ГМС «Апатиты» (135 м). 1.4°C и 2.2°C – это всего лишь средние значения за период 2014-2016 гг. Разность в конкретные моменты времени зависит от метеорологических условий. Сильный ветер способствует выравниванию горизонтального распределения температуры, а сплошная облачность уменьшает радиационное охлаждение. При отсутствии стоковых течений разницы температур вдоль склонов остаются небольшими и редко превышают 0.5°C. При наличии склоновых ветров эти различия достигают уже 4-5°, а в отдельных случаях и до 8-12°C [Романова и др., 1983].

Чтобы показать, что значительные разности температур могут создаваться естественными факторами, были исследованы вариации температуры на метеорологических станциях, расположенных вне населенных пунктов. На рис. 1 показана разность температур между метеорологической станцией в г. Апатиты и за его пределами (АМСГ «Апатиты») и между двумя автоматическими дорожными метеорологическими станциями (АДМС), установленными на федеральной трассе «Кола» на расстояние 30 км друг от друга. Одна из них (АДМС «1166+750») примерно на 55 м приподнята над прилегающей равниной, а вторая (АДМС «1203+350») расположена на равнине на высоте 140 м н.у.м. На рис. 1 хорошо видно, что случаи с большой положительной разностью между городской станицей и пригородом возникают ничуть не чаще, чем на станциях, не подверженных антропогенному влиянию. Более того – часто они наблюдаются в одно и то же время. Это объясняется тем, что благоприятная для радиационного выхолаживания синоптическая ситуация охватывает сразу большую территорию. Полной синхронности между разностями на рис. 1 нет и, строго говоря, не должно быть, так как интенсивность стоковых течений зависит от местных особенностей и от комплекса метеорологических условий (облачность, ее форма, высота, влажность воздуха, скорость и

направление ветра). Например, течение холодного воздуха направлено перпендикулярно изогипсам и в зависимости от направления основного (ветрового) потока в различных местоположениях создаются условия, благоприятствующие или препятствующие его возникновению [Романова, 1983].

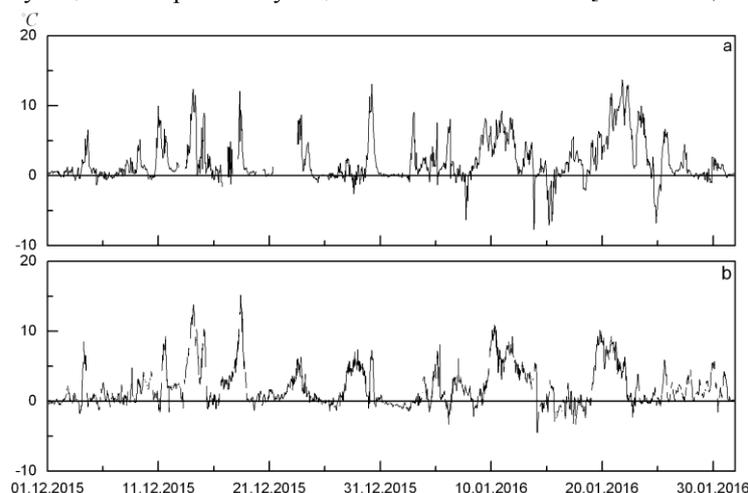


Рисунок 1. Разность температур в 3 ч между г. Апатиты (Академгородок) и АМСГ «Апатиты» (а) и между АДМС «1166+750» и «1203+350» а/д Р-21 (М-18) "Кола" (б) с 01.12.2015 по 31.01.2016 г.

Эффективное поглощение и сохранение городом солнечной энергии является одной из основных причин возникновения «острова тепла». В этой связи более ожидаемым было проявление «острова тепла» в г. Апатиты в летние месяцы, когда за счет продолжительного светового дня (полярный день) обеспечивается поступление суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность, сопоставимое и даже превышающее ее значения в более южных широтах. Однако, как показывают измерения, дневные температуры воздуха в г. Апатиты и за его пределами практически совпадают (рис. 2). Это обусловлено тем, что интенсивное турбулентное перемешивание сглаживает термические различия по элементам рельефа в слабохолмистом рельефе. При ветре или сплошной облачности температуры примерно одинаковы и в ночное время. Однако ночью в тихую и ясную погоду появляются эпизоды, когда температура воздуха в городе оказывается выше, чем за городом. Качественно это снова похоже на проявление городского «острова тепла», который наиболее заметен после захода Солнца. Однако точно такая же картина наблюдается и в разности температур в фоновых районах (рис. 2). Как видно на рис. 2 разность температур между городом и окружающей местностью в это время года, как и зимой, не выходит из характерного диапазона микроклиматической изменчивости температуры в холмистом рельефе.

Полученный в работе результат, безусловно, не может рассматриваться как отрицание возможности техногенного воздействия г. Апатиты на тепловой режим приземного слоя воздуха в городе. Мы всего лишь обращаем внимание, что в холмистом рельефе из-за значительной изменчивости температуры воздуха на небольших расстояниях изучение явления городского «острова тепла» с помощью измерений температуры воздуха в разных районах города и анализа теплового излучения подстилающей поверхности без проведения комплексных микроклиматических изысканий может оказаться не вполне корректной процедурой. На примере небольшого г. Апатиты мы видим, что и пространственное распределение температуры, полученное прямыми измерениями, и инфракрасные изображения со спутников уверенно указывают на существование в городе зоны более высоких температур по сравнению с пригородными районами. Однако распределение температуры характерно для условий холмистого рельефа и теплая область в городе должна формироваться и без антропогенного воздействия.

Заключение

По результатам измерений в 2014-2016 гг. обнаружено, что температура воздуха в г. Апатиты выше, чем в его пригородах. Однако нет оснований считать данное явление результатом воздействия города на тепловой режим приземного слоя воздуха. Распределение температуры в городе и его пригородах характерно для холмистой местности: город расположен в верхней части обширного холма, где имеются условия для стока выхолаженного воздуха. Средняя разница температуры воздуха между центральной частью г. Апатиты и фоновыми метеорологическими станциями не выходит из характерного диапазона микроклиматической изменчивости температуры в холмистом рельефе.

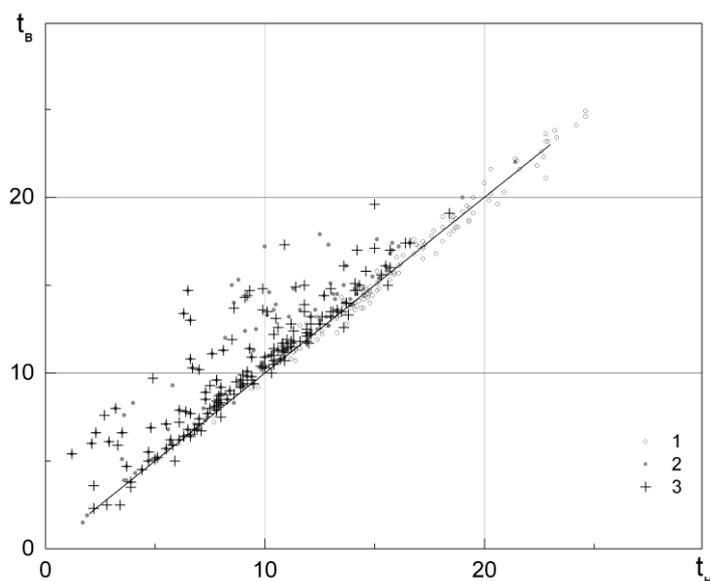


Рисунок 2. Связь летних дневных (1) и ночных (2) температур в центральной части г. Апатиты (180 м) и за городом (Тик-Губа, 135 м) и ночных температур между фоновыми станциями, расположенными на высотах 195 и 140 м(3), 2015-2016 гг.; t_b – температура на более высокой станции, t_n – на более низкой.

Литература

- Гейгер Р. (1960) Климат приземного слоя воздуха. М.: Иностранная литература. 480 с.
- Гольцберг И А. (1967) Микроклимат СССР. Л.: Гидрометеиздат. 282 с.
- Демин В.И., Козелов Б.В., Елизарова Н.И., Меньшов Ю.В. (2016) Влияние рельефа на микроклимат г. Апатиты и возникновение городского «острова тепла» //Труды XIII Всероссийской Фермановской научной сессии. Апатиты, 4-5 апреля 2016 г. Апатиты: Изд-во К & М, стр. 222-225
- 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.
- Каушила К.А. (1970), К вопросу о территориальном распределении и годовом ходе различий минимальной температуры воздуха, обусловленных рельефом // Труды ГГО. Вып. 264. Стр. 90 – 96
- Мищенко З.А. (1984), Биоклимат дня и ночи. Л.: Гидрометеиздат, 280 с.
- Оке Т.Р. (1982) Климаты пограничного слоя. Л.: Гидрометеиздат, 360 с.
- Романова Е.Н., Мосолова Г.И., Берсенева И.А.(1983), Микроклиматология и ее значение для сельского хозяйства Л.: Гидрометеиздат, 246 с.
- Bonacquisti V., G.R. Casale, S. Palmieri and A.M. Siani, 2006. A canopy layer model and its application to Rome. Science of the Total Environment 364, pp. 1-13. Рим
- Lemonsu, A. and V. Masson, 2002. Simulation of a summer urban breeze over Paris. Boundary-Layer Meteorology 104, pp. 463-490 Париж
- Kolokotroni, M, I. Giannitsaris and R. Watkins (2006). The effect of the London Urban Heat Island on building summer cooling demand and night ventilation strategies. Solar Energy 80(4), pp. 383-392
- Konstantinov P. I. et al. (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
- Konstantinov P. I. et al. (2016) 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
- Peng S. et al. (2011), Surface urban heat island across 419 global big cities //Environ. Sci. & Technol. V. 46. № 2. P. 696– 703.
- Stewart I.D. (2011) A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature. Int J Climatol. doi:10.1002/joc.2141
- Varentsov M. et al. (2016) Experimental research of urban heat island effect for the biggest Arctic cities // 10th Arctic Frontiers conf. 24 – 29 January 2016. Tromsø, Norway [https://istina.msu.ru/media/conferences/conferencepresentation/923/ceb/22094082/poster_Arctic_cities.pdf]