

## ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В РАЙОНЕ МУРМАНСКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОМАТИЧЕСКИХ ДОРОЖНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

В.И. Демин<sup>1</sup>, Ю.В. Меньшов<sup>2</sup>, А.Н. Суздалев<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Полярный геофизический институт, Апатиты

<sup>2</sup>ФКУ Упрдор «Кола», Петрозаводск

<sup>3</sup>Мурманское управление гидрометеорологической службы, Мурманск

### Аннотация

Послеполуденные летние температуры воздуха в Мурманске, измеренные на автоматических дорожных метеорологических станциях, практически не отличается от температур воздуха, измеренных на гидрометеорологических станциях. Воздействие дорожного полотна на тепловой режим прилегающих участков местности слабый даже в летний период, когда приток солнечной радиации наибольший. Данные дорожных станций вполне репрезентативны для изучения микроклимата. На основе измерений, выполненных на дорожных и гидрометеорологических станциях, показано, что разность температуры воздуха в холмистом рельефе вблизи Мурманска может достигать 8-10°C зимой и 4-6°C летом.

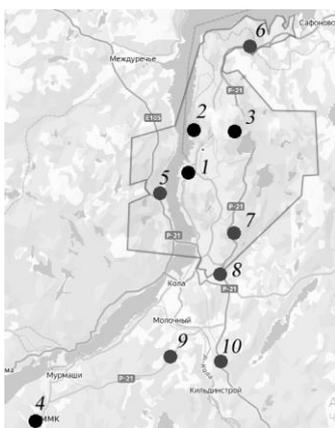
### Введение

Из-за холмистого рельефа, Кольского залива и разной удаленности северных и южных районов от акватории Баренцева моря, на территории Мурманска можно ожидать выраженной микроклиматической неоднородности. Однако редкая сеть гидрометеорологических станций (ГМС) плохо подходит для изучения микроклимата. Требуется длительные серии параллельных полевых измерений в разных местоположениях или привлечение данных, полученных другими способами.

Цель данной работы – показать возможность использования автоматических дорожных метеорологических станций (АДМС) для изучения микроклиматических вариаций приземной температуры воздуха (ПТВ).

### Использованные данные

В работе использованы АДМС ФКУ Упрдор «Кола», а также данные ГМС Мурманской области. Расположений пунктов измерений показано на рис. 1.



**Рисунок 1.** Расположение использованных в работе станций ГМС и АДМС: 1 – ГМС «Мурманск», 2 – Морской порт, 3 – аэрологическая станция «Мурманск» (АС), 4 – АДМС «Мурманск», 5–10 – АДМС.

**Прим.:** имя АДМС присваивается по километражу автодороги Р-21 «Кола», в тексте в скобках также приводится номер АДМС на рис. 1.

### Оценка качества измерений ПТВ на АДМС

Данные АДМС, на первый взгляд, представляются ненадежными: они устанавливаются всего в нескольких метрах от полотна автомобильных дорог (рис. 2). В солнечную погоду асфальтовое покрытие дороги поглощает солнечную радиацию, нагревается и нагревает прилегающие слои воздуха. По данным АДМС температура поверхности дорожного полотна в районе Мурманска летом в послеполуденные часы может на 10-20°C превышать ПТВ. Можно предположить, что измеренные на АДМС дневные ПТВ окажутся более

высокими, чем на ближайших ГМС. Однако прямые сравнения данного факта не подтверждают. На рис. 3 показаны соотношение ПТВ на 2 АДМС и ближайших к ним метеорологических станциях в 15 ч. – время, когда температура дорожного полотна достигает своих максимальных значений. Расстояние между АДМС–1394 и ГМС «Мурманск» менее 3 км, между АДМС км 22 и АС около 6 км.



Рисунок 2. Пример установки АДМС на автодороге Р-21 «Кола».

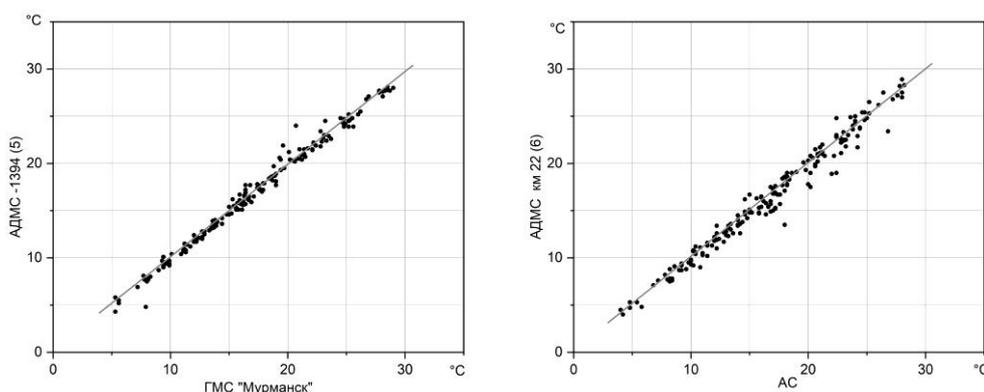


Рисунок 3. Связь ПТВ на АДМС с ПТВ на ближайшей метеорологической станции в 15 час, лето.

На рис. 3 точки явно группируются вокруг прямой  $y=x$ , что свидетельствует о близких значениях ПТВ – в случае перегрева мы бы наблюдали их систематические отклонения ПТВ вверх. Отдельные эпизоды заметных расхождений между ПТВ на АДМС и ГМС (АС) похожи на случайные и вызваны, по всей видимости, тем, что сравниваются мгновенные измерения ПТВ, полученные 2 принципиально разными способами: термометр в психрометрической будке на площадке ГМС и ультразвуковой акустический термометр на АДМС. Нельзя исключать и влияние метеорологических эффектов. Например, локальный кратковременный ливневой дождь в районе одного из пунктов измерения приведет к снижению ПТВ. Пример суточных вариаций ПТВ на АДМС–1394 и ГМС «Мурманск» в период полярного дня приведен на рис. 4: показания не только в 15 ч, но и в другие дневные часы практически идентичны.

На рис. 5 в виде бокс-диаграммы показаны распределения ПТВ в 15 ч., полученных в период параллельных измерений (2023-2025 гг.) на сети ГМС и на АДМС, находящихся вблизи Мурманска. В области максимальных значений (именно в них должен был бы проявиться эффект нагрева датчиков от дороги) показания АДМС не выделяются среди аналогичных данных, полученных на фоновых ГМС. Различия ПТВ находятся в диапазоне естественной микроклиматической изменчивости.

Отсутствия теплового воздействия нагретого асфальтового дорожного полотна на показания близкорасположенного температурного датчика АДМС летом в послеполуденные часы говорит о небольшом вкладе дороги в тепловой режим окружающей местности. Это может быть вызвано малой площадью дорожной поверхности и сильно развитым в дневные часы турбулентным обменом, дополнительно усиленным механической турбулентностью от движущегося транспорта: воздух на высоте установки датчиков АДМС не успевает заметно прогреться. Кроме того, не все тепло дорожного полотна идет на теплообмен с воздухом – часть отводится в глубину дороги или теряется за счет инфракрасного излучения. Возможно, сказывается и недостаток солнечной радиации в регионе, Результат нельзя назвать неожиданным.

Даже в условиях города, где площадь искусственных поверхностей, поглощающих солнечную радиацию, на порядок больше, чем на отдельной дороге, городской остров тепла в ПТВ в послеполуденные часы минимален по своей интенсивности – он проявляется в большей степени в вечерние и ночные часы и создается за счет целого ряда процессов.

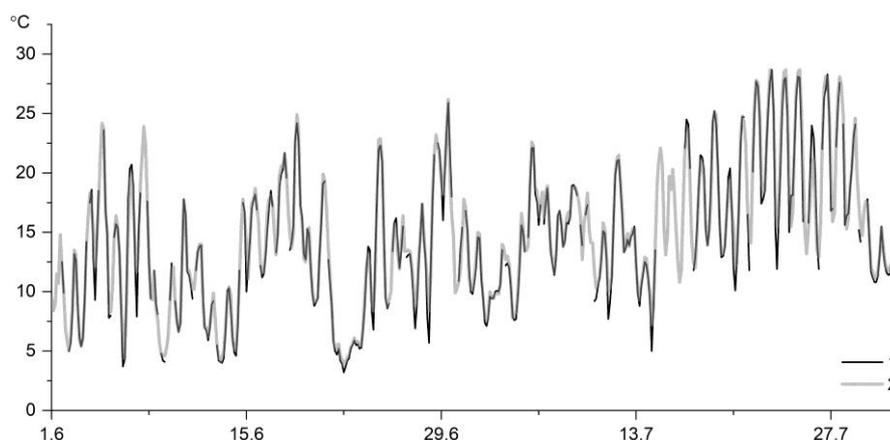


Рисунок 4. ПТВ на АДМС–1394 (1) и на ГМС «Мурманск» в июне-июле 2024 г. (2), полярный день.

Отсутствие признаков завышения температуры воздуха на АДМС в послеполуденные часы из-за их нахождения вблизи автомобильных дорог позволяет их использовать для решения ряда климатических задач (по крайней мере, на территории Мурманской области). Для зимних или ночных условий такое использование выглядит абсолютно оправданным, особенно учитывая, что микроклиматическая изменчивость зимних и минимальных ПТВ очень велика (речь идет о многих и многих градусах). Можно теоретически допустить, что в каких-то особых положениях (отличных от из использованных в данной работе АДМС) летом в дневные часы ПТВ у дороги окажутся немного выше. Но считать а priori, что значения ПТВ на всех АДМС гарантированно искажены неправильно.

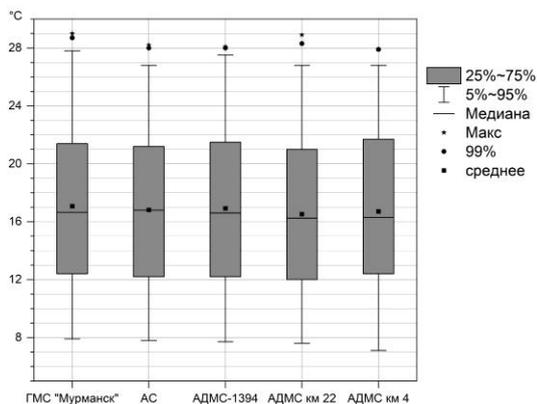
## Результаты и обсуждение

Как уже было отмечено выше, редкая сеть гидрометеорологических станций (ГМС) плохо подходит для изучения микроклимата. АДМС существенно дополняют картину пространственного распределения ПТВ, особенно если оказываются в особых микроклиматических условиях.

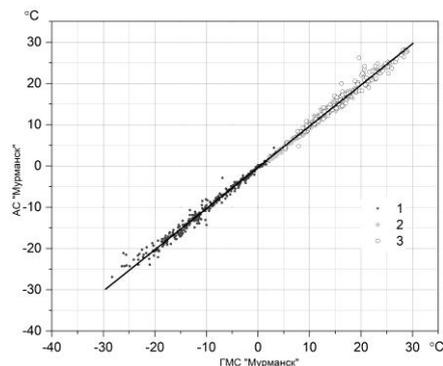
Общий обзор микроклиматических особенностей отдельных местоположений в Мурманска приведен в работе [1]. Отмечается, что основными факторами, создающими неоднородности в поле ПТВ, являются близость к Кольскому заливу и высота места.

«Чистое» влияние Кольского залива на ПТВ в Мурманске отследить проблематично, так как по мере удаления от воды местность заметно поднимается. ПТВ на территории морского порта (~ 100 м от воды, ~ 3-4 м н.у.м) в зимние месяцы выше, чем на ГМС (~500 м от залива, 51 м н.у.м.), на величину менее 1°C. Летом различие уменьшается: ночью до 0.5-0.6°C, а в дневные часы практически отсутствует.

Влияние рельефа на значения ПТВ более сложное и не определяется только высотой: при перепадах высот до 100-150 м влияние высоты местности на ПТВ перекрывается формой рельефа [2]. На рис. 6 приведена связь ПТВ на ГМС «Мурманск» и на находящейся в 5 км северо-восточнее АС. Несмотря на различие в высотах (51 и 123 м н.у.м), все точки концентрируются вблизи прямой  $y=x$ , что свидетельствует об одинаковых средних ПТВ. На рис. 7 показаны связь ПТВ на ГМС и АДМС–1394, находящейся фактически на том же удалении от залива и на той же высоте (50 м н.у.м.). В большинстве случаев точки укладываются на ту же прямую  $y=x$ . Однако зимой и ночью летом на АДМС–1394 в отдельные периоды времени заметно холоднее. Это вызвано тем, что ГМС «Мурманск» расположена в верхней части холма. Образующийся здесь за счет радиационного выхолаживания воздух стекает вниз. Нет условий для формирования выхолаженного слоя и на АС. АДМС–1394, напротив, находится в долине, по которой стекает с окружающих сопков холодный воздух. В холмистом рельефе наибольший градиент ПТВ наблюдается в пределах этого выхолаженного слоя воздуха, а выше (над ним) изменения ПТВ малы или даже наблюдается изотермия. Очевидно, что ни ГМС, ни АС в Мурманске в этот слой не попадают, в связи с чем ПТВ на них не сильно отличаются, несмотря на явное различие в их высотах (70 м). Разность же между ГМС «Мурманск» и АДМС–1394 достигает зимой 8°C. Летом в ночные часы она меньше за счет более короткого периода с отрицательным радиационным балансом – до 4°C. В дневные часы сильных различий не наблюдается, так как интенсивный турбулентный обмен выравнивает распределение ПТВ по элементам рельефа.

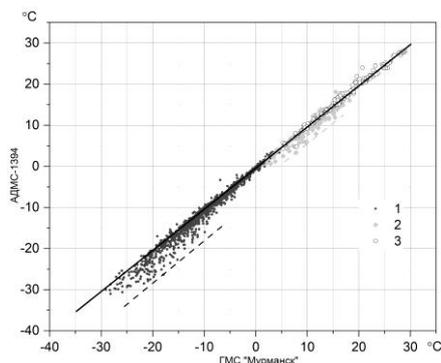


**Рисунок 5.** Распределение летних ПТВ в 15 час.

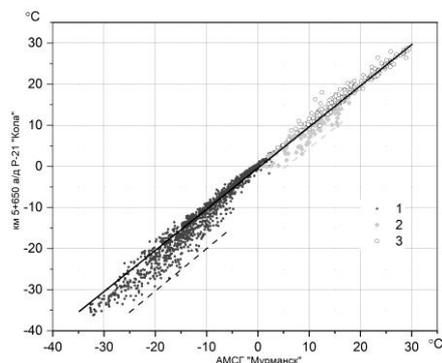


**Рисунок 6.** Связь ПТВ на ГМС «Мурманск» и на АС в зимний период (1), летом в 03 ч. (2) и днем в 15 ч (3).

Вертикальная протяженность выхолаженного слоя воздуха и перепад ПТВ от поверхности к его верхней границе зависит от метеорологических условий и морфометрических характеристик рельефа. В случае с АДМС–1394 местность на восток от АДМС–1394 понижается вплоть до Кольского залива (на 50 м на расстоянии около 500 м). По этой причине указанные выше разности ПТВ между ГМС «Мурманск» и АДМС–1394 не в полной мере характеризует возможный в регионе перепад ПТВ между верхними частями холмов и прилегающими к ним долинами (равнинами).

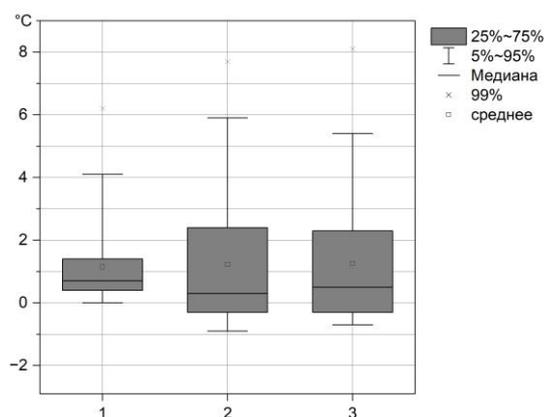


**Рисунок 7.** Связь ПТВ на ГМС «Мурманск» и на АДМС–1394 в зимний период (1), летом в 03 ч. (2) и днем в 15 ч (3).



**Рисунок 8.** Связь ПТВ на АМСГ «Мурманск» и на АДМС км 5 в зимний период (1), летом в 03 ч. (2) и днем в 15 ч (3).

Например, при сравнении АДМС – км 5 (9) (9 – номер АДМС на рис. 1) и АМСГ «Мурманск» в 2022-25 гг. (рис. 8) различия достигали уже 10°C зимой и 6°C летом. АДМС – км 5 находится в верхней части холма на высоте около 100 м. АМСГ располагается от нее примерно в 11 км на равнине и на 50 м ниже. Примерно такие же соотношения обнаруживаются и при сравнении АДМС–1375 (10) – верхняя часть холма, 100 м. н.у.м. – и АДМС–1380 (8) – прилегающая долина, 50 м н.у.м. (рис. 9). Разности довольно близки к приведенным в [2]: при появлении стоковых течений разность между верхней частью холма и прилегающей равниной достигает 4-5°C, а в отдельных случаях и 8-12°C [2]. В работе [3] сообщается, что различие зимой может достигать 10-15°C. Но так как замерзшая поверхность озера Имандры в [3], по сути, является котловиной, где происходит не только накопление воздуха, но и его еще большее охлаждение, эти величины близки к максимально возможным. В районе города Мурманска глубокие котловины и впадины отсутствуют, а потому указанные выше значения (до 8-10°C зимой и 4-6°C ночью летом) можно принять в качестве первой оценки микроклиматической изменчивости ПТВ вблизи Мурманска, обусловленной холмистым рельефом.



**Рисунок 9.** Разности между ПТВ в верхней часть холма и ПТВ на равнине (долине): 1 – ГМС «Мурманск» и АДМС–1394; 2 – АДМС – км 5 и АМСГ «Мурманск»; 3 – АДМС–1375 и АДМС–1380.

### Заключение

Несмотря на размещение АДМС рядом с автомобильными дорогами (всего в нескольких метрах от асфальтового полотна), признаков искажения измеренных на них значений ПТВ не обнаруживается в районе Мурманска даже летом в дневные часы, когда поступление солнечной радиации максимально и температура дорожного покрытия на 10-20°C выше температуры воздуха над ним. Это говорит об общем слабом воздействии дороги на тепловой режим прилегающих к ним участков местности. Данные, полученные на АДМС, вполне могут быть использованы для решения ряда климатологических задач, например, для описания пространственных неоднородностей в поле ПТВ.

Сравнение ПТВ, полученных на сети ГМС и АДМС, позволяет оценить масштаб микроклиматической изменчивости ПТВ в Мурманске, обусловленный рельефом: до 8-10°C зимой и 4-6°C летом ночью.

### Литература

1. Яковлев Б.А. Климат Мурманска. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 106 с.
2. Микроклимат СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 286 с.
3. Демин В.И., Козелов Б.В., Горбань Ю.А., Меньшов Ю.В., Собакин А.П. Влияние микроклимата на оценки интенсивности городского острова тепла (Апатиты). *Фундаментальная и прикладная климатология*, 2019. т. 3, с. 141-145.