

## МИКРОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ХОЛМИСТОМ РЕЛЬЕФЕ НА КОЛЬСКОМ П-ОВЕ

В.И. Демин<sup>1</sup>, Б.В. Козелов<sup>1</sup>, Н.И. Елизарова<sup>2</sup>, Ю.В. Меньшов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ФБНУ «Полярный геофизический институт», г. Апатиты

<sup>2</sup>АМСГ «Апатиты» СЗФ ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета», г. Апатиты

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

**Аннотация.** Исследована микроклиматическая изменчивость температуры воздуха в условиях холмистого рельефа на Кольском п-ове. Разности температур на вершинах холмов и на прилегающих пониженных участках зимой в условиях безоблачного неба и слабого ветра достигают 10-20°C и особенно выражены в полярную ночь. В теплое полугодие заметные разности появляются только ночью, но они меньше по величине (до 5-8°C) из-за непродолжительности ночного времени, необходимого для радиационного охлаждения приземного слоя воздуха.

### Введение

В качестве основного источника для оценки климатических ресурсов того или иного участка территории принято привлекать данные ближайших метеорологических станций (мс). Однако данный подход нельзя считать правильным. Многочисленные полевые исследования показывают, что климатические показатели из-за особенностей микроклимата на близких расстояниях могут изменяться даже сильнее, чем при переходе из одной климатической зоны в другую [2]. В частности, микроклиматическая изменчивость термических характеристик воздуха может на порядок превышать их характерный широтный и высотный градиент [9]. Так, например, в г. Апатиты в его наиболее высокой части (180-200 м) температура воздуха зимой выше, чем на расположенной всего в 2.5 км мс «Апатиты», причем зафиксированы случаи, когда разность температуры между метеорологической станцией в высокой части города и его пригородами (135-160 м) достигает зимой 10-15°C и 5-8°C летом [3]. Как следствие, показания данной (и ближайшей) мс не могут быть использованы для описания термического режима территории города.

Более корректной процедурой является подбор мс с аналогичным к изучаемому участку микроклиматом, но из-за редкой гидрометеорологической это не всегда возможно. Другой прием – предварительный отбор так называемых репрезентативных мс, расположенные на обширных открытых ровных местах вне влияния каких-либо микроклиматических факторов. Переход к термическим показателям конкретного участка в этом случае осуществляется посредством введения на показатели выбранных мс специальных поправок, зависящих от его местоположения. Такие микроклиматические поправки приведены в ряде изданий (см., например, [2, 7, 8, 9]). Для иллюстрации в табл. 1 приведены количественные значения микроклиматической изменчивости минимальной температуры в холмистом рельефе зимой в виде отклонений от значений на ровном месте, полученные по результатам экспедиционных измерений в разных регионах [7]. Данные значения являются только средними и не указывают диапазон возможных вариаций. В реальных условиях они могут сильно меняться. Так, например, при отсутствии стоковых течений разности температур вдоль склонов остаются небольшими (менее 0.5°C), а с их появлением достигает уже 4-5°, а в отдельных случаях и 8-12°C [9]. Существует вопрос относительно их использования в Арктике, где наблюдаются иные условия радиационного баланса, чем в умеренных широтах.

Целью данной работы является установление диапазона микроклиматической изменчивости температуры воздуха в условиях холмистого рельефа на Кольском п-ове.

### Использованные данные

В работе использованы данные стационарных и маршрутных измерений температуры воздуха на Кольском п-ове, 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

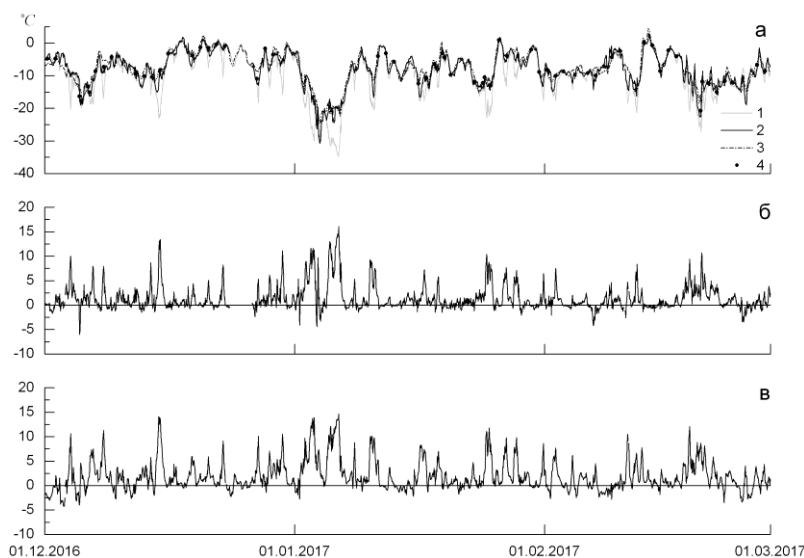
В климатологии к холмистому рельефу относят пересеченный рельеф, характеризующийся относительными разностями высот не более 150 м и крутизной склонов меньших или равных 10 градусам [2]. В этих условиях влияние абсолютной высоты перекрывается микроклиматическими особенностями, создаваемыми формами рельефа и экспозицией склонов. Влияние высотного градиента на термический режим обычно четко начинает проявляться только при разностях высот, превышающих 200-250 м [2].

**Таблица 1.** Изменение минимальной температуры зимой под влиянием местоположения в холмистом рельефе на ЕТР[...]; знак «+» означает повышение, «-» – понижение температур по сравнению с ровным местом

Мезорайон по базису эрозии	Вершина, верхняя треть склонов	Середина склонов	Широкая долина	Замкнутая долина, котловина	Разность вершина-котловина
Слабохолмистый рельеф ЕТР ( $\Delta H \leq 50$ м)	2	1	-2	-3...-4	5-6
Холмистый рельеф ЕТР ( $\Delta H = 50...150$ м)	3-4	>2	-2...-3	-4...-5	7-9

Особое внимание в исследовании было уделено вариациям температуры в условиях слабосхолмленного режима с перепадами высот менее 50 м. Довольно распространено мнение, что такие небольшие неоднородности рельефа не могут оказывать существенного влияния на пространственное распределение температуры. В частности, данный фактор игнорируется при изучении антропогенного городского «острова тепла» [3]. В действительности же такая точка зрения не имеет физического обоснования. Начало стоковых явлений возможно уже при углах наклона порядка нескольких градусов и при относительных превышениях 10–12 м [6]. В работе [4] сообщается, что в условиях очень выровненного участка протяженностью около 500 м и с перепадом высот 20 м разность минимальных температур при ясной штилевой погоде во все сезоны превышала 5–6°C, достигая 9°C. Согласно исследованиям Покровской Т.В. в Ленинградской области наибольшие разности между холмом и низинами составляли 5.6°C при относительных превышениях 40 м [6]. По данным Темниковой Н.С. на Видземской возвышенности в Латвии понижения температуры в долине по сравнению с вершиной холма иногда достигали 6°C при разности высот 16–25 м [6].

Днем в холмистом рельефе при относительных превышениях до 50-80 м при скоростях ветра более 2-3 м/с и хорошем турбулентном перемешивании даже в ясную погоду обусловленные микроклиматом вариации температуры воздуха на высотах 1.5–2 м над поверхностью почвы достаточно невелики. Вершины и наветренные склоны из-за большего турбулентного оттока тела немного холоднее, чем подножия и подветренные склоны. Заметные разности температур возникают в относительно тихие и ясные ночи. Охлажденный воздух, образовавшийся на вершинах и склонах, как более тяжелый, стекает вниз и скапливается в понижениях, образуя так называемые «озера холода» [1]. В верхней части холма при этом становится теплее, чем у его подножия, так как стекающий воздух заменяется более теплым из прилегающих слоев атмосферы. Такое перераспределение холодного воздуха по элементам рельефа становится причиной больших градиентов температуры.



**Рисунок 1.** а – Вариации температуры воздуха зимой 2016-17 гг.: 1 – АМСГ «Апатиты» (160 м н.у.м), 2 – Апатиты, Академгородок (180 м н.у.м.), 3 – АДМС «1166», 4 – Апатиты (200 м); разность температур: б – Апатиты, Академгородок и АМСГ «Апатиты» (б), в – АДМС «1166» и АМСГ «Апатиты».

«Апатиты», 160 м н.у.м.). Отметим, что по материалам, полученным за несколько лет наблюдений, в Апатитах отсутствуют признаки сколь-нибудь заметного техногенного воздействия города на тепловой режим воздуха

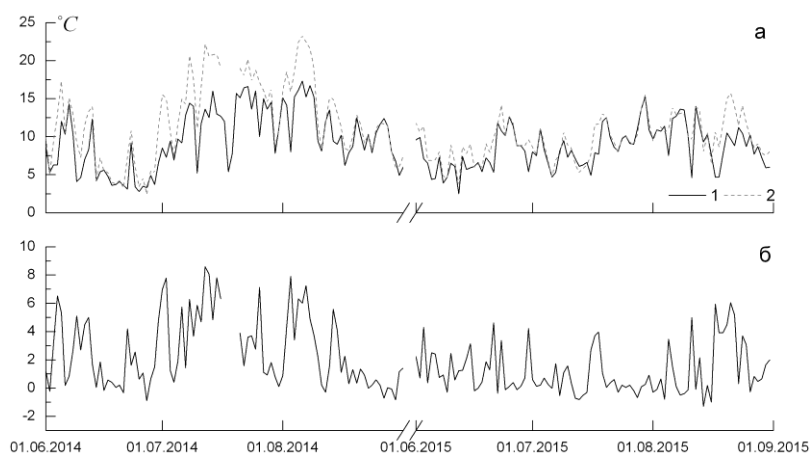
Надо отметить, что зимой в Арктике существуют довольно благоприятные условия для стоковых явлений. В период полярной ночи и слабой освещенности круглосуточно сохраняется отрицательный радиационный баланс подстилающей поверхности. Благодаря этому, охлаждение подстилающей поверхности и прилегающих слоев воздуха при установившейся малооблачной и тихой погоде может продолжаться непрерывно в течение многих часов и даже дней, создавая большие неоднородности в поле температуры. Для иллюстрации на рис. 1 представлены вариации температуры воздуха в верхней части холма (на высоте 180 м. в г. Апатиты), 200 и 210 м (АДМС «1166» (АДМС – автоматическая дорожная мс), а также на окружающей равнине (АМСГ

[3] и мс Полярного геофизического института на окраине «Академгородка» можно считать репрезентативной для поставленной в работе задачи.

Как видно из рис. 1, несмотря на небольшое расстояние между выбранными мс (например, между мс в г. Апатиты и АМСГ «Апатиты» около 15 км) в малооблачную и тихую погоду из-за стока холодного воздуха между верхней частью холма и окружающей равниной могут создаваться разности температур, достигающие 16°C, что соответствует вертикальному градиенту 80°C/100 м. Интересно, что характерные величины зимних инверсий в нижнем 300-метровом слое по данным аэрологического зондирования в Кандалакше в 95% случаев не превышают 8-9°C/100 м, а, следовательно, вклад инверсий в возникновение теплых областей на приподнятых участках местности много меньше по сравнению с процессами, вызывающими перераспределение холодного воздуха. В теплое полугодие верхние части холмов по-прежнему характеризуются более теплыми условиями, хотя эпизоды с большой разницей наблюдаются только ночью, и они меньше по величине из-за непродолжительного ночного времени с радиационным выхолаживанием (рис. 2). В периоды измерений 2014-2016 гг. большая разность (до 8°C) возникала в ночи с сильным инверсионным распределением температуры в пограничном слое атмосферы (в т.ч. при адвекции теплого воздуха на высотах). Можно предположить, что на приподнятых территориях (верхние части холмов) температура в эти моменты оставалась повышенной, в то время как на равнинах она была ниже из-за ослабленного турбулентного обмена.

Наряду с преимущественно положительной разностью температур между верхними частями холмов и окружающей равниной, наблюдается и периоды с ее отрицательным значением, появление которых обусловлено неоднородным полем ветра или облачности или локальными выпадениями осадков.

Представление о диапазонах возможных разностей температур между верхними частями холмов и окружающими их равнинами в центральных районах Кольского п-ова в разные сезоны можно получить из рис. 3, где в виде бокс-диаграмм показано распределение разностей между АДМС «1166» и АМСГ «Апатиты», автоматической мс Полярного геофизического института, расположенной на окраине «Академгородка» в г. Апатиты, и АМСГ «Апатиты». Для наглядности разности взяты для единого интервала времени (0–3 часа), хотя зимой из-за отрицательного радиационного баланса при установлении благоприятной погоды большие перепады температур могут возникнуть в любое время суток. Как видно из рис. 3 в регионе даже в слабосхломленном рельефе между вершинами холмов и окружающими равнинами могут возникать заметные перепады температур, достигающие (и превышающие) 10–15°C. Диапазон разностей между АДМС «1166» и АМСГ «Апатиты» чуть больше, так как они более удалены друг от друга (55 км) и чаще оказываются в разных погодных условиях. Еще большие разности температур наблюдаются между верхними частями холмов и узкими долинами, в которых происходит накопление холодного воздуха с окружающих склонов. Так, например, зимой разность температур между АДМС «1175» находящейся на водораздельном плато и АДМС «1184», расположенной всего в 8 км западнее в долине р. Титовки, приближалась к 20°C (разность высот примерно 130 м).



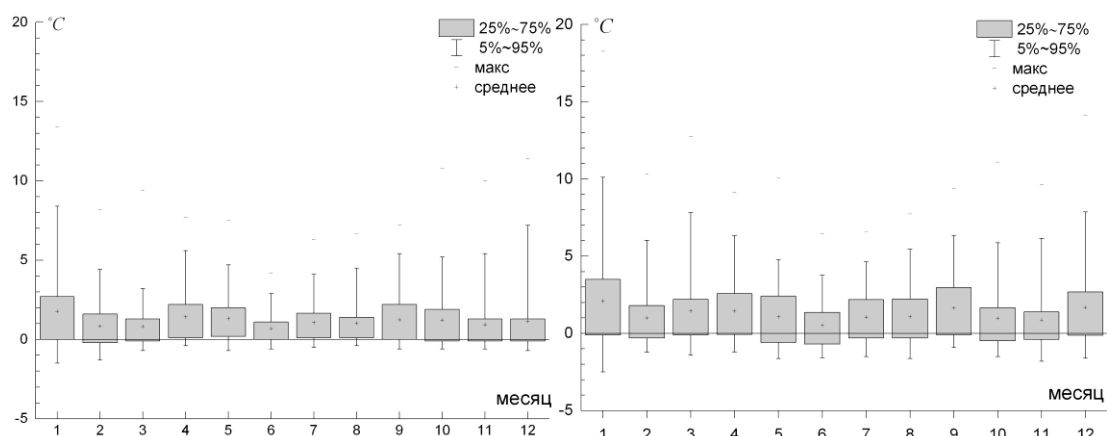
**Рисунок 2.** а – температура воздуха в 03 ч на мс «Зашеек» (1) и АДМС «1166» (2) и их разность (б); расстояние между мс около 15 км и перепад высот 60 м.

разности содержат не только влияние рельефа, но и других микроклиматических факторов. Тем не менее, они в достаточной степени дают представления о масштабах естественной микроклиматической изменчивости температуры в холмистом рельефе региона.

При анализе рис. 1 можно заметить, что температура воздуха на высоте 180 м (мс на территории «Академгородка») не очень сильно отличается от температуры на также расположенной верхней части холма,

В слабосхломленном рельефе аномалии минимальных (ночных) температур обусловлены, в первую очередь, особенностями подстилающей поверхности (характером почвы и растительности, близостью больших водоемов, наличием болот и т.д.), а также формой рельефа. Зимой, когда замерзают водоемы, а снежный покров сглаживает неоднородности подстилающей поверхности, в наибольшей степени проявляются формы рельефа. В теплое полугодие роль последнего по сравнению с неоднородностями подстилающей поверхности сильно уменьшается. По этой причине представленные на рис. 3

но чуть выше АДМС «1166». Этот факт фактически подтверждает сказанное ранее, что в условиях холмистого рельефа главная роль в формировании аномалий температуры принадлежит не высоте. В холмистом рельефе выхолаженный воздух стекает с холмов и растекается по прилегающей равнине в виде своеобразной пленки. Толщина этой пленки холодного воздуха зависит от условий радиационного охлаждения, площади склонов и вершин, с которых стекает в долину охлажденный воздух и площади самой долины, где происходит его накопление. В ее пределах (как правило, в самом нижнем 10–20-метровом слое) наблюдаются наибольшие вертикальные перепады температуры – до 3–5°C. Над этим слоем на высотах 20–100 м над нижней отметкой располагается теплая зона с малым изменением температуры вдоль склона – около 0.5–1.0°C [2, 5]. По этой причине градиенты температуры в верхних частях холмов небольшие по сравнению с градиентами у подножий. Согласно микроаэрологическим наблюдениям в низинах казахского мелкосопочника толщина пленки холодного воздуха ориентировочно составляет 0.2–0.25Н, где Н – относительная высота холма [2].



**Рисунок 3.** Распределение разностей ночных температур (0–3 ч) между мс на территории «Академгородка» в г. Апатиты и АМСГ «Апатиты» (слева), АДМС «1166» и АМСГ «Апатиты» (справа), 2014–2016 гг.

### Заключение

В период 2014–2017 гг. проведены наблюдения за температурой воздуха в холмистом рельефе Кольского п-ова. Наблюдения на стационарных метеорологических станциях дополнялись микроклиматическими съемками. Обнаружено, что в условиях ясной и тихой погоды поле температуры в условиях холмистого рельефа отличается сильной неоднородностью. Зимой перепады температур между вершинами небольших холмов (с относительными превышениями не более 50 м) и окружающими их равнинами могут превышать 10–15°C. Еще более заметные разности (до 20°C) создаются между вершинами и узкими долинами, где накапливается холодный воздух. В летнее время большие разности появляются только ночью и они меньше по величине (до 5–8°C). Проведенные измерения показывают, что использование данных ближайших мс для описания термического режима больших территорий, расположенных в холмистом рельефе, не является корректной процедурой. Данный факт необходимо учитывать при оптимизации затрат тепла на обогрев городов и поселков, а также в сельском хозяйстве.

### Литература

- 1 Гейгер Р. Климат приземного слоя воздуха. М.: Иностранная литература. 1960. 480 с.
- 2 Гольцберг И. А. Микроклимат СССР. Л.: Гидрометеиздат. 1967. 282 с.
- 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 Каушила К.А. К вопросу о территориальном распределении и годовом ходе различий минимальной температуры воздуха, обусловленных рельефом // Труды ГГО. 1970. Вып. 264. с. 90 – 96.
- 5 Методические указания по обобщению результатов микроклиматических исследований для целей сельскохозяйственного производства. Л.: Гидрометеиздат. 1985. 88 с.
- 6 Микроклимат холмистого рельефа его влияние на с/х культуры /под ред. И. А. Гольцберг. Л.: Гидрометеиздат. 1962. 250 с.
- 7 Мищенко З.А. Биоклимат дня и ночи. Л.: Гидрометеиздат. 1984. 280 с.
- 8 Міщенко З. А., Ляшенко Г. В. Мікрокліматологія. Київ: КНТ. 2007. 336 с.
- 9 Романова Е.Н., Мосолова Г.И., Берсенева И.А. Микроклиматология и ее значение для сельского хозяйства Л.: Гидрометеиздат. 1983. 246 с.