

DOI: 10.51981/2588-0039.2021.44.042

## СВЯЗЬ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ХИБИНАХ С ТЕМПЕРАТУРОЙ НАД ПРЕДГОРНОЙ РАВНИНОЙ

В.И. Демин<sup>1</sup>, Б.В. Козелов<sup>1</sup>, Т.А. Муравьева<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Отдел лавинной безопасности УГИ КФ АО «Апатит», г. Кировск

**Аннотация.** Проведено сравнение температуры воздуха в Хибинском горном массиве с температурой воздуха над предгорной равниной (по измерениям микроволнового температурного профилера). В зимний период изменения температуры происходят практически синхронно (коэффициенты корреляции 0.92-0.94), но в горах температура воздуха ниже: примерно на 0.3°C в нижнем ярусе гор (~400 м) и на 1.5°C на уровнях плато (~1000-1200 м н.у.м.). Эффект создается адиабатическим охлаждением воздуха при его вынужденном подъеме вдоль склонов. Летом суточные вариации температуры воздуха в горах и на той же высоте над равниной происходят с разной фазой. Разность температур зависит от времени суток, высоты и метеорологических условий. В общем виде утром и днем температура воздуха в горах близка или выше температуры воздуха на той же высоте над равниной, а ночью – ниже.

### Введение

Метеорологические наблюдения в Хибинах начались более 100 лет назад (наиболее ранние данные на предгорной равнине (жд. станция «Имандра») доступны с 1900 г., а непосредственно горные (гора Хибин) с 1929 г.). Несмотря на продолжительную историю метеорологических измерений, вопросы о механизмах формирования горного климата Хибин остаются плохо изученными. В частности, нет ответа на вопрос о характере взаимодействия горного массива и нижней тропосферы. Это вызвано достаточно удаленным положением от Хибин ближайших станций аэрологического зондирования (Мурманск и Кандалакша), дающих информацию о распределении метеорологических параметров по высотам, а также положением последних на побережьях Баренцева и Белого морей, где поле температуры искажено во всем пограничном слое атмосферы (ПСА).

В 2020 г. в Апатитах был установлен микроволновой температурный профилимер МТП-5РЕ, который позволяет при любой погоде в автоматическом режиме восстанавливать профиль температуры воздуха в слое от 200 до 1200 м с разрешением по высоте от 10 до 50 м и с временным шагом 5 мин. Подробные характеристики прибора изложены на сайтах [www.mtp5.ru](http://www.mtp5.ru) и [www.attex.net](http://www.attex.net). Эти измерения охватывают весь диапазон высот расположенных рядом с Апатитами Хибин (наивысшая отметка 1200 м).

Целью данной работы является оценка характера теплового взаимодействия Хибинского горного массива на термодинамические характеристики находящегося над ним слоя атмосферы.

### Данные

В работы использованы данные измерений микроволнового температурного профилера МТП-5РЕ (Полярный геофизический институт), данные аэрологических зондирований в Мурманске и Кандалакше ([weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html](http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html)), данные отдела лавинной безопасности УГИ КФ АО «Апатит».

### Результаты и обсуждение

Между температурами воздуха в Хибинах и воздуха над равниной существует тесная корреляция (рис. 1). Это обусловлено тем, что из-за небольших горизонтальных размеров (примерно 30 на 40 км) и относительных высот (900-1000 м), Хибин не вызывают блокирования воздушных масс, и аномалии в поле температуры, создаваемые макроциркуляционными процессами, охватывают одновременно и горный массив, и прилегающие территории.

Зимой температуры воздуха в Хибинах ниже, чем над Мурманском и Кандалакшей, где во всем ПСА прослеживается отепляющее влияние Баренцева и Белого морей (рис. 2). Летом наиболее высокая температура в южных районах области и температура в Хибинах выше, чем на Мурманском, и ниже, чем в Кандалакше. Но последнее утверждение справедливо только для среднемесячных значений. При отдельном рассмотрении ночных (0 UT) и дневных (12 UT) сроков обнаруживается, что в дневные часы температура воздуха в Хибинах приближается и даже превышает значения температуры на той же высоте над расположенной южнее Кандалакшей (рис. 2в). Измерения над Апатитами показывают, что в ПСА градиент

температуры своего знака не меняет, а, следовательно, воздух в Хибинах подвержен дополнительному термическому воздействию.

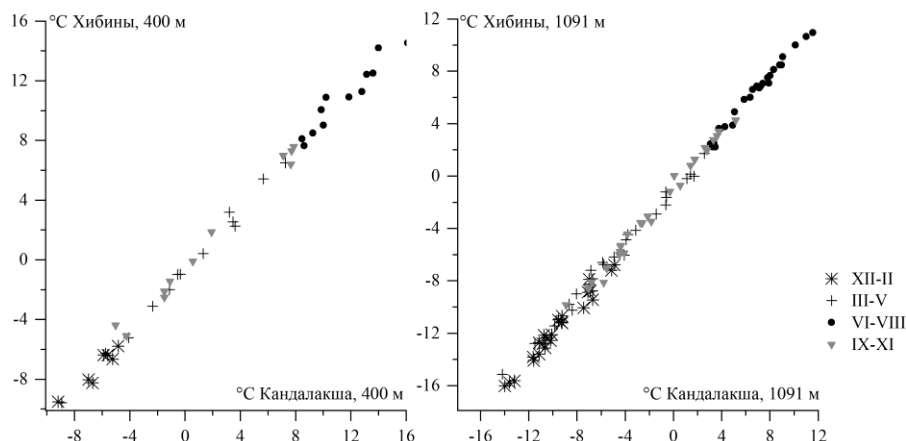


Рисунок 1. Связь среднемесячных температур воздуха в Хибинах и над Кандалакшей.

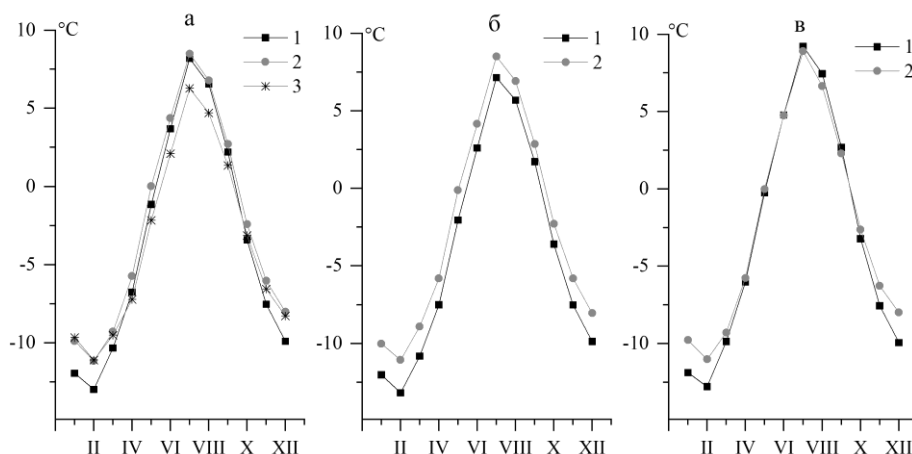
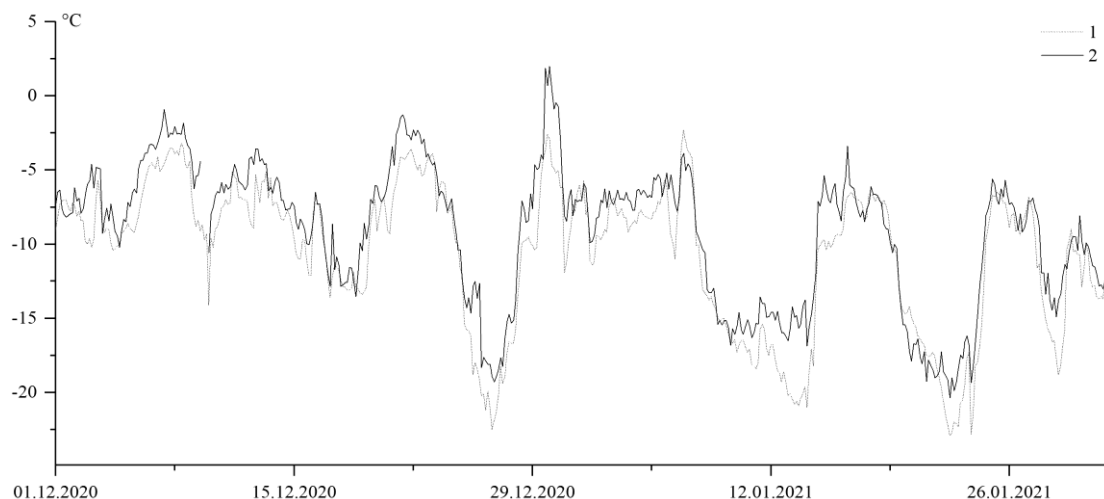


Рисунок 2. Среднемесячные температуры воздуха на г. Ловчор (Хибины) и на той же высоте над Кандалакшей и Мурманском (а); б и в – отдельно для Ловчор и Кандалакши для сроков 0 и 12 UT.

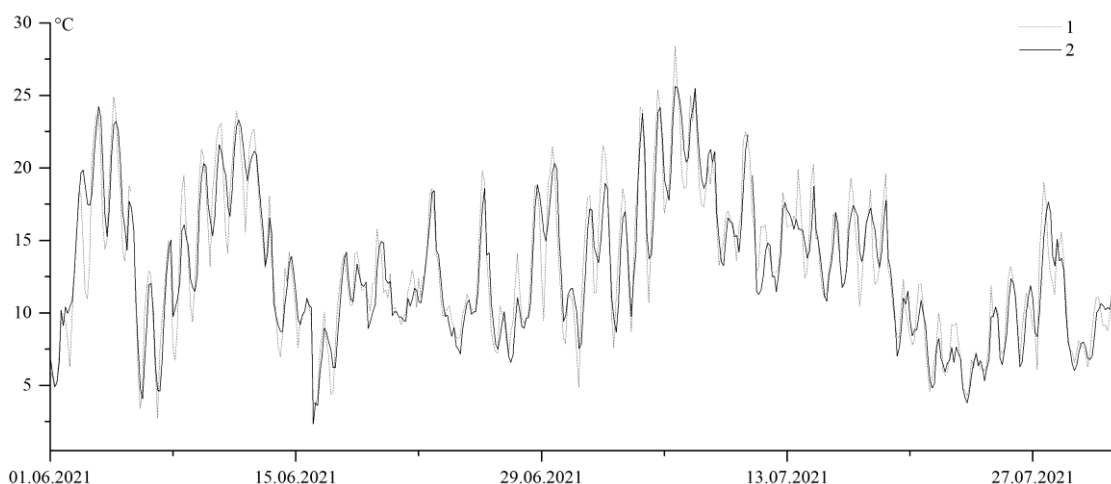
Температурный режим Хибин формируется под воздействием макроциркуляционных и радиационных процессов. Для изучения динамического воздействия горного массива на поле температуры наиболее удобным является зимний период, когда потоки солнечной радиации минимальны или даже отсутствуют (полярная ночь). На рис. 3 приведены вариации температуры на высоте 1075 м н.у.м. (г. Айкуайвенчорр) и на аналогичной высоте над равниной (расстояние между местом установки МТП-5РЕ и метеорологической станцией на г. Айкуайвенчорр около 16 км). Вариации температуры происходят схожим образом: коэффициент корреляции 0.94. Однако температура на горе практически всегда ниже, чем на той же высоте над равниной – в среднем за зимний период 2020-21 гг. на 1.5°C. Данный эффект можно объяснить адиабатическим охлаждением воздуха при его вынужденном подъеме при натекании воздушной массы на горное препятствие. Подтверждением этого механизма может служить тот факт, что в нижнем ярусе гор, где подъем воздуха незначительный, разность температур между воздухом в горах и на той же высоте над равниной всего 0.3°C (по измерениям в г. Кировске).

Очевидно, что данный механизм (называемый также эффектом подъема массы [1]) действует и в другие сезоны, хотя его численный эффект должен быть другим из-за разной стратификации. Однако при поступлении солнечной радиации картина в реальности становится более сложной, так как возникают периодические колебания температуры воздуха. Для иллюстрации на рис. 4 приведены вариации температуры воздуха в Хибинах на высоте 400 м и на той же высоте над равниной в июне-июле 2021 г. Межсуточные вариации происходят одинаковым образом – они отражают изменения синоптической ситуации. Но в какую-то часть времени суток в горах оказывается холоднее, а другую теплее, чем на той же высоте над равниной. Заметен также небольшой сдвиг по фазе.

Причины данного явления, на наш взгляд, заключаются в особенностях суточного хода температуры воздуха над деятельной поверхностью и на высотах в ПСА. Суточный ход температуры воздуха над деятельной поверхностью обусловлен суточными вариациями потоков солнечной радиации [2]. Минимальная температура отмечается ночью перед рассветом. В утренние часы температура воздуха быстро растет и между 14 и 16 час достигает своих максимальных значений. Типичный график суточного хода для нескольких пунктов приведен на рис. 5. Несмотря на разное положение по высоте (станция на равнине и горе), суточные вариации происходят практически синхронно, так как вызываются, главным образом, одним процессом – вариациями солнечной радиации. Суточная амплитуда с высотой убывает из-за усиления турбулентного обмена с окружающими слоями воздуха.



**Рисунок 3.** Температура воздуха на г. Айкуайвенчорр (1075 м) и на высоте 1075 м над Апатитами (МТП-5PE).



**Рисунок 4.** Температура воздуха в Хибинах на высоте 400 м н.у.м. и на той же высоте над равниной (МТП-5PE).

В ПСА на более высоких от поверхности уровнях периодические изменения температуры воздуха создаются суточными вариациями потоков тепла по вертикали. Так как скорость их распространения в воздухе конечна, экстремумы температуры на высотах наступают позже, чем в приземном слое (чем выше, тем сильнее запаздывание). Примеры суточных вариаций на разных высотах над равниной по данным измерений МТП-5PE в Апатитах приведены на рис. 6.

Так как вариации температуры в горах, где присутствует деятельная поверхность (поверхности склонов, плато, вершин), и над равниной смещены по фазе, разность температур между горным воздухом и воздухом, находящимся на той же высоте над прилегающей к горам равниной, не остается постоянной ни по величине, ни по знаку (рис. 7). Ночью температура воздуха над горами ниже, чем воздух на той же высоте над равниной. В утренние часы воздух над горами быстро нагревается, благодаря поглощению поверхностями

солнечной радиации и последующей отдаче тепла прилегающим слоям воздуха, в то время как воздух над равниной все еще остается холодным – тепло от поверхности земли до него еще не дошло из-за слабого в это время суток турбулентного обмена (на высотах в это время может даже отмечаться минимум температуры в суточном ходе). В послеполуденные часы при интенсивном турбулентном обмене разность температур уменьшается. Конкретные численные различия между температурами воздуха в горах и над равниной будут зависеть от сезона, высоты, времени суток и от метеорологических условий в атмосфере, определяющих интенсивность турбулентного обмена.

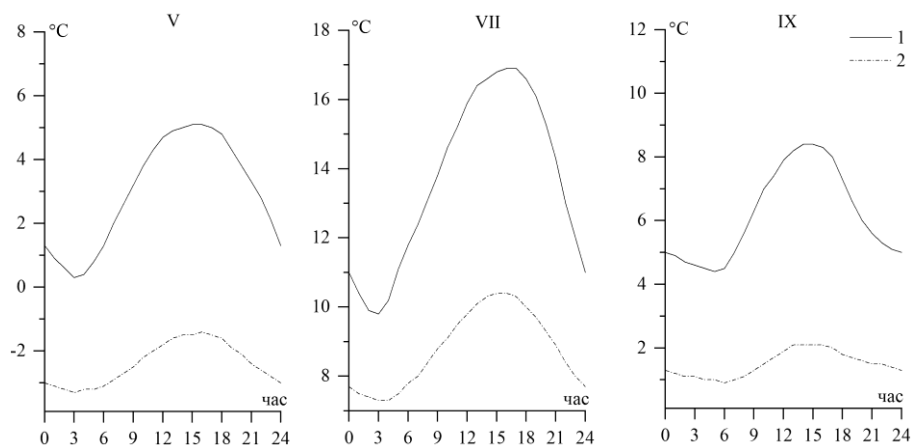


Рисунок 5. Суточный ход температуры воздуха на высоте 2 м от поверхности земли: 1 – Апатиты (132 м н.у.м.), 2– г. Юкспор (902 м н.у.м.); данные из [3].

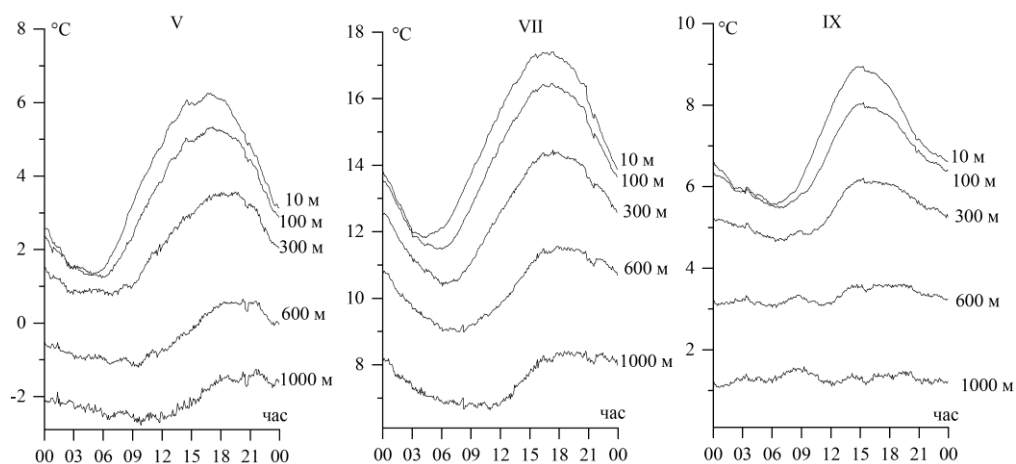


Рисунок 6. Суточный ход на разных высотах от поверхности земли по данным МТП-5PE (Апатиты).

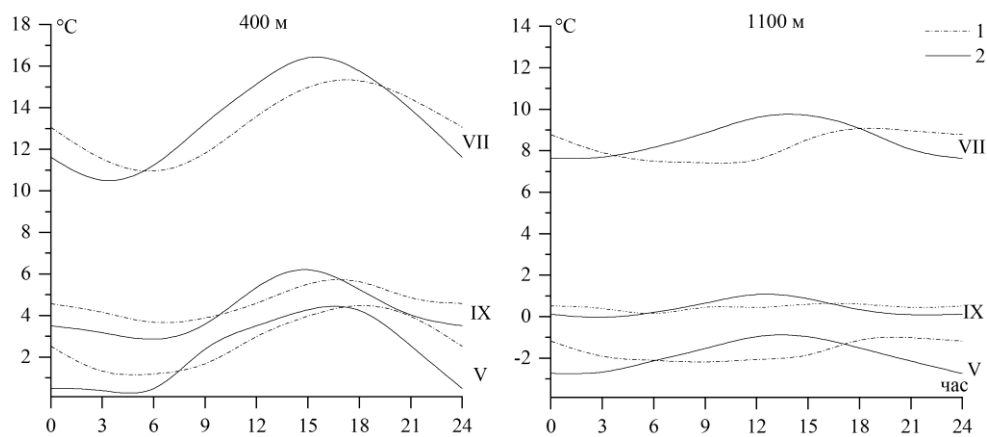


Рисунок 7. Суточный ход температуры воздуха в Хибинах и над прилегающей равниной.

### **Заключение**

Сезонный ход температуры в Хибинах идентичен сезонным вариациям температуры воздуха на тех же высотах над прилегающей равниной. Зимой периодические суточные вариации практически отсутствуют. Температура воздуха на горах ниже, чем воздуха над равниной: в среднем на  $0.3^{\circ}\text{C}$  в нижнем ярусе гор (400 м н.у.м.) и на  $1.5^{\circ}\text{C}$  на уровне наиболее высоких плато. Эффект создается вынужденным подъемом воздуха и его адиабатическим охлаждением.

Из-за поглощения деятельной поверхностью гор солнечной радиации суточный ход температуры в Хибинах в теплое полугодие отличается от суточного хода температуры воздуха на той же высоте над равниной. Суточные вариации происходят с разной амплитудой и сдвигом по фазе. Разность температур не остается постоянной и зависит от сезона, времени суток, высоты (сдвиг фаз). В общем виде можно сказать, что температура воздуха в горах ночью ниже, а в утренние, полуденные и послеполуденные часы приближается и превышает температуру воздуха на той же высоте над прилегающей равниной.

### **Литература**

1. Barry R.G. Mountain weather and climate. Cambridge University Press, Cambridge, 2008. 506 p.
2. Матвеев Л.Т. Физика атмосферы. СПб, Гидрометеоздат, 2000. 780 с.
3. Справочник по климату СССР. Вып. 2. Мурманская область. Часть II. Температура воздуха и почвы. Л.: Гидрометеоздат, 1965. 144 с.