

DOI: 10.51981/2588-0039.2021.44.041

ОСОБЕННОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ В ПРИБРЕЖНЫХ И ЦЕНТРАЛЬНЫХ РАЙОНАХ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

В.И. Демин, Б.В. Козелов, А.В. Лосев

ФГБНУ «Полярный геофизический институт», г. Апатиты, Россия

Аннотация. Рассмотрены сезонные и пространственные вариации поля температуры воздуха в пограничном слое атмосферы на территории Мурманской области. Временные вариации над Мурманском, Апатитами и Кандалакшей происходят в значительной степени синхронно на всех высотах. Пространственные различия в термической структуре ПСА в среднем достигают 1°C зимой и 2°C летом. Неоднородности вызваны большими расстояниями между пунктами измерений и с неодинаковым воздействием Баренцева и Белого моря на тепловой режим прибрежных территорий.

Введение

Информация о температуре воздуха в пограничном слое атмосферы используется в широком спектре прикладных задач. Фактически единственным источником ее получения является радиозондирование атмосферы. На территории Мурманской области оно проводится на аэрологических станциях в Мурманске и Кандалакше. Недостатком радиозондирования является низкое временное разрешение получаемых данных (как правило, выпуск зонда происходит только 2 раза в сутки). Ситуация осложняется также положением станций зондирования вблизи морских акваторий, которые искажают поле температуры не только в приземном слое, но и на высотах.

С августа 2020 г. в г. Апатиты установлен вертикальный температурный профилометр МТП-5РЕ. Микроволновой одноканальный радиометр с фиксированной частотой вблизи максимума поглощения молекулярного кислорода (60 ГГц или длина волны 5 мм) по характеристикам измеренного излучения (зависимости радиояркостных температур от угла наблюдения) восстанавливается профиль температуры) в слое до 1 км с разрешением по высоте от 10 до 50 м и с временным шагом 5 мин. Подробные характеристики прибора изложены на сайтах www.mtp5.ru и www.attex.net.

Целью данной работы является сравнение данных о вертикальном распределении температуры воздуха над Мурманском, Кандалакшей и Апатитами и оценка возможности привлечения данных радиозондирования в Мурманске и Кандалакше для описания высотного распределения температуры воздуха над центральными районами области.

Данные

В работе использованы данные аэрологического зондирования на станциях Мурманск и Кандалакша (сайт: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>) и данные измерений температурным профиломером МТП-5РЕ в Апатитах (Полярный геофизический институт).

Результаты и обсуждение

Особенности сезонной и пространственной изменчивости температуры воздуха в пограничном слое атмосферы (ПСА) на севере и юге области отражены на рис. 1. Высота на рис. 1а и 1б отсчитывается от поверхности земли. Так как высотные отметки станций аэрологического зондирования в Мурманске и Кандалакше разные (121 и 26 м н.у.м. соответственно), а оба пункта аэрологического зондирования расположены вблизи морских акваторий, сравнение температур на рис. 1в выполнено на одинаковых высотах относительно уровня моря.

В теплое полугодие среднемесячная температура воздуха с высотой убывает. В холодное время года картина сложнее: температура, как правило, возрастает до некоторой высоты, над ней располагается слой изотермии или слабого изменения, и только далее она начинает понижаться. Эта закономерность прослеживается на обеих станциях зондирования (рис. 1а, б). Зимой температура воздуха в ПСА над Мурманском выше, чем над Кандалакшей. Это обусловлено воздействием теплых течений незамерзающего Баренцева моря – более сильным, чем тепляющее влияние Белого моря. Наибольшие термические различия между Мурманском и Кандалакшей проявляется не в нижних слоях ПСА (здесь поступающие морские

воздушные массы охлаждаются при контакте с выхолаженной поверхностью суши), а на высотах 400-800 м (рис. 1в). Выше отепляющее влияние Баренцева моря заметно снижается и уже к 2 км температуры над Мурманском и Кандалакшей близки. Летом температура воздуха на высотах уменьшается с юга на север и ее значения над Мурманском ниже, чем над Кандалакшей. Наибольшая разность наблюдается снова не у поверхности, а на некоторой высоте (рис. 1в). Это указывает на охлаждающее воздействие Белого моря – без этого влияния термический контраст между северным и южным побережьем был бы сильнее у поверхности. Весной и осенью влияние морей на тепловой режим прилегающих слоев атмосферы становится слабее, и контрасты температуры между побережьями сглаживаются.

Очевидные признаки морского воздействия на температурный режим атмосферы ставят вопрос о корректности использования данных, полученных на прибрежных станциях зондирования, для центральных (удаленных от морей) районов области. В 2020-21 гг. в г. Апатиты были проведены измерения вертикального распределения температуры воздуха с помощью микроволнового профилера МТП-5РЕ. Установка прибора позволяет проводить измерения в слое до 1200 м н.у.м. Для последующего сравнения характеристики температуры воздуха над Апатитами рассчитывались в те же сроки, что и запуски аэрологических зондов (0 и 12 UT).

По измерениям зимой 2020-21 гг. температура над Апатитами оказалась ниже, чем над Мурманском и Кандалакшей. Формирующаяся в центре Кольского п-ова небольшая область пониженных температур, обнаруживаемая в приземном слое по климатическим картам (см., например, [2]), по всей видимости, распространяется и на ПСА. В летний период температура воздуха по линии Мурманск-Апатиты-Кандалакша на высотах повышается с севера на юг: над Апатитами температура ниже, чем над Кандалакшей и выше, чем над Мурманском (рис. 2).

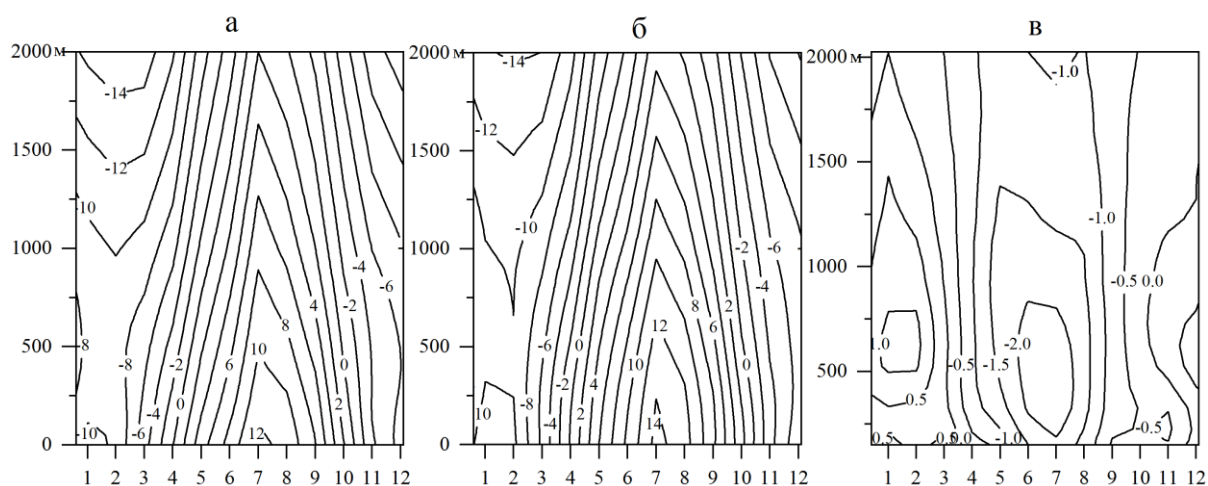


Рисунок 1. Среднемесячные (2007-2018 гг.) значения температуры воздуха на разных высотах: а – Мурманск, б – Кандалакша, в – разность между Мурманском и Кандалакшей.

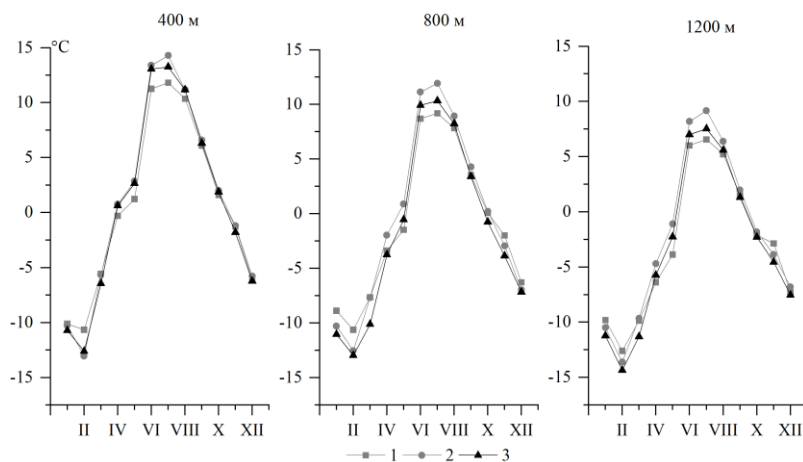


Рисунок 2. Годовой ход среднемесячных температур воздуха на разных высотах над Мурманском (1), Кандалакшей (2) и Апатитами (3), 2020-2021 гг.

В моменты времени, когда пункты измерений оказывались по разные стороны атмосферных фронтов, разделяющих воздушные массы с контрастными термическими характеристиками, разность температур между ними достигала многих градусов. Но в среднем в период 2020-21 гг. над Апатитами в слое 200-1200 м н.у.м. оказалось холоднее, чем в Кандалакше, на 0.4°C зимой и на 0.9°C летом. По отношению к Мурманску разность оказалась неоднозначной: зимой над Апатитами на 1.2°C холоднее, летом на 1.1°C теплее. Приведенные количественные соотношения температур (Апатиты относительно Мурманска и Кандалакши) получены по наблюдениям, выполненным в течение всего одного года. Этого периода недостаточно для определения устойчивых средних многолетних оценок – значения могут быть искажены особенностями метеорологических условий конкретного сезона. По этой причине представленные результаты можно считать предварительными. Однако, так как вариации температуры воздуха над Мурманском, Апатитами и Кандалакшей на всех исследуемых высотах (до 1200 м н.у.м.) имеют очень схожий характер (рис. 3, табл.), можно предположить, что качественно картина не отличается сильно и в другие годы.

Особенности суточного хода температуры на разных высотах могут быть исследованы только по результатам измерений МТП-5РЕ над Апатитами. Амплитуда суточного хода температуры изменяется в зависимости от сезона и максимальна у поверхности земли (рис. 4). В ноябре - феврале суточный ход температуры практически отсутствует даже на нижних уровнях, но с апреля по август внутрисуточные колебания с разной амплитудой обнаруживаются во всем слое до 1200 м н.у.м.

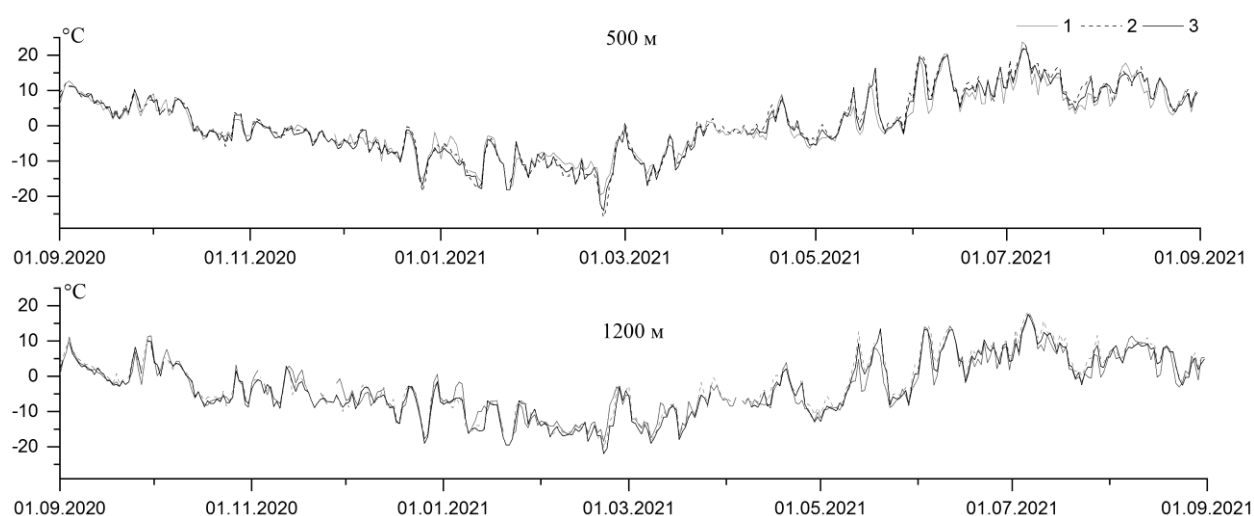


Рисунок 3. Среднесуточные температуры воздуха на разных высотах над Мурманском (1), Кандалакшей (2) и Апатитами (3).

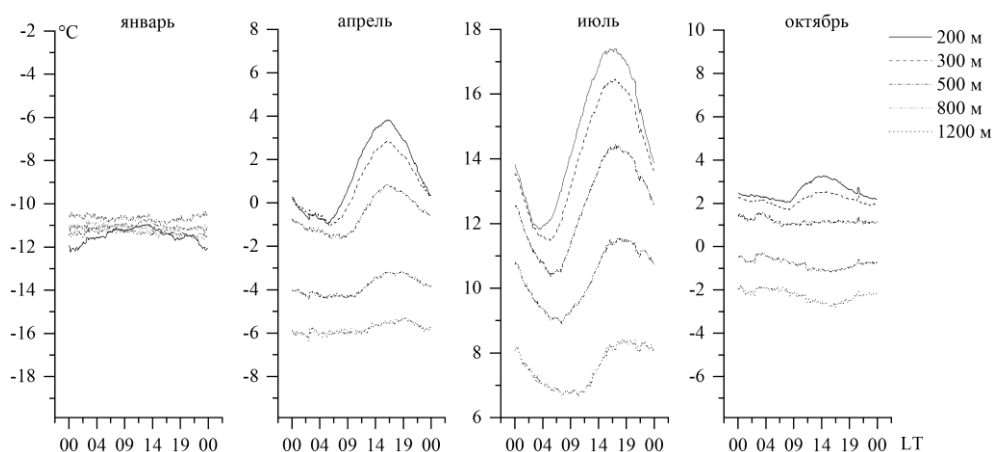


Рисунок 4. Суточный ход температуры воздуха на разных высотах над Апатитами (н.у.м.).

Наглядное представление о суточных изменениях термической стратификации ПСА дают вертикальные профили температуры воздуха в центральные месяцы сезонов (рис. 5). Наибольшее изменение формы профилей отмечается в приземном слое атмосферы; с высотой ночные и дневные профили постепенно сближаются. Зимой – при отсутствии солнечной радиации или ее низком значении, стратификация от ночных часов к дневным меняется слабо. Такая перестройка стратификации наблюдается во всех 3 пунктах измерений.

Особый интерес представляет сравнение температуры воздуха на высоте 200 м в Апатитах и на высоте 200 м н.у.м. над Кандалакшей. Температура на уровне 200 м н.у.м. – это температура воздуха в верхней части холма и, одновременно, в черте города. Зимой на вершинах изолированных холмов (без притока холодного воздуха с соседних вершин) образующийся у поверхности земли холодный воздух стекает вниз и заменяется воздухом из прилегающих слоев атмосферы. В результате этого температура воздуха на вершине холма должна быть близка к температуре на той же высоте в атмосфере над прилегающей равниной. Если допустить, что в городе существует антропогенный остров тепла, величина которого зимой достигает 4-8°C [3], горизонтальный градиент температуры между Апатитами и Кандалакшей, который на высотах 200-300 м в это время года около 0.5°C, не может помешать ее обнаружению. Однако распределения температур в верхней части городского холма и на той же высоте над Кандалакшей оказываются практически одинаковыми: положительная аномалия в городе существует только по отношению к окружающей холм равнине с более низкими температурами (рис. 6), но температура в городе соответствует температуре «теплого слоя», который зимой располагается над равниной на той же высоте. Положительная аномалия температуры в городе имеет, главным образом, естественную природу.

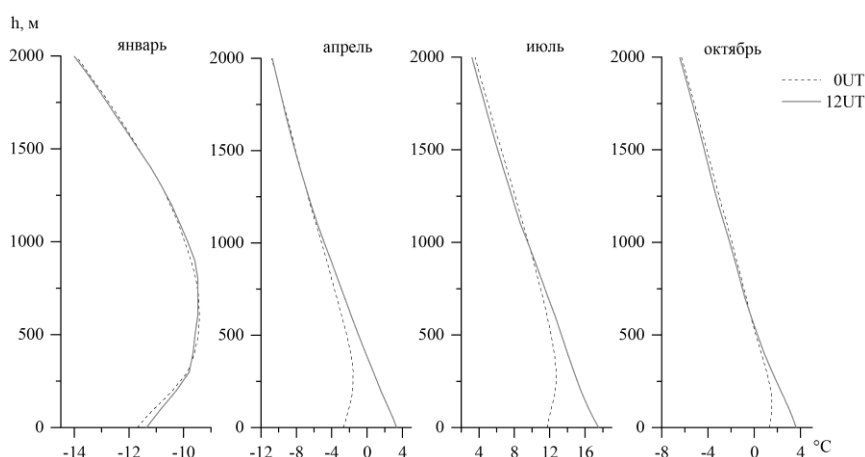


Рисунок 5. Вертикальные профили температуры воздуха в различные сезоны над Кандалакшей (2007-2018 гг.).

Таблица. Коэффициенты корреляции среднесуточных температур на разных высотах над Апатитами с данными зондирования в Мурманске и Кандалакше.

Сезон	Мурманск					Кандалакша				
	200 м	400 м	600 м	900 м	1200	200 м	400 м	600 м	900 м	1200
зима	0.93	0.93	0.89	0.89	0.89	0.95	0.97	0.96	0.96	0.97
весна	0.96	0.95	0.94	0.93	0.94	0.98	0.99	0.99	0.98	0.99
лето	0.93	0.91	0.90	0.91	0.92	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97
осень	0.97	0.97	0.97	0.95	0.94	0.99	0.99	0.98	0.97	0.98

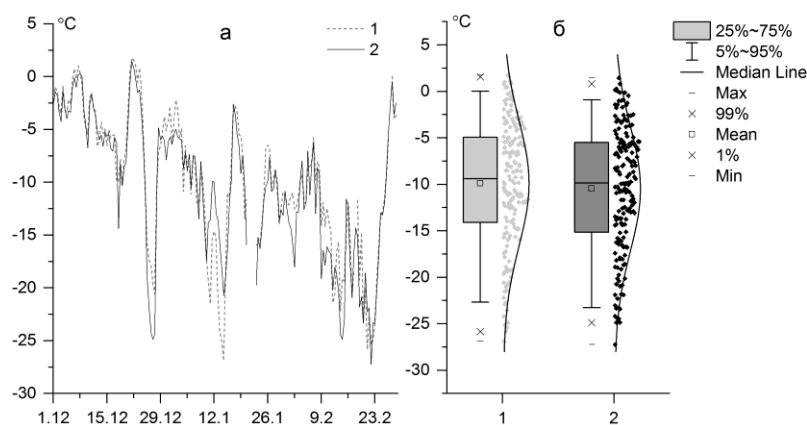


Рисунок 6. Вариации (а) зимних температур на высоте 200 м н.у.м. над Кандалакшей (1) и в г. Апатиты (200 м н.у.м. (2) и их статистические распределения; 2020-21 гг.

Заключение

По данным параллельных измерений вариации температуры воздуха в ПСА над Мурманском, Апатитами и Кандалакшей происходят в значительной степени синхронно. Однако в термической структуре ПСА обнаруживаются пространственные различия, вызванные большими расстояниями между пунктами измерений и неодинаковым воздействием Баренцева и Белого моря на тепловой режим прибрежных территорий. Средние неоднородности поля температуры в ПСА составляют 1°C зимой и 2°C летом. Следует отметить, что в холмистом рельефе зимой, а ночью во все сезоны, влияние микроклимата на распределения минимальной и зимней температуры могут перекрывать обычные широтные и вертикальные градиенты до относительных высот 100-200 м [1]. Это подразумевает существование гораздо более сильных вариаций в поле температуры воздуха в приземном слое, чем в целом по ПСА.

Литература

1. Гольцберг И.А. Микроклимат СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 282 с.
2. Яковлев Б.А. Климат Мурманской области. Мурманск: Кн. изд-во, 1961. 183 с.
3. Varentsov V., Konstantinov P., Baklanov A. et al. Anthropogenic and natural drivers of a strong winter urban heat island in a typical Arctic city. *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 18, pp. 17573-17587, 2018.