

**АНАЛИЗ СЕЗОННЫХ И СУТОЧНЫХ ВАРИАЦИЙ
ТЕМПЕРАТУРЫ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ПО ДАННЫМ ПРОФИЛЕМЕРНЫХ
ИЗМЕРЕНИЙ**

М.И.Прохареня, С.А.Лысенко, П.О.Зайко, А.Ю.Шиховцев
*Институт природопользования НАН Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь, e-mail:maryprokharenya@gmail.com*

Температура в пограничном слое атмосферы, подчиняясь суточным и сезонным модуляциям, является одной из самых изменчивых метеорологических характеристик. Изучение инверсий пограничного слоя атмосферы представляют особый интерес для решения целого ряда научных и практических задач. В данной работе впервые были проанализированы данные белорусских температурных профиломеров МТП-5, а также получены сезонные и суточные зависимости образования и разрушения температурной инверсии. Для исследования был выбран период 2019-2023гг. Построены графики суточного хода классов устойчивости атмосферы. Получены данные о повторяемости стабильной и нестабильной атмосферы для теплого и холодного периода. Результаты температурного зондирования пограничного слоя атмосферы позволили сделать следующие выводы: цикл образования и разрушения приземных инверсий различался для теплого и холодного полугодий. Для всех станций в холодный период характерно преобладание стабильного класса устойчивости атмосферы. Для теплого периода отмечается большая частота стабильного и экстремально нестабильного классов в вечерние и утренние часы, что связано с особенностью прогрева нижних слоев атмосферы в летний период.

Ключевые слова: Метеорологический температурный профиломер; пограничный слой атмосферы; термическая стратификация атмосферы; тропосфера; стратосфера; инверсия температуры.

**ANALYSIS OF SEASONAL AND DAILY VARIATIONS OF THE
TEMPERATURE OF THE BOUNDARY LAYER OF THE
ATMOSPHERE OF THE REPUBLIC OF BELARUS ACCORDING TO
THE PROFILE OF MEASURED MEASUREMENTS**

M.I. Prokharenya, S.A. Lysenko, P.O. Zaiko, A.Yu. Shikhovtsev
*Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of
Belarus, Minsk, Republic of Belarus, e-mail:maryprokharenya@gmail.com*

The temperature of the atmospheric boundary layer, subject to daily and seasonal modulations, is one of the most variable meteorological characteristics. The study of inversions of the atmospheric boundary layer is of particular interest for solving a number of scientific and practical problems. In this work, for the first time, the data of the Belarusian

temperature profilers MTP-5 were analyzed, and seasonal and daily dependences of the formation and destruction of temperature inversion were obtained. The period from 2019 to 2023 was chosen for the study. Graphs of the daily course of the classes of atmospheric stability are constructed. Data on the frequency of stable and unstable atmospheres for warm and cold periods are obtained. The results of temperature sounding of the atmospheric boundary layer made it possible to draw the following conclusions: the cycle of formation and destruction of surface inversions differed for the warm and cold half-years. All stations during the cold period are characterized by the predominance of a stable class of atmospheric stability. For the warm period, there is a high frequency of stable and extremely unstable classes in the evening and morning hours, which is associated with the peculiarity of heating the lower layers of the atmosphere in summer.

Keywords: Meteorological temperature profiler; boundary layer of the atmosphere; thermal stratification of the atmosphere; troposphere; stratosphere; temperature inversion.

Температура в пограничном слое атмосферы, подчиняясь суточным и сезонным модуляциям, является одной из самых изменчивых метеорологических характеристик. Изучение инверсий пограничного слоя атмосферы представляют особый интерес для решения целого ряда научных и практических задач (построение модели ПСА, уточнение численных прогностических схем для моделирования нижнего слоя атмосферы, прикладные задачи экологии, изучение загрязнения атмосферы, исследование аэрозолей и т.д.). Инверсия и изотермия оказывают непосредственное влияние на многие явления в атмосфере: с ними связано формирование и эволюция слоистой облачности, тумана, дымки, мглы. Инверсии температуры наглядно показывают, как деятельность человека, налагаясь на естественные погодные и климатические явления, приводит к серьезным экологическим нарушениям, угрожающим здоровью людей. В городских условиях при наличии большого числа низких источников выбросов (автотранспорта и печей частных домов жилого сектора), особенно если температура выбросов ниже температуры окружающего воздуха, при приподнятых и приземных инверсиях создаются условия накопления примесей [1].

Для изучения условий формирования температурных инверсий используются как локальные, так и дистанционные методы и средства измерений различных параметров атмосферы. В последние несколько десятилетий широкое распространение для мониторинга состояния пограничного слоя атмосферы получили разнообразные температурные и ветровые профиломеры, позволяющие получать непрерывные данные о вертикальной структуре пограничного слоя атмосферы в режиме «реального» времени (5–10 минут).

В 2019 г. было положено начало построению национальной системы метеорологического дистанционного радиозондирования Беларуси, и на 2023 г. система включает аэрологическую станцию Минск, производящую наблюдения один раз в сутки за срок 00 UTC, 4 температурных (Минск-

Уручье, Ошмяны, Пружаны, Горки) и 3 ветровых (Минск-Уручье, Пружаны, Горки) профилемера, осуществляющих зондирование каждые 5–10 минут. Установленные на белорусских станциях микроволновые радиометры МТП-5 представляют собой системы дистанционного зондирования, измеряющие излучение в пограничном слое атмосферы на высотах от 0 до 1000 м [2]. Основными достоинствами профилемеров являются: всепогодность, непрерывность измерений, автоматический режим работы, автоматические калибровки, компактность и мобильность, отсутствие собственного излучения, простота эксплуатации.

Все указанные преимущества делают микроволновые сканирующие одноканальные профилемеры МТП-5 практически идеальными для измерения профилей температуры для территории Беларуси в целях обеспечения метеорологического и экологического мониторинга.

В ходе работы был проведен анализ сезонного и суточного хода температуры пограничного слоя по данным белорусских профилемеров за период с 2019г. по февраль 2023г. Для определения класса устойчивости атмосферы и характеристики инверсии использовался градиент температуры на уровнях 0-100м [3]. На основании данных о повторяемости, мощности и интенсивности инверсий установлена взаимосвязь: образование инверсии тесно связано с атмосферными процессами и особенностями региона.

Проведенный анализ показал, что сезонный ход приземной инверсий характеризовался максимумом в сентябре 8 °С (14–00 ч). Как для теплого, так и для холодного периода наиболее интенсивными были приземные инверсии, образующиеся в ночные часы. Цикл образования и разрушения термических инверсий в регионе зависит от времени года. Для теплого (апрель-октябрь) и холодного (ноябрь-ноябрь) полугодий характерны разные механизмы и черты образования, и в связи с этим, целесообразно разделить время формирования и разрушения температурных инверсий на теплый и холодный период года [4,5].

В таблице представлены сведения о повторяемости (%) приземной инверсии по данным температурного профилемера Минск-Уручье в зависимости от сезона. Данные в табл. 1 получены путем осреднения данных за час профилемера Минск-Уручье за период 2019-2023гг.

Для теплого периода года (апрель–октябрь) характерен четкий механизм образования приземных инверсий внутри суток: приземные инверсии формировались во второй половине дня и длились на протяжении ночи. Устойчивое состояние атмосферы сохранялось до утра. Для холодного периода года (ноябрь–март) было характерно наличие приземных инверсий, но они редко были самостоятельным явлением, в основном были связаны с

образованием приподнятых инверсий. Анализ времени образования приземных инверсий в холодный период показал, что инверсии формировались чаще в ночное время.

Повторяемость приземной инверсии по данным МТП-5 Минск-Уручье

	стабильная атмосфера		нестабильная атмосфера	
	теплый сезон	холодный сезон	теплый сезон	холодный сезон
утро	10,8	12	1,7	0,5
день	37,5	20,8	0	0
вечер	10,9	12,5	1,7	0
ночь	20,3	49,5	17,1	4,7

Для наглядности на рис. 1 представлено распределение повторяемости времени образования приземных инверсий в течение суток за теплый и холодный периоды. С прогревом подстилающей поверхности и приземного воздуха для холодного периода время образования приземных инверсий смещалось на более поздние сроки. Приземные инверсии практически не образовывались в срок 21-00 чч.

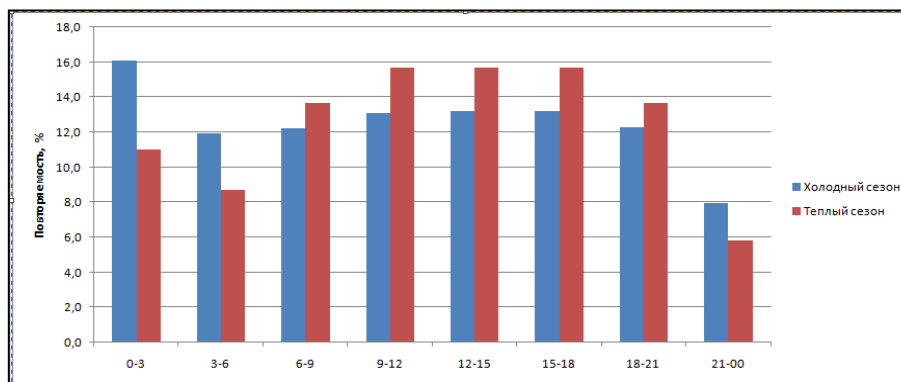


Рис. 1. Повторяемость инверсии по данным МТП-5 Минск-Уручье

График распределения повторяемости приземных инверсий в течение суток свидетельствует о том, что для холодного полугодия процессы разрушения имеют не явно выраженный суточный ход, приземные инверсии могли разрушаться в утреннее время, но за счет сохранения благоприятных условий, они могли сохраняться и в более поздние сроки. Для холодного полугодия так же характерно разрушение инверсий в ночные часы с 21 до 00 утра. С наступлением теплого полугодия приземные инверсии долго не существовали и разрушались ещё до восхода солнца. Для теплого полугодия характерно разрушение приземных инверсий в сроки 21–00 ч и 03–06 ч.

На рис. 2-5 представлено распределение классов атмосферной устойчивости по станциям в зависимости от холодного и теплого периода. Для расчета использовались часовые осредненные данные профилера. Для холодного периода для всех станций характерно преобладание стабильного класса устойчивости на всем временном диапазоне. Для теплого периода отмечается большая частота стабильного и экстремально нестабильного классов в вечерние и утренние часы, что связано с особенностью прогрева нижних слоев атмосферы в летний период.

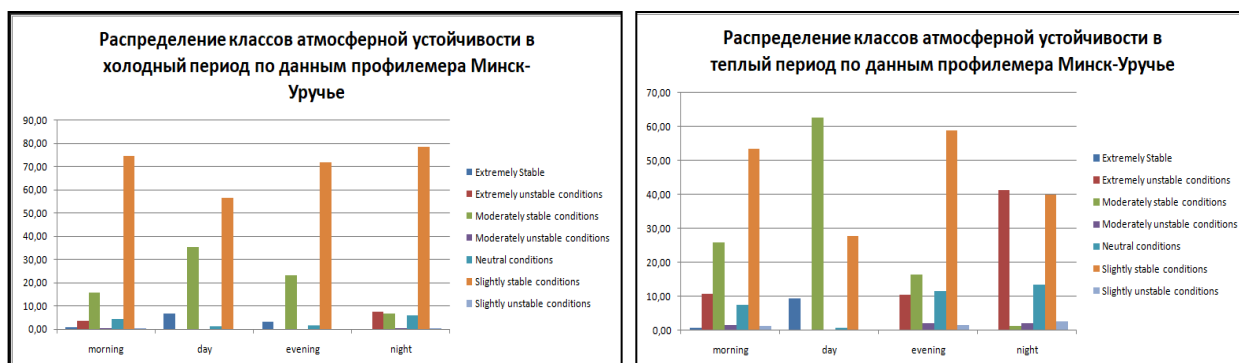


Рис. 2. Распределение классов устойчивости по данным МТП-5 Минск-Урочье

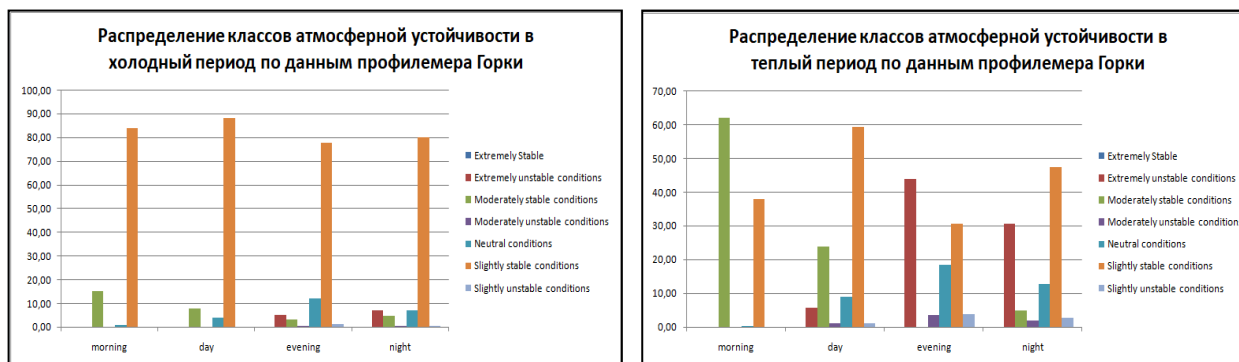


Рис. 3. Распределение классов устойчивости по данным МТП-5 Горки

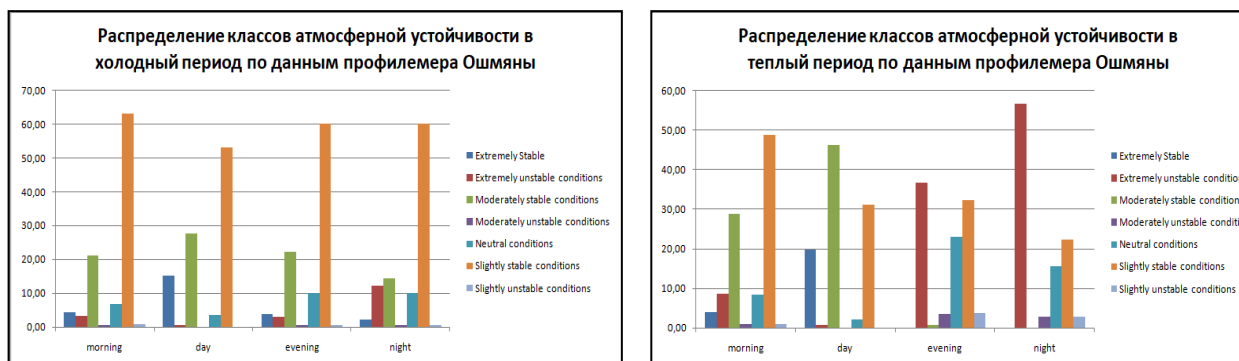


Рис. 4. Распределение классов устойчивости по данным МТП-5 Ошмяны

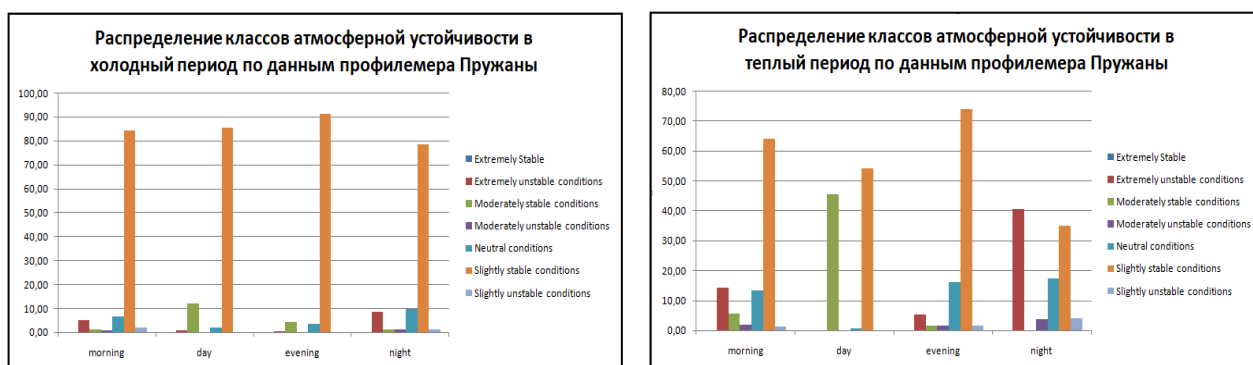


Рис. 5. Распределение классов устойчивости по данным МТП-5 Пружаны

Результаты температурного зондирования пограничного слоя атмосферы, полученные с применением микроволновых температурных профиломеров МТП-5 позволили сделать следующие выводы: цикл образования и разрушения приземных инверсий различался для теплого и холодного полугодий; образование приземных инверсий в течение теплого полугодия происходило в период 06–09 и 09–12 часов; в холодное время года приземные инверсии формирование инверсий сдвигалось на более позднее время. Разрушение приземных инверсий в основном происходило в утреннее время, зимой при сохранении благоприятных условий, они могли наблюдаться и в более поздние сроки. Для всех станций в холодный период характерно преобладание стабильного класса устойчивости атмосферы. Для теплого периода отмечается большая частота стабильного и экстремально нестабильного классов в вечерние и утренние часы, что связано с особенностью прогрева нижних слоев атмосферы в летний период.

Библиографические ссылки

1. Безуглая, Э. Ю. Чем дышит промышленный город. Л.: Гидрометеиздат; 1991. 60 с.
2. Методические рекомендации по использованию данных профиломеров МТП-5 // Центральная аэрологическая обсерватория. – Москва. – 2010.
3. NOAA. URL: <https://www.ready.noaa.gov/READYpgclass.php> (дата обращения: 22.05.2023).
4. Безуглая, Э. Ю. К оценке метеорологических условий загрязнения атмосферы / Э. Ю. Безуглая, Е. К. Завадская, И. М. Зражевский, М. Ю. Нестерова // Труды ГГО. – 1984. – № 479. – С. 87–98.
5. Лайхтман Д. Л. Физика пограничного слоя атмосферы. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 341 с.