

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра метеорологии и климатологии

**Мониторинг температурного режима приземного слоя воздуха
в Саратове**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 411 группы

направления 05.03.05 Прикладная гидрометеорология

 географического факультета

Брюханова Михаила Александровича

Научный руководитель,

зав. кафедрой, к.г.н. доцент _____

М.Ю.Червяков

Зав.кафедрой,

доцент, к.г.н. _____

М.Ю.Червяков

Саратов 2020

Введение

Тепловой режим атмосферы определяется совместным действием лучистого и турбулентного теплообмена отдельных воздушных слоев между собой и с земной поверхностью и адвективного переноса тепла и, наконец, выделением или поглощением тепла при фазовых переходах воды в атмосфере.

Основными источниками получения информации о вертикальном распределении метеорологических параметров, в том числе, и температуры в приземном слое атмосферы, являются данные дистанционного зондирования атмосферы. К числу таких оперативных методов можно отнести системы самолетного и спутникового мониторинга, радиозондирования и применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

К примеру данные радиозондирования в настоящее время дают возможность получить весьма полное представление о вертикальном и горизонтальном распределении температуры воздуха в тропосфере и стратосфере до высот 30—35 км. О температуре на больших высотах можно получить представление главным образом по данным ракетных зондирований атмосферы.

Особенностью нижнего слоя атмосферы является существенная изменчивость температурного режима как в суточном, так и в сезонном ходе. В атмосфере также могут наблюдаться особые условия изменения температуры с высотой, характеризующиеся обратным ее ходом. Такие события отмечаются как инверсии. Инверсия температуры - повышение температуры воздуха с высотой в некотором слое атмосферы. Инверсии температуры встречаются как в приземном слое воздуха, начиная от поверхности почвы (приземная инверсия), так и в свободной атмосфере

(инверсия в свободной атмосфере), особенно в нижних 1-2 км, а также при переходе от тропосферы к стратосфере (в слое тропопаузы).

Для оценки температурного режима в приземном слое с большим временным и пространственным разрешением необходимы другие методы, к которым можно отнести данные профилера МТП-5, регистрирующий температуру воздуха в нижнем 600-метровом слое.

В дипломной работе для анализа температуры приземного воздуха были использованы различные методы: радиозондирование, экспедиционные измерения, измерения профилей температуры с помощью датчиков, установленных на БПЛА. Большой объем работы по изучению термического режима приземного воздуха Саратова проводился с использованием данных спутникового спектрометра MODIS, позволившего восстановить температурные ряды для различной территории Саратовской агломерации, в том числе для района нового международного аэропорта «Гагарин».

Некоторые методики измерения температуры были опробованы в различных экспедиционных выездах и практиках, в том числе во время гидрометеорологических экспедиций в Богдинско-Баскунчакском заповеднике и ледниках Безенги и Мижирги на Кавказе с использованием автоматической станции «Oregon» в 2018 году.

Часть полевых исследовательских и экспериментальных работ с использованием БПЛА и датчиков температуры iButton проводились на территории Саратовской области.

Проведенное исследование позволило выявить наиболее оптимальные методы для оценки температурного режима как урбанизированной, так природной территории.

Основное содержание работы

1 Температурный режим атмосферы

Характерной особенностью тропосферы является убывание в ней температуры воздуха с высотой, которое можно охарактеризовать вертикальным градиентом температуры. Градиент считается положительным, если температура падает с высотой. Он обычно рассчитывается в градусах на 100 м.

В среднем, γ в тропосфере равно $0,65^\circ/100$ м. В реальных условиях наблюдаются значительные отклонения от этой величины, которые зависят от высоты над поверхностью Земли, времени суток, времени года и условий погоды. Нередко в тропосфере наблюдаются слои, в которых температура или не изменяется с высотой (изотермические слои), или даже возрастает (инверсионные слои).

Важную роль в тропосфере играют слои с инверсией температуры. Такие слои препятствуют развитию вертикальных движений и турбулентности, с которыми связан перенос тепла, водяного пара и различных примесей к атмосферному воздуху (пыли и ядер конденсации), и поэтому их называют иногда задерживающими слоями.

Для изучения инверсий в приземном слое атмосферы была использована автоматическая метеостанция «Oregon» установленная на поверхности земли в районе балки Кардонной во время экспедиции на озеро Баскунчак в мае 2018 года. В комплекс станции входит датчик температуры и влажности в радиационной защите, анемометр чашечного вида и флюгарка для определения параметров ветра, а также плювиограф, солнечная батарея и база, на которую собираются все измеряемые метеопараметры. Информация передается на базу посредством радиосигнала и архивируется в ней.

Наблюдения температуры велись круглосуточно с 4 по 5 мая с интервалом времени в 30 минут на глубине 10 см и на уровнях 0, 75, 105 и 150 сантиметров. Помимо метеостанции, температура на глубине измерялась термометром-щупом, а на остальных уровнях - метеорологическими термометрами ТМ-1 и аспирационным психрометром Ассмана.

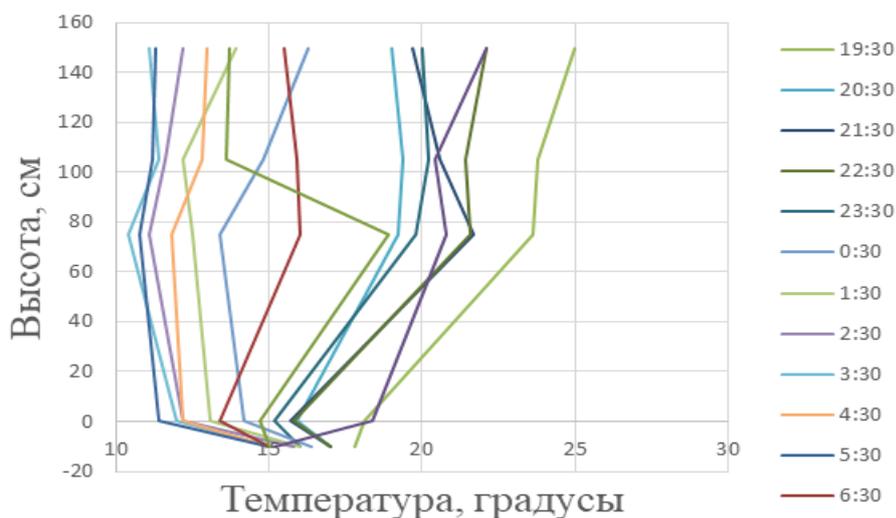


Рисунок 1 - Графики вертикальных профилей изменения температуры с 4 по 5 мая 2018 г по данным градиентных наблюдений во время гидрометеорологической экспедиции на оз. Баскунчак (Астраханская область) в 2018 году (составлено автором)

На рисунке 1 представлены графики вертикальных профилей изменения температуры, полученные во время проведенных наблюдений.

Мощности (толщина слоя) инверсий достигали 80-100 см с интенсивностью 5-6 градусов. Наибольшие интенсивности инверсий наблюдались в утренние часы перед восходом Солнца.

Измерение температуры воздуха с использованием автоматической станции «Oregon» позволило уверенно регистрировать различные флуктуации температурного режима в нижнем 2-х метровом слое воздуха.

2 Дистанционные методы определения температуры и влажности приземного слоя атмосферы

Для осуществления вертикального зондирования атмосферы с помощью квадрокоптера были закуплены компактные датчики измерения температуры серии iButton, считывающие устройства (логгеры) и программное обеспечение, позволяющее включать и выключать датчики, устанавливать необходимую точность измерения и промежутки измерений. Для проверки надежности датчиков iButton при различных режимах работы были проведены сравнения с показаниями температуры с автоматической метеорологической станцией АИС «Погода», которая установлена на учебной метеорологической станции СГУ.

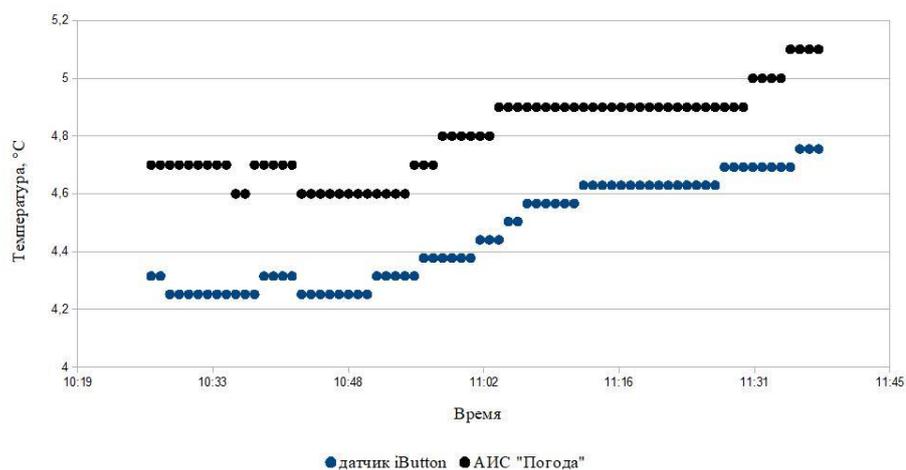


Рисунок 2 - Временной ход температуры, полученных по датчику iButton и АИС "Погода", произведенное на учебной метеорологической станции СГУ
20.02.2020 г (составлено автором).

Сравнения производились 17-18 февраля и 20 февраля при различных режимах регистрации температуры. В первом случае регистрация 15 осуществлялась в течении более суток каждые 5 минут. 20 февраля, сравнения производились уже в течении нескольких часов, но с интервалом регистрации температуры - каждую минуту.

На рисунке 2 представлены временные вариации температуры, полученные по датчику iButton и АИС "Погода", произведенное на учебной метеорологической станции СГУ 20.02.2020 г. Видна хорошая согласованность рядов данных, что позволяет говорить о возможности сопоставления этих данных и даже приведения показаний к единой шкале.

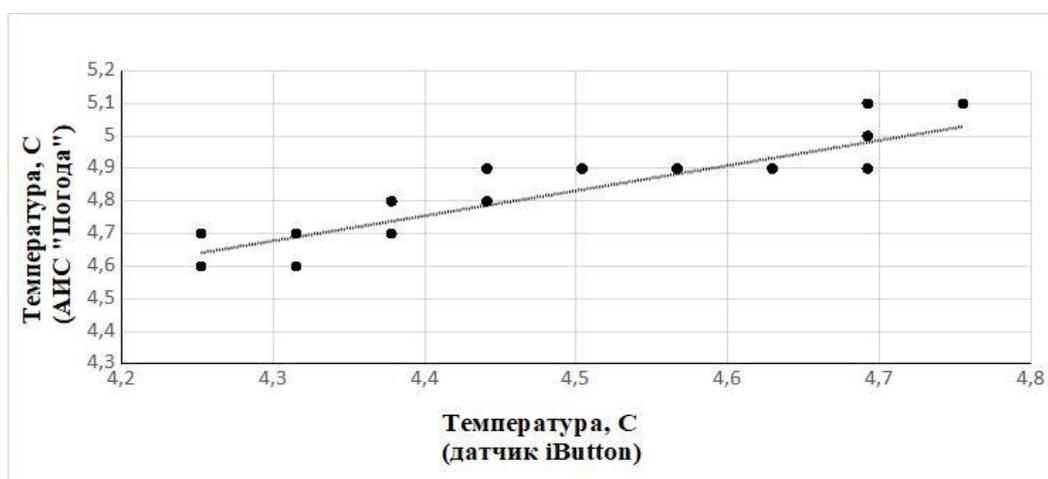


Рисунок 3 - Сравнение датчиков iButom и АИС "Погода", произведенное на учебной метеорологической станции СГУ 20.02.2020 г (составлено автором)

При сравнении на данном режиме работы датчика iButton, коэффициент корреляции был более 0,93. Это позволяет утверждать, что

точность и чувствительность датчика вполне пригодна для оценки температурного режима воздуха.

Данные сравнения позволили выявить линейную зависимость между показаниями iButton и АИС "Погода" и найти коэффициент взаимосвязи. На рис. 3 показана корреляционная диаграмма, полученная по результатам сравнения датчиков iButton и АИС "Погода".

По результатам зондирования были получены профили температуры с интервалом 5-10 метров до высоты 50 метров. Температура измерялась при подъеме квадрокоптера. Подобные измерения позволили получить изменчивость вертикальных профилей температуры в течении дня, с интервалом порядка 30 минут.

3 Изменчивость температуры воздуха в городе на примере Саратовской агломерации по данным спутникового спектрометра MODIS

Для анализа температурного режима урбанизированных территорий используются различные данные как контактного (прямого), так и дистанционного зондирования Земли.

Используя значения тепловых каналов, можно определить температуру поверхности земли. ИСЗ, на которых используется такая аппаратура, позволяют дистанционно получать информацию практически по всему миру с достаточно высоким пространственным и временным разрешением.

Для исследования температуры земной поверхности могут быть применены космические снимки в инфракрасном диапазоне от спектрометров MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), которые установлены на спутниках Terra и Aqua. Для безоблачных сцен в доступе имеются продукты MOD11A1 (для спутника

Terra) и MYD11A1 (для спутника Aqua), содержащие данные о температуре земной поверхности разрешением 1000 м по пространству и 1 сутки по времени. Оба продукта формируются для ночных и дневных условий. В настоящем исследовании использовался продукт MOD11A1.

Анализ термического режима проводился для территории города Энгельса, его ближнего и дальнего пригородов в период с 2019 по начало 2020 гг. Энгельс - город в Саратовской области, расположенный на левом берегу Волгоградского водохранилища, в степной зоне, на относительно равнинной территории напротив г. Саратова.

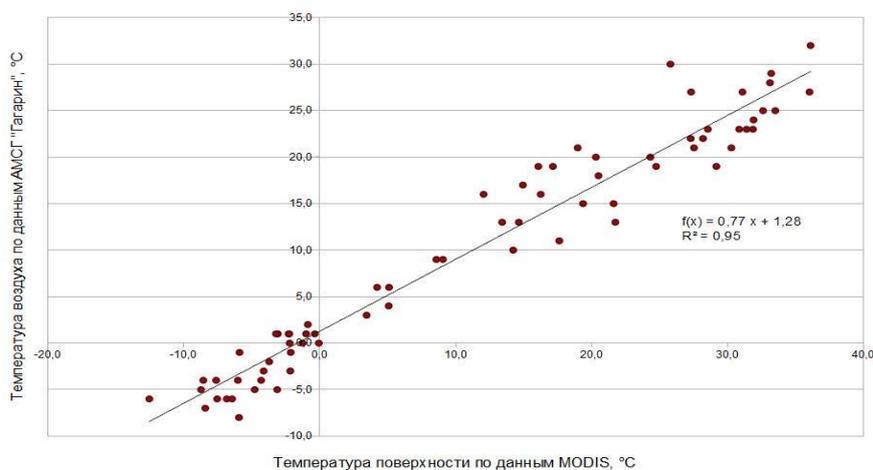


Рисунок 4 - Сравнение данных MODIS и данных наземных измерений на АМСГ аэропорта «Гагарин» в дневное время за период с 20.08.2019 г. по 14.02.2020 г. (составлено автором)

Для сравнения данных был использован ряд измерений приповерхностной температуры воздуха с автоматического метеорологического комплекса на авиационной метеорологической станции (АМСГ) аэропорта Саратова «Гагарин», восстановленных по сводкам METAR с 20 августа 2019 г. Расчет значений температуры поверхности производился по данным MOD11A1 для территории, ограниченный

прямоугольным полигоном (примерно 3 на 3,5 км) непосредственно в районе аэропорта.

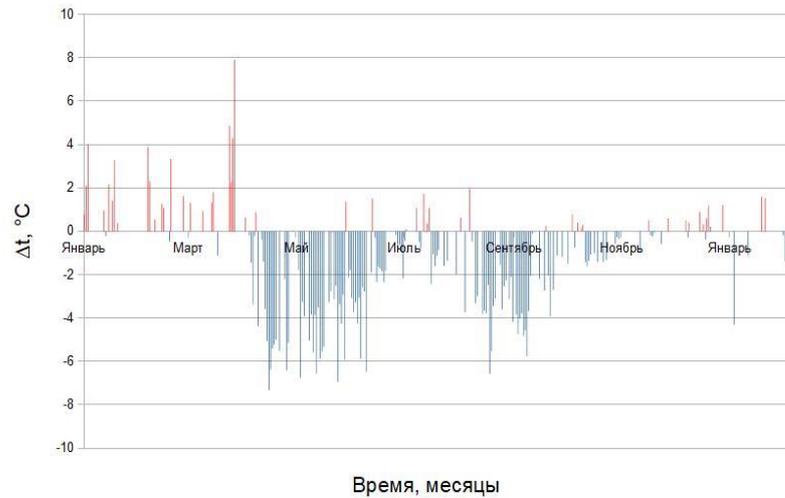


Рисунок 5 - Временная изменчивость разности температур между городом и ближним пригородом г. Энгельса в 2019-2020 гг. по данным MOD11A1 в дневное время (составлено автором)

Таким образом, можно сделать заключение, что данные продукта MODIS по температуре поверхности могут быть использованы для интерпретации изменчивости температуры воздуха, так как имеют хорошую прямую корреляционную связь. Для анализа термического режима урбанизированной территории г. Энгельса и его пригорода было выбрано 4 полигона, равной площади: один непосредственно в черте городской застройки города, один юго-восточнее на небольшом удалении (1,5- 2 км) и один на удалении 5 км от городской застройки. Четвертый участок был выбран над пойменной частью, для учета влияния Волгоградского водохранилища. В качестве примера приведена временная изменчивость разности температур между городом и ближним пригородом г. Энгельса в

2019-2020 гг. по данным MOD11A1 в дневное (рисунок 5) и ночное время (рисунок 6).

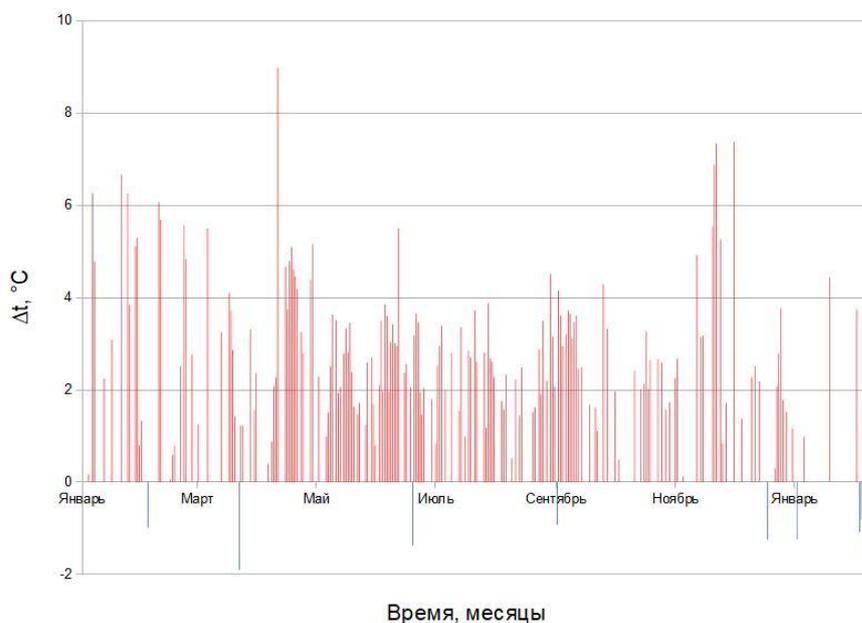


Рисунок 6 - Временная изменчивость разности температур между городом и ближним пригородом г. Энгельса в 2019-2020 гг. по данным MOD11A1 в ночное время (составлено автором)

Для дальнего пригорода ход разности температур выглядит также, при этом ее величина примерно на 1-1,5 град. больше. Стоит отметить различие хода разницы температур днем и ночью. Ночью, в течение всего года в городе наблюдается положительная разница температур по отношению к пригороду, в то время как днем положительные величины сохраняется только в зимний период времени. Летом дневная разница температур для города наоборот отрицательная, т.е. урбанизированная территория более прохладная по отношению к пригороду.

Заключение

На основе исследований, выполненных в дипломной, можно сформулировать следующие основные результаты:

Проведен анализ вертикального распределения температуры в экспедиционных условиях на озере Баскунчак с использованием автоматической станции «Oregon».

В результате полевых наблюдений за вертикальным распределением температуры в приземном слое были выявлены следующие особенности: после захода Солнца наблюдались приземные инверсии, вызванные радиационным выхолаживанием подстилающей поверхности. Мощности (толщина слоя) инверсий достигали 80-100 см с интенсивностью 5-6 градусов. Наибольшие интенсивности инверсий наблюдались в утренние часы перед восходом Солнца.

На Аэрологической станции "Саратов" за период 2010-2015 года по полученным данным радиозондирования атмосферы было проанализировано 3670 выпусков радиозондирования атмосферы.

По данным полученных в результате радиозондирования атмосферы был произведен анализ приземных и приподнятых инверсий.

Результаты исследования, полученные по данным радиозондирования атмосферы на аэрологической станции Саратов, дают возможность с учетом синоптической ситуации и метеорологических условий дать прогноз о возможности загрязнения воздушной среды в городе Саратове с учетом условиями рельефа и градостроительной освоенностью.

Метод зондирования температуры с помощью квадрокоптеров имеет большие перспективы и пригоден для получения информации в приземном слое. В целом, спутниковые данные спектрорадиометра MODIS могут быть использованы и для других урбанизированных территорий Саратовской области, где метеорологическая сеть наблюдений имеет малую плотность.