

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

Кафедра метеорологии и климатологии

---

**Эффект поверхностного острова тепла в городах Саратовской  
области по данным спектрорадиометра MODIS**

---

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

студента 4 курса 411 группы

направления (специальности) 05.03.05 Прикладная гидрометеорология  
код и наименование направления (специальности)

географического факультета

наименование факультета, института, колледжа

Сердюкова Антона Олеговича

фамилия, имя, отчество

Научный руководитель

зав. кафедрой, к.г.н., доцент

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

М.Ю. Червяков

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

к.г.н., доцент

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

М.Ю. Червяков

инициалы, фамилия

Саратов 2024

## **Введение**

Более половины населения мира проживает в городских районах. С увеличением плотности инфраструктуры наблюдается локальное повышение температуры, которое требует смягчения последствий. Существует термин «остров тепла» (ОТ), который имеет отношение к любой территории, участку территории, объекту, характеризующемуся более высокой, в сравнении с температурой пригорода.

В работе рассмотрена возможность использования спутниковых данных о температуре земной поверхности MOD11A1, полученных с помощью спектрорадиометра MODIS для оценки термического режима урбанизированной территории городов Саратов, Балаково и Энгельс (Саратовской области) в периоды с 2020 по 2023 гг. с использованием наземных данных с метеорологических станций «Саратов ЮВ» и «Балаково» для проверки сходимости методов получения информации. Большой объем работы по изучению поверхностного острова тепла территории проводился с использованием данных спутникового спектрорадиометра MODIS, позволившего восстановить температурные ряды для различных территорий Саратовской агломерации.

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

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

- 1) Оценить влияние городской застройки на температурный режим.
- 2) Выявить эффекты городского острова тепла в городах Саратовской области.
- 3) Оценить пространственно-временное распределение температуры подстилающей поверхности в урбанизированных территориях по данным спутниковых наблюдений.

- 4) Изучить влияние теплового загрязнения в охладительном резервуаре Балаковской АЭС.

## **Основное содержание работы**

### **1 Характеристика температурного режима в Саратовской области**

Средние температуры в городе зимой, весной и осенью заметно выше, чем в его окрестностях города. В среднем это отличие составляет  $1^{\circ}\text{C}$ . В дневное время зимой эта разность возрастает до  $1,5^{\circ}\text{C}$ . Летом же температурные различия между городом и окрестностями сглаживаются.

Для центра характерна более высокая температура. В среднем зимой ночью они на  $1^{\circ}\text{C}$ , а днем на  $0,5^{\circ}\text{C}$  теплее окраины города. Летом различия очень малы между окраинами и центром.

Распределение разностей температуры по территории города в большой мере зависит от местных условий, причем наибольшую роль должны играть высота места и близость данного участка к Волге.

Летом ночью возвышенные загородные местности намного прохладнее, в отличие от старого центра и приволжской зоны. Это объясняется тем, что при антициклонической погоде образуются стоковые ветры по склонам Приволжской возвышенности, несколько ослабляющие «остров тепла», образующийся в городе.

### **1 Городской остров тепла**

Городской остров тепла традиционно обнаруживается по положительной разности температур между городскими и ближайшими сельскими метеорологическими станциями. Однако города, как правило, занимают значительные площади с различными ландшафтами, а на территориях с неоднородной подстилающей поверхностью или сложным рельефом всегда встречаются участки с более высокой или низкой

температурой, контраст между которыми может быть даже сильнее, чем при переходе из одной климатической зоны в другую.

Различают остров тепла, связанный с температурой воздуха, и остров тепла, связанный с температурой земной поверхности (поверхностный остров тепла) и с недостатком растительности на городских территориях.

Формирование острова тепла приводит к снижению комфортности городской среды для людей. Слишком высокие температуры летом и повышенная влажность зимой неблагоприятно влияют на здоровье горожан. Это обстоятельство способствует развитию исследований городского острова тепла и поиску путей снижения эффекта повышения температуры воздуха и поверхности в черте города.

## **2.1 Методы изучения городского острова тепла**

Для анализа температурного режима урбанизированных территорий используются различные данные как контактного (прямого), так и дистанционного зондирования Земли. Прямой способ включает непосредственную регистрацию температуры подстилающей поверхности и атмосферного воздуха на наземных метеорологических станциях с помощью жидкостных термометров и/или датчиков автоматических измерительных метеорологических комплексов.

Дистанционный способ измерения температуры земной поверхности основан на принципе регистрации его теплового излучения с помощью радиометров, установленных на искусственных спутниках Земли (ИСЗ).

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.

Анализ термического режима проводился также для территорий городов Балаково и Энгельса, их пригородов в период с января по декабрь 2023 г.

Для получения доступа к спутниковым данным MODIS был использован ресурс Application for Extracting and Exploring Analysis Ready Samples (AppEEARS) [11].

Интернет-портал AppEEARS позволяет пользователям анализировать архивную и оперативную спутниковую информацию для выбранного региона за различные временные интервалы.

## **2.2 Городской остров тепла Саратовской агломерации по данным спутникового спектрорадиометра MODIS**

Расчет значений температуры поверхности производился по данным MOD11A1 для территории, ограниченной прямоугольным полигоном (примерно 3 на 3,5 км) непосредственно в районе метеостанции. Таким образом, с 1 июля 2020 г. по 30 мая 2021 г. имеется параллельный ряд наблюдений приповерхностной температуры воздуха с метеостанции «Саратов ЮВ» и данных по температуре поверхности земли в виде спутникового продукта MOD11A1, что позволило провести сопоставление данных для этого промежутка времени и выявить хорошую взаимосвязь данных как для дневных, так и для ночных сроков.

В работе оценивалась взаимосвязь данных MODIS с наземными измерениями температуры на метеостанции. Для этих целей была выбрана площадка в районе метеостанции «Саратов ЮВ».

В качестве примера, на рисунках 1 и 2 представлена корреляционная диаграмма для дневного и ночного сроков за рассматриваемый период.

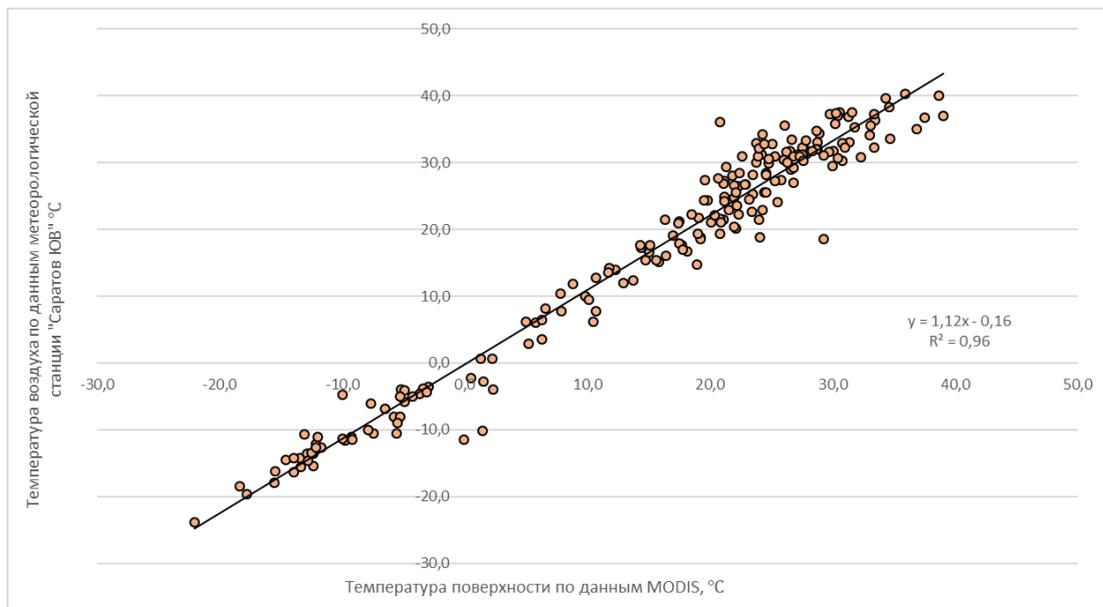


Рисунок 1 - Сравнение данных MODIS и наземных измерений на метеостанции «Саратов ЮВ» в дневное время за период с 01.06.2020 г. по 29.05.2021 г. (составлено автором)

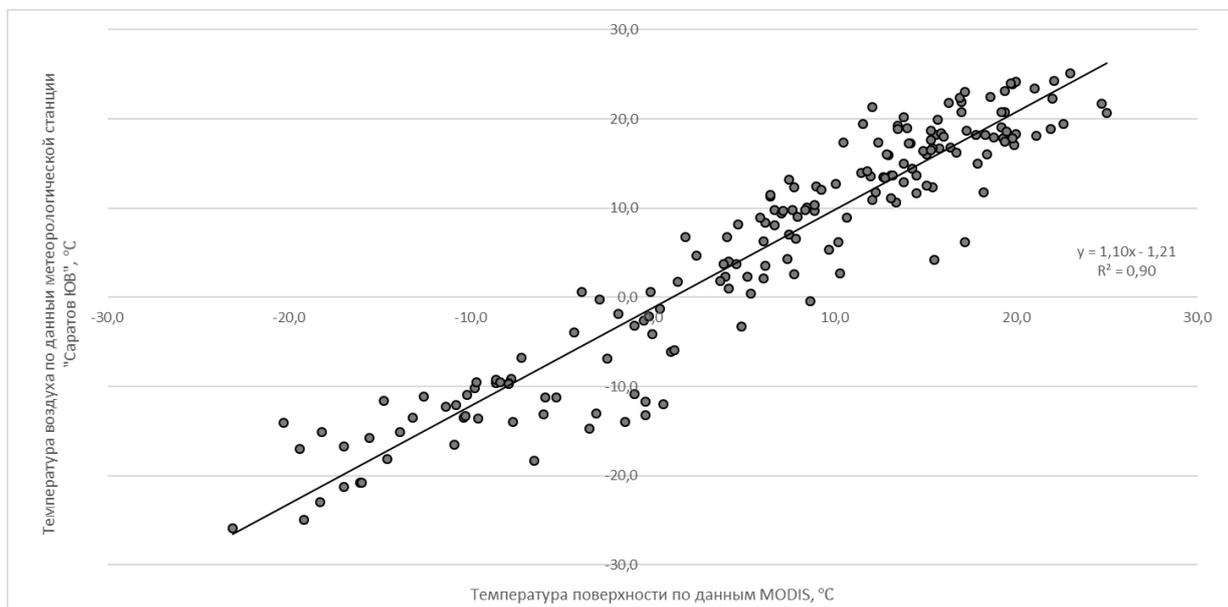


Рисунок 2 - Сравнение данных MODIS и наземных измерений на метеостанции «Саратов ЮВ» в ночное время за период с 05.06.2020 г. по 30.05.2021 г. (составлено автором)

Видно, что согласованность данных очень хорошая, что также подтверждается высоким значением коэффициента корреляции (0,95 в дневное время, 0,88 в ночное время).

Далее, в качестве одного из примеров, был проведен анализ термического режима урбанизированной территории города Балаково. В случае с Балаково были выбрано два полигона : первый непосредственно в городской черте, в то время как второй находится на большем удалении. Визуализации выбранных полигонов представлены на рисунке 3.



Рисунок 3 – Схема выбранных полигонов для Балаково (составлено автором)

Ярко-зеленый цвет –город, темный зеленый цвет – пригород.

На протяжении года в дневное время наблюдается отрицательная разница температур из-за непосредственной близости к Волге, в то время как ночью город всегда теплее пригорода.

В качестве примера приведена временная изменчивость разности температур между городом и пригородом г. Балаково в 2023 году по данным MOD11A1 в дневное (рисунок 4) и ночное время (рисунок 5).

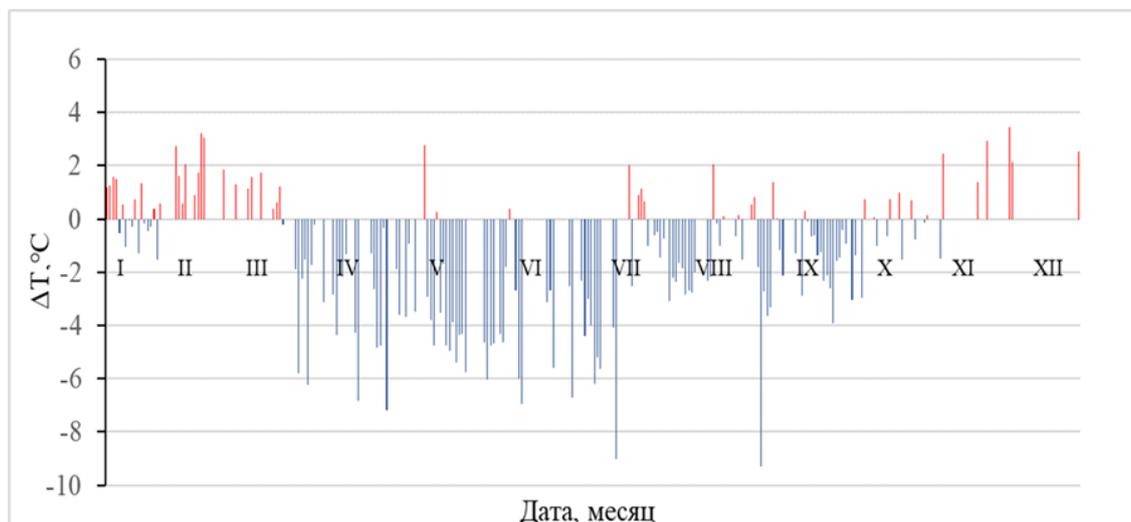


Рисунок 4 – Временная изменчивость разности температур между городом и ближним пригородом Балаково за 2023 год по данным MOD11A1 в дневное время (составлено автором)

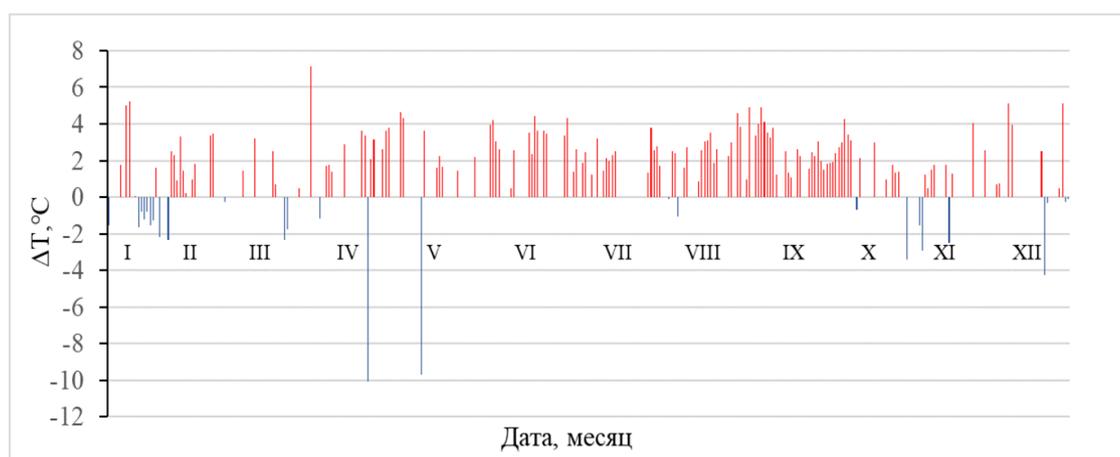


Рисунок 5 – Временная изменчивость разности температур между городом и пригородом Балаково за 2023 год по данным MOD11A1 в ночное время.

Из графиков дневного времени видно, что пригород холоднее города, в теплое время года (в середине весны, летом и осенью) наблюдается отрицательная разница – город оказался холоднее в среднем на 3 градуса.

В ночное время в ближнем пригород практически всегда холоднее города.

### **2.3 Оценка теплового загрязнения в охладительном резервуаре Балаковской АЭС**

Помимо урбанизированных территорий была поставлена дополнительная цель, касающаяся близлежащего объекта – Балаковской АЭС. Требовалось оценить её перегрев по отношению к соседним водам, находящимся в акватории Саратовского водохранилища.

Было выбрано два полигона: первый – охладительный реактор, второй – близлежащая акватория Саратовского водохранилища. Иллюстрация выбранных площадок представлена на рисунке 6.



Рисунок 6 – Схема выбранных полигонов для анализа теплового режима окрестностей Балаковской АЭС (составлено автором)  
Красный цвет – охладительным резервуаром Балаковской АЭС, синий цвет – акваторией Саратовского водохранилища.

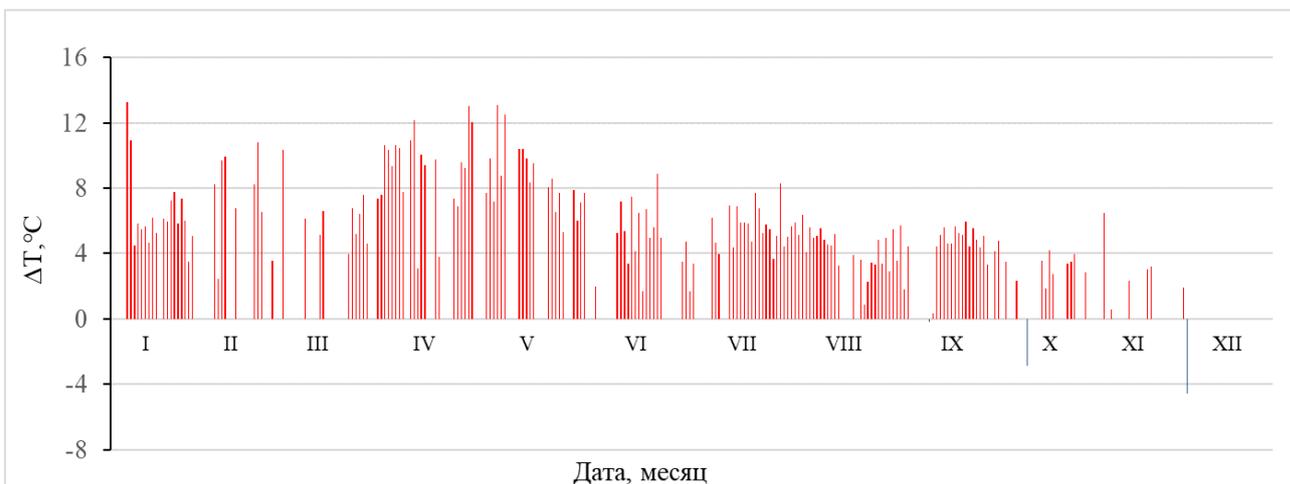


Рисунок 7 – Временная изменчивость разности температур между охладительным резервуаром Балаковской АЭС и акваторией Саратовского водохранилища за 2023 год по данным MOD11A1 в дневное время.

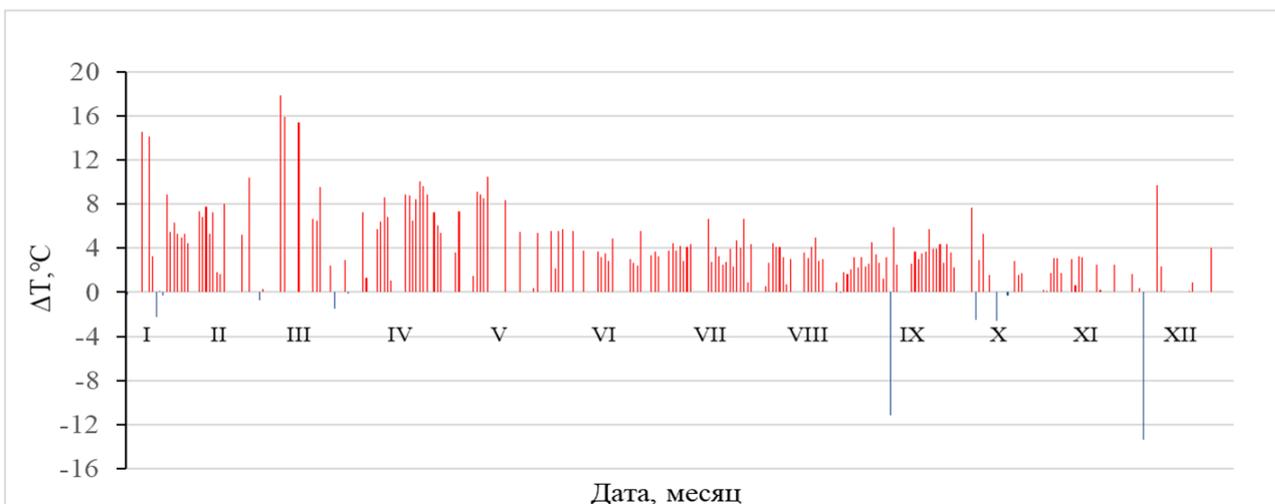


Рисунок 8 – Временная изменчивость разности температур между охладительным резервуаром Балаковской АЭС и акваторией Саратовского водохранилища за 2023 год по данным MOD11A1 в дневное время.

За весь период дневных наблюдений составляет среднее значение разницы между охладительным резервуаром Балаковской АЭС и акваторией

Саратовского водохранилища за 2023 год по данным MOD11A1 составляет 3,7°C, для зимы – 3,5°C, для весны – 5,5°C, для лета – 3,9°C, а для осени – 2,2°C.

За весь период ночных наблюдений составляет среднее значение разницы между охладительным резервуаром Балаковской АЭС и акваторией Саратовского водохранилища за 2023 год по данным MOD11A1 составляет 2,3°C, для зимы – 2,7°C, для весны – 3,2°C, для лета – 2,5°C, а для осени – 1,1°C.

Полученные данные температуры водной поверхности в дневные и ночные часы в пригороде Балаково можно объяснить тем, что в пруде-охладителе температура водной поверхности будет выше из-за того, что данный искусственный водоем охлаждает нагретую циркуляционную воду в системе оборотного водоснабжения Балаковской АЭС.

## **Заключение**

В ходе выполнения бакалаврской работы была рассмотрена возможность использования спутниковых данных о температуре земной поверхности MOD11A1, полученных с помощью спектрорадиометра MODIS для оценки термического режима урбанизированной территории г. Саратов, г. Балаково и г. Энгельс Саратовской области в период с 2020 по 2023 гг.

Сравнения производились для дневных и ночных условий при условии одновременного наличия спутниковой и наземной информации. Рассмотрены особенности термического режима летнего и зимнего периода для дневных и ночных условий.

Результаты исследования показали, что по фактическим значениям спутниковых измерений температуры водной поверхности охладительного резервуара Балаковской АЭС выявлено наличие превышения её температуры по отношению к близлежащим акваториям Саратовского водохранилища.

В заключении можно отметить, что спутниковые данные спектрорадиометра MODIS могут быть использованы для оценки температурного режима воздуха и подстилающей поверхности, где метеорологическая сеть наблюдений имеет малую плотность, а также

распределение разностей температуры по территории города в большой мере зависит от местных условий каждого пункта наблюдений, причем наибольшую роль играет высота места и близость данного участка к Волге. По фактическим значениям спутниковых измерений температуры водной поверхности выявлено наличие превышения её температуры по отношению к близлежащим акваториям Саратовского водохранилища.