

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

Кафедра метеорологии и климатологии

**Пространственно-временная изменчивость потоков солнечной
радиации в Саратовской области**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 411 группы

направления 05.03.05 Прикладная гидрометеорология

географического факультета

Кучкина Михаила Александровича

Научный руководитель,

зав. кафедрой, к.г.н.,
доцент

М.Ю. Червяков

Зав. кафедрой
к.г.н., доцент

М.Ю. Червяков

Саратов 2022

Введение. Солнечная радиация служит основным источником тепла для Земли. Спутниковый мониторинг компонентов радиационного баланса Земли (РБЗ) является наиболее важной задачей для изучения и моделирования земной климатической системы (ЗКС). Современные методы космического мониторинга позволяют осуществлять контроль за всеми составляющими РБЗ. Основными факторами изменения потоков солнечной радиации являются облачность и атмосферный аэрозоль. Важно учитывать данные факторы при измерении РБЗ, для этого также производится спутниковый мониторинг облачности и атмосферного аэрозоля.

Актуальными вопросами изменчивости потоков солнечной радиации являются исследование параметров радиационного баланса Земли, исследование облачных систем, слежение за содержанием атмосферного аэрозоля. Все перечисленные параметры влияют на изменение климата на временных масштабах от отдельных сезонов до межгодовых.

Цель данной работы:

Изучить спутниковые методы получения информации о солнечной радиации, облачности и аэрозоле, а также оценить их пространственно-временную изменчивость по спутниковым данным.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

Проанализировать основные базы спутниковых данных параметров солнечной радиации, облачности и аэрозоля.

Оценить изменчивость параметров солнечной радиации, облачности и аэрозоля в Саратове, Балашове и Ершове.

Оценить взаимосвязь между составляющими радиационного баланса Земли и облачностью, а также взаимосвязь радиационного баланса Земли и аэрозоля на примере Саратовской области.

Основное содержание работы. Все тела, обладающие температурой выше абсолютного нуля, испускают радиацию. В метеорологии приходится иметь дело преимущественно с тепловой радиацией, определяемой температурой излучающего тела и его излучательной способностью. Наша планета получает такую радиацию от Солнца. Поверхность Земли и атмосфера одновременно излучают тепловую радиацию. Тепловое излучение имеет длины волн от сотен микрометров до тысяч долей микрометра. ($1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$).

Радиацию с длинами волн от 0,01 до 0,39 мкм называют ультрафиолетовой. Ультрафиолетовую радиацию невозможно воспринимать человеческим глазом. Радиация с длинами волн от 0,40 до 0,76 мкм – видимый свет, такая радиация воспринимается человеческим глазом. Радиационный поток с длиной волны 0,40 мкм имеет фиолетовый цвет, с длиной волны около 0,76 мкм – красный. На промежуток между 0,40 и 0,76 мкм длины волн приходится свет всех цветов видимого спектра. Радиацию с длинами волн больше 0,76 мкм и до нескольких сотен микрометров называют инфракрасной, она тоже невосприимчива для глаза.

Радиацию делят на коротковолновую и длинноволновую. Коротковолновой называют радиацию в диапазоне длин волн от 0,1 до 4 мкм. Она включает кроме видимого света еще ближайшую к нему по длинам волн ультрафиолетовую и инфракрасную радиацию. Солнечная радиация на 99% является коротковолновой. К длинноволновой относят радиацию, излучаемую земной поверхностью и атмосферой с длинами волн от 4 до 100 мкм.

Основы получения метеорологической информации из космоса. Дистанционное зондирование окружающей среды - это комплекс измерений параметров физического состояния подстилающей поверхности и атмосферы с помощью приборов, расположенных на определенном расстоянии от исследуемых объектов. Дистанционные исследования проводятся с различных измерительных платформ: метеорологических спутников Земли (МСЗ), самолетов, воздушных шаров, кораблей, поверхности Земли.

В отличие от контактных измерений, когда измерительное устройство находится в непосредственном соприкосновении с исследуемым объектом среды, приборы дистанционного зондирования получают информацию о среде путем измерения эффектов взаимодействия с ней различных излучений.

Источником метеорологической информации при наблюдении Земли из космоса являются пространственные, временные и угловые вариации интенсивности электромагнитных волн, отраженных или излученных системой «подстилающая поверхность–атмосфера» (СППА). Измерение характеристик поля электромагнитного излучения на различных длинах волн является основой для оценки параметров физического состояния атмосферы, океана, материковых покровов.

Широкое развитие спутниковых измерений объясняется не только их способностью обеспечивать получение новой информации (в частности, метеорологической), но и дополнять и расширять возможности традиционных методов наблюдения.

Спутниковые измерения обеспечивают:

- осуществление глобальных наблюдений, в том числе и над труднодоступными регионами Земли;
- сбор, частичную обработку на борту и передачу глобальных данных в метеорологические центры быстрее и дешевле по сравнению с наземными системами связи;
- практически мгновенное исследование атмосферы и подстилающей поверхности.

Российские космические программы по изучению составляющих радиационного баланса Земли. В конце 70-х годов в Саратовском государственном университете было создано несколько модификаций радиометра ИКОР. Состоялись подъёмы аппаратуры и опубликование результатов. Подробности и итоги анализа этих измерений опубликованы в статьях. В последующие годы в Саратовском университете продолжались

работы по совершенствованию аппаратуры для измерения потоков солнечной радиации.

В 2003 г. научному коллективу под руководством Ю.А. Склярова (главный конструктор) было предложено создать полностью автономный радиометр - ИКОР-М. Весь радиометр должен был размещаться в едином наружном блоке. Наличие новейшей электронной техники и соответствующих технологий позволили решить эту задачу. Запуск ИСЗ «Метеор-М» №1 состоялся 16 сентября 2009 года, на борту которого размещался радиометр ИКОР-М. Полноценная информация стала поступать с ноября 2009 года. Отсчеты измеряемых потоков уходящей коротковолновой радиации производятся каждую секунду.

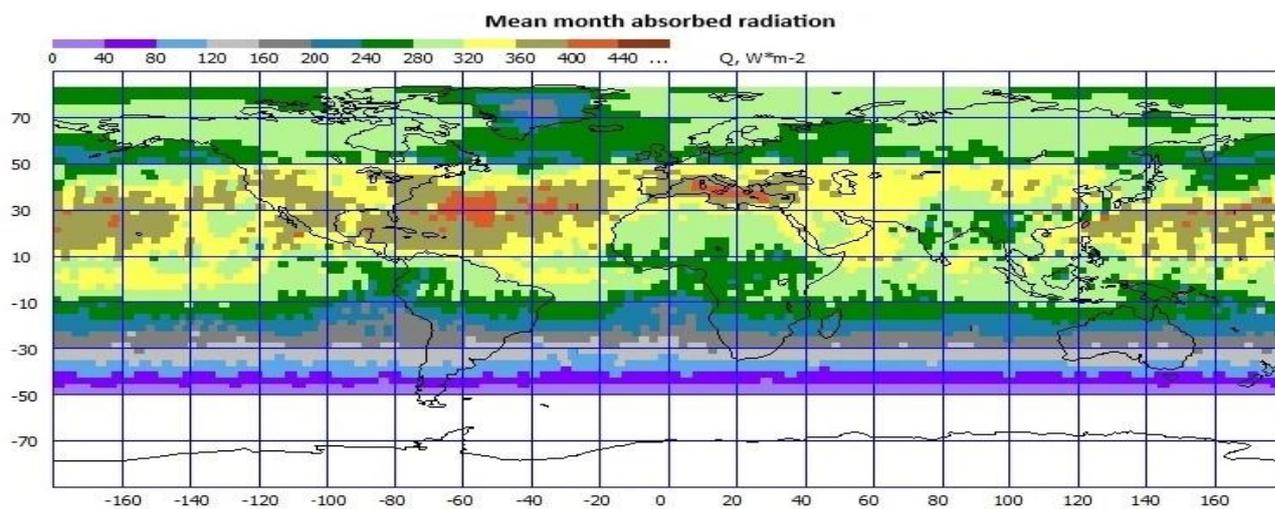


Рисунок 1 - Карта поглощенной радиации по данным спутника ИКОР-М [8]

На рисунке 1 в качестве примера изображена карта поглощенной радиации по данным спутника ИКОР-М за июль 2019 года. На ней видны области максимальных и минимальных величин поглощения солнечной радиации.

Международные эксперименты по изучению составляющих радиационного баланса Земли. В данной работе использовались данные с научно-исследовательского спутника Terra. Орбита Terra вокруг Земли рассчитана таким образом, что утром она проходит с севера на юг через

экватор. Благодаря широкой полосе обзора шириной 2330 км MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) видит каждую точку нашего мира каждые 1-2 дня в 36 спектральных каналах с 12-битным радиометрическим разрешением в видимом, ближнем, среднем и тепловом инфракрасном диапазонах. Следовательно, MODIS отслеживает более широкий спектр показателей жизнедеятельности Земли, чем любой другой датчик спутника Terra. Датчик измеряет процент поверхности планеты, покрытой облаками. Такой широкий пространственный охват позволяет MODIS вместе с CERES помочь ученым определить влияние облаков на радиационный баланс Земли. Расчетный срок пребывания на орбите составляет около 6 лет.

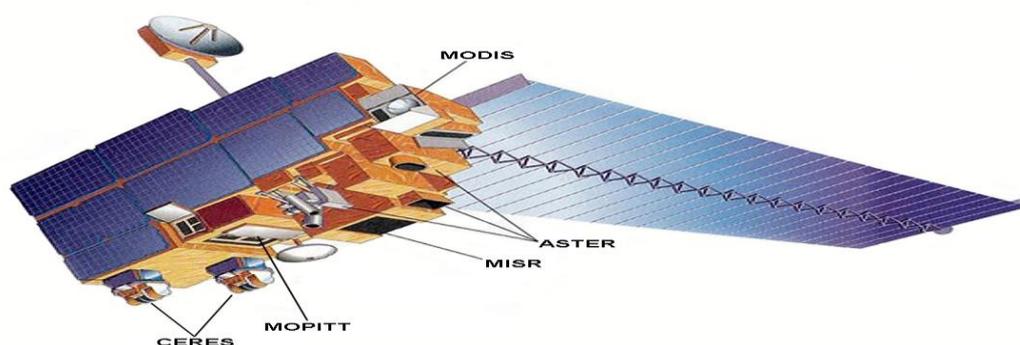


Рисунок 2 - спутник Terra с датчиками MODIS, CERES и др.

Облачно-радиационные связи на примере Саратовской области. Для привязки значений проекта CERES к данным системы MODIS были построены корреляционные диаграммы для Саратова, а также для Балашова и Ершова. Выведены уравнения взаимосвязи данных рядов по длинноволновой радиации, коротковолновой радиации, радиационного баланса (CERES) и облачности (MODIS).

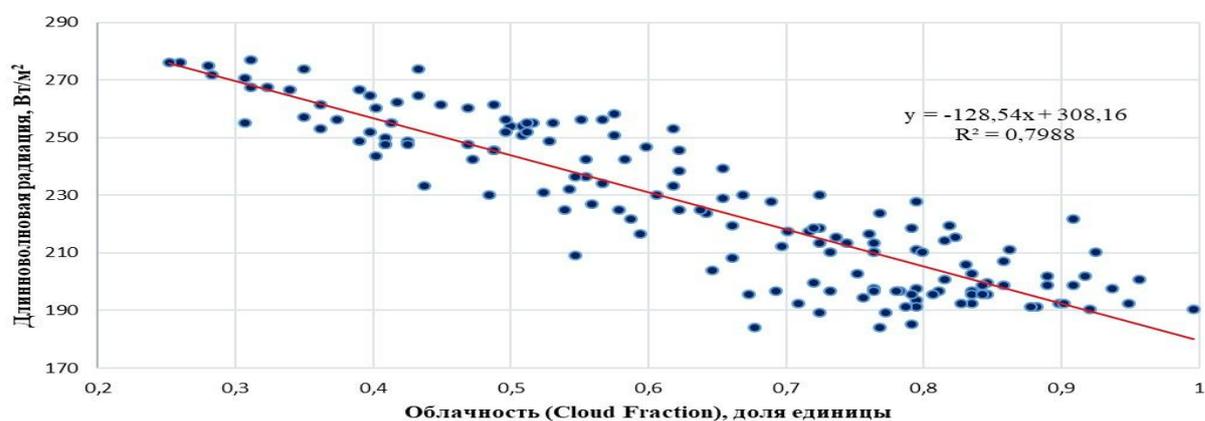


Рисунок 3 - Корреляционная диаграмма связи длинноволновой радиации и облачности с 2007 по 2019 гг в Саратове (составлено автором)

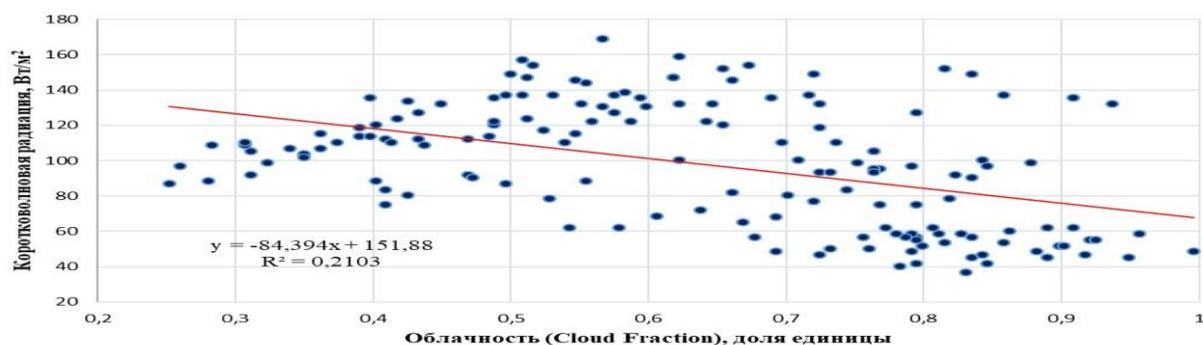


Рисунок 4 - Корреляционная диаграмма связи коротковолновой радиации и облачности с 2007 по 2019 гг в Саратове (составлено автором)

Временной ход составляющих радиационного баланса Земли и облачности. Облачность является одним из наиболее важных факторов изменчивости радиационного режима Земной климатической системы, облака оказывают существенное воздействие на формирование климата.

Временной ход позволяет увидеть, как менялись параметры солнечной радиации в связи с облачностью в период с 2007 по 2019 гг в Саратове.

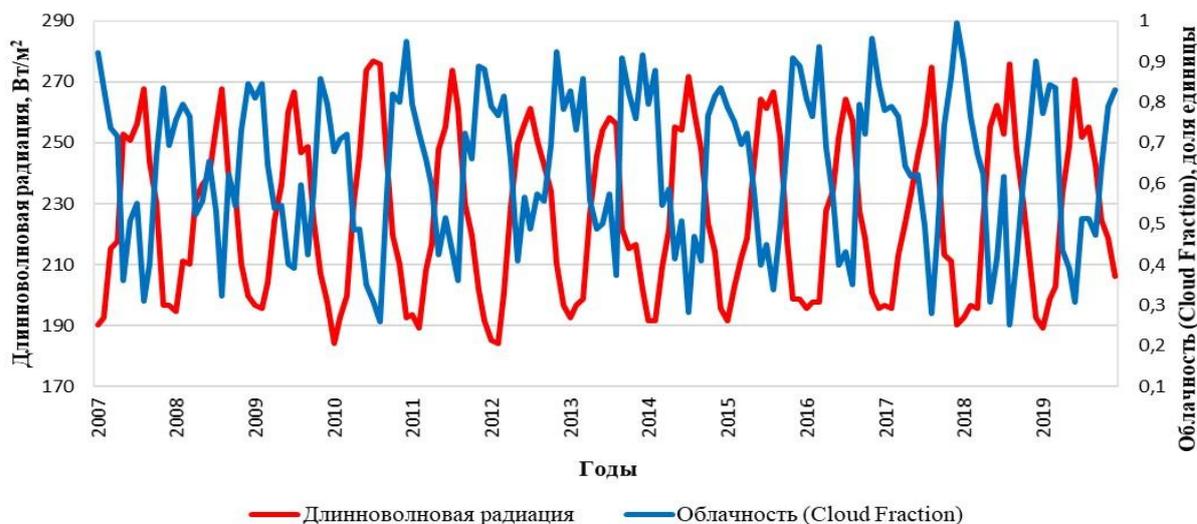


Рисунок 5 - Изменчивость длинноволновой радиации (по данным проекта CERES) и облачности (по данным системы MODIS) с 2007 по 2019 гг в Саратове (составлено автором)

Из рисунка 5 видно, что максимальное значение длинноволновой радиации отмечается в 2010 году в летний период и составило $275,9 \text{ Вт/м}^2$, минимальное значение отмечается в 2010 и 2012 годах в зимний период и составило $184,1 \text{ Вт/м}^2$. Максимальное значение облачности отмечается в 2017 году в декабре – 0,99, минимальное значение отмечается в 2010 и 2018 годах в летний период – 0,25.

Влияние атмосферного аэрозоля на потоки солнечной радиации. Ключевую роль в изменчивости радиационного баланса Земли, за исключением облачности, играют аэрозоли. Аэрозоли, особенно минеральная пыль, оказывают влияние на погоду, а также на глобальный и региональный климат. Частицы пыли действуют как ядра конденсации для формирования теплых облаков, служат посредником ледяных ядер для образования холодных облаков. Способность частиц пыли действовать в качестве таковых зависит от их размера, формы и состава, которые, в свою очередь, зависят от природы почв происхождения, выбросов и процессов переноса. Модификация

микрофизического состава облаков изменяет их способность поглощать солнечную радиацию, что косвенно влияет на энергию, достигающую поверхности Земли. Частицы пыли также влияют на рост облачных капель и кристаллов льда, влияя таким образом на количество и местоположение осадков.

Анализ выноса аэрозоля на территорию Саратовской области. На территорию Саратовской области часто происходит вынос аэрозоля посредством атмосферной циркуляции, только за 2021 год зафиксировано 27 случаев с выносом аэрозоля на Саратовскую область. При исследовании данного явления важно знать, какой синоптический процесс повлиял на вынос аэрозоля и произвести сбор данных, для выявления максимальных и минимальных значений содержания аэрозоля в атмосфере. Для этого был использован информационный портал «Earth.nullschool.net», при помощи которого создаётся визуализация текущих и прошлых погодных условий на Земле. Проект использует систему наблюдения за Землей Годдарда (GEOS), представляет собой интегрированную модель системы Земли и системы обработки данных.

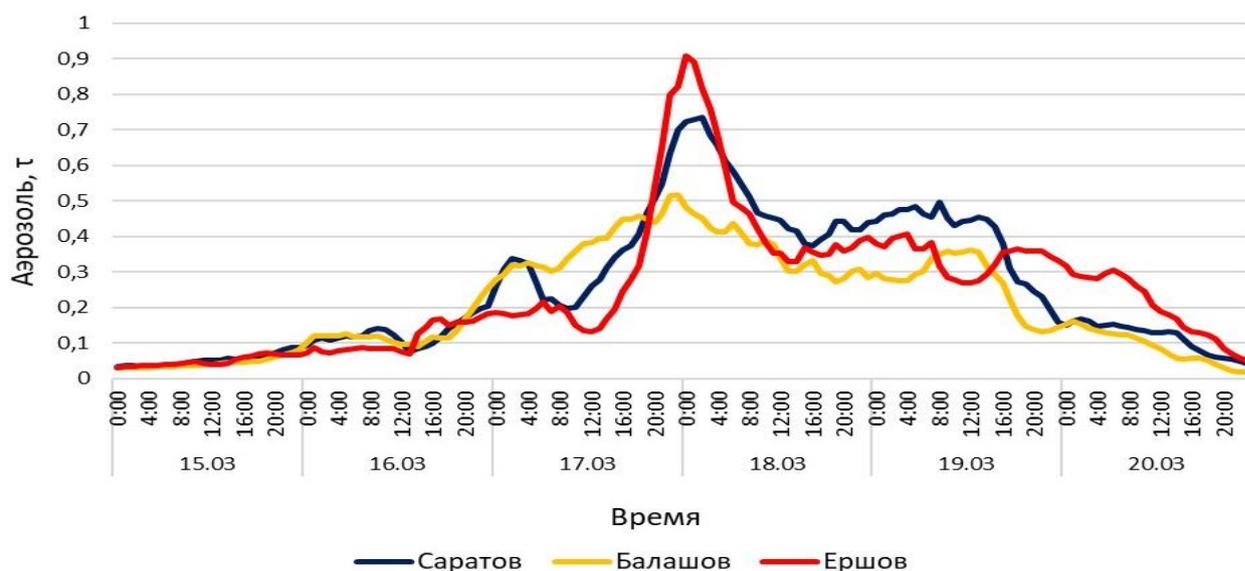


Рисунок 6 - Динамика изменения содержания аэрозоля в атмосфере в Саратове, Балашове и Ершове за период с 15.03.2021 по 20.03.2021 (составлено автором)

На рисунке 6 отслеживаются максимальные и минимальные значения аэрозоля в атмосфере за период с 15 марта по 20 марта. В Саратове максимальное значение наблюдалось 18 марта в 02:00 и равно 0,7342 т, в Балашове максимальное значение 0,5164 т, зафиксировано 17 марта в 23:00, в Ершове максимальное значение отмечается 18 марта в 00:00 и составляет 0,9089 т. Минимальные значения в Саратове наблюдалось 15 марта в 04:00 и равно 0,0334 т, в Балашове наблюдалось 20 марта в 23:00, составляет 0,0181 т, в Ершове 15 марта в 00:00 и равно 0,0316 т.

Заметно, что наибольшие значения аэрозоля наблюдались с 17 марта по 18 марта. Вынос аэрозоля осуществился под влиянием зимнего Азиатского антициклона.

Взаимосвязь атмосферного аэрозоля и солнечной радиации. В данной работе исследована взаимосвязь атмосферного аэрозоля и потоков коротковолновой радиации. Важностью данного исследования является определение коэффициента корреляции в результате сопоставления коротковолновой радиации (в условиях с облачной и безоблачной погоды) по данным проекта «CERES» и аэрозоля по данным проекта «Earth.nullschool.net».

Построены корреляционные диаграммы, выведены уравнения корреляции и получены коэффициенты корреляции.

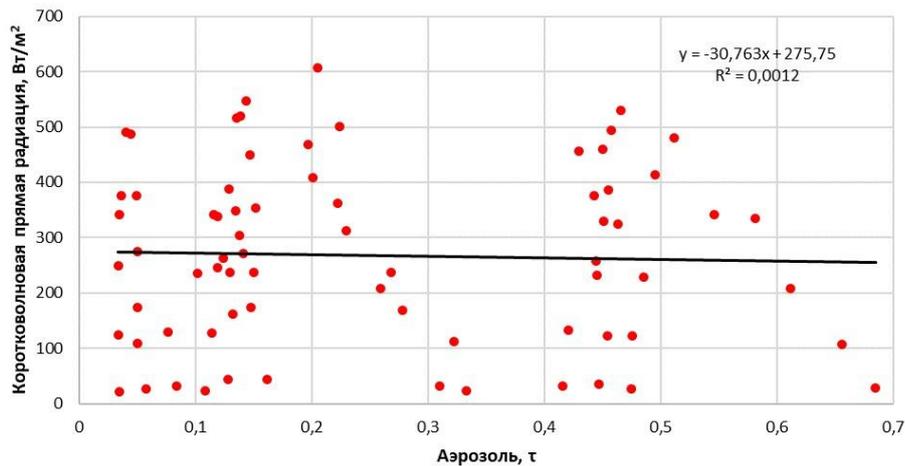


Рисунок 7 - Корреляционная диаграмма связи коротковолновой прямой радиации и аэрозоля в условиях с облачной погодой за период с 15 марта 2021 по 20 марта 2021 года в городе Саратов (составлено автором)

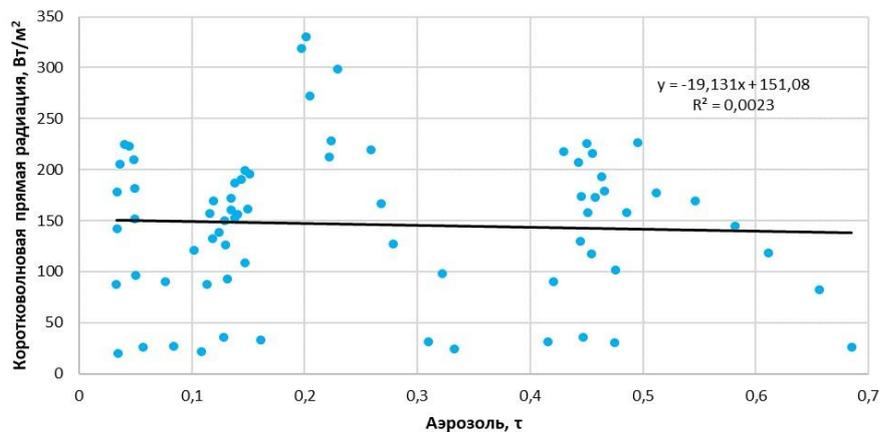


Рисунок 8 - Корреляционная диаграмма связи коротковолновой прямой радиации и аэрозоля в условиях с безоблачной погодой за период с 15 марта 2021 по 20 марта 2021 года в городе Саратов (составлено автором)

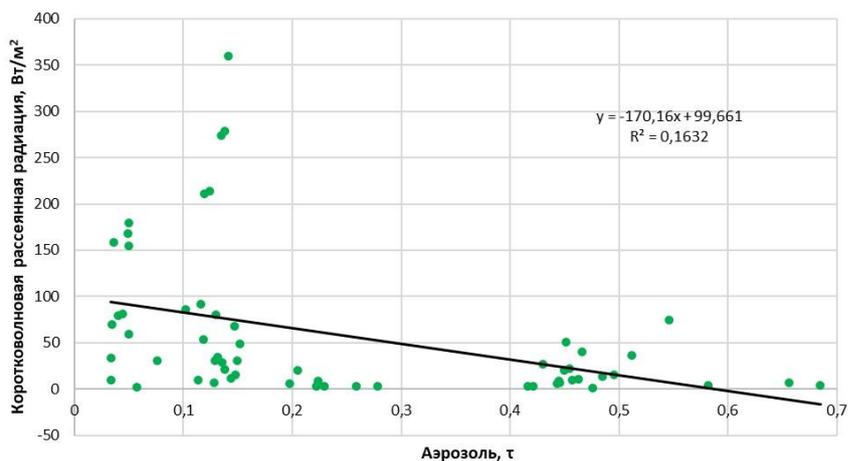


Рисунок 9 - Корреляционная диаграмма связи коротковолновой рассеянной радиации и аэрозоля в условиях с облачной погодой за период с 15 марта 2021 по 20 марта 2021 года в городе Саратов (составлено автором)

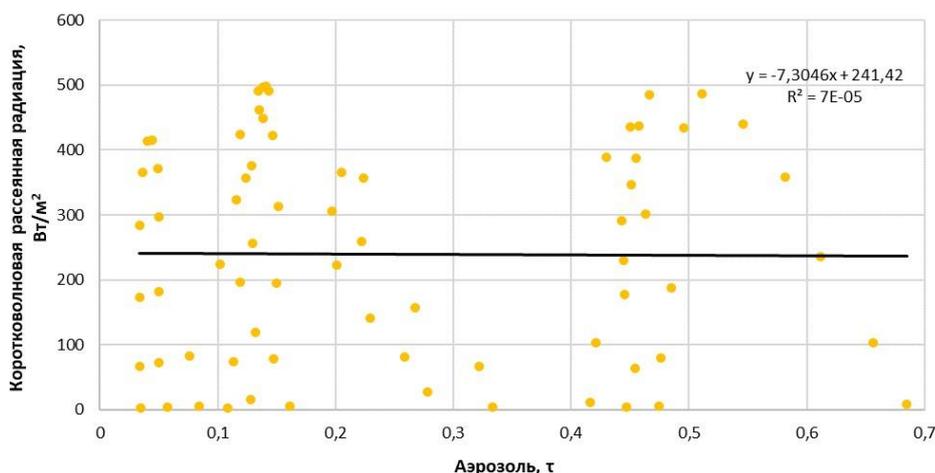


Рисунок 10 - Корреляционная диаграмма связи коротковолновой рассеянной радиации и аэрозоля в условиях с безоблачной погодой за период с 15 марта 2021 по 20 марта 2021 года в городе Саратов (составлено автором)

Корреляция между коротковолновой рассеянной радиацией и аэрозолем в условиях с облачной и безоблачной погодой за другие период также показывает незначительные величины. Несмотря на гипотезу выявления связи подков радиации и концентрации аэрозоля в атмосфере, она выявлена не была. Причиной отсутствия связи, возможно, сыграли особенности спутниковых наблюдений, не позволяющих на прямую найти предполагаемую связь.

Синоптический анализ выноса аэрозоля на Саратов в марте 2021 года. В период с 15 марта по 20 марта был значительный вынос аэрозоля, на снегу были обнаружены пылевые частицы, вынос которых произошёл с территории пустынь Средней Азии. Цель анализа заключается в выявлении атмосферного явления, которое поспособствовало выносу аэрозоля.

В данном анализе рассматривалась высотная циркуляция (в соответствии с рисунком 34) по данным информационного портала «Earth.nullschool.net». Красные точки в центрах каждого высотного снимка указывают на Саратов.

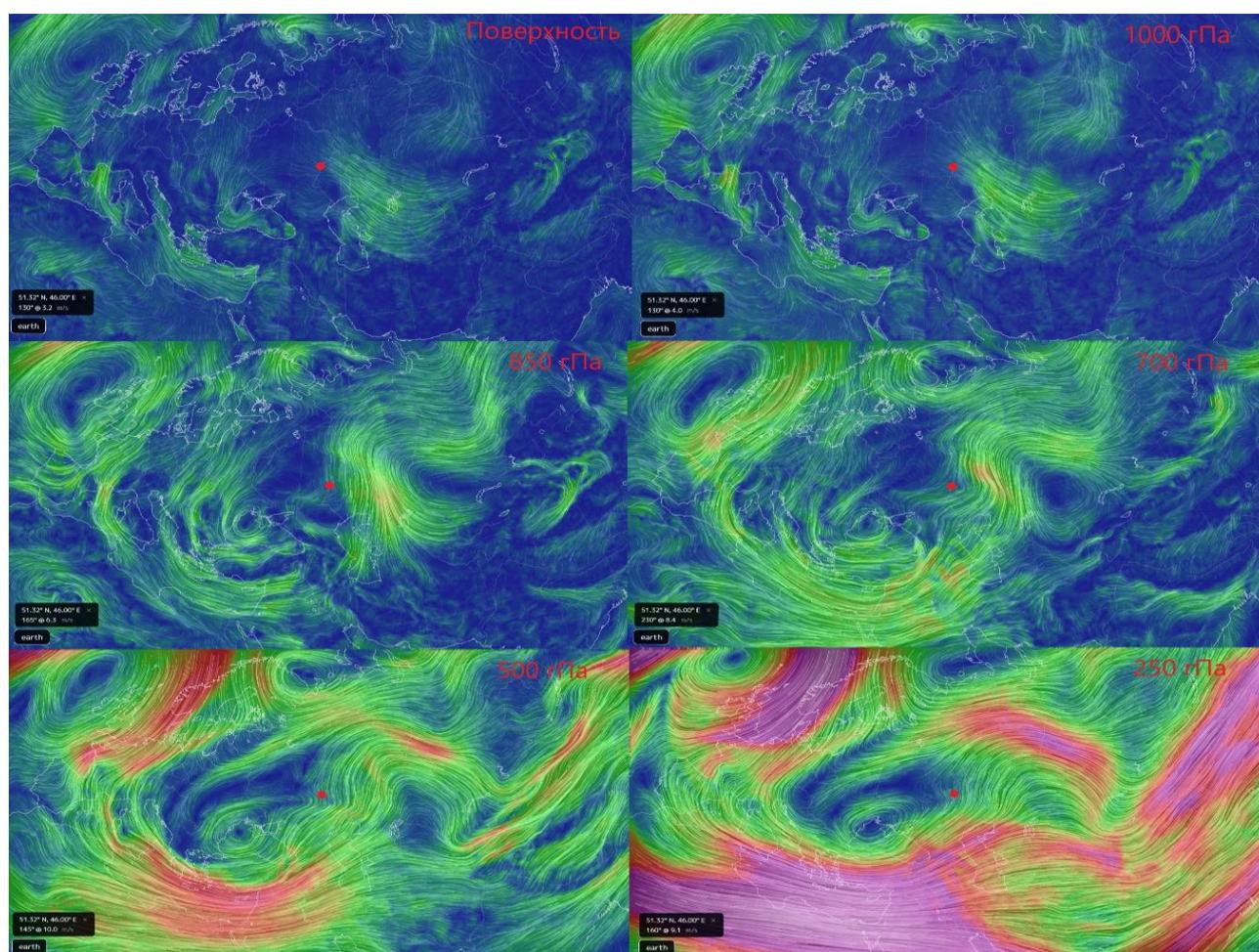


Рисунок 11 - Серия высотных снимков с атмосферной циркуляцией за 18 марта 2021 года по данным «Earth.nullschool.net» (составлено автором)

Проанализировав рисунок 30, можно отчетливо увидеть направление и скорость ветра на поверхности Земли, на изобарических высотах 1000 гПа, 850

гПа, 700 гПа, 500 гПа, 250 гПа. Информационный портал «Earth.nullschool.net» работает в режиме реального времени, все потоки циркуляции атмосферы имеют вид анимации, поэтому в текстовом формате продемонстрировать её невозможно. На момент 00:00 18 марта 2021 года циркуляция над Саратовом имела антициклональный вид, центр антициклона находился в центральной части Казахстана.

Заключение. В работе были рассмотрены различные методы измерения солнечной радиации. Наиболее оптимальным для изучения пространственно-временного распределения составляющих радиационного баланса Земли (РБЗ) являются спутниковые методы, а именно проект CERES и система MODIS.

Анализ данных наблюдений изменчивости РБЗ предоставляет возможность сделать вывод, что спутниковые методы позволяют наиболее оперативно отслеживать изменение РБЗ для многих территорий, в частности Саратовской области, что не позволяют актинометрические наблюдения, рассредоточенные дискретно в пространстве.

Построены и проанализированы графики пространственно-временной изменчивости составляющих РБЗ в Саратовской области по данным проекта CERES.

Построен временной ход параметров солнечной радиации и облачности в период с 2007 по 2019 гг.

Произведена оценка корреляционной связи параметров солнечной радиации с параметрами облачности и атмосферного аэрозоля.

Все исследования по составляющим РБЗ важны с точки зрения дальнейшего изменения климата и могут быть использованы для мониторинга климатических изменений как для всего земного шара, так и для отдельных регионов. Данные могут быть использованы для уточнения теплового режима области и для усвоения при строительстве различных конструкций, которые требуют знания о приходе солнечной энергии, к примеру, для гелиоэнергетических установок, которые могут быть использованы в Саратовской области.