

Методы и средства реализации моделей алгоритмов анализа актинометрических показателей

Дмитрий Карамов¹, Евгений Юмашев¹

¹ Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН, ул. Лермонтова, д. 134, 664033, Иркутск, Россия

Аннотация

В статье представлена реализация WPS-сервиса для моделирования актинометрических показателей для любых локаций. Сервис основывается на модифицированной математической модели Iqbal-Kasten/Czeplak, которая позволяет получать детализированные массивы данных по солнечной радиации.

При реализации WPS-сервиса использовались специализированные библиотеки numpy, scipy, ruwps, os, ruwps-flask, которые позволяют оптимизировать алгоритмы рассматриваемой модели.

Результаты, полученные в ходе данного исследования, позволили значительно уменьшить время расчета, формирования массивов данных и их визуализации. Кроме того, характер полученных функций солнечной радиации говорит об адекватности рассматриваемой модели и WPS-сервиса реализующего её.

Ключевые слова

Солнечная радиация, актинометрические показатели, WPS-сервис, Python, FM 12 Synop, METAR

1. Введение

Актинометрические показатели такие как прямая, рассеянная и суммарная солнечная радиации являются важными показателями для различных областей деятельности человека. Они могут использоваться в строительстве, энергетике, сельском хозяйстве и многих других сферах. Наличие достоверных актинометрических данных является важным фактором, влияющим на конечные результаты прикладных и научно-исследовательских работ [1]. В частности, при решении различных задач в области энергетики мощность солнечной электростанции имеет прямую зависимость от уровня инсоляции. Следовательно, в случае решения задачи выбора оптимальной мощности фотоэлектрической системы необходимо располагать подробным и точным массивом данных [2].

Цель данной статьи состоит в демонстрации подхода для моделирования солнечной радиации и реализующей её открытого WPS-сервиса.

2. Постановка задачи разработки онлайн WPS-сервиса для расчета солнечной радиации

Постановка задачи разработки онлайн сервиса для расчета суммарной солнечной радиации основывается на следующих положениях:

1. Открытый WPS-сервиса;

6th International Workshop on Information, Computation, and Control Systems for Distributed Environments (ICCS-DE 2024), July 01–05, 2024, Irkutsk, Russia

EMAIL dmitriy.karamov@mail.ru (A. 1); yumashevgeny@mail.ru (A. 2)

ORCID: 0000-0001-5360-4826 (A. 1); 0009-0003-8736-0155 (A. 2)



© 2024 Copyright for this paper by its authors. Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

ICCS-DE 2024 Workshop Proceedings

DOI: 10.47350/ICCS-DE.2024.28

2. Возможность задавать любую локацию в зависимости от географических координат местности;
3. Автоматически формировать исходную климатическую информацию необходимую для моделирования актинометрических показателей;
4. Использовать данные необходимые для описания динамики масс в средних и нижних слоях атмосферы;
5. Формировать данные актинометрических показателей для типичного, оптимистичного и пессимистичного метеорологического года.

Реализация основных положений данной постановки позволит получить сервис для формирования актинометрических данных для любой локации на основании ретроспективных природно-климатических данных формата FM 12 Synop и METAR. Также используются данные с открытых источников об спектральном составе области видимого света, наличия капель воды и водяного пара в атмосфере, а также озонового слоя.

Учитывая имеющуюся постановку, а также ряд факторов, описывающих требования к математической модели реализуемой в рамках сервиса было решено использовать модифицированную модель Iqbal-Kasten/Czeplak [3].

3. Краткое описание математической модели

За основу была взята модифицированная математическая модель Iqbal-Kasten/Czeplak которая хорошо себя зарекомендовала при решении различных задач в области использования фотоэлектрических систем. В частности, при решении задач развития и функционирования солнечных электростанций.

Укрупненно модель включает в себя три основных блока:

1. Блок подготовки исходных климатических массивов необходимых для моделирования актинометрических показателей.
2. Блок моделирования солнечной радиации для рассматриваемой локации относительно каждого часа расчетного периода по ретроспективным многолетним массивам природно-климатической информации. При этом учитываются действительный часовой пояс территории формата UTC.
3. Блок формирования результатов моделирования прямой, рассеянной и суммарной солнечной радиации с определением типичного, пессимистичного и оптимистичного метеорологического года.

Исходной информацией для математической модели солнечной радиации Iqbal-Kasten/Czeplak являются массивы данных формата FM 12 Synop и METAR [4].

FM 12 SYNOP – это код для оперативной передачи данных приземных гидрометеорологических наблюдений с сети станций гидрометслужбы, расположенных на суше (включая береговые станции). METAR – авиационный метеорологический код для передачи сводок о фактической погоде на аэродроме. Стоит отметить, что в кодах FM 12 SYNOP и METAR соблюдается строгий порядок следования информации. Многолетние метеорологические ряды являются детализированной информацией. При этом правильная обработка данных рядов позволит максимально точно описывать поведение природно-климатических показателей на рассматриваемой территории.

Международные коды FM 12 Synop и METAR имеют одинаковые показатели приборных измерений, а именно: скорость и направление ветра, температура воздуха, давление, влажность и отдельно качественная оценка общей облачности. Под функциональной зависимостью вида $f(t)$ подразумевается значение показателя f в момент времени t . Шаг изменения t в данной случае составляет один час.

Вектор приборных измерений $A_m^r(t)$ в момент времени t года τ расчетного периода, включающий качественную оценку общей облачности в процентах, имеет следующий вид:

$$A_m^r(t) = [v_{wind}(t), T_{air}(t), p_{air}(t), \phi_{\%}(t), c(t)]. \quad (1)$$

Стоит отметить, что код FM 12 Synop содержит более детальную информацию качественной оценки облачности, состава и высоты образования облаков, процент облаков

плохой погоды, облака нижнего яруса (слоисто-кучевые, слоистые, слоисто-дождевые, кучево-дождевые), облака среднего яруса (высококучевые, кучевые, высокослоистые), облака верхнего яруса (перистые, перисто-кучевые и перисто-слоистые облака). В международном коде METAR качественная оценка облачности послойно записана в вектор-столбце, что значительно усложняет их обработку за счет построчного сравнения эталонных (словесных) значений массива относительно каждого временного интервала τ -20 года расчетного периода.

Вектор качественной оценки облачности $B_m^r(t)$ в момент времени t года τ расчетного периода для кода FM 12 Synop

$$B^r(t) = [C_l(t), C_m(t), C_h(t), b_{\%}(t)]. \quad (2)$$

Матрица приборных измерений $A_m^r(t)$ и матрица качественной оценки облачности $B^r(t)$ объединяются в единую матрицу природно-климатических показателей, где каждая строка есть вектор, характеризующий фактические значения параметров окружающей среды в определённый момент времени. Таким образом, полученная объединенная матрица описывает природно-климатические показатели с дискретным шагом один час.

Также используется информация об изменении вертикальной толщины озонового слоя, наличии капель воды и пара в облаках. Данные показатели находятся в свободном доступе в электронных архивах World Ozone and Ultraviolet Radiation Data Centre (WOURDC) и Aerosol Robotic Network (AERONET). Отметим, что данные показатели необходимы для более точного определения актинометрических характеристик рассматриваемой территории.

С подробным математическим описанием обработки многолетних метеорологических рядов с кодами FM 12 SYNOP и METAR их интеграции в системные энергетические исследования можно ознакомиться в [5]. На рисунке 1 показана блок-схема алгоритма работы математической модели актинометрических показателей.

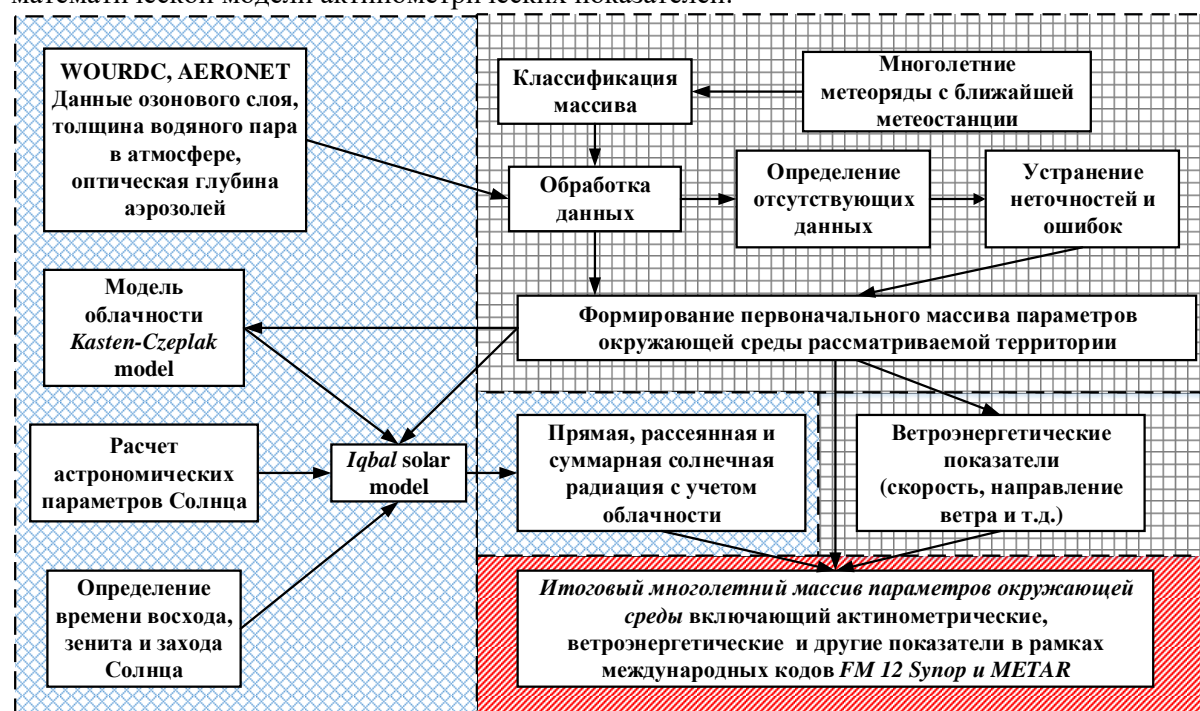


Рисунок 1: Блок-схема математической модели Iqbal-Kasten/Czeplak

4. Разработка WPS-сервиса расчета солнечной радиации

Алгоритмы для расчета показателей солнечной радиации написаны в программной среде MATLAB. Основные трудности использования этих алгоритмов заключаются в неудобстве вывода полученных показателей, а также низкой скорости их выполнения (примерно 40 минут) в зависимости от размерности исходного массива климатической информации и количества лет расчетного периода.

Для решения данных проблем были реализованы сервис-ориентированные методы в виде WPS-сервиса (Web Processing Service). Схема работы WPS-сервиса представлена на рисунке 2.

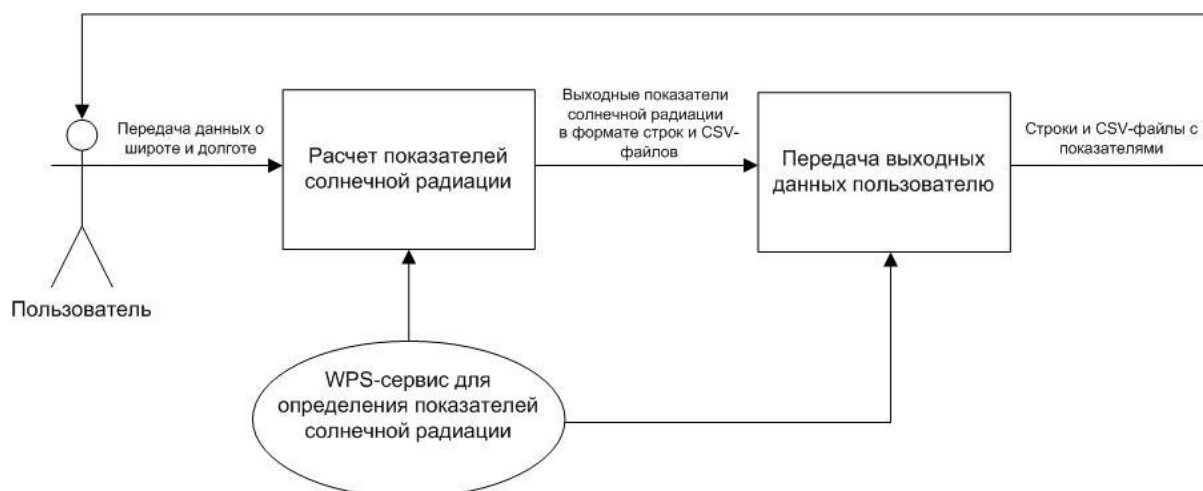


Рисунок 2: Схема работы WPS-сервиса

Пользователь подает на вход в WPS-сервис параметры географической широты и долготы местности, по которым он планирует получить массивы актинометрических показателей. На основе подготовленных данных о фактической облачности, составу облаков, температуре воздуха, давлению, влажности и других параметров, которые были получены с ближайшей метеостанции, а также данных о номере расчетного года, проводится моделирование показателей суммарной солнечной радиации и ее составляющих, а именно: угол возвышения солнца над горизонтом, среднемесячные суммарная, прямая и рассеянная солнечные радиации, их среднечасовые показатели, а также среднегодовые значения.

Для этого были реализованы методы оценки облачности нижнего, среднего и верхнего уровней, метод расчета общего процента облачности и другие параметры. В результате получают показатели суммы, представленные в формате строк, а временные ряды остальных показателей – в формате CSV.

WPS-сервис был разработан при помощи языка программирования Python. Для реализации расчетной части были применены библиотеки `numpy` и `scipy`. Для создания непосредственно самого WPS-сервиса были использованы такие библиотеки, как `ruwps` и `os`, а тестирование происходило при помощи `ruwps-flask`.

В результате написания WPS-сервиса были решены ряд задач с выводом полученных показателей солнечной радиации в удобный для представления формате, а также сокращение времени выполнения алгоритмов до 2 минут. На рисунке 3 показаны результаты моделирования солнечной радиации за 10 лет расчетного периода для территории западной Сибири с 2013 по 2023 годы.

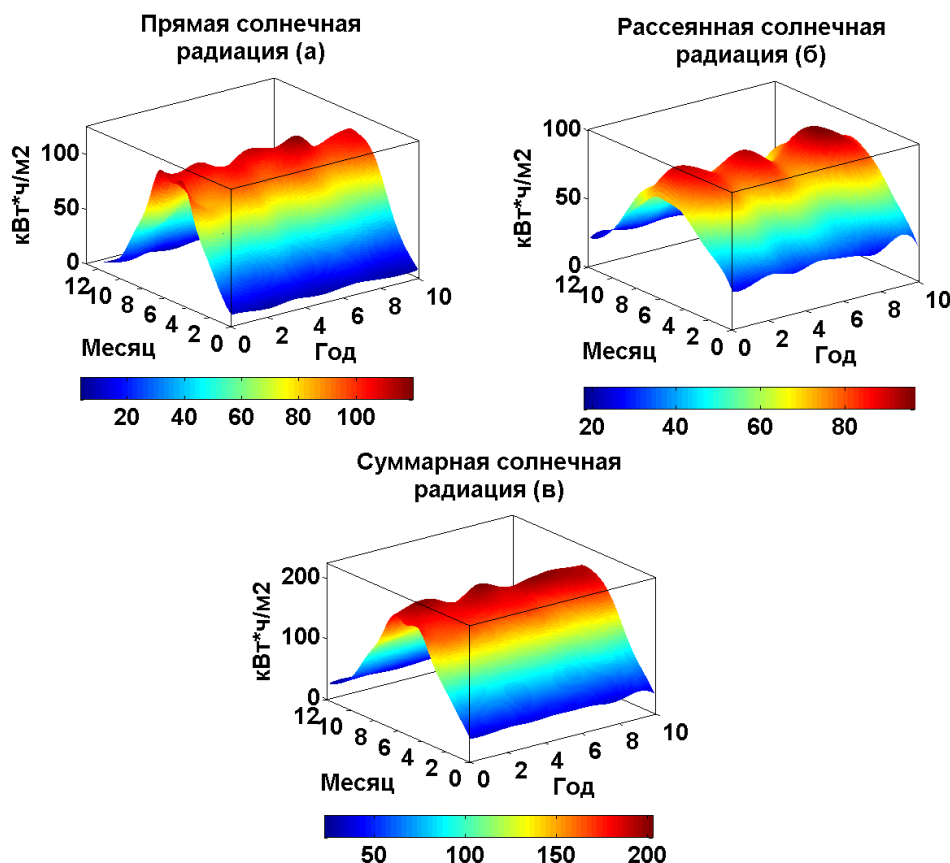


Рисунок 3: Результаты моделирования солнечной радиации для территории западной Сибири

Результаты, полученные при использовании WPS-сервиса, имеют характерный вид для рассматриваемого региона с максимальными значениями в весенне-летний периоды.

5. Заключение

В рамках данной статьи были представлены изначальная постановка исследования, математическая модель Iqbal-Kasten/Czeplak и алгоритмы, реализующие их в виде WPS-сервиса открытого доступа для моделирования солнечной радиации по ретроспективным данным для рассматриваемых локаций.

Использование библиотек `numpy`, `scipy`, `pywps`, `os`, `pywps-flask` позволило наиболее эффективно реализовать основные алгоритмы, описывающие работу математической модели солнечной радиации.

Дальнейшие исследования будут посвящены развитию реализованных моделей и алгоритмов, а также решению следующих задач:

- уменьшение времени работы алгоритмов для вычисления показателей солнечной радиации путем оптимизации методов расчета и алгоритмов.
- Формирование блока выявления аномальных значений, а также заполнение отсутствующих данных за счет использования методов искусственного интеллекта и других средств в этой области.
- внедрение разработанного сервиса в геоportal ИДСТУ СО РАН.

6. Благодарности

Работа выполнена в рамках гранта № 075-15-2024-533 Министерства науки и высшего образования РФ на выполнение крупного научного проекта по приоритетным направлениям научно-технологического развития (проект «Фундаментальные исследования Байкальской природной территории на основе системы взаимосвязанных базовых методов, моделей, нейронных сетей и цифровой платформы экологического мониторинга окружающей среды», , рег. № 124052100088-3).

7. Список источников

- [1] Лукутин, Б. В. Оптимизация энергетических балансов фотоэлектрической станции с электрохимическим и тепловым аккумулированием солнечной энергии / Б. В. Лукутин, А. М. Каррар Хамид // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24, № 2. – С. 3-13.
- [2] Лукутин, Б. В. Критерии вовлечения ВИЭ в повышение энергетической безопасности изолированных труднодоступных территорий Севера и Арктической зоны РФ / Б. В. Лукутин, В. Р. Киушкина, И. С. Иванов // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. – 2021. – Т. 14, № 5. – С. 507-519.
- [3] L.T. Wong, W.K. Chow. Solar radiation model / L.T. Wong // Applied Energy. – 2001. – V. 69. – P. 191-224.
- [4] Карамов, Д. Н. Формирование исходных метеорологических массивов с использованием многолетних рядов FM 12 Synop и METAR в системных энергетических исследованиях / Д. Н. Карамов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329, № 1. – С. 69-88.
- [5] Карамов, Д. Н. Математическое моделирование солнечной радиации с использованием многолетних метеорологических рядов, находящихся в открытом доступе / Д. Н. Карамов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2017. – Т. 328, № 6. – С. 28-37.