

ОДЕССКИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Диаби Идрисса

УДК 551.521

РЕСУРСЫ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ
ТРОПИЧЕСКОЙ ЗОНЫ СЕВЕРНОЙ АФРИКИ

II.00.09 - Метеорология, климатология,
агрометеорология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

by 87

Одесса 1993г.



00814831 (P)

Робота виконана в Одеск

Научный руководитель: - канд.
доцент Волошина Ж.В.

Официальные оппоненты: - доктор географических наук, профессор
Одесского гидрометеорологического ин-
ститута Мищенко Зинаида Антоновна
- кандидат географических наук, ст. науч-
ный сотрудник Украинского научного
центра экологии моря Шинкевич Наталья
Геннадиевна.

Ведущая организация: Украинский научно-исследовательский
гидрометеорологический институт, г. Киев

Защита диссертации состоится " I " июля 1993 года в
10 часов на заседании специализированного совета К 068.04.01
в Одесском гидрометеорологическом институте в зале заседаний
по адресу: 270016, Одесса-16, ул. Львовская, 15.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского
гидрометеорологического института.

Автореферат разослан " 31 " мая 1993 года

Ученый секретарь
специализированного совета *Лобода* Н.С. Лобода

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В последние годы усиливается внимание к источникам возобновляемой энергии, к энергии Солнца, в частности. Гелиоэнергетика предъявляет определенные требования к актинометрической и метеорологической информации. Необходимо создавать гелиоэнергетические кадастры, которые позволили бы экономично и грамотно использовать энергию Солнца.

Современное состояние проблемы оценки ресурсов солнечной радиации района тропической зоны Северной Африки ($\varphi = 0^{\circ} \div 25^{\circ}$ с.ш.) можно оценить следующим образом:

- имеются карты (масштаб 1:60000000) распределения суммарной радиации по территории Африки, построенные Т.Г. Берлянд по данным косвенных расчетов полуэмпирическими методами и впоследствии уточненные ею по данным актинометрических наблюдений; масштаб карт не позволяет достаточно надежно оценить потенциальные запасы солнечной энергии для нужд гелиоэнергетики с учетом внутренней структуры процесса поступления солнечной радиации;

- солнечный кадастр в настоящее время для исследуемой территории не создан; кроме средних климатических характеристик он должен включать статистические параметры, описывающие его временную изменчивость и вероятностные характеристики, описывающие колебательный характер поступления солнечной радиации на земную поверхность;

- исследование и типизация эмпирических распределений плотности вероятности суммарной солнечной радиации и аппроксимация их аналитическими выражениями выполнена только для территории СССР; подобные исследования для района тропической зоны Северной Африки никем не проводились, диссертационная работа в определенной мере ликвидирует этот пробел;

на необходимость исследования процесса поступления солнечной радиации в частной области указывали некоторые исследователи, в диссертационной работе эта задача решается.

Таким образом, актуальность диссертационной работы определяется ее направленностью на решение важной научной и практической проблемы – разработку солнечного кадастра для тропической зоны Северной Африки, позволяющего учесть внутреннюю структуру процесса поступления солнечной радиации.

Цель и задачи исследования. Цель диссертационной работы – оценить потенциальные ресурсы солнечной радиации тропической зоны Северной Африки путем создания солнечного кадастра. В соответствии с этим решались следующие научные задачи:

- разработка модели кадастра для района исследования с учетом наличия и доступности для гелиоэнергетики информации о показателях кадастра;
- исследование временной и пространственной изменчивости показателей кадастра;
- отыскание связности и периодичности в рядах солнечной радиации и солнечного сияния.

Использованные материалы и методика исследования.

Исследуется суммарная солнечная радиация как энергетический поток, обладающий наибольшей консервативностью, которая проявляется в фактической независимости от высоты места наблюдения, устойчивости средних величин. В работе использованы материалы актинометрических наблюдений за суммарной солнечной радиацией 13 станций, расположенных более или менее равномерно по территории тропической зоны Северной Африки за период от 10 до 25 лет (средние месячные величины в МДж/м²·сутки), полученные в Международном центре актинометрических данных в г. Санкт-Петербурге. Данные ежедневных наблюдений за суммарной солнечной радиацией и общей облачностью получены в научном центре г. Конакри (Гвинея) за период 1987-1990 гг.

Кроме этого, использовалась информация о средних отметках общей облачности для района исследования, имеющаяся в Сборниках актинометрических данных, а также о средней продолжительности солнечного сияния.

В результате статистической обработки рядов суммарной

радиации и продолжительности солнечного сияния (средне-месячные величины) были рассчитаны основные моменты. Исследовался их временной ход и проводилось картографирование на картах масштаба 1:2500000 для января, апреля, июля и октября.

Тенденция эмпирических распределений выполнена по методике З.И.Шиваровой и В.В.Стадник. Произведена аппроксимация плотности вероятности эмпирических распределений аналитическими выражениями.

Статистическая структура рядов суммарной радиации, солнечного сияния и общей облачности сезонных рядов (36 рядов для 12 станций) изучалась также посредством корреляционного и спектрального анализов.

Обеспеченность средних месячных величин потока суммарной радиации и вероятность технически приемлемых величин рассчитывалась по методике Лебедева на основании анализа интегрального распределения.

Научная новизна работы состоит в создании кадастра солнечной радиации для района тропической зоны Северной Африки и подробном исследовании временной и пространственной изменчивости его показателей. Впервые исследуется колебательный характер показателей кадастра, статистическая взаимосвязь между процессами суммарной радиации и солнечного сияния, суммарной радиацией и облачностью. Получены количественные оценки вклада этих процессов во взаимную корреляцию, распределения энергии между гармониками различных периодов.

Основные результаты работы, представляющие предмет защиты, следующие:

- разработан кадастр солнечной энергии для целей гелиоэнергетики для исследуемой территории;
- установлены законы распределения суммарной солнечной радиации и решена задача их аналитического представления;
- определены особенности статистической структуры временных рядов суммарной солнечной радиации и продолжительности солнечного сияния в зависимости от сезона;
- построены карты распределения основных статистических моментов для суммарной солнечной радиации и солнечного сияния на территории тропической зоны Северной Африки;

- установлена методом автокорреляционного анализа внутренней связность рядов суммарной радиации и продолжительности солнечного сияния;
- выявлена периодичность исследуемых процессов и характер колебания различных масштабов методов спектрального и взаимно-спектрального анализа.

Практическая ценность работы. Результаты исследования предназначены, в первую очередь, для использования в гелиотехнике при решении задач определения режима работы, производительности, вариации выработки и объемов энергии, эффективности аккумулирования энергии и др.

Апробация работы и публикации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в "Записках Университета Конакри" (Гвинея) и депонированы в Укр.НИТИ, доложены на научном семинаре кафедры общей метеорологии.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, списка использованных источников, приложения. Объем работы составляет 200 страниц машинописного текста, 22 таблицы, 26 рисунков. Список использованных источников включает 110 наименований, Приложение составляет 20 таблиц на 36 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы, формулируется цель работы и определяются задачи исследования.

В первой главе представлено климатическое описание района исследования и краткий физико-географический очерк тропической зоны Северной Африки. Здесь приводится, по литературным источникам, информация о величинах потока суммарной солнечной радиации, особенностях климата различных частей территории. Эта информация необходима для понимания и объяснения пространственной изменчивости показателей солнечного кадастра и оценки вклада астрономического (широтного) и циркуляционного (облачного) факторов.

Во второй главе рассматриваются климатические методы оценки ресурсов солнечной радиации. Предварительно подробно описываются прямые и косвенные методы получения информации

о солнечной радиации.

К косвенным методам относятся климатические расчеты среднемесячных величин суммарной солнечной радиации методами эмпирических формул, основанных на учете факторов, которые обуславливают наиболее существенные изменения потоков прямой и рассеянной радиации: высоты Солнца, прозрачности атмосферы, степени облачности, продолжительности солнечного сияния и др. Из многочисленных проанализированных формул предпочтительнее отдано формуле Т.Г.Берлянд, которая требует минимума легко доступной информации (степени облачности), многократно использовалась и проверена многими исследователями.

Здесь также показано, что временная структура рядов суммарной солнечной радиации описывается коэффициентами асимметрии (A) и эксцесса (E), которые выражают существенные особенности эмпирического распределения.

Для оценки потенциальных гелиоэнергетических ресурсов территории создаются кадастры солнечной энергии. Разработанные в настоящее время солнечные кадастры в большинстве случаев не учитывают вероятностную природу поступления солнечной энергии; все они, в основном, построены на осредненных и суммарных значениях различных характеристик солнечной радиации и солнечного сияния. Современный солнечный кадастр должен включать характеристики, описывающие стохастические процессы, и их оценку с вероятностной точки зрения.

В третьей главе изложены результаты исследования кадастровой оценки гелиоресурсов тропической зоны Северной Африки. В качестве показателей солнечного кадастра выбраны суммарная солнечная радиация, продолжительность солнечного сияния, количество облачности, коэффициент пропускания коротковолновой радиации и комплексный показатель - "солнечный потенциал".

Коэффициент пропускания атмосферы рассчитывается как отношение реального потока суммарной солнечной радиации у земли (Q_p) к величине внеземной радиации на широте пункта наблюдения (Q_0), т.е.

Безразмерный комплексный показатель J - "солнечный потенциал" рассчитывается как отношение

$$J = \frac{Q \cdot K}{N}$$

где $Q = Q_p / \bar{Q}_p$; \bar{Q}_p - среднегодовая величина Q_p , $K = Q_p / Q_0$;
 N - общая облачность в долях единицы.

Квадратическая зависимость J от Q_p делает показатель "солнечный потенциал" чувствительным к изменению Q_p , увеличивает диапазон его колебаний, что позволяет использовать его как для расчета суммарной радиации, так и для типизации условий ее поступления.

В главе 3 показано, что существует тесная корреляционная связь между суммарной радиацией, коэффициентом пропускания и "солнечным потенциалом". Она описывается уравнением линейной регрессии

$$Q_J = 19.57 + 1.61(J - 1.66) \quad (1)$$

$$Q_K = 19.57 + 26.84(K - 0.55) \quad (2)$$

При необходимости получения информации косвенными методами предлагается для исследуемой территории использовать несколько видоизмененную формулу Т.Г.Берлянд

$$Q_m = Q'_0 [1 - (aN + bN^2)] \quad (3)$$

где Q'_0 - суммарная солнечная радиация при безоблачном небе; N - общая облачность; a и b - числовые коэффициенты.

Используя вместо Q'_0 величину внеземной радиации Q_0 и вводя безразмерный коэффициент C , получим формулу

$$Q_{\text{впр}} = C \cdot Q_0 [(1 - 0.38N) - 0.40N^2] \quad (4)$$

которая позволяет рассчитывать возможные реальные среднемесячные величины потока суммарной радиации на территории тропической зоны Северной Африки с учетом особенностей пяти широтных зон (дискретность 5° по широте). Коэффициент C получен путем сравнения Q_m и Q_p , $C = Q_p / Q_m$. Величина C табулирована помесячно и поширотно.

Временная и пространственная изменчивость показателей солнечного кадастра описывается соответствующей изменчивостью средних величин, коэффициентов вариации, асимметрии и эксцесса. В диссертационной работе представлены таблицы го-

дового хода этих величин для всех станций. Пространственная изменчивость этих характеристик представлена на картах для I, IV, VII и X месяцев. Всего в работе представлены 44 карты. Так как карты асимметрии и эксцесса выполнены впервые для этой территории в таком масштабе, приведем в качестве примера распределения коэффициентов A и E для суммарной солнечной радиации Q в январе и июле (рис. I).

Январь — сухой сезон для большей части территории. В это время преобладает небольшая отрицательная асимметрия, кроме центральной части территории и побережья Красного моря. Это означает, что на большей части территории мода больше среднего. В поле коэффициента эксцесса преобладает меридиональное распределение, что связано с большим вкладом циркуляционного фактора в формирование радиационного режима (это зимний северо-восточный муссон, пересекающий центральную часть исследуемой территории).

В июле зональный характер изменения коэффициента асимметрии нарушается. Оставаясь умеренной, асимметрия практически на всей территории положительна, за исключением крайней северной зоны, т.е. увеличивается повторяемость пониженных величин потока суммарной радиации на фоне отдельных значительных превышений средней величины. Это хорошо согласуется с полем облачности. Преобладание астрономического фактора в формировании поля эксцесса в северной части территории проявляется в широтном характере его распределения. Практически ясное небо и увеличение сухой мутности атмосферы объясняют уменьшение отрицательных величин эксцесса. В районе экватора существуют две области высоких отрицательных значений E на восточном и западном побережьях. На западном побережье облачность термической конвекции усиливается орографическим фактором, имеет большую вертикальную мощность и в суточном ходе проявляется бимодальность прихода радиации до и после осадков.

Совместный анализ коэффициентов эксцесса и асимметрии, средних величин потока суммарной радиации и "солнечного потенциала", с учетом климатических особенностей на каждой станции, позволил выделить сезоны или периоды — "сухой" и "влажный" и переходные месяцы между ними. Были сформированы для каждого сезона ряды величин суммарной радиации, для которых рассчитаны все статистические характеристики, эмпириче-

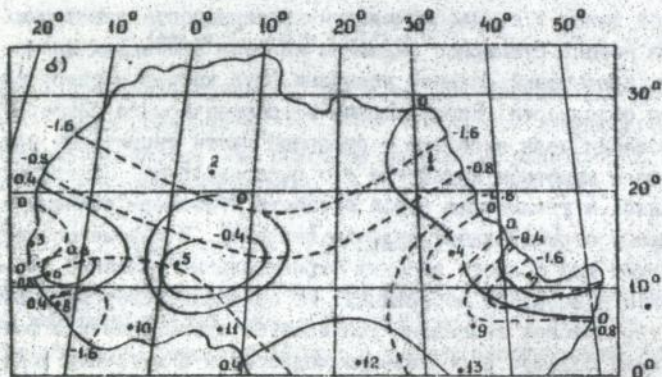
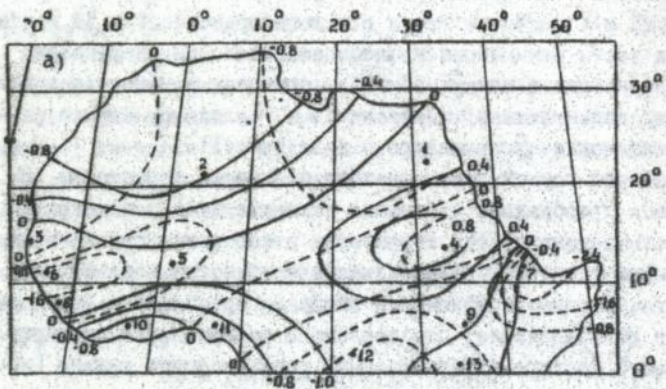


Рис. 1. Асимметрия и эксцесс среднемесячных величин потока суммарной солнечной радиации

а) - январь, б) - июль

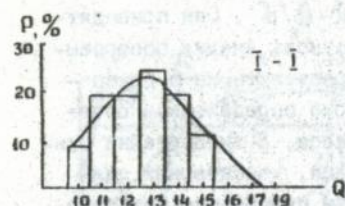
— асимметрия --- эксцесс

ские частоты повторяемости величины $Q - \bar{Q}/\delta$. Они приводятся в Приложении для всех станций и сезонов. Анализ построенных гистограмм показал, что их можно разделить на 6 групп - типов, для каждого из которых характерно определенное сочетание коэффициентов асимметрии и эксцесса. В диссертации приводится информация о типах распределений, характерных для различных сезонов. Типы III, IV и VI есть проявление большого вклада циркуляционного фактора, тогда как типы I и II формируются, в основном, под влиянием астрономического фактора и в условиях однородного распределения облачности.

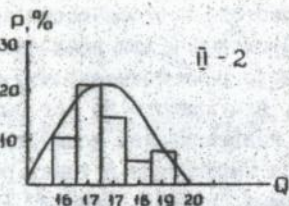
Эмпирические распределения средних величин суммарной радиации Q для каждого сезона были аппроксимированы аналитическими выражениями плотности вероятности, что позволяет непосредственно использовать эту информацию для оценки коэффициента использования установленной мощности гелиостатом, так как режим поступления солнечной радиации определяется функцией распределения действительных ее значений. Проверка соответствия каждого из 36 эмпирических распределений Q двадцати законам распределения, выполненная с помощью критерия согласия Колмогорова и критерия χ^2 по специальным вычислительным программам на ЭВМ ЕС-1022, позволила определить аппроксимирующие выражения и построить теоретические кривые. На рис. 2 приводятся примеры типичных эмпирических распределений плотности вероятности суммарной радиации Q и аппроксимирующие теоретические кривые.

Для целей гелиоэнергетики необходимо располагать информацией об интегральном распределении, которая позволяет оценить обеспеченность повторяемости технически приемлемых величин солнечной радиации. В диссертации приводятся эмпирические и теоретические частоты интегрального распределения для всех станций и сезонов.

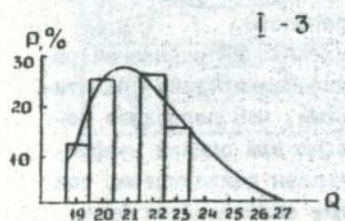
Интегральную повторяемость, как известно, отождествляют с обеспеченностью. Для ее расчета подготовлена номограмма, отражающая связь средних величин с вероятностью отдельных значений по всей территории. Средняя величина потока суммарной радиации, технически приемлемая для всех типов гелиоустановок, может быть рассчитана как произведение среднечасовой величины прихода радиации на длину дня. С учетом рекомендаций Вейнберга и Ярославцева критическое значение потока суммарной



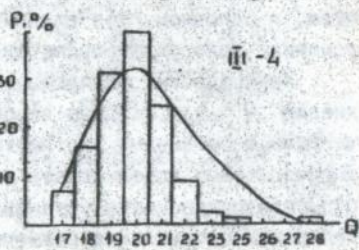
($\bar{V}_I - \bar{X}$) ст. Бенин-Сити, $\varphi = 6^{\circ}33'$ с.ш.



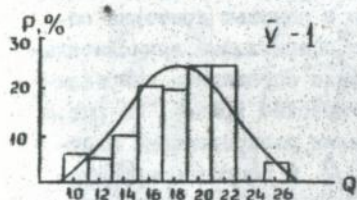
($\bar{II} - \bar{V}$) ст. Куяси, $\varphi = 6^{\circ}33'$ с.ш.



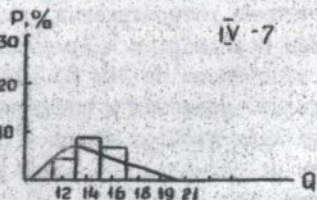
($\bar{V}_I - \bar{X}$) ст. Бад-Медани, $\varphi = 14^{\circ}24'$ с.ш.



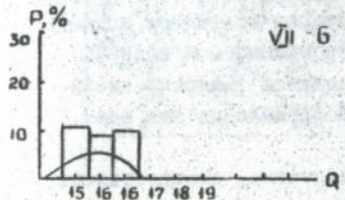
($\bar{III} - \bar{VII}$) ст. Китале, $\varphi = 1^{\circ}01'$ с.ш.



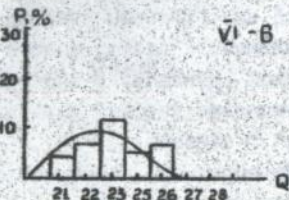
($\bar{IV} - \bar{V}$) ст. Агдис-Абеба, $\varphi = 9^{\circ}02'$ с.ш.



($\bar{I} - \bar{III}$) ст. Джибути, $\varphi = 11^{\circ}36'$ с.ш.



($\bar{X} - \bar{I}$) ст. Ассуан, $\varphi = 23^{\circ}58'$ с.ш.



($\bar{VI} - \bar{IX}$) ст. Тамаррасет, $\varphi = 22^{\circ}47'$ с.ш.

Рис. 2 Эмпирическое распределение плотности вероятности суммарной солнечной радиации (Q) и теоретические кривые

радиации составляет $15 \text{ МДж/м}^2 \cdot \text{сутки}$. Используя эту величину как критерий оптимального гелиорежима, была определена вероятность технически приемлемого потока суммарной радиации на территории тропической зоны Северной Африки. Зависимость между потоком суммарной радиации \bar{Q} и вероятностью (Р%) оптимального гелиотехнического режима описывается уравнением регрессии

$$P = 0,14 \bar{Q} - 1,82 \quad (5)$$

Статистический анализ суточных сумм суммарной радиации и средних величин общей облачности по материалам ежедневных актинометрических наблюдений станции Научного центра Гвинеи (г.Конакри) за 1987-1990 гг. выполнен для 12 месяцев.

На основании описанных выше соотношений величин асимметрии и эксцесса исследованы и типизированы эмпирические распределения частот суточных сумм суммарной радиации (\bar{Q}) и общей облачности (N). Все распределения характеризуются слабой и умеренной асимметричностью. Для сухого сезона типичен положительный эксцесс, а для влажного - отрицательный. Для сухого сезона характерны IУ и У типы. Это отражает ту особенность, что в сухой сезон преобладают большие суточные величины. Влажный (дождливый) сезон в Конакри характеризуется большой повторяемостью низкой кучево-дождевой облачности, которая сглаживает суточный ход суммарной радиации и для У-УШ месяцев характерно плосковершинное распределение по УI типу. Все типы распределения аппроксимированы законом Лапласа-Шарлье. Для Конакри также построена номограмма обеспеченности суточных сумм суммарной радиации (\bar{Q}) по информации об интегральной повторяемости.

Полный статистический анализ выполнен и для рядов общей облачности, проведена типизация эмпирических распределений и аппроксимация их теоретическими выражениями.

В четвертой главе представлены результаты исследования внутренней структуры процесса поступления суммарной радиации и солнечного сияния на территорию тропической зоны Северной Африки. Для этого использована центральная смешанная моментная функция второго порядка - автокорреляционная функция.

В диссертационной работе анализируются автокорреляционные и спектральные функции, рассчитанные для каждой из 12 стан-

ций по рядам Q и SS длительностью II лет. Ряды составлены из ежемесячных средних величин, расчеты выполнены по программе $FF-T$ на ЭВМ ЕС-1022. На рис.3 представлены автокоррелограммы и спектрограммы процессов Q и SS для нескольких станций, расположенных в различных широтных зонах исследуемой территории. Все автокорреляционные функции - эргодические, в абсолютном большинстве они превращаются в ноль на третьем шаге при сдвиге 3 месяца. Период колебаний (T) сохраняется постоянным, частота колебаний (β) соответствует приблизительно годовому периоду.

Так, автокоррелограммы процессов Q и SS станций Ассуан и Тгманрассет ($\varphi = 23^\circ$ с.ш.) показывают, что амплитуда колебаний сохраняется очень высокой и затухание автокорреляционной функции происходит медленно. Эти функции аппроксимируются выражением

$$z(\tau) = e^{-\alpha|\tau|} \cdot \left(\cos \beta \tau + \frac{\alpha}{\beta} \sin \tau \right), \quad (6)$$

При этом декремент затухания α равен 0.10 и 0.12 соответственно.

Автокоррелограммы процессов Q и SS станций Дакар и Вау-Медани ($\varphi \approx 14^\circ$ с.ш.) затухают быстрее, амплитуда колебаний в 2-3 раза меньше, они аппроксимируются затухающей косинусоидой вида

$$z(\tau) = e^{-\alpha|\tau|} \cdot \cos \beta \tau. \quad (7)$$

Автокоррелограммы функций широтной зоны $\varphi \approx 12^\circ$ с.ш. (станции Уагадугу, Бафата, Джибути) затухают с различной скоростью, форма их усложняется, появляются короткопериодные гармоники, что связано с нерегулярностью наступления влажного сезона. Автокоррелограммы всех остальных станций ($\varphi = 10+1^\circ$ с.ш.) являются затухающими косинусоидами с декрементом затухания $\alpha = 0.30 + 0.40$. Слабая связность соседних среднемесячных величин суммарной радиации в районе экватора, по-видимому, связана с миграцией через экватор в течение года внутритропической зоны конвергенции.

Анализ распределения энергии по спектру колебаний показывает, что максимальное количество энергии сосредоточено на

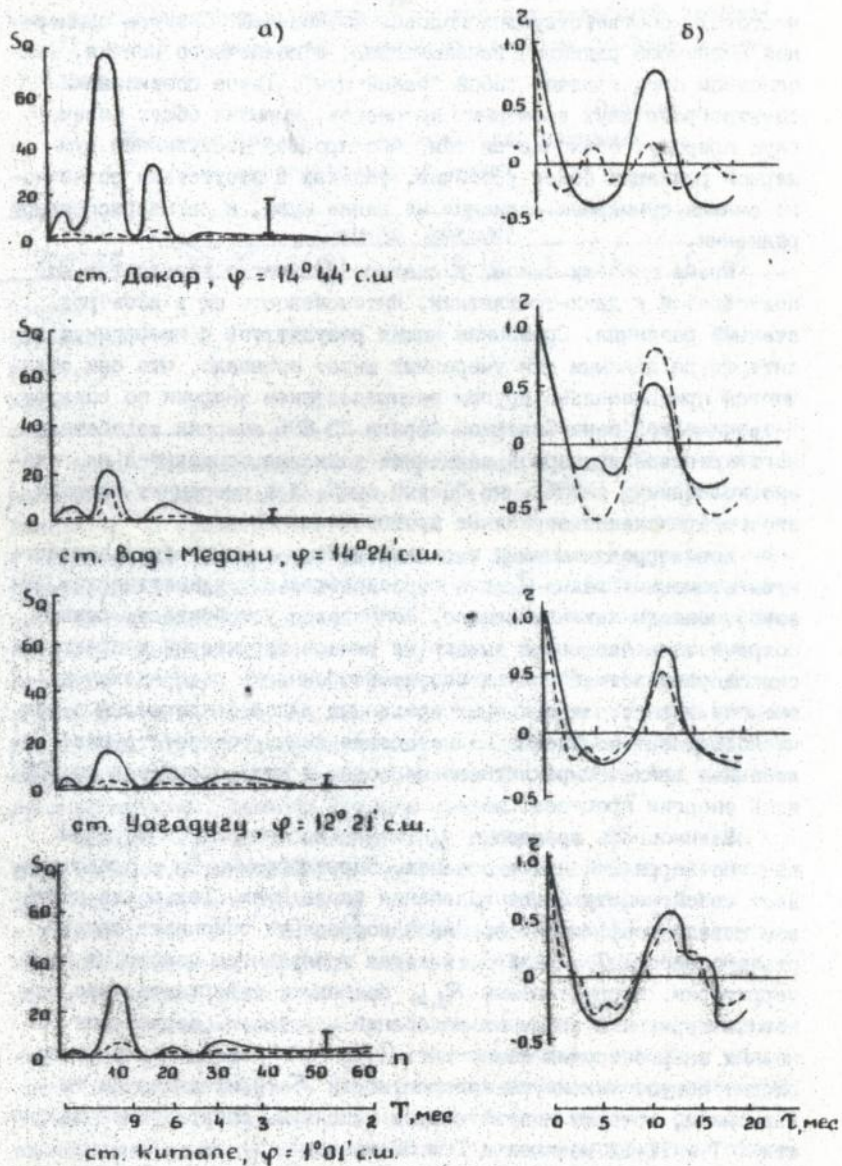


Рис. 3 Автокорреляционные (б) и спектральные (а) функции процессов суммарной солнечной радиации (Q) и солнечного сияния (SS)

частотах, соответствующих годовым колебаниям. Спектры суммарной солнечной радиации узкополосные, а солнечного сияния, в основном представляют собой "белый шум". Такое соотношение спектрограмм двух временных процессов, имеющих общую физическую природу, объясняется тем, что процесс поступления суммарной радиации более устойчив, так как в отсутствии солнечного сияния суммарная радиация не равна нулю, а равна рассеянной радиации.

Кроме годовых пиков, в спектре Q четко выделяются еще полугодовой и двух-трехлетний. Интенсивность их в спектрах станций различна. Сравнение наших результатов с имеющимися в литературе данными для умеренных широт показало, что они отличаются принципиально другим распределением энергии по спектру. В тропической зоне Северной Африки 75–80% энергии колебательного процесса суммарной солнечной радиации приходится на годовые колебания, а 25% – на "белый шум", а в умеренных широтах это распределение зеркально противоположное.

Автокорреляционному и спектральному анализу были подвергнуты временные ряды Q для последовательных климатических сезонов, выделенных нами ранее. Межгодовая устойчивость режима сохраняется достаточно высоко на севере территории и практически отсутствует вблизи экватора. Особенность распределения энергии в спектрах сезонных временных рядов заключается в том, что повсеместно существуют невысокие пики, соответствующие колебаниям трех-четырёхлетнего периода, в них сосредоточено 50% всей энергии процесса.

Взаимосвязь процессов Q и SS исследовалась методом взаимно-корреляционного анализа. Коррелограммы $R_{Q,SS}$ представляют собой незатухающие колебания около нуля. Только на нулевом сдвиге коэффициент взаимной корреляции описывает связанность процессов Q и SS , которая проявляется хорошо на всей территории. Коррелограммы $R_{Q,SS}$ позволяют утверждать, что основная гармоника взаимных колебаний – годовая. Корреляция основных энергонесущих компонент Q и SS значительно превосходит общую. Максимумы когерентности F приходятся на те гармоники, которым соответствуют максимумы спектральной плотности ($T = 11-12$ месяцев и $T = 32$ месяца).

В табл. I представлены разности фаз процессов Q и SS для основных энергонесущих гармоник, для которых $F > 0.50$, их вели-

чины свидетельствуют о синфазности годовых колебаний процессов Q и SS , остальные гармоники сдвинуты по фазе незначительно.

Таблица I

Разности фаз θ (в месяцах) для основных энергонесущих гармоник

Станция	Период (месяцы)				
	32	26-21	18-16	14	12
Ассуан	2	3	1	1	1
Вад-Медани	2			5	3
Уагадугу					2
Китале	13	1	0	0	0

Автокорреляционному и спектральному анализу были также подвергнуты ряды последовательных суточных сумм суммарной радиации q и средних отметок общей облачности станции Конакри (Гвинея) для каждого из 12 месяцев. Высокая межсуточная коррелированность характерна для сухого сезона (I-II) и центрального месяца влажного сезона (VI). Остальные автокорреллограммы являются следствием наложения случайных колебаний и не представляют интереса. Все спектрограммы располагаются ниже доверительного интервала. Но тем не менее, следует обратить внимание на то, что низкие пики спектральной плотности находятся в сходных энергетических зонах спектров q и N . Они относятся к гармоникам, кратным четырем суткам.

Взаимно корреляционная функция процессов q и N для всех месяцев отрицательна на нулевом сдвиге. Хорошо согласуется с особенностями режима q и N функция когерентности и разность фаз θ . Высокая когерентность как ковариантных, так контрвариантных гармоник свидетельствует об устойчивости соответствующих разностей фаз.

Исследование взаимосвязи процессов поступления суммарной солнечной радиации Q с процессами солнечного сияния и облачности выполнены впервые. Они представляют как самостоятельный научный интерес, так и практический. Количественная оценка взаимосвязи этих процессов позволит гелиоэнергетику при оценке устойчивости режима поступления солнечной радиации использовать более доступную информацию - о продолжительности солнечного

сияния и облачности.

ВЫВОДЫ

В диссертационной работе выводы сформулированы в 14 пунктах. Отметим основные.

1. Для комплексной оценки потенциальных гелиоресурсов территории тропической зоны Северной Африки впервые создан солнечный кадастр, который включает информацию о среднемесячных величинах суммарной солнечной радиации, продолжительности солнечного сияния, общей облачности, коэффициента пропускания коротковолновой радиации и "солнечного потенциала". Последние два показателя введены впервые. Для показателей кадастра рассчитаны статистические моменты и исследованы их временная и пространственная изменчивость.

2. Создан комплект карт (в количестве 44 карт масштаба 1:2500000) распределения среднемесячных величин потока суммарной радиации, продолжительности солнечного сияния и коэффициентов вариации, асимметрии и эксцесса этих величин, облачности, коэффициента пропускания. Это позволяет составить представления об изменчивости во времени и пространстве суммарной солнечной радиации и солнечного сияния.

3. Для решения ряда задач гелиоэнергетики проведено исследование законов распределения показателей кадастра (суммарной радиации и солнечного сияния) внутри климатических сезонов на каждой станции. Формирование сезонных рядов проведено с использованием введенного показателя - "солнечного потенциала". Для территории тропической зоны Северной Африки это сделано впервые.

Подобраны 6 законов, хорошо аппроксимирующие 6 типов эмпирических распределений суммарной радиации.

4. Проведена вероятностная оценка повторяемости среднемесячных величин суммарной солнечной радиации для расчета обеспеченности повторяемости технически приемлемых ее величин. Построены номограммы и графики для расчета вероятности.

5. Показано, что процессы поступления суммарной солнечной радиации и солнечного сияния являются полигармоническими. Использован метод автокорреляционного анализа, который позволил выявить основные гармоники процессов: годовую, полугодовую и двух--трехлетнюю. Разложение энергии колебаний по спектру гармоник (спектральный анализ) показало, что 75-80 %

всей энергии приходится на гармонику с годовым периодом. Это новый результат. Сравнение с аналогичными данными свидетельствует о зеркально противоположности распределения энергии по спектру колебаний в умеренных широтах, где на эту гармонику приходится 25 % энергии.

7. Сравнение энергетических спектров показывает, что имеется соответствие масштабов колебаний процессов Q и S_5 , Q и M . Высокая коррелированность их проявляется в том, что коэффициенты когерентности высоки, хотя пики спектральной плотности малы.

8. Впервые статистическими методами исследована взаимная связанность процессов суммарной радиации и солнечного сияния, суммарной радиации и облачности. Для этого использованы методы взаимно корреляционного и взаимно спектрального анализов. Установлена синфазность колебаний основных энергонесущих гармоник.

Основные положения диссертации изложены в следующих работах:

1. Волощина Ж.В., Диаби И., Кейта М. Оценка потенциальных ресурсов солнечной радиации Гвинеи. - Записки Университета Конакри. - Изд. Университета Конакри, 1987 (фр.).
2. Волощина Ж.В., Диаби И. Кадастровая оценка ресурсов солнечной радиации тропической зоны Северной Африки. - Деп. в Укр.НИНТИ, 1993.

AB 27.650

AB 27.650