

Российское НТО радиотехники, электроники и связи им. А. С. Попова
Уральский федеральный ун-тет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина
Севастопольский государственный университет

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ и РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Infocommunications
and Radio Technologies

2018
Том 1
№ 3

2018
Vol. 1
No. 3

Moscow • Ekaterinburg • Sevastopol

Почетный главный редактор

Президент РНТОРЭС им. А. С. Попова, академик РАН ГУЛЯЕВ Ю. В.

Главный редактор

д. ф.-м. н., проф. ХРАМОВ А. Е. (СГТУ, Саратов, Россия)

Редакционная коллегия

д. ф.-м. н., проф. АБРАМОВ И. И. (БГУИР, Минск, Беларусь)

д. ф.-м. н. ВОЛЬВАЧ А. Е. (КрАО, Крым, Россия)

д. т. н., проф. ГИМПЛЕВИЧ Ю. Б. (СевГУ, Севастополь, Россия)

д. т. н., проф. ГРОМОВ Д. В. (МИФИ, Москва, Россия)

к. т. н. ЕРМОЛОВ П. П. (СевГУ, Севастополь, Россия — зам. главного редактора)

д. т. н., проф. ИВАНОВ В. Э. (УрФУ, Екатеринбург, Россия)

к. ф.-м. н. КОЛЕСОВ В. В. (ИРЭ РАН, Москва, Россия)

д. ф.-м. н., проф. ЛЕРЕР А. М. (ЮФУ, Ростов-на-Дону, Россия)

д. ф.-м. н., проф. МАГДА И. И. (ННЦ «ХФТИ», Харьков, Украина)

д. т. н., проф. НОСКОВ В. Я. (УрФУ, Екатеринбург, Россия)

д. ф.-м. н. ОБУХОВ И. А. (НПП «Системные ресурсы», Москва, Россия)

д. т. н., проф. ПЕСТРИКОВ В. М. (СПбГИКиТ, Санкт-Петербург, Россия)

д. ф.-м. н., проф. КУРАЕВ А. А. (БГУИР, Минск, Беларусь)

д. т. н., проф. СМОЛЬСКИЙ С. М. (МЭИ, Москва, Россия)

д. т. н., проф. СОВЛУКОВ А. С. (ИПУ РАН, Москва, Россия)

д. ф.-м. н., проф. СТАРОСТЕНКО В. В. (КФУ, Симферополь, Россия)

д. т. н., проф. ШИРОКОВ И. Б. (СевГУ, Севастополь, Россия)

Международный редакционный совет

д. т. н., проф. АФОНИН И. Л. (СевГУ, Севастополь, Россия)

д. ф.-м. н., проф. БОГУШ В. А. (БГУИР, Минск, Беларусь)

проф. ИЛЬЧЕВ С. Д. (Durban University of Technology, South Africa)

проф. КАРМАКАР Н. Ч. (Monash University, Australia)

д. т. н., проф. КНЯЗЕВ С. Т. (УрФУ, Екатеринбург, Россия)

д. п. н. НЕЧАЕВ В. Д. (СевГУ, Севастополь, Россия)

д. т. н., проф. НОВИКОВ В. В. (ЧВВМУ им. П. С. Нахимова, Севастополь, Россия)

Заведующая редакцией: *Н. В. Папуловская*

Корректоры: *Е. Г. Уткина, С. В. Павлов*

Онлайн-сопровождение: *А. А. Кобелев*

Сайт журнала: icrtjournal.com

Подписано к печати 25.07.2018

Формат 64×90/16. Усл. печ. л. 5,20. Уч.-изд. л. 5,1. Тираж 300 экз.

Адрес редакции: ул. Мира, 32, Екатеринбург, 610002

Тел. +7 (978) 745-27-51, e-mail: icrt.mail@gmail.com

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-64134 от 25.12.2015

Отпечатано в типогр. Printex

ул. Кулакова, 59а, Севастополь, 299011. Тел.: +7 8692 464 744, +7 8692 455 678

Honorary Chief Editor

President of RNTORES n. a. A. S. Popov, Academician of RAS GULYAEV Yu. V.

Editor in Chief

D.Sc., Prof. HRAMOV A. E. (SSTU, Saratov, Russia)

Editorial Board

D.Sc., Prof. ABRAMOV I. I. (BSUIR, Minsk, Belarus)

D.Sc. VOLVACH A. Ye. (CrAO, Crimea, Russia)

D.Sc., Prof. GIMPILEVICH Yu. B. (SevSU, Sevastopol, Russia)

D.Sc., Prof. GROMOV D. V. (MEPhI, Moscow, Russia)

C.Sc. YERMOLOV P. P. (SevSU, Sevastopol, Russia – Deputy Editor in Chief)

D.Sc., Prof. IVANOV V. E. (UrFU, Ekaterinburg, Russia)

C.Sc. KOLESOV V. V. (IRE of RAS, Moscow, Russia)

D.Sc., Prof. LERER A. M. (SFU, Rostov-on-Don, Russia)

D.Sc., Prof. MAGDA I. I. (KhIPT, Kharkov, Ukraine)

D.Sc., Prof. NOSKOV V. Ya. (UrFU, Ekaterinburg, Russia)

D.Sc. OBUKHOV I. A. (Systems Resources Ltd., Moscow, Russia)

D.Sc., Prof. PESTRIKOV V. M. (SPbSUFT, Saint-Petersburg, Russia)

D.Sc., Prof. KURAYEV A. A. (BSUIR, Minsk, Belarus)

D.Sc., Prof. SMOLSKIY S. M. (MEI, Moscow, Russia)

D.Sc., Prof. SOVLUKOV A. S. (ICS of RAS, Moscow, Russia)

D.Sc., Prof. STAROSTENKO V. V. (CrFU, Simferopol, Russia)

D.Sc., Prof. SHIROKOV I. B. (SevSU, Sevastopol, Russia)

International Editorial Council

D.Sc., Prof. AFONIN I. L. (SevSU, Sevastopol, Russia)

D.Sc., Prof. BOGUSH V. A. (BSUIR, Minsk, Belarus)

Prof. ILCEV D. S. (Durban University of Technology, South Africa)

Prof. KARMAKAR N. Ch. (Monash University, Victoria, Australia)

D.Sc., Prof. KNYAZEV S. T. (UrFU, Ekaterinburg, Russia)

D.Sc. NECHAYEV V. D. (SevSU, Sevastopol, Russia)

D.Sc., Prof. NOVIKOV V. V. (P. S. Nakhimov ChHNS, Sevastopol, Russia)

Head of Editorial Board: *N. V. Papulovskaya*

Proofreaders: *Ye. G. Utkina, S. V. Pavlov*

Online support: *A. A. Kobelev*

Address:

Ural Federal University n. a. first President of Russia B. N. Yeltsin

32, Mira Str., Ekaterinburg, 610002, Russian Federation

E-mail: icrt.mail@gmail.com

Website: icrtjournal.com

Содержание — Contents

Астрономия (01.03.00) — Astronomy

- Курбасова Г. С., Вольвач А. Е.** Сезонные колебания в наблюдениях параметров солнечной энергии и деформаций земли в Крыму
G. S. Kurbasova and A. E. Volvach, Seasonal fluctuations in observations of solar energy parameters and Earth deformations in Crimea253
- Вольвач А. Е., Якубовская И. В.** Исследование солнечной активности радиотелескопами Службы Солнца KRIM
A. E. Volvach and I. V. Yakubovskaya, Investigation of the solar activity of the KRIM Solar Telescope solar service 266

Физика (01.04.00) — Physics

- Шейн А. Г., Башкирев А. М.** Механизм возникновения импульсного режима генерации при транспортировке релятивистского электронного потока в газонаполненной среде
A. G. Shein and A. M. Bashkirev, Mechanism of pulsed generation mode when transporting a relativistic electron beam in a gas-filled medium 275

Радиотехника и связь (05.12.00) — Radio engineering and communication

- Гармаш В. Н., Коробочкин Д. М., Матвеев С. А., Петров Ю. В., Рудыка С. А., Страхов С. Ю.** Оценка интенсивности осадков за счет обработки изображения от камеры видимого диапазона
V. N. Garmash, D. M. Korobochkin, S. A. Matveev, Y. V. Petrov, S. A. Rudyka, and S. Y. Strakhov, Estimation of precipitation intensity due to image processing from the camera of the visible range282
- Дегтярев А. Н., Прудюс Е. С.** Координатный базис на основе псевдослучайных последовательностей
A. N. Degtyaryov and E. S. Prudius, Coordinate basis which foundation on pseudo-random sequences 297

История науки и техники (07.00.10) — History of science and technology

- Денисов В. П., Ермолов П. П.** Вклад профессора Г. С. Шарыгина (1934—2018) в исследования распространения радиоволн
V. P. Denisov and P. P. Yermolov, Contribution of Professor G. S. Sharygin (1934—2018) in the study of radio wave propagation 306

УДК 523.31-1/-8

Сезонные колебания в наблюдениях параметров солнечной энергии и деформаций земли в Крыму

Курбасова Г. С., Вольвач А. Е.

Отдел радиоастрономии и геодинамики,
Крымская астрофизическая обсерватория,
Ялта, 298688, Российская Федерация
volvach@bk.ru

Получено: 10 июня 2018 г.

Отрецензировано: 25 июня 2018 г.

Принято к публикации: 2 июля 2018 г.

Аннотация: Обнаружены эффекты регулярных солнечных и геодинимических колебаний в спутниковых данных об инсоляции падающей на поверхность земли в пункте Кара-Даг за период с 1983.5 по 2005.5 годы. Определены параметры синусоидальной модели сезонного колебания. Обсуждаются возможные причины роста амплитуды этого колебания. С помощью вейвлет-преобразования исследована спектральная структура и пространственно-временные изменения в спутниковых данных об инсоляции падающей на поверхность земли в пункте Кара-Даг и локальных не смоделированных деформациях земли в пункте Кацивели. В радиоинтерферометрических временных рядах наблюдений дополнений к деформациям поверхности земли, проводимых в рамках Международных проектов на станции «Симеиз» (Кацивели), обнаружены и смоделированы периодические составляющие. Амплитуда наиболее значимой сезонной составляющей равна 3.34 мм. С помощью частотно-временного вейвлет-преобразования получена информация о временной локализации и изменениях мощности и частоты сезонных колебаний в данных об инсоляции падающей на поверхность Земли в пункте Кара-Даг за период с 1983.5 по 2005.5 годы и в данных о локальных не смоделированных деформациях земли в пункте Кацивели за период с 1980 по 2014 годы.

Ключевые слова: инсоляция; геодинимические циклы; вейвлет-преобразования; РСДБ-наблюдения.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Курбасова Г. С., Вольвач А. Е. Сезонные колебания в наблюдениях параметров солнечной энергии и деформаций Земли в Крыму // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2018. Т. 1. № 3. С. 253—265.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011): Курбасова, Г. С. Сезонные колебания в наблюдениях параметров солнечной энергии и деформаций Земли в Крыму / Г. С. Курбасова, А. Е. Вольвач // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. — 2018. — Т. 1, № 3. — С. 253—265.

Seasonal fluctuations in observations of solar energy parameters and Earth deformations in Crimea

G. S. Kurbasova and A. E. Volvach

Radio Astronomy and Geodynamics Department, Crimean Astrophysical Observatory
Yalta, 298688, Russian Federation
volvach@bk.ru

Received: June 10, 2018

Peer-reviewed: June 25, 2018

Accepted: July 2, 2018

Abstract: *The effects of regular solar and geodynamic oscillations in satellite data on the insolation of earth falling on the surface at Kara-Dag point for the period from 1983.5 to 2005.5 have been discovered. The parameters of the sinusoidal model of seasonal fluctuations are determined. Possible reasons for the increase in the amplitude of this oscillation are discussed. With the help of the wavelet transform, the spectral structure and spatial-temporal changes in the satellite data on the insolation of the incident on the earth's surface at Kara-Dag and local un modeled deformations of the earth at the point of Katsiveli were investigated. In the interferometric radio time series of observations of additions to the deformations of the earth's surface, carried out in the framework of international projects at the Simeiz station (Katsiveli), periodic components were found and modeled. The amplitude of the most significant seasonal component is 3.34 mm. Using the time-frequency wavelet transform, information was obtained on the temporal localization and changes in the power and frequency of seasonal fluctuations in the data on the insolation of the earth falling on the Kara-Dag point for the period from 1983.5 to 2005.5 and in the data on local un modeled deformations of the earth in paragraph Katsiveli for the period from 1980 to 2014.*

Keywords: *insolation; geodynamic cycles; wavelets; VLBI observations.*

For citation (IEEE): G. S. Kurbasova and A. E. Volvach, “Seasonal fluctuations in observations of solar energy parameters and Earth deformations in Crimea,” *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 1, no. 3, pp. 249–261, 2018. (In Russ.).
doi: 10.15826/icrt.2018.01.3.19

1. Введение

Крымский полуостров расположен вблизи границы Евразийской литосферной плиты. Деформации и движения этой плиты на длительном интервале времени оказывали и оказывают в настоящее время влияние на активизацию внутри земных процессов (землетрясения, вулканы, сели). Об активизации внутри земных процессов свидетельствуют аномалии в смещении поверхности пунктов наблюдений.

Координаты пунктов наблюдений (наземные системы отсчета) содержат информацию о его положении и линейных скоростях. Они изменяются под влиянием постоянно действующих и периодических процессов связанных с движением Земли вокруг оси и по орбите в Солнечной системе. Тем не менее, на границах между литосферными плитами наблюдаются значительные аномалии линейных скоростей. Кроме того, аномалии в смещении пунктов наблюдений и деформации поверхности земли на границах литосферных плит являются основным источником землетрясений.

Влияние внешних и внутри земных процессов на климат и экологию Крыма по-разному проявляется на различных масштабах времени. Поэтому описание долголетних изменений и прогноз геофизических и климатических характеристик полуострова возможен по непрерывным наземным наблюдениям в течение многих лет.

На полуострове Крым есть несколько ретровулканов. Один из них, особо опасный по экологическим последствиям, действовал в пункте Кара-Даг.

Аномальное усиление солнечной инсоляции поверхности земли может вызвать в локальных пунктах ответную реакцию при наличии в ее недрах очагов возбуждения. К таким очагам относятся, прежде всего, недавние и прошлые (ретро) вулканы.

В настоящее время не существует методов предсказания их «пробуждения». Существует ряд косвенных признаков возможной активизации землетрясений и вулканов. К ним относятся такие как экстремальные события на Солнце, динамика вращения Земли, активизация течения жидких масс внутри Земли, события в атмосфере и магнитосфере.

Нарушения теплового баланса, необъяснимый периодически протекающими процессами приток энергии в локальном месте поверхности земли, служат сигналом нестабильности экологической обстановки.

2. Инсоляция, падающая на поверхность земли в пункте Кара-Даг

На протяжении нескольких последних лет авторами настоящей работы изучались изменения локальных геофизических и климатических

характеристик Крыма под влиянием глобальных и региональных геодинамических процессов [4—6]. При этом особый интерес представляет обнаруженный авторами повышенный рост инсоляции на поверхность земли в пункте Кара-Даг [4, 5].

Предварительно из данных был удален ненормированный «белый» шум с помощью метода вейвлет-преобразования (вейвлеты 'haar'), который позволяет учитывать изменения статистических параметров шума по оси времени. Очищенные от «белого» шума данные содержат не «белый» шум, уровень которого оценивается стандартным отклонением 0.151.

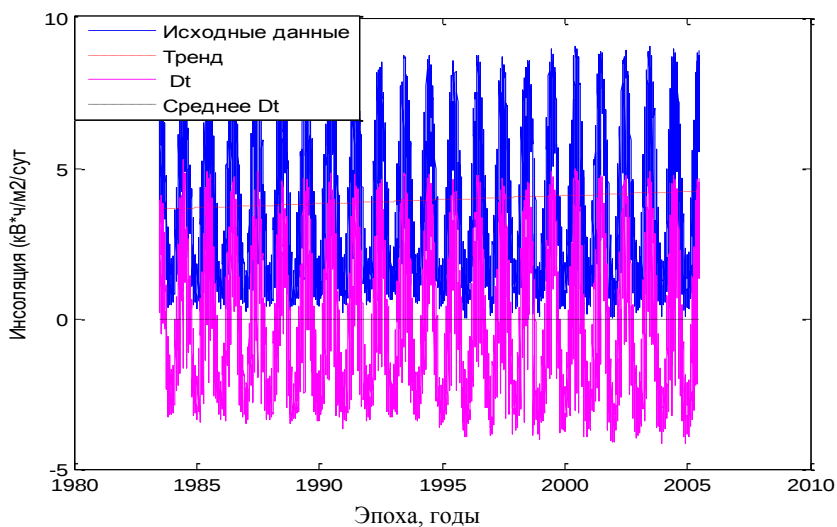


Рис. 1. Графики: исходных данных после удаления «белого» шума (синий цвет); линейный тренд (красная прерывистая линия); данные **Dt** (линейный тренд удален, среднее равно 0).

Fig. 1. Charts: source data after removing the “white” noise (blue color); linear trend (red dashed line); **Dt** data (linear trend removed, average is 0)

На рисунке 1 демонстрируются последовательные этапы подготовки данных к анализу.

Линейная модель тренда в данных об инсоляции поверхности земли в пункте Кара-Даг имеет вид:

$$f(x) = p_1 \cdot x + p_2, \quad (1)$$

где единицы измерения x равны 1 сутки, а единицы измерения коэффициентов p_1 и p_2 — $\text{кВ} \cdot \text{ч} / \text{м}^2 / \text{сут}$.

Коэффициенты (с 95 % доверительными границами) равны:

$p_1 = 7.363\text{e-}005$ ($7.363\text{e-}005$, $7.363\text{e-}005$); $p_2 = 3.646$ (3.646 , 3.646).

Оценка точности приближения моделью: скорректированный R-квадрат равен 1; средняя квадратическая ошибка приближения тренда линейной моделью равна $(RMSE) = 1.044e-014$. Согласно модели приближения (1) пренебрежимо малое приращение инсоляции за 1 сутки составляет за год $0.0269 \text{ кВ}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$, а за столетие — $2.69 \text{ кВ}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$, что более чем в 2 раза превышает скорость приращения на таком же интервале времени инсоляции падающей на поверхность земли в других пунктах Крыма.

2.1. Выделение сезонного колебания

Изучение периодических процессов в данных **Dt** об инсоляции поверхности земли в пункте Кара-Даг нами проведено с помощью частотно-временного непрерывного вейвлет — анализа, результаты которого приведены на рис. 2.

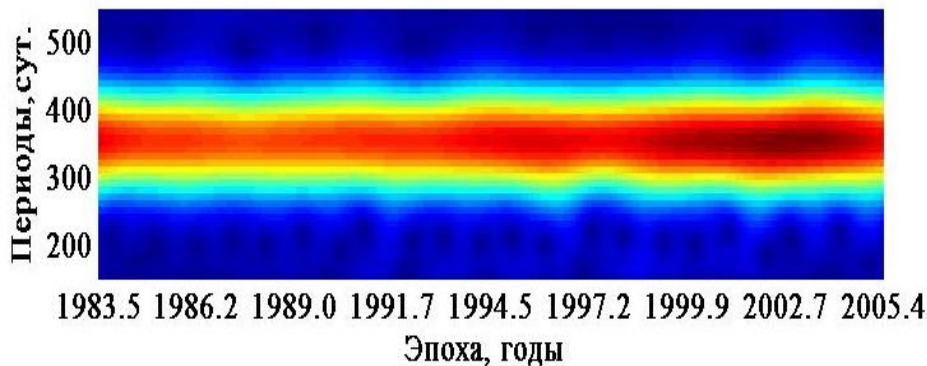


Рис. 2. Непрерывный частотно-временной вейвлет-анализ (вейвлеты 'morl') данных о среднесуточной инсоляции падающей на горизонтальную поверхность земли в пункте Кара-Даг (данные SSE).

Fig. 2. Continuous time-frequency wavelet analysis ('morl' wavelets) of data on the average daily insolation of earth falling on a horizontal surface at Kara-Dag (SSE data).

Анализ графика на рис. 2 показывает: наиболее мощные гармонические колебания выделяются в интервале периодов $\sim (231 - 452)$ суток; на временном интервале $\sim (1995 - 2005)$ лет наблюдается нарастающий локальный рост энергии колебаний.

Частотно-временной вейвлет – анализ обнаруживает регулярные периодические колебания в данных, которые могут быть описаны гладкими периодическими функциями.

Выбранная нами глобальная модель периодических колебаний в анализируемых данных имеет вид

$$f(x) = \sum_{i=1}^n a_i \sin(b_i x + c_i), \quad (2)$$

где n – количество синусоид суммируемых в модели; a_i , b_i , c_i ($i=1, \dots, n$) – коэффициенты.

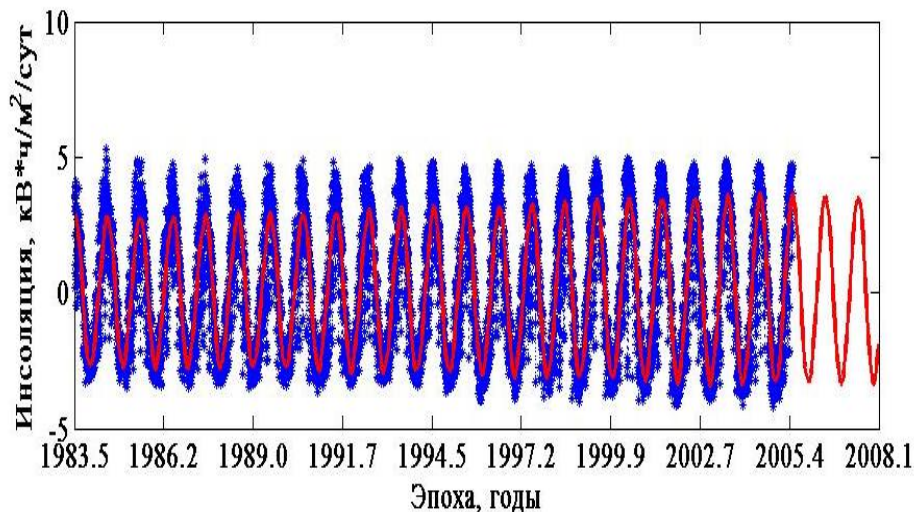


Рис. 3. Данные об инсоляции поверхности земли в пункте Кара-Даг за период 1983—2005 годы после удаления ненормированного «белого шума» и линейного тренда (отмечены звездочками *); кривая приближения периодической составляющей в данных (сплошная линия), вычисленная с помощью синусоидальной модели 6 порядка. После 2005.4 — прогноз.

Fig. 3. Data on the insolation of the earth's surface at Kara-Dag point for the period 1983–2005 after the removal of unnormalized “white noise” and a linear trend (marked with asterisks *); the curve of the approximation of the periodic component in the data (solid line), calculated using a sinusoidal model of 6 order. After 2005.4 – prognosis

Приближение процесса периодических изменений инсоляции со временем выполнено нами в виде суммы 6 синусоид с периодами: 365.3, 182.2, 344.7, 365.7, 87.2, 402.2 суток. При выборе модели возможных периодических колебаний в данных учитывались погрешность приближения синусоидальной моделью (2) различного порядка и условие наименьшего количества коэффициентов в соответствии с требованиями статистики, чтобы избежать переопределения. Погрешность приближения синусоидальной моделью данных об инсоляции оценивается параметрами: $R^2 = 0.8947$ сравнивает дисперсию предсказываемой величины с дисперсией

ошибок; скорректированный $R^2 = 0.8946$, в котором используются несмещенные оценки дисперсий, позволяет сравнивать модели с разным числом факторов; среднеквадратическая ошибка (Root Mean Square Error, RMSE) = 0.7419, показывает, насколько точно используемая модель позволяет приблизить последовательность данных.

Амплитуды наиболее значимых колебаний с периодами 365.3, 365.7 суток соответственно равны 6.34 и 4.8 кВ*ч/сутки. Величины амплитуд остальных периодических колебаний в модели 6 порядка находятся в пределах погрешности приближаемых данных. Например, амплитуда полугодового колебания с периодом 182.2 суток равна 0.2 кВ*ч/м²/сутки, что менее чем в два раза превосходит среднеквадратическую погрешность очищенных от «белого» шума исходных данных. Отсюда следует, что основной периодический процесс (сезонная составляющая) обусловлен суммой двух сдвинутых по фазе волн с периодами ~ 365 суток.

2. Наблюдения деформационных процессов.

Для изучения возникающих и развивающихся деформационных процессов, движений литосферных плит создаются геодинамические полигоны, оснащенные высокоточным экспериментальным оборудованием, на котором реализуется проведение комплексных наблюдений методами радио интерферометрии со сверхдлинной базой (РСДБ), лазерной локации искусственных спутников (ЛЛС), спутниковых систем GPS и ГЛОНАСС.

Долговременные наблюдательные программы, в которых участвуют десятки стран и многие международные и национальные организации, основаны на достижениях Глобальной навигационной спутниковой системы ГНСС: GPS (США) и ГЛОНАСС (РФ).

В Кацивели наблюдения проводятся несколькими методами (РСДБ, ЛЛС, GPS и ГЛОНАСС), поэтому параметры сезонных колебаний сопоставимы, так как в пределах места совместного размещения инструменты должны измерять одно и то же физическое движение Земли. Любое несоответствие между определяемыми параметрами сезонных колебаний в этом случае может интерпретироваться как технико-специфические ошибки на одном и том же интервале времени. Кроме того, в сети станций наблюдений в результате глобальной обработки уравнивается и стабилизируется точность наблюдений. Учитывая сопоставимость сезонных колебаний в данных полученных разными методами, нами использовались для анализа РСДБ-наблюдения на телескопе РТ-22.

РСДБ — это метод, созданный для наблюдений в астрофизике и астрометрии. Позже этот метод реализовался в геодезии в зависимости от

наземных и небесных целевых наблюдательных сеансов с точки зрения количества наблюдаемых радиоисточников, а также количества и последовательности наблюдений для радиоисточников. Радиотелескопы, образующие исходные линии в сети станций, довольно устойчиво прикреплены к подстилающей горной породе через их крепления. Поверхность Земли, однако, нестабильна. Кроме того, литосфера подвержена различным деформациям. Некоторые из деформаций довольно постоянные или периодические и поэтому прогнозируемые. Другие индивидуальны, эпизодические и прерывистые, например, во время и после сейсмического события.

Транспортировка масс в глобальных геофизических жидких и газообразных оболочках Земли (атмосфера, океаны, гидрология, приливы, мантия, ядро) влияет на изменения параметров вращения Земли, вызывает изменения гравитационного поля и смещение геоцентра. Кроме того, под влиянием лунно-солнечных приливов необратимо деформируется поверхность Земли [1]. Помимо предсказуемых деформаций, наблюдаются изменения, не объяснимые в теории приливов — так называемые не смоделированные добавки к деформациям поверхности твердой земли. В настоящее время проблема достижения миллиметровой точности в определении положений и скоростей смещений наблюдательных инструментов требует учета этих добавок, что стало возможным благодаря скоординированной работе в сети станций наблюдений.

Приведем некоторые результаты выполненного нами анализа данных о дополнениях к деформациям земли: вертикальных — dU_p , северных — dN , восточных — dE в пункте Кацевели, вычисленных по модели «Атмосфера» в отделе исследований в DFG (Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut) на основе наблюдений в сети РСДБ с участием радиотелескопа PT-22 станции «Симеиз».

Исходные данные представлены Службой IERS (International Earth Rotation and Reference Systems Service) [3] в виде трех временных рядов дополнений к деформациям поверхности земли: dU_p (вертикальные), dN (северные), dE (восточные) с интервалами между отсчетами 0.25 суток.

Подготовка данных к анализу включала: определение и исключение ненормированного «белого» шума; вычисление дискретных статистик не «белого» шума (среднее равно 0, стандартное отклонение равно 1.10).

Основной целью проведения частотно-временного анализа в нашем случае является обнаружение периодических составляющих и получение частотно-временных характеристик. Соответствие между длиной волны Фурье и масштабом достигается правильным выбором типа вейвлета. Для случая оценки частот (периодов) гладких функций разработаны и предлага-

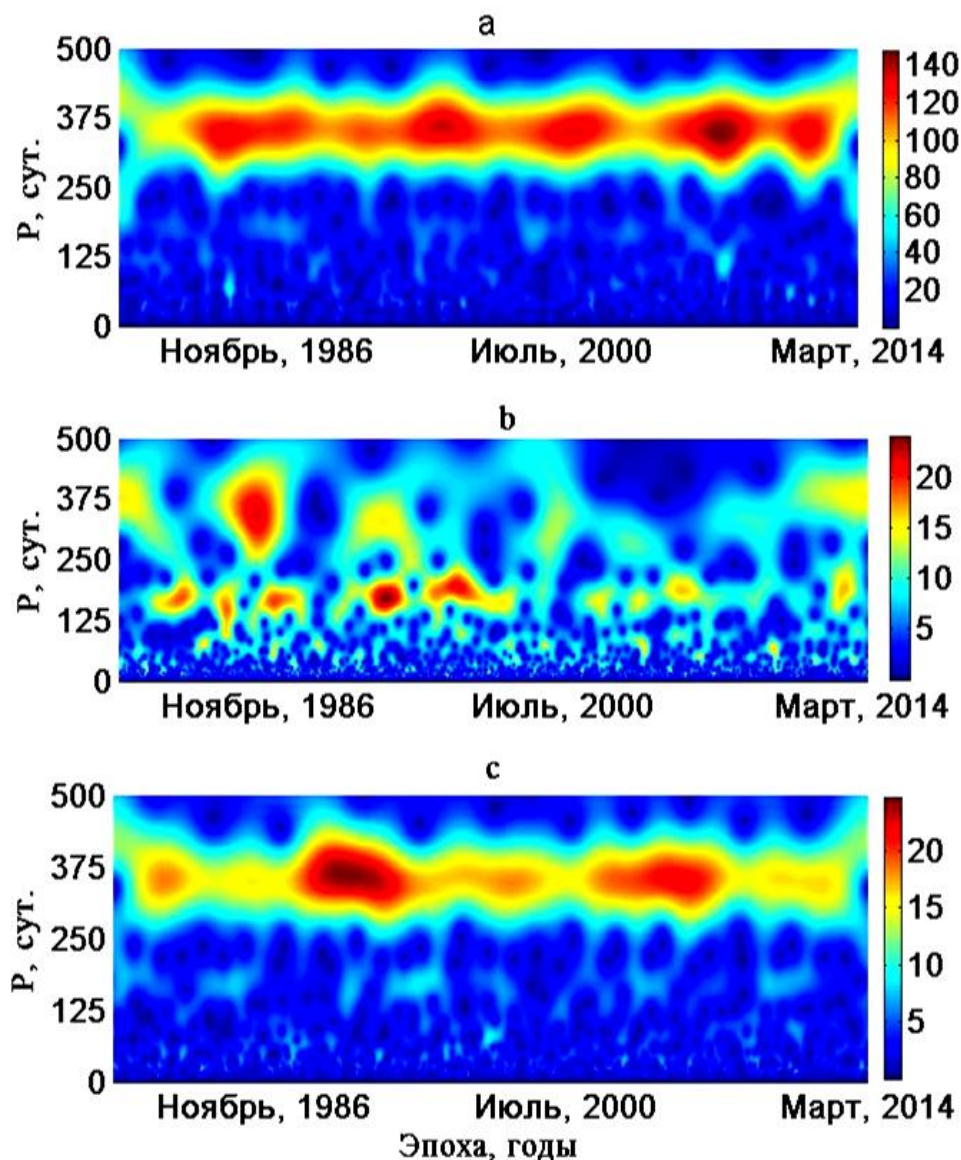


Рис. 4. Непрерывный частотно-временной вейвлет-анализ (вейвлеты 'morl') временных рядов дополнений к деформациям поверхности земли РСДБ-станции «Симеиз» (модель «Атмосфера»): а — вертикальные (dUp), б — северные (dN), с — восточные (dE).

Fig. 4. Continuous time-frequency wavelet analysis (morl wavelets) of time series of additions to the deformations of the earth of the Simeiz VLBI station (Atmosphere model): а – vertical (dUp), б – northern (dN) , с – eastern (dE)

гаются пользователям алгоритмы частотно-временного анализа данных с применением вейвлетов 'morle' и 'paul' [7].

Проведенный частотно-временной непрерывный вейвлет-анализ данных о дополнениях к деформациям поверхности земли в пункте Качивели (станция РСДБ «Симеиз») демонстрируется на рисунке 4. Предварительно нами было установлено соответствие между периодами (частотами) в сутках и параметром масштаба a , между параметром смещения по оси времени b и эпохой наблюдений. Анализ графиков на рисунке 4 не вызывает сомнений в существовании регулярных периодических вариаций в данных о вертикальной и восточной составляющих (см. рис. 4а и рис. 4с) в диапазоне периодов $\sim (250\text{—}500)$ суток. На этом рисунке интенсивность колебаний отмечена цветовой гаммой и индикатором степени интенсивности справа.

Северная составляющая (рис. 4b) на временном интервале анализа не имеет регулярных колебаний либо амплитуды их не превышают погрешностей анализируемых данных. Наиболее мощное сезонное колебание, амплитуда которого выше 3 стандартных отклонений в очищенных от «белого» шума данных, выделяется в данных о дополнениях к вертикальным деформациям.

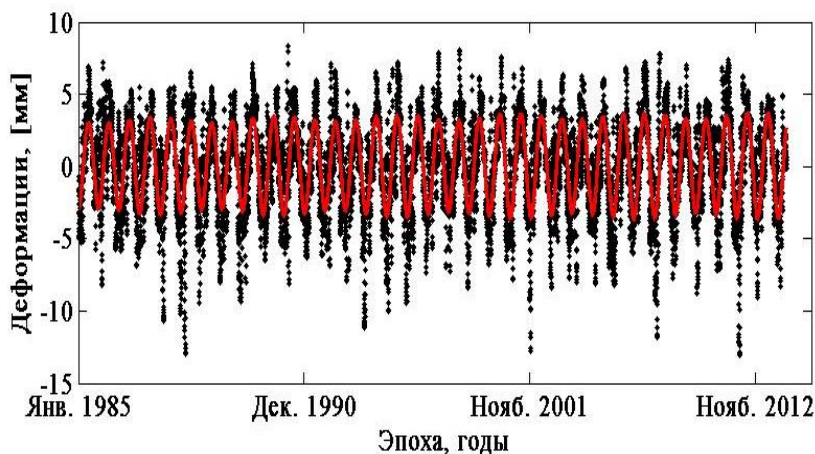


Рис. 5. Данные о вертикальных дополнениях к деформациям поверхности земли РСДБ-станции «Симеиз» (модель «Атмосфера») после удаления ненормированного «белого шума» и тренда (отмечены звездочками *); кривая приближения сезонной составляющей с периодом 365.3 суток (красная, сплошная линия), вычисленная с помощью синусоидальной модели 3-го порядка.

Fig. 5. Data on vertical additions to the ground surface deformations of the Simeiz VLEDB station (Atmosphere model) after removing the unnormalized white noise and the trend (marked with asterisks *); curve of approximation of the seasonal component with a period of 365.3 days (red, solid line), calculated using a third-order sinusoidal model

В последующем анализе нас будет интересовать приближение гладкой функцией наиболее мощного (сезонного) колебания.

Для анализа нами выбрана модель 3-го порядка, так как увеличение количества синусоидальных компонент уменьшает среднеквадратическую погрешность приближения (Root Mean Square Error, RMSE) равную для модели 3 порядка 2.335 во втором знаке после запятой вплоть до модели 8 порядка. При этом коэффициент детерминации R^2 равен 0.510. Так как увеличение количества синусоид в структуре модели не приводит к существенному изменению погрешности приближения, можно полагать присутствие в данных не периодических, возможно, различных по природе дополнений.

На рисунке 5 приведены графики данных dUp очищенные от «белого» шума и их приближение синусоидальной моделью.

3. Заключение

1. Изучение местных регулярных и нерегулярных изменений земной поверхности Крыма, а также сопровождающих эти деформации разрушения различных объектов жизнеобеспечения людей и ухудшение экологической обстановки, необходимо в связи с прогрессирующим нарастанием различного рода критических деформаций земной поверхности Крыма. Проводимые много лет на полигоне «Симеиз-Кацивели» наблюдения по согласованным международным программам в настоящее время служат для научных исследований. В то же время положение Крыма вблизи разлома Евразийской плиты и усиленное освоение территории полуострова строительными комплексами требует создания комплексной сети локальных геодинамических станций, прогнозирующих возможности и экологическую безопасность для проведения геодезических, строительных и сельскохозяйственных работ. Изучение местных нерегулярных изменений фигуры Земли, гравитационных, магнитных и сейсмических полей, местных и общих деформаций земной коры необходимо для прогноза землетрясений путем выявления района с аномальными значениями этих параметров. Комплексное изучение планетарных, региональных и местных геодинамических процессов является необходимым условием прогноза катастрофических природных явлений [2].

2. Гелиогеофизические процессы воздействуют на атмосферу и исходящие в ней динамические процессы. Устойчивая периодичность этих процессов помогает решать задачи прогноза глобальных и локальных событий. Особую роль в решении задачи прогноза экстремальных ситуаций выполняет сезонная составляющая, изменения параметров которой на ко-

ротком интервале времени служат предостережением о нарушении энергетического баланса. При этом необходимо учитывать сложное взаимодействие близких по частоте циклов в различных геосферах, которое может вызывать резонансные явления сопровождаемые увеличением амплитуды суммарного колебания, как это имеет место в нашем случае с сезонной составляющей в данных об инсоляции падающей на поверхность земли в пункте Кара-Даг. Повторяемость этого события также характеризуется цикличностью.

Частотно-временной вейвлет-анализ данных об инсоляции падающей на поверхность земли в пункте Кара-Даг обнаружил кратковременные энергетические скачки, локализация и интенсивность которых характерна для данного пункта и не наблюдается в аналогичном вейвлет-анализе данных об инсоляции на поверхность земли в других пунктах Крыма. Поэтому есть основание связать их происхождение с локальными условиями.

3. Амплитуды колебаний земных процессов зависят от колебаний солнечной активности, лунно-солнечных приливных сил, скоростей вращения Земли, а также от взаимодействий геофизических процессов. Проведенный нами вейвлет-анализ трех временных рядов дополнений к деформациям Земли станции РСДБ «Симеиз» (см. рис. 4), вычисленных по модели «Атмосфера» за период 1980—2014 годы, обнаружил существенное колебание с периодом 1 год (сезонная составляющая) и амплитудой 3.34 мм в вертикальной составляющих вектора дополнений к деформациям поверхности земли. Причем в северной составляющей этого вектора отсутствуют непрерывные периодические колебания в рассматриваемом интервале частот. Можно предположить, что генерация периодических колебаний в рассматриваемом интервале частот связана с динамикой движения Луны и Земли вокруг Солнца. Изменение интенсивности колебаний можно оценить визуально с помощью колонок цветовых индикаторов (справа). Более детальный анализ показал на присутствие в данных и других приливных периодических колебаний. Так как присутствие периодических колебаний в непрерывных временных рядах позволяет прогнозировать их поведение с помощью аналитической модели, нами была построена такая модель и определены периоды 6 наиболее значимых колебаний.

Список литературы

1. Авсюк Ю. Н. Приливные силы и природные процессы. М. : 1996. 188 с.
2. Берри Б. Л. Синхронные процессы в оболочках Земли и их космические причины. Вестн МГУ. 1991. Сер. 5, №1. С. 20—27.
3. IERS, Geophysical fluids data. Retrieved from <https://www.iers.org/ IERS/EN/DataProducts/GeophysicalFluidsData/geoFluids.html>

4. Курбасова Г. С., Вольвач А. Е. Аномалии инсоляции полуострова Крым по наблюдениям из космоса. В кн. : 24-я Междунар. Крымская конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» — КрыМиКо'2014 (Севастополь, 7—13 сент. 2014 г.). 2014. С. 1085—1086.
5. Курбасова Г. С., Вольвач О. Є. Вейвлет-аналіз наземних і космічних вимірів локальної інсоляції // Космічна наука і технологія. 2014. Т. 20. № 4. С. 42—49.
6. Курбасова Г. С., Вольвач А. Е. Корсакова С. П. Температура поверхности земли в Никитском ботаническом саду. В кн. : 30-я Междунар. Науч.-практ. конф. «Естественные и математические науки в современном мире». Новосибирск, СибАК, 2015. С. 205—213.
7. Torrence C., Compo, G. P. A Practical Guide to Wavelet Analysis. // Bull. Am. Meteorol. Soc. 1998. Т. 79. С. 61—78.
8. Surface meteorology and Solar Energy – A renewable energy resource web site (release 6.0). 2015. URL: <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>

References

- [1] Yu. N. Avsyuk, *Prilivnyye sily i prirodnyye protsessy* [Tidal forces and natural processes]. Joint Institute of Physics of the Earth named after O. Schmidt RAS. Moscow, 1996. (in Russ.).
- [2] B. L. Berry, “Sinkhronnyye protsessy v obolochkakh Zemli i ikh kosmicheskiye prichiny [Synchronous processes in the Earth's shells and their cosmic causes],” *Vestnik MGU*, ser. 5 (1), pp. 20–27, 1991. (in Russ.).
- [3] IERS, Geophysical fluids data. Retrieved from <https://www.iers.org/IERS/EN/DataProducts/GeophysicalFluidsData/geoFluids.html>
- [4] G. S. Kurbasova and A. E. Volvach, “The insolation anomalies on the Crimean peninsula with observations from space,” in *Microwave and Telecommunication Technology (CriMiCo), 2014 24th International Crimean Conference*, 2014, pp. 1085–1086. (in Russ.).
- [5] G. S. Kurbasova and A. E. Volvach, “Wavelet analysis of terrestrial and space measurements of local insolation,” *Space Science and Technology*, vol. 20, no. 4, pp. 42–49, 2014. (In Ukr.).
- [6] G. S. Kurbasova et al. “Surface temperature in Nikitsky Botanical Garden,” in *Natural and mathematical sciences in the modern world, XXX International scientific and practical conference*, 2015, pp. 205–213. (in Russ.).
- [7] C. Torrence, G. P. Compo, A “Practical Guide to Wavelet Analysis,” *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, vol. 79, pp. 61–78, 1998.
- [8] Surface meteorology and Solar Energy – A renewable energy resource web site (release 6.0). 2015. URL: <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>

Информация об авторах

Вольвач Александр Евгеньевич, доктор физико-математических наук, заместитель директора по научной работе ФГБУН «Крымская астрофизическая обсерватория РАН», пгт. Научный, Крым, Российская Федерация.

Курбасова Галина Сергеевна, кандидат физико-математических наук, заведующая лабораторией геодинамики ФГБУН «Крымская астрофизическая обсерватория РАН», пгт. Научный, Крым, Российская Федерация.

Information about the authors

Alexandr E. Volvach, Dr. Sci., FSBSI “Crimean Astrophysical Observatory of RAS”, Nauchni, Crimea, Russian Federation.

Galina S. Kurbasova, Cand. Sci. (Eng.), head of laboratory of FSBSI “Crimean Astrophysical Observatory of RAS”, Nauchni, Crimea, Russian Federation.

УДК 523.9

Исследование солнечной активности радиотелескопами Службы Солнца KRIM

Вольвач А. Е., Якубовская И. В.
Отдел радиоастрономии и геодинамики,
Крымская астрофизическая обсерватория,
Ялта, 298688, Российская Федерация
volvach@bk.ru

Получено: 12 июня 2018 г.
Отрецензировано: 27 июня 2018 г.
Принято к публикации: 5 июля 2018 г.

Аннотация: Радиоастрономический диагностический комплекс, созданный на базе радиотелескопа RT-22 и трех малых радиотелескопов, объединенных в Службу Солнца «KRIM», расположен в координатах $33^{\circ} 59' 30''$ Е долготы и $44^{\circ} 23' 52''$ N широты. Служба Солнца «KRIM» проводит наблюдения Солнца в режиме мониторинга и алертов. Комплекс интегрирован во Всемирную Службу исследования солнечной активности, а ежедневно получаемые данные сохраняются в реальном времени в цифровом виде и выставляются на сайты мировой службы Солнца, которая включает 14 наземных станций в кооперации с орбитальными обсерваториями. В период минимума 11-летнего цикла солнечной активности с 6 по 10 сентября 2017 года радиотелескопы Службы Солнца KRIM зафиксировали ряд сильных солнечных радиовсплесков, произошедших в активном регионе NOAA 12673. Полученная информация хорошо коррелирует с данными других наземных и спутниковых обсерваторий, таких как RSTN (Сеть Солнечных Радиотелескопов) и GOES (Геостационарный оперативный спутник для изучения окружающего пространства). Это подтверждает высокое качество и точность работы радиотелескопов Службы Солнца KRIM.

Ключевые слова: радиотелескоп, Солнце, радиоизлучение, вспышка, динамический спектр.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Вольвач А. Е., Якубовская И. В. Исследование солнечной активности радиотелескопами Службы Солнца KRIM // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2018. Т. 1, № 3. С. 266—274.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011): Вольвач, А. Е. Исследование солнечной активности радиотелескопами Службы Солнца KRIM / А. Е. Вольвач, И. В. Якубовская // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. — 2018. — Т. 1, № 3. — С. 266—274.

Investigation of the solar activity of the KРИM Solar Telescope solar service

A. E. Volvach and I. V. Yakubovskaya

*Radio Astronomy and Geodynamics Department, Crimean Astrophysical Observatory
Yalta, 298688, Russian Federation
volvach@bk.ru*

Received: June 12, 2018

Peer-reviewed: June 27, 2018

Accepted: July 5, 2018

Abstract: *Radio astronomy diagnostic complex based on the RT-22 radio telescope and three small radio telescopes combined into the KРИM Sun Service is located at 33° 59' 30" E longitude and 44° 23' 52" N latitude. The KРИM Sun Service conducts observations of the Sun in monitoring mode and alerts. The complex is integrated into the World Service for Solar Activity Research, and the daily data is stored in real time in digital form and posted on the sites of the World Sun Service, which includes 14 ground stations in cooperation with orbital observatories. During the minimum period of the 11-year solar activity cycle from September 6 to 10, 2017, KРИM Sun Service radio telescopes recorded a number of strong solar radio bursts in the active region NOAA 12673. The information obtained correlates well with data from other ground-based and satellite observatories, such as RSTN (Network Solar Radio Telescopes) and GOES (Geostationary Operational Satellite for Surrounding Space). This confirms the high quality and accuracy of the KРИM Solar Service radio telescopes.*

Keywords *radio telescope, Sun, radio emission, flash, dynamic spectrum.*

For citation (IEEE): A. E. Volvach and I. V. Yakubovskaya, "Investigation of the solar activity of the KРИM Solar Telescope solar service," *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 1, no. 3, pp. 266–274, 2018. (In Russ.). doi: 10.15826/icrt.2018.01.3.20

1. Введение

Солнечная активность оказывает огромное влияние на условия жизни на Земле. В то же время известно, что на Солнце происходят быстрые возмущения, с которыми связано освобождение больших энергий; частота их появления меняется с изменением фазы солнечного цикла. Освобождение запасенной энергии, имеющее характер взрыва, приводит к электромагнитному излучению и выбросу потоков частиц. Эти эрупции могут быть различными — от очень небольших до исключительно сильных, спо-

собных вызвать возмущения даже на Земле. Указанную совокупность сложных явлений мы называем солнечной вспышкой [1]. Во время вспышек, корональных выбросов масс и высокоскоростных потоков солнечного ветра существенно возрастает поток коротковолнового и радиоизлучения, растет скорость и энергия заряженных частиц, испускаемых Солнцем. Достигая орбиты Земли, эти возмущения вызывают комплекс геофизических явлений (прекращение радиосвязи, магнитные бури, полярные сияния и т. п.). Особенно зависимы от уровня солнечной активности новые высокотехнологические направления человеческой деятельности: космонавтика, радиосвязь, спутниковая навигация, дистанционные системы контроля и управления, электростанции. Электромагнитное излучение доходит до Земли за 8 минут, а заряженные частицы могут попасть на Землю через 2—5 суток после их направленного выброса из места возникновения на Солнце.

Следовательно, необходимо накопление наблюдательных данных о долговременных вариациях солнечной активности и исследование различных теоретических возможностей ее объяснения. Для этого в Крымской астрофизической обсерватории были сконструированы и длительное время эксплуатируются радиотелескопы сантиметрового, дециметрового и метрового диапазонов длин волн [2]. Они собирают сведения о состоянии хромосферы и короны Солнца, дают возможность получать информацию для анализа процессов энерговыделения в атмосфере Солнца и краткосрочного прогноза космической погоды.

2. Оборудование

Радиотелескоп РТ-22 — полноповоротное, альтазимутальное устройство с собирающей поверхностью зеркала 380 м^2 , оснащенное двумя радиометрическими комплексами.

1. *Миллиметровый комплекс.* Наблюдения проводятся на двух длинах волн одновременно с регистрацией параметров Стокса: полную интенсивность (I) на волне 8,2 мм и полную интенсивность и поляризованную по кругу составляющую (I,V) на волне 13,5 мм. Угловое разрешение радиотелескопа составляет 2.5' на обеих волнах. По чувствительности радиометры мм-диапазона сравнимы с радиометрами см-диапазона.

2. *Сантиметровый комплекс.* Угловое разрешение радиотелескопа на волнах 3.5, 2.8, 2.3 и 2.0 см составляет 6.0', 5.0', 4.1' и 3.6' соответственно. Поляриметр позволяет регистрировать полную интенсивность (I) и поляризованную по кругу составляющую (V) радиоизлучения одновременно на четырех волнах с наименьшим временным разрешением 0.1 с. Чувстви-

тельность радиотелескопа составляет 0.1 солнечных единиц потока (1 s.f.u. = 10^{-22} Вт/м²).

Процесс наблюдений заключается в сканировании диска Солнца по прямому восхождению с шагом по склонению, равному 1—2' с последующим наведением антенны по максимуму радиоизлучения локального источника на самой короткой длине волны и слежением за выбранной активной областью. Выбор объекта наблюдений осуществлялся в результате оценки прогнозируемых параметров для каждого из локальных источников, обнаруженных на диске Солнца по результатам сканирования. Обработка данных наблюдений проводится по специальной программе, и включает нормировку, учет паразитных сигналов, пересчет из милливольт в солнечные единицы потока. Собирающая поверхность телескопа позволяет выявлять тонкие детали всплесков шумовых бурь.

Радиотелескоп РТ-3 — параллактическое поворотное устройство с электрическим приводом по часовому углу, на котором укреплено параболическое зеркало диаметром 3 м с совмещенными облучателями на длины волн 10 и 12 см (частоты 2.5 и 2.85 ГГц). Размещен в радиопрозрачном куполе диаметром 6 м для защиты от метеовоздействий, что существенно улучшает качество и стабильность данных. Ширина ДН (диаграммы направленности) такой антенны при диаметре зеркала, равном 3 м, составляет 2.3—2.5°. Это обеспечивает прием радиоизлучения от всей поверхности радиодиска Солнца, размер которого немного превышает 0.5 угл.град. Ширина полосы пропускания каждого канала составляет 40 МГц, минимальная постоянная времени — 10 мс, запись сигнала осуществляется в цифровом виде с частотой отсчетов 1 Гц в дежурном режиме и 100 Гц в течение всплеска радиоизлучения.

Радиотелескоп РТ-2 — параллактическое поворотное устройство с электрическим приводом по часовому углу, на котором укреплено параболическое зеркало диаметром 2.5 м с совмещенными облучателями на длины волн 3 и 5 см (частоты 10 и 6 ГГц), размещен в радиопрозрачном куполе диаметром 6 м. На длине волны 3 см ширина ДН составляет 1°15', на длине волны 5 см — 1°45'. Ширина полосы пропускания каждого канала составляет 40 МГц, минимальная постоянная времени — 1 с.

Радиотелескоп РТ-М оснащен антенной 4×4 м, установленной на параллактической установке с электроприводом по часовому углу [3]. Она представляет собой синфазную решетку, состоящую из 16 элементов. Ширина полосы пропускания каждого канала составляет 250—350 МГц. Ширина луча составляет 11°, ширина полосы частот каждого канала составляет 300 кГц, минимальная постоянная времени — 1,25 мс, непрерывный

динамический диапазон — 30 дБ, запись цифрового сигнала происходит на частоте 400 Гц. Для регистрации коронального излучения установлен радиоспектрограф e-Callisto, рабочие частоты которого варьируются от 275 до 327 МГц (длины волн от 0.9 до 1.09 м).

3. Наблюдения

С 6 по 10 сентября 2017 года Солнце, находящееся на минимуме своей активности, произвело несколько мощных вспышек. Им присвоен рентгеновский класс X9.3, X8.2 и X2.2 [5] и они являются одними из наиболее сильных за последние 20 лет. Вспышки X9.3 и X8.2 сопровождались огромными извержениями миллиардов тонн вещества в космос. Эти облака, содержащие протоны, электроны и тяжелые ионы, были обнаружены датчиками на спутнике GOES 13, а так же наблюдались в изображениях коронографа LASCO C2 и C3, находящегося на борту космического аппарата ESA/NASA SOHO. Мощная вспышка X9.3 6 сентября, вызвала повышение плотности потока высокоэнергетических протонов с энергией 50 МэВ и 100 МэВ. Энергия превысила порог в 10 pfu (плотности потока протонов) для протонов с энергией 50 МэВ и почти достигла 10 pfu для протонов с энергией в 100 МэВ [5].

В изображении LASCO C2 12:48 UT замечен очень большой выброс коронального вещества. Вспышки и сопровождающие их KBM вырывались из активного региона NOAA 12673, расположенного в гелиографических координатах S09 W45. Первое извержение KBM произошло 6 сентября и произвело серьезную геомагнитную бурю, когда поток заряженных частиц достиг Земли вечером 7 сентября. 06.09.2017 в 12:02 UT обсерватория солнечной динамики (SDO) при помощи оборудования, установленного на спутниках GOES 15 и GOES 14, зарегистрировала мощную вспышку — восьмую по силе за последние 20 лет. Ей был присвоен рентгеновский класс X9.3 [5].

Служба Солнца KРИМ зафиксировала мощные всплески на радиотелескопах сантиметрового, дециметрового и метрового диапазонов длин волн. В 12:02 UT радиотелескопом РТ-М был зафиксирован мощный радиовсплеск на частотах 275 и 327 МГц. Мощной вспышке предшествовала более слабая, произошедшая с 08:57 до 09:17 UT. Ей присвоен рентгеновский класс X2.2 [5]. Она также была зафиксирована радиотелескопами РТ-2 и РТ-3 Службы Солнца KРИМ (рис. 1—4).

На рис. 2 хорошо видны сильные радиовсплески, произошедшие в 12:01 UT с максимальным значением плотности спектрального потока 3260 SFU на частоте 275 МГц и 2733 SFU на частоте 327 МГц.

На рис. 3 хорошо виден сильный радиовсплеск, произошедший в 09:10 UT с максимальным уровнем плотности спектрального потока 691 SFU на частоте 10 ГГц.

На рис. 4 хорошо виден сильный радиовсплеск, произошедший в 09:10 по UT, с максимальным уровнем плотности спектрального потока 941 SFU на 2.5 ГГц и 578 SFU на 2.85 ГГц.

Радиообсерватории Learmonth (Австралия) и San-Vito (Италия), входящие в сеть RSTN, принадлежащей Метеорологической службе ВВС (Военно-воздушных сил) США, также зафиксировали эти радиовсплески на частотах 245 МГц, 410 МГц, 2695 МГц, 4995 МГц, 8800 МГц и 15400 МГц.

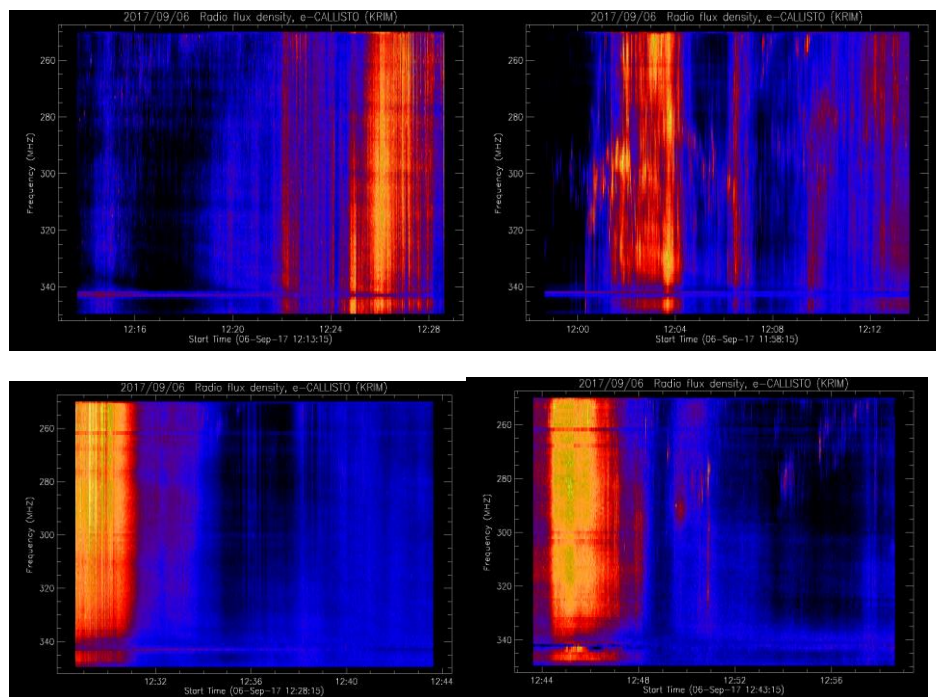


Рис. 1. Динамический спектр радиовсплеска IV типа 06.09.17 на частотах 273 МГц и 327 МГц, зафиксированный РТ-М, оборудованном спектрометром CALLISTO.

По оси X время UT, по оси Y – частота в МГц.

Fig. 1. Dynamic spectrum of a type IV 09.06.17 radio burst at frequencies of 273 MHz and 327 MHz recorded by a PT-M equipped with a CALLISTO spectrometer.

On the X-axis Time UT, on the Y-axis – frequency in MHz

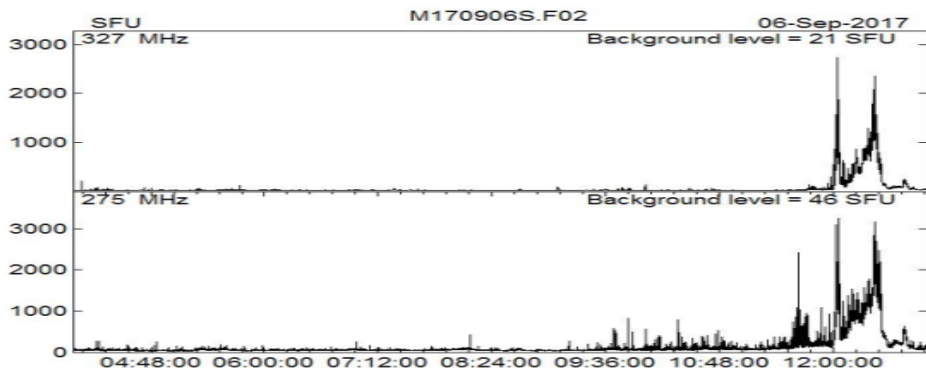


Рис. 2. Спектральные потоки радиоизлучения, зарегистрированные RT-M, на частотах 327 МГц и 275 МГц.

Fig. 2. Spectral radio emission streams recorded by RT-M at 327 MHz and 275 MHz

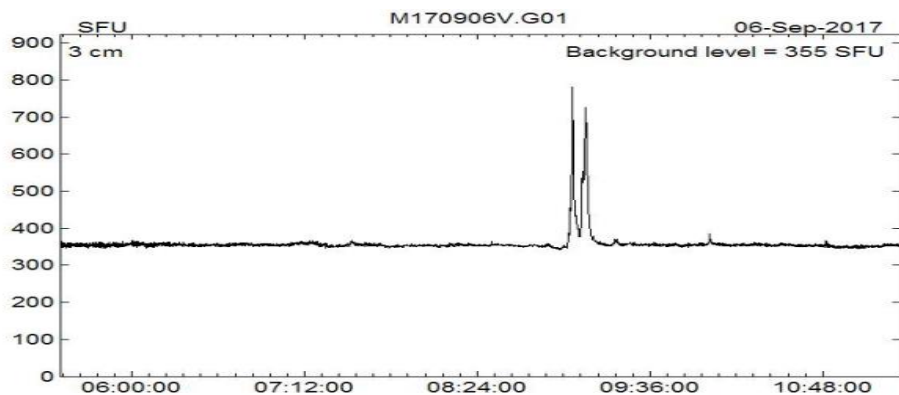


Рис. 3. Спектральный поток радиоизлучения, зарегистрированный радиотелескопом RT-2 на частоте 10 ГГц.

Fig. 3. The spectral radio emission flux recorded by the RT-2 radio telescope at a frequency of 10 GHz

4. Заключение

Сравнительный анализ представленных данных о мощных радио-всплесках, зафиксированных радиотелескопами Службы Солнца KRM, позволяет использовать данные для ежедневного мониторинга солнечной активности с целью дальнейшей их обработки для предсказания космической погоды и анализа ее влияния на Землю. Эти исследования имеют

важный прикладной характер в обеспечении национальной безопасности, как в гражданских, так и военных отраслях. Воздействие солнечных вспышек и сопровождающих их факторов, таких как солнечная радиация, в состав которой входят рентгеновское, радио и ультрафиолетовое излучение, влияет на работу навигационных спутников ГЛОНАСС и различных видов наземного оборудования.

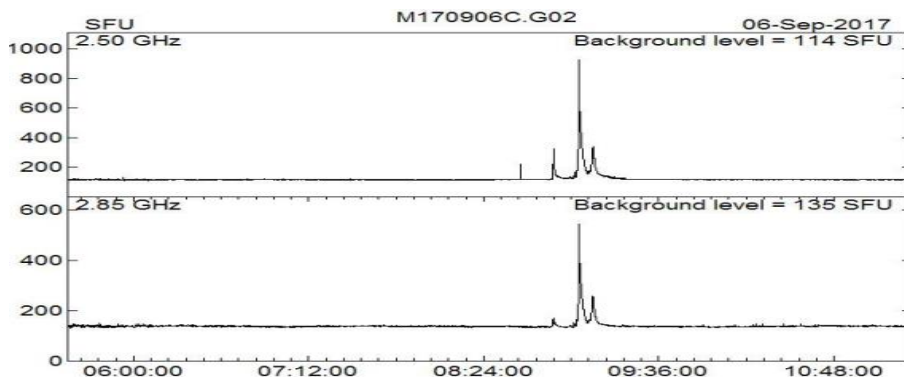


Рис. 4. Спектральные потоки радиоизлучения, зарегистрированные радиотелескопом РТ-3 на частотах 2,5 ГГц и 2,85 ГГц.

Fig. 4. Spectral radio emission streams recorded by the RT-3 radio telescope at 2.5 GHz and 2.85 GHz

Список литературы

1. Wild J. P., Smerd S. F., Weiss A. A. Solar Bursts. Ann. Rev. Astron. and Astrophys., Palo Alto, California, 1963. С. 291—366.
2. Юровский Ю. Ф. Аппаратура и методика наблюдений динамических спектров радиоизлучения Солнца на станции KRIM // Кинематика и физика небесных тел. 2013. Том. 29. № 6. С. 68—77.
3. Цветков Л. И., Юровский Ю. Ф. Диагностический комплекс солнечной активности на базе радиотелескопа РТ-22 НИИ КрАО и малых радиотелескопов // Космічна наука і технологія. Додаток. 2003. Т. 9, № 2. С. 102—105.
4. Вольвач А. Е., Юровский Ю. Ф., Самисько К.В. и др. Мониторинг солнечной активности в радиодиапазоне станциями службы Солнца KRIM // Изв. Крымской астрофиз. обс. 2016. Т. 112, № 2. С. 179—186.
5. Сайт космической погоды. <https://www.swpc.noaa.gov/stp/solar/> (2017).

References

- [1] J. P. Wild et al. “Solar Bursts,” *Ann. Rev. Astron. and Astrophys.*, Palo Alto, California, 1963.
- [2] Yu. F. Yurovsky, “The equipment and procedure for observations of dynamic spectra of solar burst emission at the station KRIM,” *Kinematics and physics of celestial bodies*, vol. 68, no. 6, pp. 68–77, 2013.

- [3] L. I. Tsvetkov and Yu. F. Yurovsky, “Diagnostic complex of solar activity on the basis of the RT-22 radio telescope of the Research Institute of CrAO and small radio telescopes,” *Space science and technology*, vol. 9, no 2, pp. 102–105, 2003. (In Russ.).
- [4] A. E. Volvach and Yu. F. Yurovsky, “Monitoring of solar activity in the radio range by the Sun service stations KRIM,” *Izv. Crimean Astrophyses. Obs.* vol. 112, no. 2, pp. 179–186, 2016. (In Russ.).
- [5] Space weather site <https://www.swpc.noaa.gov/stp/solar/> (2017).

Информация об авторах

Вольвач Александр Евгеньевич, доктор физико-математических наук, заместитель директора по научной работе ФГБУН «Крымская астрофизическая обсерватория РАН», пгт. Научный, Крым, Российская Федерация.

Якубовская Инна Валерьевна, научный сотрудник ФГБУН «Крымская астрофизическая обсерватория РАН», пгт. Научный, Крым, Российская Федерация.

Information about the authors

Alexandr E. Volvach, Dr. Sci., FSBSI “Crimean Astrophysical Observatory of RAS”, Nauchni, Crimea, Russian Federation.

Inna V. Yakubovskaya, researcher of FSBSI “Crimean Astrophysical Observatory of RAS”, Nauchni, Crimea, Russian Federation.

УДК 537.533

Механизм возникновения импульсного режима генерации при транспортировке релятивистского электронного потока в газонаполненной среде

Шеин А. Г., Башкирев А. М.

*Волгоградский государственный технический университет
просп. им. В. И. Ленина, д. 28, Волгоград, 400005, Российская Федерация
professor39@mail.ru, alexandr.bashkirev@gmail.com*

Получено: 1 июня 2018 г.

Отрецензировано: 20 июня 2018 г.

Принято к публикации: 12 июля 2018 г.

Аннотация: *Исследуется процесс возникновения импульсного режима при распространении электронного потока в газонаполненном пространстве. Показано, что за счет изменения скорости электронов при возникновении виртуального катода повышается вероятность ионизации газа, что приводит к образованию ионного облака, вытесняющего виртуальный катод из пространства. Время вытеснения виртуального катода на порядок превосходит время его образования.*

Ключевые слова: *электронный поток, газонаполненное пространство, ион, вероятность ионизации, виртуальный катод, вытеснение, обратный ток.*

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Шеин А. Г., Башкирев А. М. Механизм возникновения импульсного режима генерации при транспортировке релятивистского электронного потока в газонаполненной среде // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии.* 2018. Т. 1, № 3. С. 275—281.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011): Шеин, А. Г. Механизм возникновения импульсного режима генерации при транспортировке релятивистского электронного потока в газонаполненной среде / А. Г. Шеин, А. М. Башкирев // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии.* — 2018. — Т. 1, № 3. — С. 275—281.

Mechanism of pulsed generation mode when transporting a relativistic electron beam in a gas-filled medium

A. G. Shein and A. M. Bashkirev

¹Volgograd State Technical University,
28 Lenin ave., Volgograd, 400005, Russian Federation
professor39@mail.ru, alexandr.bashkirev@gmail.com

Received: June 1, 2018

Peer-reviewed: June 20, 2018

Accepted: July 12, 2018

Abstract: *The process of a pulsed regime appearance in the propagation of an electron beam in a gas-filled space. It is shown that, due to a change in the electron velocity when a virtual cathode occurs, the ionization probability of the gas increases, which leads to the formation of an ion cloud displacing the virtual cathode from space. The time of displacement of the virtual cathode is an order of magnitude greater than the time of its formation.*

Keywords: *electron beam, gas-filled space, ion, ionization probability, virtual cathode, displacement, reverse current*

For citation (IEEE): A. G. Shein and A. M. Bashkirev, “Mechanism of pulsed generation mode when transporting a relativistic electron beam in a gas-filled medium,” *Informations and Radio Technologies*, vol. 1, no. 3, pp. 275–281, 2018. (In Russ.). doi: 10.15826/icrt.2018.01.3.21

1. Введение

При движении электронного потока в газонаполненной среде за счет процессов ионизации нейтрального газа возникает ионное облако, что, в случае электронного пучка с виртуальным катодом (ВК), приводит к появлению различных физических эффектов, таких как срыв генерации и возникновение различных режимов генерации [1—3]. Причиной этого является тот факт, что энергия электронов в интенсивном потоке существенно превосходит энергию, соответствующую максимуму коэффициента ионизации нейтрального газа при ударной ионизации. Однако в области ВК происходит существенное замедление электронов, и их энергия может быть сравнима с энергией, соответствующей максимуму коэффициента

ионизации. Следовательно, процессы образования ВК и процессы ионизации нейтрального газа являются самосогласованными, в связи с чем распределение ионизированного газа оказывается существенно неоднородным как в пространстве, так и во времени, что, в свою очередь, приводит к возникновению рассматриваемых эффектов.

В данной работе на основе 3D модели электронного потока [4] и разработанной программы¹ анализируется механизм возникновения импульсного режима генерации. Выделены основные физические процессы, происходящие в электронном потоке в режиме импульсной генерации: образование и вытеснение ВК, а также рассеяние ионного облака.

2. Механизм возникновения импульсного режима

Для анализа процессов, происходящих в электронном потоке, выбран моноскоростной поток радиусом 5 мм, инжектируемый в пространство взаимодействия длиной $L = 10$ см со скоростью электронов на влете $V_0 = 2,6 \cdot 10^7$ м/с при величине магнитной индукции продольного магнитного поля $B_0 = 0,1$ Тл; тормозящий потенциал равен $\Delta\varphi = 0,4U$, где U — ускоряющий потенциал потока. Ток пучка равен 2 А, давление нейтрального газа $p = 88$ Па.

На рис. 1 представлены зависимости электрических параметров, характеризующих образование виртуального катода (модуля суммарного заряда электронов, суммарного заряда ионов и обратного тока, протекающего через плоскость, расположенную на расстоянии 2 см от плоскости инжекции), в зависимости от времени.

Поскольку одним из основных признаков образования виртуального катода является возникновение обратного тока, по графику изменения обратного тока (кривая 1 на рис. 1) можно видеть периодическое возникновение ВК, а соответственно, и возникновение импульсной генерации. Один период импульсной генерации выделен линиями «а» и «в».

Момент времени, помеченный линией «а», соответствует локальному минимуму пространственного заряда электронов, и в тоже время локальному максимуму пространственного заряда ионов. Обратный ток равен нулю, что свидетельствует об отсутствии ВК. Вследствие того, что рассматриваемый поток является закритическим, то есть ток потока превышает критический ток, начинается накопление пространственного заряда электронов. Пространственный заряд ионов вытесняется из пространства взаи-

¹ Башкирев А. М. Шейн А. Г. Программа расчета динамики релятивистских частиц при движении в газонаполненном пространстве: свид. о гос. рег. программы для ЭВМ № 2017611754 / ВолгГТУ. 2017.

модействия. Поскольку виртуальный катод отсутствует, скорости электронов существенно выше максимума коэффициента ионизации, т. е. скорость образования ионов посредством ионизации V_i Кл/с меньше скорости убывания заряда ионов через стенки пространства взаимодействия V_o Кл/с.

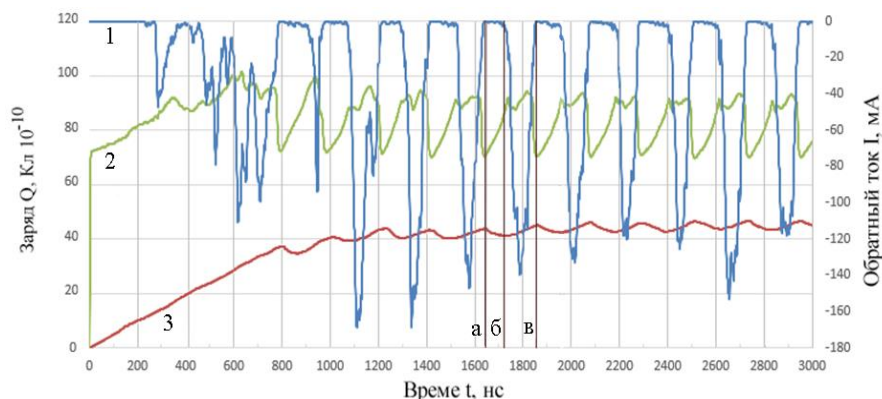


Рис. 1. Временные зависимости изменения электрических параметров (1 — обратный ток в плоскости $z = 0,02$ м; 2 — модуль суммарного заряда электронов; 3 — суммарный заряд ионов).

Fig. 1. Time dependence of changes in electrical parameters (1 – is the inverse current in the plane $z = 0,02$ m, 2 – is the total modulus of the electron charge, 3 – is the total ion charge)

В момент времени, отмеченный линией «б», пространственный заряд электронов достигает критического значения, что приводит к возникновению ВК, в результате чего система переходит в режим генерации за счет его колебаний в пространстве и во времени. Образование виртуального катода видно по возникновению обратного тока, который является следствием отражения электронов от области ВК. Возникший обратный ток уравнивает систему и прекращает дальнейшее накопление заряда.

Образование виртуального катода является первым из трех процессов при импульсной генерации. Оценки времени образования ВК при различных параметрах системы показывают, что оно имеет величину порядка нескольких наносекунд, что на два порядка меньше периода импульса генерации. Таким образом, образование виртуального катода не оказывает существенного влияния на частоту следования импульсов генерации.

Как известно, виртуальный катод совершает колебания в пространстве и времени. Однако в отсутствии нейтрального газа данные колебания совершаются вблизи некоего положения равновесия и положение ВК в пространстве может считаться квазистационарным. В случае же присут-

ствия нейтрального газа поведение виртуального катода существенным образом отличается. Поскольку ВК, по определению, является минимумом электрического потенциала, его положение можно наблюдать по зависимости электрического потенциала от времени в различных плоскостях вдоль оси Oz. Данные кривые приведены на рис. 2. Линиями отмечены минимумы потенциалов в различных плоскостях Oz: а — 0,02 м, b — 0,03 м, с — 0,04 м, d — 0,05 м, e — 0,06 м, f — 0,07 м, j — 0,08 м. h — 0,09 м. Эти графики можно интерпретировать как динамику перемещения виртуального катода в пространстве от его зарождения до исчезновения (вытеснения) вблизи границы пространства взаимодействия.

Из приведенного рисунка видно, что виртуальный катод образуется на расстоянии 2 см от плоскости влета электронов в пространство. Так как электроны, находящиеся в области виртуального катода, являются низкоэнергичными вследствие замедления в потенциальной яме, то их энергии могут быть близки к максимуму потенциала ионизации нейтрального газа.

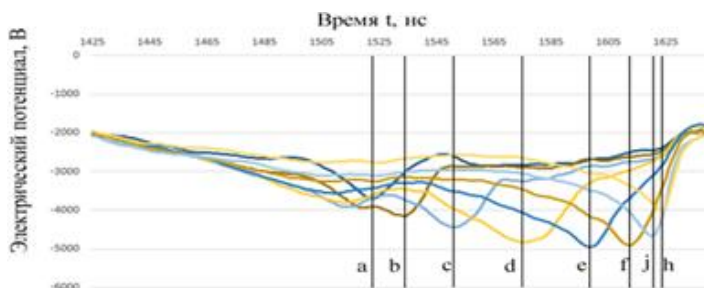


Рис. 2. Зависимости электрических потенциалов на оси потока на различных расстояниях от плоскости влета электронного потока.

Fig. 2. Dependences of electric potentials on the beam axis at various distances from the plane of electron beam

Соответственно, в области виртуального катода вероятность ионизации нейтрального атома газа возрастает. Образовавшиеся в результате ионизации вторичные электроны быстро покидают область виртуального катода, так как обладают на три порядка меньшей массой, чем ионы. Это приводит к тому, что положительный заряд возникших ионов компенсирует отрицательный заряд виртуального катода, смещая его в сторону анода. В результате ВК с течением времени перемещается в пространстве из плоскости $z = 2$ см до плоскости z , соответствующей моменту времени, отмеченному линией «в» на рис. 1. Данный процесс является процессом вытеснения виртуального катода. Следует отметить, что время существования виртуального катода для данного варианта составляет порядка 0,12 мкс.

После исчезновения ВК в момент времени, помеченный линией «в», система приходит к начальному состоянию, соответствующему локальному минимуму пространственного заряда электронов и, в тоже время, локальному максимуму пространственного заряда ионов. Вновь начинается процесс вытеснения ионного облака. Цикл повторяется.

3. Рассеяние ионного облака

Последним процессом при генерации импульсов электронным потоком в пространстве взаимодействия, заполненном нейтральным газом, является процесс вытеснения ионного облака, образованного вдоль оси потока по мере вытеснения виртуального катода. Эволюция распределения ионного тока в пространстве за время одного импульса генерации показана на рис. 3. Индексами отмечены кривые, соответствующие расстоянию от плоскости инжекции такими же, как и в предыдущем разделе.

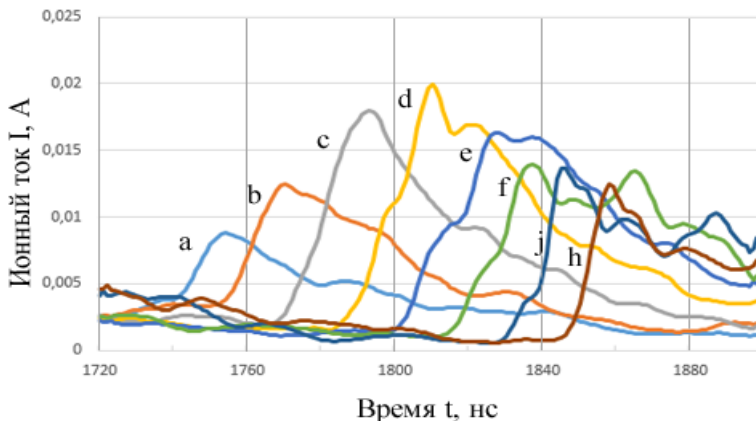


Рис. 3. Зависимости ионного тока от времени в различных плоскостях.

Fig. 3. Dependences of the ion current on time in various planes

Сравнение зависимостей электронного обратного тока от времени в различных плоскостях, представленных на рис. 2, с зависимостями ионного тока от времени в тех же плоскостях (рис. 3), показывает, что возникновение этих токов синхронизировано как во времени, так и в пространстве, хотя наблюдается запаздывание ионного тока относительно обратного электронного тока

Если время вытеснения виртуального катода является временем генерации сигнала, то время рассеяния ионного облака — это время его отсутствия.

4. Заключение

Наибольшее влияние на режим импульсной генерации оказывает процесс вытеснения виртуального катода и процесс рассеяния ионного облака. Они занимают на порядок больше времени чем образование виртуального катода. При увеличении скоростей электронов качественная картина возникновения генерации сохраняется, но изменяются ее параметры.

Список литературы

1. Филатов Р. А. Калинин Ю. А., Храмов А. Е., Трубецков Д. И. Влияние положительных ионов на колебательные процессы в электронном пучке с виртуальным катодом // Изв. вузов. Радиофизика. 2006. Т. 49. № 10. С. 853—863.
2. Филатов Р. А., Храмов А. Е. Моделирование колебательных процессов в пучково-плазменной системе с виртуальным катодом в газонаполненном пространстве взаимодействия // Физика плазмы. 2011. Т. 37. № 5. С. 429—443.
3. Фролов Н. С. Короновский А. А. Храмов А. Е. Изучение механизмов генерации в системах трехмерного электромагнитного моделирования электронного потока // Изв. РАН. Сер. физическая. 2014. Т. 78. № 12. С. 1604—1607.
4. Башкирев А. М., Шейн А. Г. Численное моделирование релятивистского электронного потока в газонаполненном пространстве взаимодействия на графическом процессоре // Интернет-журнал Науковедение. 2017. Т. 9. № 2. С. 78.

References

- [1] R. A. Filatov et al. “Influence of positive ions on oscillatory processes in an electron beam with virtual cathode,” *Radiophysics and Quantum Electronics*, vol. 49, no. 10, pp. 769—778, 2006.
- [2] R. A. Filatov and A. E. Hramov, “Simulation of oscillatory processes in a beam-plasma system with a virtual cathode in gas-filled interaction space,” *Plasma Physics Reports*, vol. 37, no. 5, pp. 395—408, 2011.
- [3] N. S. Frolov, S. A. Kurkin, A. A. Koronovskii, A. E. Hramov, and Y. A. Kalinin, “Investigating mechanisms of generation in a virtual cathode system using a 3D electron flow model,” *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*, vol. 78, no 12, pp. 1313—1315, 2014.
- [4] A. M. Bashkirev and A. G. Shein “Numerical simulation of a relativistic electron beam in a gas-filled interaction space using a graphics processor,” *Naukovedenie (Internet-journal)*, vol. 9, no 2, p. 78, 2017. (In Russ.).

Информация об авторах

Шейн Александр Георгиевич, доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград, Российская Федерация.

Башкирев Александр Михайлович, аспирант кафедры физики Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград, Российская Федерация.

Information about the authors

Alexandr G. Shein, Dr. Sci. (Phys.), physics chair professor of the Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation.

Alexandr M. Bashkirev, graduate student of the Physics chair of the Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation.

УДК 004.932.2

Оценка интенсивности осадков за счет обработки изображения от камеры видимого диапазона

¹ Гармаш В. Н., ² Коробочкин Д. М., ³ Матвеев С. А., ³ Петров Ю. В.,
³ Рудыка С. А., ³ Страхов С. Ю.

¹АО «Заслон»

ул. Коли Томчака, 9, Санкт-Петербург, 196084, РФ
gar-vitalij@yandex.ru

²ООО «Ситиман»

Малый проспект В. О., д. 54, корп. 2, Санкт-Петербург, 199178, РФ
dmitriy.korobochkin@gmail.com

³Балтийский государственный технический университет
«ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова

ул. 1-я Красноармейская, д. 1, Санкт-Петербург, 190005, РФ
petrov-i4@yandex.ru

Получено: 3 июня 2018 г.

Отрецензировано: 20 июня 2018 г.

Принято к публикации: 2 июля 2018 г.

Аннотация: Предлагается метод оценки интенсивности осадков с помощью обработки изображений, полученных с камеры видимого диапазона. Основным преимуществом использования данного метода является возможность определения интенсивности по единственному изображению, что позволяет применять метод на летательных аппаратах. За счет уменьшения количества операций свертки и умножения метод обладает меньшей вычислительной сложностью.

Ключевые слова: обнаружение осадков, определение интенсивности осадков, обработка изображений.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Гармаш В. Н., Коробочкин Д. М., Матвеев С. А., Петров Ю. В., Рудыка С. А., Страхов С. Ю. Оценка интенсивности осадков за счет обработки изображения от камеры видимого диапазона // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2018. Т. 1, № 3. С. 282—296.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011): Гармаш, В. Н. Оценка интенсивности осадков за счет обработки изображения от камеры видимого диапазона / В. Н. Гармаш, Д. М. Коробочкин, С. А. Матвеев, Ю. В. Петров, С. А. Рудыка, С. Ю. Страхов // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. — 2018. — Т. 1, № 3. — С. 282—296.

Estimation of precipitation intensity due to image processing from the camera of the visible range

¹ V. N. Garmash, ² D. M. Korobochkin, ³ S. A. Matveev, ³ Y. V. Petrov,
³ S. A. Rudyka, and ³ S. Y. Strakhov

¹“ZASLON” JSC

9, Koli Tomchaka Str., Saint-Petersburg, 196084, Russian Federation
gar-vitalij@yandex.ru

²“Citymap” LLC

54/2, Small avenue V.O., Saint-Petersburg, 199178, Russian Federation
dmitriy.korobochkin@gmail.com

³Baltic State Technical University VOENMEH named after D. F. Ustinov,
1, 1st Krasnoarmeyskaya Str., Saint-Petersburg, 190005, Russian Federation
petrov-i4@yandex.ru

Received: June 3, 2018

Peer-reviewed: June 20, 2018

Accepted: July 2, 2018

Abstract: A method for estimating the intensity of precipitation using image processing from a camera of the visible range has been defined. The main advantage of using this method is the ability to determine the intensity using only one image. This feature allows this method on aircraft. The number of operations of convolution and multiplication was reduced. Therefore, the method has less computational complexity.

Keywords: precipitation detecting, estimating the intensity of precipitation, image processing.

For citation (IEEE): V. N. Garmash et al. “Estimation of precipitation intensity due to image processing from the camera of the visible range” *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 1, no. 3, pp. 282–296, 2018. (In Russ.).
doi: 10.15826/icrt.2018.01.3.22

1. Введение

Традиционно для определения интенсивности осадков применяют способ их сбора в специальные осадкосборные устройства [1, 2], либо проводят подсчет количества капель осадков, пролетающих через пространство между обкладками специальных измерительных конденсаторов [3]. Данные методы называются методами прямого измерения. К преимуществам данных способов можно отнести высокую точность измерений.

Однако их применимость существенно ограничена, поскольку для реализации требуются специальные сложно реализуемые условия организации процесса сбора. Такие как: минимизация воздействия ветра на прибор, а также влияния самой станции на воздушный поток. Известен ряд измерительных систем, способ измерения в которых основан на зондировании исследуемой области атмосферы с помощью поочередно посылаемых оптических лазерных [4], радиолокационных [5] или акустических импульсов [6]. В процессе зондирования осуществляется прием рассеянного излучения с последующей обработкой принятых сигналов и анализом метеорологических данных. Эти системы требуют специальной настройки, монтажа, обслуживания, обладают высоким энергопотреблением.

Известен ряд алгоритмов, позволяющих детектировать наличие осадков и уровень их интенсивности на основе обработки видеоданных [7, 8—11, 12, 13]. К основным их недостаткам стоит отнести то, что все эти алгоритмы ориентированы на обработку видеоизображений, получаемых с помощью стационарных камер, поскольку используют стохастическую модель неподвижного заднего плана и дают существенно худшие результаты на фоне движущихся объектов, что делает невозможным их применение на подвижных носителях.

Таким образом, задача автоматического детектирования и определения интенсивности осадков без специализированного и дорогостоящего оборудования при помощи камеры видимого диапазона, установленной на подвижном носителе, является актуальной.

2. Описание способа

Присутствие дождевых осадков на изображении с камеры видимого диапазона, во-первых, приводит к общему снижению контрастности, во-вторых, к проявлению импульсных аномалий особого вида. Данные аномалии, в случае дождя, представляют собой сонаправленные протяженные низкоуровневые детали, подобные штриховым линиям. Пример таких деталей показан на рисунке 1а.

Суть разработанного метода заключается в выделении этих аномалий в виде сонаправленных протяженных штриховых линий (рисунок 1б) путем обработки одного изображения и оценке их объема на полученном изображении [14].

На рисунке 1а, как можно заметить, что следы выпадения осадков в виде дождя имеют вид протяженных линий с близким друг к другу углом наклона, поэтому на первом этапе необходимо определить преимущественное направление наклона этих линий (угол выпадения осадков). На

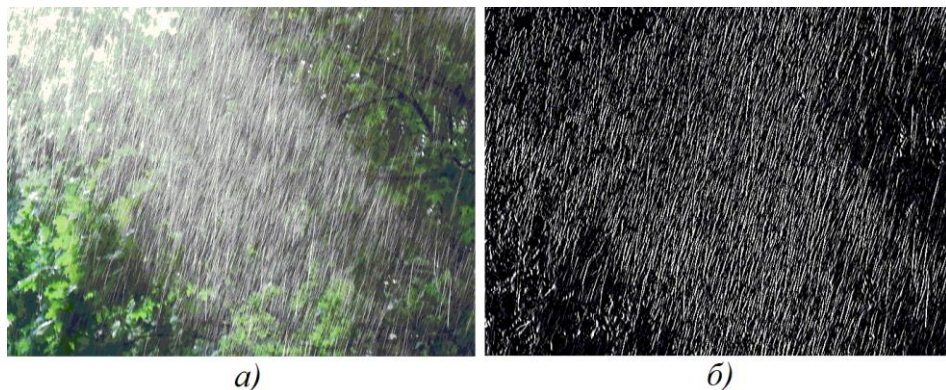


Рис. 1. Пример изображения сцены с дождем в виде сонаправленных протяженных линий:
 а — исходное изображение; б — выделенные аномалии.

Fig. 1. An example image of a scene with rain in the form of co-directed extended lines
 а – the original image; б – highlighted anomalies

втором и третьем этапе производится выделение всех линий изображения, параллельных рассчитанному направлению (рисунок 1б). На последнем этапе определяется интенсивность следов выпадения дождя, причем ее необходимо нормировать относительно размера изображения. Интенсивность следов выпадения дождя пропорциональна объему осадков, выпадающих за единицу времени.

Рассмотрим каждый из этапов обнаружения осадков и определения их интенсивности более подробно.

1. Поиск модуля и направления градиента $\nabla_I(i, j)$ функции яркости изображения $I(i, j)$ осуществляется по формулам [15]:

$$|\nabla_I(i, j)| = \sqrt{\left(\frac{\partial I(i, j)}{\partial i}\right)^2 + \left(\frac{\partial I(i, j)}{\partial j}\right)^2}, \quad (1)$$

$$\arg(\nabla_I(i, j)) = \arctg\left(\frac{\partial I(i, j)}{\partial i} / \frac{\partial I(i, j)}{\partial j}\right). \quad (2)$$

где: $i = 0 \dots N - 1$, $j = 0 \dots M - 1$, где N и M – размеры изображения по горизонтали и вертикали соответственно. Для нахождения частных про-

изводных $\frac{\partial I(i, j)}{\partial i}$ и $\frac{\partial I(i, j)}{\partial j}$ в каждой точке изображения (исключая его границы) осуществляется дискретная свертка функции яркости изображе-

ния с масочными операторами Собеля S_x и S_y методом скользящего окна:

$$\begin{aligned}\frac{\partial I(i, j)}{\partial i} &= \sum_{n=0}^2 \sum_{m=0}^2 I(i+n-1, j+m-1) \cdot S_x(n, m), \\ \frac{\partial I(i, j)}{\partial j} &= \sum_{n=0}^2 \sum_{m=0}^2 I(i+n-1, j+m-1) \cdot S_y(n, m),\end{aligned}\quad (3)$$

где маски S_x и S_y представляют собой двумерные дискретные множества весовых коэффициентов с размерностью 3×3 следующего вида [15]:

$$S_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}, \quad S_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

После нахождения градиентов в каждой точке изображения по формулам (1, 2) строится их ориентированная гистограмма [16]. Ориентированная гистограмма градиентов двумерной функции яркости изображения состоит из следующих угловых компонент: 0° (180°), 30° (210°), 45° (225°), 60° (240°), $\pm 90^\circ$, 120° (-60°), 135° (-45°), 150° (-30°). Возможно формирование гистограммы градиентов и с меньшим угловым шагом, однако для этого на следующем этапе потребуется осуществлять свертку изображения с двумерными масками большей размерности (5×5 , 7×7 и т. д.), что связано с дополнительными вычислительными затратами. Формируется гистограмма следующим образом: каждая точка изображения (i, j) вносит вклад, равный (1), в ту угловую компоненту гистограммы, которая ближе всего соответствует направлению градиента (2). Преимущественное направление вектора градиента θ лежит в промежутке, покрываемом максимальной компонентой гистограммы. Именно эта компонента соответствует углу выпадения осадков.

С целью выделения контуров, соответствующих углу выпадения осадков, производится свертка исходного изображения $I(i, j)$ с одной из масок S_θ :

$$R(i, j) = I(i, j) * S_\theta, \quad (5)$$

где:

$$\begin{aligned}
 S_0 &= \begin{vmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{vmatrix}, S_{30} = \begin{vmatrix} 2 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{vmatrix}, \\
 S_{45} &= \begin{vmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -2 \end{vmatrix}, S_{60} = \begin{vmatrix} 2 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -1 \end{vmatrix}, \\
 S_{90} &= \begin{vmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{vmatrix}, S_{120} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -2 \\ 1 & 1 & 0 \end{vmatrix}, \\
 S_{135} &= \begin{vmatrix} 0 & -1 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & 1 & 0 \end{vmatrix}, S_{150} = \begin{vmatrix} 0 & -2 & -2 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}
 \end{aligned} \tag{6}$$

Свертка осуществляется аналогично (3) с той маской S_θ , угловая ориентация θ которой соответствует преимущественному направлению вектора градиента изображения, вычисленному на предыдущем этапе алгоритма. Здесь S_0 и S_{90} представляют собой горизонтальную и вертикальную маску оператора Собеля (4), а остальные получены путем их поворота на соответствующий угол. Следует отметить, что для масок (4) с размерностью 3×3 поворот на углы 30° , 45° , 60° , 90° , 120° , 135° и 150° реализуется без искажений их дифференцирующих свойств.

Результаты свертки изображений без дождя и с дождем (рисунки 2а и 2б) с маской S_{90} представлены на рисунках 2в и 2г соответственно. Как видно, контур выделяемого изображения (препарат, [17]) $R(i, j)$, полученный в дождливую погоду, отличается высокой интенсивностью регулярных сонаправленных протяженных импульсных аномалий («линий дождя»). Оба препарата $R(i, j)$ при этом содержат контуры объектов изображения, имеющие вид ярких утолщенных линий, а также двумерные импульсные помехи случайной формы.

Для подавления контуров объектов изображения и случайных шумовых составляющих производится дискретная свертка препарата $R(i, j)$ с двумерным вейвлетом Хаара:

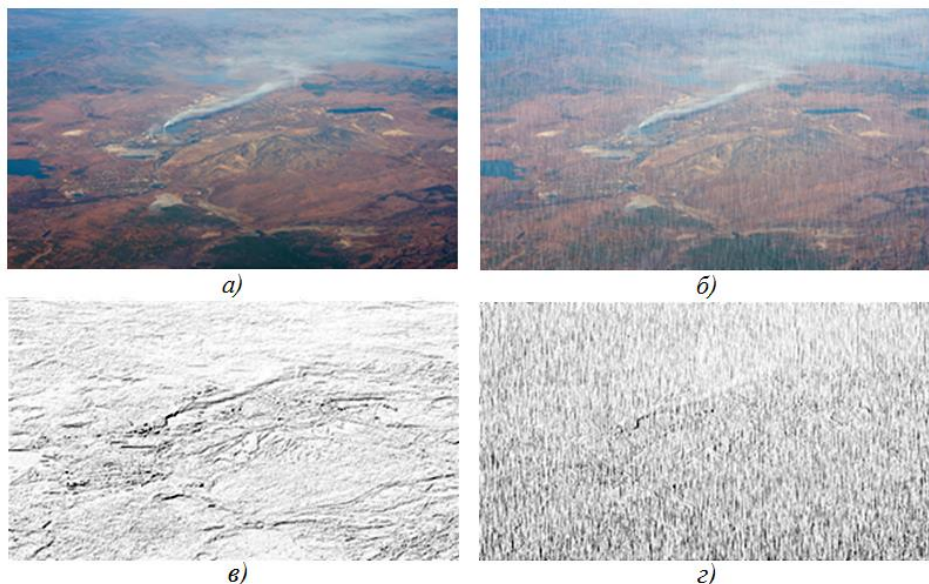


Рис. 2. Изображения видимого диапазона без дождя (слева) и с дождем (справа) и результаты их обработки: а, б — исходные; в, г — первая свертка (рисунок «в» представлен с инверсными цветами).

Fig. 2. Images of visible range without rain (left) and with rain (right) and the results of their processing: а, б — the source image; в, г — first convolution (image "в" is presented in inversed colors)

$$G(i, j) = R(i, j) * H_{\theta}. \quad (7)$$

Вейвлеты Хаара представляют собой кусочно-постоянные функции, заданные на конечных интервалах различных масштабов и принимающие значения -1 или $+1$ [18, 19]. В настоящее время они находят широкое применение при обработке изображений для поиска объектов на нем [20].

Для детектирования «линий дождя» предлагается использовать вейвлеты Хаара H_{θ} с различными углами наклона θ , изображенные на рисунке 3.



Рис. 3. Разновидности вейвлетов Хаара для детектирования тонких линий с различными углами наклона.

Fig. 3. Varieties of Haar wavelets for detecting thin lines with different angles of inclination

Маски H_θ , соответствующие вейвлетам Хаара, представленным на рисунке 3, имеют следующий вид:

$$\begin{aligned}
 H_0 &= \begin{vmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 \end{vmatrix}, \quad H_{30} = \begin{vmatrix} -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{vmatrix}, \\
 H_{45} &= \begin{vmatrix} -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 \end{vmatrix}, \quad H_{60} = \begin{vmatrix} -1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 \end{vmatrix}, \\
 H_{90} &= \begin{vmatrix} -1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 \end{vmatrix}, \quad H_{120} = \begin{vmatrix} -1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 \end{vmatrix}, \\
 H_{135} &= \begin{vmatrix} 1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 \end{vmatrix}, \quad H_{150} = \begin{vmatrix} 1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 \end{vmatrix}
 \end{aligned} \tag{8}$$

Дискретная свертка осуществляется аналогично (3) с той маской, угловая ориентация θ которой соответствует преимущественному направлению вектора градиента изображения, вычисленному на первом этапе алгоритма.

Результаты свертки препаратов $R(x, y)$ с вейвлетом Хаара представлены на рисунках 4а и 4б.

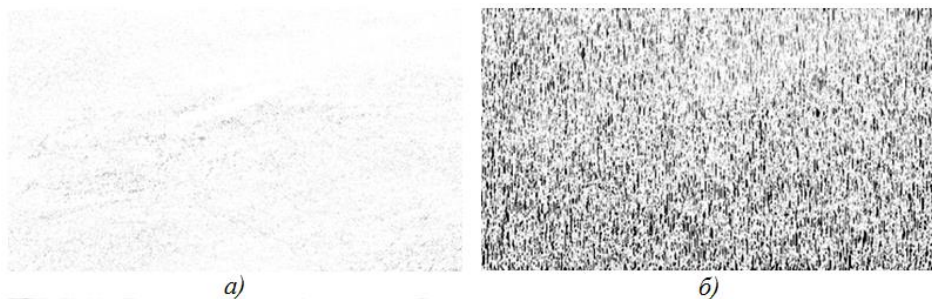


Рис. 4. Результаты свертки с вейвлетами Хаара изображения без дождя (а) и с дождем (б) (рисунок «б» представлен с инверсными цветами).

Fig. 4. The result of convolution Haar wavelet with the images without rain (a) and with rain (b) (image «б» is presented in inversed colors)

Заключительным этапом является определение интенсивности обнаруженных «линий дождя» J^{rain} :

$$J^{rain} = \frac{\sum_i \sum_j G(i, j)}{M \cdot N}, \quad (9)$$

где M и N — размеры изображения по вертикали и горизонтали. Решение о наличии дождя и его интенсивности принимается при превышении J^{rain} некоторых пороговых значений.

3. Проведение исследований

Для проведения исследований была сформирована выборка шестидесяти изображений, полученных имитационным математическим моделированием, на которых отсутствуют или присутствуют осадки в виде дождя различной интенсивности (слабый, средний и сильный дождь).

По данной выборке изображений были определены интенсивности осадков и получены их статистические характеристики, приведенные в таблице 1.

Таблица 1. Статистические характеристики интенсивности осадков

Параметр	Нет дождя	Слабый дождь	Средний дождь	Сильный дождь
Математическое ожидание $M(J^{rain})$	2,84	8,73	15,73	20,55
Дисперсия $\sigma^2(J^{rain})$	1,81	0,75	3,01	6,15
Среднеквадратическое отклонение $\sigma(J^{rain})$	1,34	0,87	1,74	2,48

На рисунке 5 изобразим плотности вероятности нормальных законов распределения для математического ожидания и среднеквадратического отклонения различных видов дождя, полученных в таблице 1.

Используя полученные плотности вероятности, определим пороги, полученные в результате статистического анализа выборки видеоизображений. Они представлены в таблице 2.

Таблица 2. Пороговые значения интенсивности осадков

Вид осадков	Нижний порог	Верхний порог
Нет дождя	0	6
Слабый дождь	6	12
Средний дождь	12	18
Сильный дождь	18	—

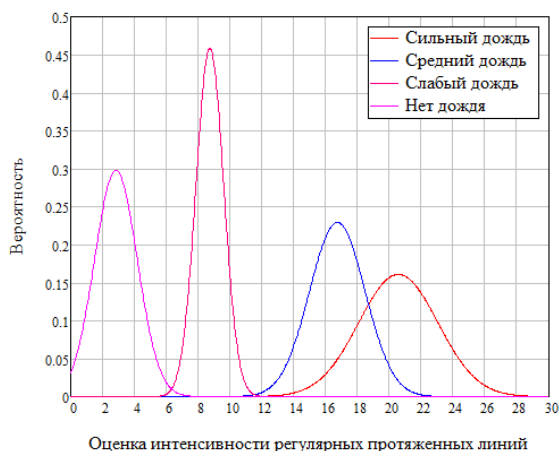


Рис. 5. Плотности вероятности различных видов дождя.

Fig. 5. Probability densities for various types of rain

График зависимости интенсивности осадков (мм/ч) от интенсивности обнаруженных «линий дождя» J^{rain} представлен на рисунке 6. Аппроксимирующее выражение имеет вид:

$$I = \frac{1}{60} \cdot \left(1 + \frac{J^{rain}}{6} \right)^3 \quad (10)$$

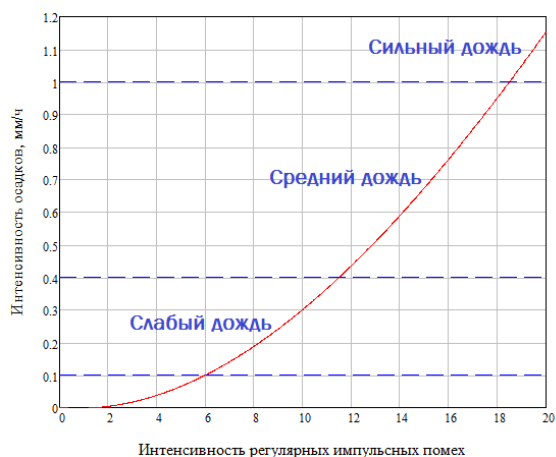
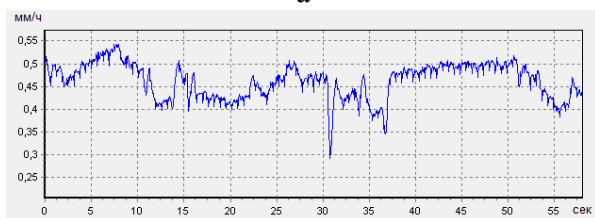


Рис. 6. Взаимосвязь интенсивности регулярных протяженных импульсных помех и интенсивности осадков.

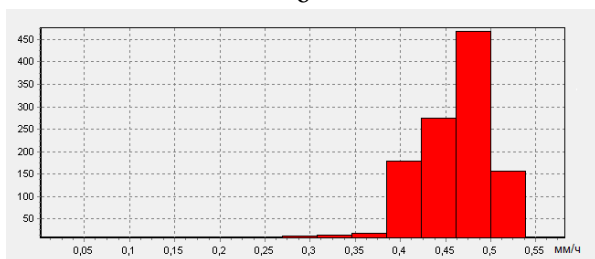
Fig. 6. The relationship of the intensity of regular extended pulse noise and precipitation intensity



а



б



в

Рис. 7. Пример видеопоследовательности (а) и полученные при ее обработке временная зависимость (б) и гистограмма (в) оценок интенсивности осадков.

Fig. 7. An example of a video sequence (a) and obtained during its processing time dependence (b) and histogram (c) of precipitation intensity estimates

Проведен анализ разработанных алгоритмов определения метеоусловий с точки зрения влияния таких параметров изображения, как яркость, контраст, размер изображения. Проведенный анализ показал, что изменение яркости изображений (на величину от -50% до $+50\%$) изменяет

оценку интенсивности дождя не более чем на 20 %; изменение контрастности изображения (на величину от -50 % до +50 %) — не более чем на 10 % (т. е. практически не оказывает влияния); изменение размера изображения (путем вырезания участка изображения) — не более чем на 25 %.

Предложенный алгоритм позволяет определять интенсивность осадков по единственному видеокадру, однако рассчитанное таким образом значение интенсивности носит случайный характер. Предполагается, что более точную оценку интенсивности осадков можно получить при обработке последовательности видеок кадров.

Для подтверждения было проведено исследование возможности использования последовательности изображений (видео) при неподвижной и подвижной камеры. Дождь моделировался как случайный коррелированный во времени процесс (коэффициент корреляции соседних изображений был равен 0.9). Для оценки интенсивности дождя использовалось среднее значение рассчитанных интенсивностей за период наблюдения. Для примера на рисунке 7 приведены три кадра из видео длительностью 60 сек (а), изменение оценки интенсивности осадков во времени (б) и гистограмма распределения оценок (в).

Как видно, закон распределения интенсивности осадков близок к нормальному, среднее значение составило 0.46 мм/ч («средний» дождь), а СКО — около 12 % от величины математического ожидания.

4. Заключение

Разработан способ обнаружения и оценки интенсивности осадков в виде дождя [14]. Существующие способы [7, 8—11, 12, 13] используют метод вычитания фона последовательности кадров изображения, что исключает их применение на подвижных носителях. Предлагаемый способ лишен указанного недостатка за счет обработки всего одного кадра изображения. Вычислительная сложность обеспечивает реализацию в реальном времени.

Получена взаимосвязь интенсивности регулярных протяженных импульсных помех и интенсивности осадков.

В результате проведенных исследований установлено, что изменение освещенности сцены изображения изменяет оценку интенсивности не более чем на 20 %; контрастности изображения — не более, чем на 10 %; размера изображения — не более, чем на 25 %. Оценка интенсивности осадков возможна и при использовании последовательности кадров (видеоизображения), дисперсия ошибки оценивания при этом может быть уменьшена до 10—15 % от среднего значения.

Список литературы

1. Zhao X. The application of histogram on rain detection in video // Proceedings of the 11th Joint Conference on Information Science. 2008.
2. Куринны С. А., Рогоцкий В. В. А. с. 1728830 (СССР), МПК7 G 01 W 1/14. Осадкомер. Оpubл. в Б. И., 1993, № 2.
3. Розинский Л. С., Савченков А. Г., Буданова В. Н. Пат. 2054730 (РФ), МПК H 01 J 9/04. Способ изготовления многлучевого электронного прибора. Оpubл. 20.02.1996.
4. Белый Д. М. Пат. 2097797 (РФ), МПК G 01 W 1/14. Индикатор атмосферных осадков. Оpubл. 27.11.1997.
5. Зуев В. Е., Макушин Ю. С., Пономарев Ю. Н., Тихомиров Б. Л. А. с. 1187595 (СССР), МПК7 G 01 W 1/16. Способ дистанционного измерения атмосферные параметры. Оpubл. в Б. И., 1993, № 4.
6. Байсиев Х.-М. Х., Атабиев М. Д., Залиханов М. Ч., Капитанников А. В. Пат. 2097798 (РФ), МПК G 01 W 1/14. Способ измерения осадков. Оpubл. 27.11.1997.
7. Съедин В. Я., Шаманаева Л. Г. А. с. 932435 (СССР), МПК7 G 01 W 1/14. Способ измерения интенсивности атмосферных осадков. Оpubл. в Б. И., 1982, № 20.
8. Barnum P. C., Narasimhan S., Kanade T. Analysis of rain and snow in frequency space // International Journal of Computer Vision. 2010. Т. 86, № 2—3. С. 256—274.
9. Garg K., Nayar S. K. Detection and removal of rain from videos // Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference. 2004. Т. 521. С. I-528—I-535.
10. Malekshahi G., Ebrahimnezhad H. Detection and Removal of Rain from Video Using Predominant Direction of Gabor Filters // Journal of Information Systems and Telecommunication. 2015. Т. 3, № 1. С. 41—49.
11. Park W.-J., Lee K.-H. Rain removal using Kalman filter in video // International Conference on, IEEE. 2008. С. 494—497.
12. Shen M., Xue P. A fast algorithm for rain detection and removal from videos // IEEE International Conference on, IEEE. 2011. С. 1—6.
13. Zhang X., Li H., Qi Y., Leow W. K., Ng T. K. Rain removal in video by combining temporal and chromatic properties // Multimedia and Expo, IEEE International Conference on, IEEE. 2006. С. 461—464.
14. Петров Ю. В., Гармаш В. Н., Коробочкин Д. М., Страхов С. Ю., Тураева А. Н. Пат. 2611696 (РФ). Способ определения интенсивности осадков в реальном времени в авиационных системах улучшенного видения. Оpubл. 28.02.2017.
15. Грузман И. С., Киричук В. С., Косых В. П., Перетягин Г. И., Спектор А. А. Цифровая обработка изображений в информационных системах : учебное пособие. Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2000. 168 с.
16. Dalal N., Triggs B. Histograms of oriented gradients for human detection // Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Т. 1. 2005. С. 886—893.
17. Красильников Н. Н. Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений : учеб. пособие. СПб. : БХВ-Петербург, 2011. 608 с.
18. Anuj B., Rashid A. Image compression using modified fast Haar wavelet transform // World Applied Sciences Journal. 2009. Т. 7. № 5. С. 647—653.
19. Viola P., Jones M. Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features // Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2001. Т. 1. С. 511—518.
20. Чуи Ч. Введение в вейвлеты. Москва : Мир, 2001. 412 с.

References

- [1] X. Zhao et al. "The Application of Histogram on Rain Detection in Video," *Proc. 11th Jt. Conf. Inf. Sci.*, 2008, pp. 1–6.
- [2] S. Kurinny and V. Rogotskiy, "Osadkomer [Sediment gauge]," USSR Auth. Certificate 1728830, 1993. (In Russ.).
- [3] L. Rozinskiy et al. "A method of manufacturing a multibeam electronic device," RF Pat. 2054730, February 20, 1996. (In Russ.).
- [4] D. Belyy, "A method of manufacturing a multibeam electronic device," RF Pat. 2097797, November 27, 1997. (In Russ.).
- [5] V. Zuyev et al. "Sposob distantsionnogo izmereniya atmosferynyye parametrov [Method for remote measurement of atmospheric parameters]," USSR Auth. Certificate 1187595, 1993. (In Russ.).
- [6] K. Baysiyev et al. "Method for measuring precipitation," RF Pat. 2097798, November 27, 1997. (In Russ.).
- [7] V. S'yedin and L. Shamanayeva, "Sposob izmereniya intensivnosti atmosferynykh osadkov [The method of measuring the intensity of precipitation]," USSR Auth. Certificate 932435, 1982. (In Russ.).
- [8] P. C. Barnum et al. "Analysis of rain and snow in frequency space," in *International Journal of Computer Vision*, 2010.
- [9] K. Garg and S. K. Nayar, "Detection and removal of rain from videos," in *Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2004. CVPR 2004*, vol. 1, pp. I-528–I-535.
- [10] G. Malekshahi and H. Ebrahimnezhad, "Detection and Removal of Rain from Video Using Predominant Direction of Gabor Filters," *Journal of Information Systems and Telecommunication*, vol. 3, no. 1, pp. 41–49, 2015.
- [11] W. Park and K. Lee, "Rain Removal Using Kalman Filter in Video," in *2008 International Conference on Smart Manufacturing Application*, 2008, pp. 494–497.
- [12] M. Shen and P. Xue, "A fast algorithm for rain detection and removal from videos," in *2011 IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, 2011, pp. 1–6.
- [13] X. Zhang et al. "Rain Removal in Video by Combining Temporal and Chromatic Properties," in *2006 IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, 2006, pp. 461–464.
- [14] Y. Petrov et al. "The method of determining the intensity of precipitation in real time in aircraft enhanced vision system," RF Pat. 2611696, February 28, 2017. (In Russ.).
- [15] I. Gruzman et al. *Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy v informatsionnykh sistemakh* [Digital image processing in information systems]. Novosibirsk: NGTU, 2000. (In Russ.).
- [16] N. Dalal and B. Triggs, "Histograms of oriented gradients for human detection," in *2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05)*, 2005, vol. 1, pp. 886–893.
- [17] N. Krasil'nikov, *Tsifrovaya obrabotka 2D- i 3D-izobrazheniy* [Digital processing of 2D and 3D images]. Saint-Petersburg: BKHV-Peterburg, 2011. (In Russ.).
- [18] P. Soni, "Image compression and reconstruction using modified fast haar wavelet transform," *ARPN J. Eng. Appl. Sci.*, 2015.
- [19] P. Viola and M. Jones, "Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features," 2001.
- [20] C. Chui, *Vvedeniye v veyvlety* [Introduction to Wavelets]. Moscow : Mir, 2001. (In Russ.).

Информация об авторах

Гармаш Виталий Николаевич, к. т. н., начальник лаборатории программного обеспечения АО «Заслон», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация.

Коробочкин Дмитрий Михайлович, к. т. н., программист ООО «Ситимап», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация.

Матвеев Станислав Алексеевич, к. т. н., проректор по научной работе и инновационно-коммуникационным технологиям Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация.

Петров Юрий Витальевич, к. т. н., доцент кафедры радиоэлектронных систем управления Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация.

Рудыка Станислав Анатольевич, начальник научно-исследовательской части Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация.

Страхов Сергей Юрьевич, д. т. н., декан факультета информационных и управляющих систем Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация.

Information about the authors

Vitaliy N. Garmash, Cand. Sci. (Eng.), “Zaslon” JSC, chief of software laboratory, Saint-Petersburg, Russian Federation.

Dmitriy M. Korobochkin, Cand. Sci. (Eng.), “Citymap” LLC, Software Developer, Saint-Petersburg, Russian Federation.

Stanislav A. Matveev, Cand. Sci. (Eng.), vice-rector for research and innovation and communication technologies, Baltic State Technical University VOENMEH n. a. D. F. Ustinov, Saint-Petersburg, Russian Federation.

Yuriy V. Petrov, Cand. Sci. (Eng.), associate professor, Baltic State Technical University VOENMEH n. a. D. F. Ustinov, Saint-Petersburg, Russian Federation.

Stanislav A. Rudyka, head of research unit, Baltic State Technical University VOENMEH n. a. D. F. Ustinov, Saint-Petersburg, Russian Federation.

Segey Y. Strakhov, Dr. Sci. (Eng.), professor, Baltic State Technical University VOENMEH n. a. D. F. Ustinov, Saint-Petersburg, Russian Federation.

УДК 621.391

Координатный базис на основе псевдослучайных последовательностей

Дегтярев А. Н., Прудис Е. С.

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 29905, Российская Федерация
degtyaryov1966@yandex.ru

Получено: 4 июня 2018 г.

Отрецензировано: 19 июня 2018 г.

Принято к публикации: 2 июля 2018 г.

Аннотация: В широкополосных системах передачи информации используются шумоподобные сигналы, полученные на основе псевдослучайных последовательностей. Наибольшее распространение получили M -последовательности, которые имеют хорошие корреляционные свойства. Однако M -последовательности не являются ортогональными. В настоящей работе обосновывается методика создания ортогональных базисов на основе M -последовательностей. Доказываются две теоремы о линейной независимости функций, полученных путем циклического сдвига некоторой исходной дискретной функции. Для ортогонализации M -последовательностей используется метод ортогонализации, состоящий в определении веса ортогональности линейно независимых функций.

Ключевые слова: широкополосные системы связи, шумоподобные сигналы, M -последовательность, ортогональные функции, вес ортогональности.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Дегтярев А. Н., Прудис Е. С. Координатный базис на основе псевдослучайных последовательностей // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2018. Т. 1, № 3. С. 297—305.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011): Дегтярев, А. Н. Координатный базис на основе псевдослучайных последовательностей / А. Н. Дегтярев, Е. С. Прудис // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. — 2018. — Т. 1, № 3. — С. 297—305.

Coordinate basis which foundation on pseudo-random sequences

A. N. Degtyaryov and E. S. Prudius

Sevastopol State University

33, Universitetskaya Str., Sevastopol, 299053, Russian Federation

degtyaryov1966@yandex.ru

Received: June 4, 2018

Peer-reviewed: June 19, 2018

Accepted: July 2, 2018

Abstract: *Broadband data transmission systems are used noise-like signals derived from pseudorandom sequences. The most widely used m -sequences have good correlation properties. However, M -sequences are not orthogonal sequences. In this work the methods of creation of orthogonal bases on the basis of M -sequences are proved. Two theorems on the linear independence of the functions obtained by cyclic shift of some of the original discrete functions are provide. For orthogonalization of M -sequences, the method of orthogonalization is used, which consists in determining the weight of orthogonality of linearly independent functions.*

Keywords: *broadband communication systems, noise-like signals, M -sequence, orthogonal functions, weight of orthogonality.*

For citation (IEEE): A. N. Degtyaryov and E. S. Prudius, "Coordinate basis which foundation on pseudo-random sequences" *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 1, no. 3, pp. 297–305, 2018. (In Russ.). doi: 10.15826/icrt.2018.01.3.23

1. Введение

В широкополосных системах передачи информации используются шумоподобные сигналы (ШПС). Наибольший интерес представляют ШПС, сформированные на основе псевдослучайных последовательностей (ПСП). В силу простоты реализации и хороших корреляционных свойств широкое применение нашли M -последовательности.

Напомним, что формируются M -последовательности с помощью линейных переключающих схем на основе сдвигающих регистров. При этом, если применяется регистр с k разрядами, а в M -последовательности используются p различных видов импульсов (отличающихся, например, фазами), то длина M -последовательности равна $p^k - 1$.

Все множество M -последовательностей, соответствующих одному образующему полиному, получается с помощью одного цифрового автомата. M -последовательности, принадлежащие одному множеству, являются циклически смещенными друг относительно друга.

Отметим, что сумма по модулю числа p двух M -последовательностей одного множества, является M -последовательностью, того же множества. Кроме того, произведение двух двоичных M -последовательностей является M -последовательностью того же множества, умноженной на минус единицу.

Существенным недостатком M -последовательностей является отсутствие ортогональности, наличие которой позволило бы упростить техническую реализацию приемных устройств систем передачи информации и устранить межсимвольную интерференцию, возникающую при демодуляции сигналов.

Целью настоящей работы является разработка методики создания ортогональных базисов на основе ПСП.

2. Обоснование разрабатываемой методики

Теорема 1. M -последовательности, полученные путем циклического сдвига одной M -последовательности на $i=1,2,3,\dots, p^k-2$ позиций (p и k некоторые целые числа), являются линейно независимыми [1].

Доказательство: Зададим некоторую M -последовательность. Путем циклического сдвига этой M -последовательности на $i=1,2,3,\dots, p^k-2$ позиций получим остальные p^k-2 M -последовательности. Составим из значений всех полученных функций квадратную матрицу размерностью $(p^k-1) \times (p^k-1)$. Строки и столбцы этой матрицы являются линейно независимыми, так как все они получаются друг из друга с помощью нелинейной операции суммирования по модулю числа p . Таким образом, определитель этой матрицы не равен нулю. Следовательно, M -последовательности, полученные путем циклического сдвига одной M -последовательности на $i=1,2,3,\dots, p^k-2$ позиций (p и k некоторые целые числа), являются линейно независимыми.

Теорема доказана.

Если $p=2$, то приходим к двоичным M -последовательностям, которые принимают только два значения «+1» и «-1». Этот класс ПСП и согласованные фильтры для них наиболее просто реализуются технически.

Недостатком разложения функции по М-последовательностям является ограничение длины разлагаемой функции. Она должна строго равняться $p^k - 1$. Частично обойти этот недостаток можно на основе следующей теоремы.

Теорема 2. Дискретные функции нечетной длины $2n+1$ ($n = 1, 2, 3, \dots$), принимающие значения «-1» и «1» (положительных значений на одно больше, чем отрицательных), полученные путем циклического сдвига образующей функции на $i=1, 2, 3, \dots, 2n$ позиций являются линейно независимыми. Полученные аналогичным образом дискретные функции четной длины $2n$, (число положительных значений равно числу отрицательных значений) являются линейно зависимыми [1].

Доказательство: Зададим некоторую дискретную функцию длиной $2n$. Получим $2n-1$ функцию, путем циклического сдвига заданной функции на $1, 2, \dots, 2n-1$ позицию. Из значений полученных функций составим определитель порядка $2n$. Первая строка содержит n единиц со знаком «+» и n единиц со знаком «-». Переставим столбцы так, чтобы в первой строке определителя стояло подряд n единиц со знаком «+». При этом каждая последующая строка определителя может быть получена путем циклического сдвига предыдущей строки. Имеем

$$n \left\{ \begin{array}{c} (n+1) \end{array} \right. \left| \begin{array}{cccccccccc} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & -1 & -1 & -1 & \dots & -1 \\ -1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 1 & -1 & -1 & \dots & -1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ -1 & -1 & -1 & \dots & -1 & 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{array} \right|. \quad (1)$$

Определитель (1) содержит две строки (1-ю и $n+1$ – ю), которые отличаются только знаком, следовательно, определитель равен 0. Все определители такого вида отличаются только знаком, т.е. они также равны нулю. Таким образом, дискретные функции четной длины являются линейно зависимыми.

Рассмотрим теперь определитель нечетного порядка $(2n+1)$. Путем перестановок столбцов получим в первой строке подряд n единиц со знаком «+» и $n+1$ единиц со знаком «-». При этом каждая последующая строка определителя может быть получена путем циклического сдвига предыдущей строки. Имеем

$$\begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & \dots & -1 \\ -1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & \dots & -1 \\ -1 & -1 & 1 & \dots & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & \dots & -1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ -1 & -1 & -1 & \dots & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & -1 & -1 & \dots & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & 1 & -1 & \dots & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & \dots & 1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ 1 & 1 & 1 & \dots & -1 & -1 & -1 & -1 & \dots & -1 & 1 \end{vmatrix}. \quad (2)$$

Если все строки определителя (2) прибавить к первой строке, то в ней все элементы будут равны -1 . Вычтем первую строку из всех остальных строк.

Тогда определитель будет иметь следующий вид

$$\begin{vmatrix} -1 & -1 & -1 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 2 & 2 & \dots & 2 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 2 & \dots & 2 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 2 & \dots & 2 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 2 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & 2 & 2 & \dots & 2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 2 & 2 & \dots & 2 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 2 \end{vmatrix}.$$

Разложим полученный определитель по элементам первого столбца

$$\Delta_{2n+1} = -1 \cdot \begin{vmatrix} 2 & 2 & 2 & \dots & 2 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 2 & 2 & \dots & 2 & 2 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 2 & 2 & 2 & \dots & 2 \\ 2 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 2 & 2 & \dots & 2 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 2 & 2 & \dots & 2 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 2 \end{vmatrix} + \sum_{k=2} 2(-1)^{n+k} J_k.$$

Любой из определителей J_k равен нулю, так как путем перемещений столбцов можно из J_k получить определитель вида

$$J_k = \begin{vmatrix} -1 & -1 & -1 & \dots & -1 & -1 & -1 & -1 & \dots & -1 \\ 2 & 2 & 2 & \dots & 2 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 2 & 2 & 2 & \dots & 2 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{vmatrix}.$$

Умножая первую строку на 2 и вычитая результат из второй строки, получим одну из строк этого же определителя. Таким образом, в силу линейной зависимости строк определителя типа J_k равны нулю, и определитель $\Delta_{2n+1} = \pm 2^{2n}$. Знак определяется количеством перестановок столбцов, необходимых для того, чтобы привести определитель к виду, в котором в первой строке стоят подряд все единицы, а затем все «-1», а также количеством «-1» в образующей последовательности. Таким образом, дискретные функции нечетной длины являются линейно независимыми.

Линейная независимость рассмотренных последовательностей позволяет получить из них ортогональный базис с помощью процедуры ортогонализации Грама — Шмидта. Однако эта процедура изменяет форму последовательностей, а, следовательно, и их корреляционные свойства и свойства произведения.

Для создания ортогонального базиса будем использовать метод ортогонализации, состоящий в определении веса ортогональности линейно независимых функций [2]. Рассмотрим применение указанного метода для построения указанного базиса из двоичных М-последовательностей, принадлежащих одному множеству.

Пусть двоичная М-последовательность представляет собой последовательность символов

$$M_0 = \{x_1, x_2, \dots, x_N\},$$

вес ортогональности записывается как

$$H = \{h_1, h_2, \dots, h_N\},$$

где h_i — неизвестные значения веса.

С учетом свойства произведения двоичных М-последовательностей система уравнений, позволяющая определить неизвестные h_i , запишется в виде

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1^2 h_1 + x_2^2 h_2 + \dots + x_{N-1}^2 h_{N-1} + x_N^2 h_N = E, \\ x_1 h_1 + x_2 h_2 + \dots + x_{N-1}^2 h_{N-1} + x_N h_N = 0, \\ x_N h_1 + x_1 h_2 + \dots + x_{N-2} h_{N-1} + x_{N-1} h_N = 0, \\ \dots\dots\dots, \\ x_2 h_1 + x_3 h_2 + \dots + x_N h_{N-1} + x_1 h_N = 0. \end{array} \right. \quad (3)$$

Первое уравнение системы (3) задает энергию М-последовательностей E .

Система уравнений (3) содержит N неизвестных и $N+1$ уравнений и решений не имеет.

Таким образом, прямое использование метода работы [2] не позволяет получить искомый базис.

Совместная система уравнений может быть получена двумя путями:

— за счет исключения одного из уравнений системы (3), правая часть которого равна нулю;

— путем дописывания в начало или в конец каждой M -последовательности единицы.

Каждый из этих путей ведет к получению неполного ортогонального базиса, что вызывает определенные трудности при техническом использовании этого базиса.

Так, например, в первом случае, передача информации с помощью M -последовательностей будет осуществляться с пониженной скоростью. Если алфавит сигналов, построен с помощью полного набора M -последовательностей, то максимальная скорость передачи информации такими сигналами составит

$$R_0 = \frac{\log_2 N}{T},$$

где T — длительность сигналов алфавита.

Исключение одного из уравнений в системе (3) приводит к снижению максимальной скорости передачи информации до величины

$$R_0 = \frac{\log_2 N - 1}{T}.$$

Максимальная скорость передачи информации R_1 во втором случае уменьшается незначительно и составляет

$$R_1 = \frac{\log_2 N}{T \left(1 + \frac{1}{N}\right)} \exp \varphi_n.$$

3. Методика создания ортогонального базиса

Предлагается следующая методика создания ортогонального базиса. Каждую МП, полученную путем циклического сдвига исходной последовательности M_0 , допишем в начало М-последовательности еще одним символ $x_0 = 1$. Система уравнений для определения координат веса примет вид

$$\begin{cases} x_0^2 h_0 + x_1^2 h_1 + \dots + x_{N-1}^2 h_{N-1} + x_N^2 h_N = E, \\ x_0 h_0 + x_1 h_1 + \dots + x_{N-1}^2 h_{N-1} + x_N h_N = 0, \\ x_0 h_0 + x_N h_1 + \dots + x_{N-2} h_{N-1} + x_{N-1} h_N = 0, \\ \dots\dots\dots, \\ x_0 h_0 + x_2 h_1 + \dots + x_N h_{N-1} + x_1 h_N = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Система уравнений (4) разрешима относительно h_i . Например, если исходная последовательность и ее энергия равны соответственно

$$M_0 = \{-1, 1, 1, 1, -1, -1, 1\}, \quad A = 6,$$

То

$$H = \{-1, 1, 1, 1, 1, 1, 1\}.$$

Кроме того, из (4) следует, что сохраняется свойство произведений М-последовательностей.

Предлагаемый ортогональный базис может быть сгенерирован с помощью автомата формирования М-последовательностей, который содержит дополнительные логические элементы, необходимые для дополнения М-последовательностей символом x_0 .

4. Заключение

Разработанная методика получения ортогонального базиса может быть использована для создания алфавитов сигналов, применяемых в широкополосных системах передачи информации.

Список литературы

1. Дегтярьов А. М., Агаханянц Р. Е. Розкладання сигналу у ряд по неортогональним функціям // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 1998. № 4. С. 177—182.
2. Дегтярев А. Н. Ортогонализация функций и повышение помехоустойчивости высокоскоростных систем передачи информации. М. : Инфра-М, 2015. 152 с.

References

- [1] A. N. Degtyaryov and R. E. Agahanyantc, “Razlogenie signslov v ryad po neortogonalnim funktsiyam [Decomposition of the signal into a series of non-orthogonal functions],” *Measuring and computing technique in technological processes*, no. 4. pp. 177–182, 1998. (In Ukr.).
- [2] A. N. Degtyaryov, *Ortogonalizatsiya funktsiy i povishenie pomekhoustoychivosty visokoskorostnih sistem peredachi informatsiy* [Orthogonalization of functions and increase of noise immunity of high-speed information transmission systems]. Moscow: Infra-M, 2015. (In Russ.).

Информация об авторах

Дегтярев Андрей Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационная безопасность» Севастопольского государственного университета, г. Севастополь, Российская Федерация.

Прудюс Екатерина Сергеевна, магистрантка Института радиоэлектроники и информационной безопасности Севастопольского государственного университета, г. Севастополь, Российская Федерация.

Information about the authors

Andrey N. Degtyarev, Cand. Sci. (Eng.), associate professor of the Department of Information security of the Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation.

Ekaterina S. Prudius, undergraduate of the Institute of radio electronics and information security of the Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation.

УДК 621.37—621.396 (091)

Вклад профессора Г. С. Шарыгина (1934—2018) в исследования распространения радиоволн

¹ Денисов В. П., ² Ермолов П. П.

¹ *Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники*
просп. Ленина, 40, г. Томск, 634050, Российская Федерация
dvp15@sibmail.com

² *Севастопольский государственный университет*
ул. Университетская, 33, Севастополь, 299053, Российская Федерация
p.p.yermolov@mail.ru

Получено: 20 августа 2018 г.

Отрецензировано: 10 сентября 2018 г.

Принято к публикации: 15 сентября 2018 г.

Аннотация: Г. С. Шарыгин — создатель и научный руководитель научной школы по анализу и синтезу радиотехнических систем, НИИ радиотехнических систем ТУСУРа, академик Международной академии наук высшей школы и Академии инженерных наук РФ, член бюро научного совета РАН по комплексной проблеме «Распространение радиоволн», член IEEE, председатель и член диссертационных советов, заслуженный деятель науки РФ. В статье приведены биографические сведения, краткая научная биография, цитирования из неопубликованных воспоминаний Г. С. Шарыгина, отражен факт его интереса к вопросам истории и методологии науки и техники, а также участия в работе 2nd Region 8 IEEE Conference on the History of Telecommunications (Мадрид, 2010 г.) и в работе секций «История развития радиотехнологий и телекоммуникаций, история и методология науки и техники» конференции КрыМиКо (Севастополь, 2014 и 2015 гг.).

Ключевые слова: радиолокация, фазовые и амплитудные искажения сигналов, дециметровый и сантиметровой диапазон, наземные и морские трассы.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Денисов В. П., Ермолов П. П. Вклад профессора Г. С. Шарыгина (1934—2018) в исследования распространения радиоволн // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2018. Т. 1, № 3. С. 306—325.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011): Денисов, В. П. Вклад профессора Г. С. Шарыгина (1934—2018) в исследования распространения радиоволн / В. П. Денисов, П. П. Ермолов // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. — 2018. — Т. 1, № 3. — С. 306—325.

Contribution of Professor G. S. Sharygin (1934–2018) in the study of radio wave propagation

V. P. Denisov¹ and P. P. Yermolov²

¹ Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics
40, Lenina Ave., Tomsk, 634050, Russian Federation
dvp15@sibmail.com

² Sevastopol State University
33 Universitetskaya Str., Sevastopol 299053, Russian Federation
p.p.yermolov@mail.ru

Received: August 20, 2018

Peer-reviewed: September 10, 2018

Accepted: September 15, 2018

Abstract: *G. S. Sharygin – the founder and the director of the scientific school of radio engineering systems analysis and synthesis the Research Institute of Radio Engineering Systems of TUSUR, academician of the International Academy of Sciences of Higher School and the Academy of Engineering Sciences of the Russian Federation, a member of the Bureau of the Scientific Council of the Russian Academy of Science on the complex problem of radio wave propagation, a IEEE member , the Chairman and a member of the dissertation councils, the Honored Scientist of the Russian Federation. He was awarded several medals of the Federation of Cosmonautics of Russia, the Medal of the Academy of Engineering Sciences of the Russian Federation “For the contribution to the development of engineering sciences,” the sign “Inventor of the USSR”, marked by the letters and gratitude of the University, city and regional administrations, the Council rectors of universities of Tomsk region as well as Russian enterprises. The article provides biographical information, a brief scientific biography, citations from unpublished memories of G. S. Sharygin, reflects the fact of his interest in issues of the history and methodology of science and technology, as well as participation in the work of the 2nd Region 8 IEEE Conference on the History of Telecommunications (Madrid, 2010) and in the work of the sections “History of development of radio technologies and telecommunications, the history and methodology of science and technology” of the CriMiCo conference (Sevastopol, 2014 and 2015).*

Keywords: *radar, phase and amplitude distortions of signals, decimeter and centimeter range, land and sea paths.*

For citation: V. P. Denisov and P. P. Yermolov, “Contribution of Professor G. S. Sharygin (1934–2018) in the study of radio wave propagation,” *Infocommunications and Radio Technologies*, 2018, vol. 1, no. 3, pp. 306–325. (In Russ.). doi: 10.15826/icrt.2018.01.3.24

1. Введение

Герман Сергеевич родился 18 сентября 1934 г. в Москве. В 1957 г. с отличием окончил радиотехнический факультет Томского политехнического института, в котором остался работать преподавателем. В 1962 г. вместе с радиотехническим факультетом перешел в новый томский вуз — ТУСУР. Здесь в период 1962—1967 гг. заведовал кафедрой радиоприемных устройств, а с 1974 по 2015 гг. — кафедрой радиотехнических систем. В период 1986—1991 гг. — декан РТФ, с 1991 по 1999 гг. — проректор по научной работе. Г. С. Шарыгин — создатель и руководитель научной школы по анализу и синтезу пассивных радиолокационных систем с учетом искажений радиоволн в среде распространения, НИИ радиотехнических систем ТУСУРа, академик Международной академии наук высшей школы и Академии инженерных наук РФ, член бюро научного совета РАН по комплексной проблеме «Распространение радиоволн», член IEEE, председатель и член диссертационных советов, заслуженный деятель науки РФ. Награжден несколькими именными медалями Федерации космонавтики России, медалью Академии инженерных наук РФ «За вклад в развитие инженерных наук», знаком «Изобретатель СССР», юбилейной медалью «За доблестный труд», отмечен грамотами и благодарностями университета, городской и областной администраций, Совета ректоров вузов Томской области, а также российских предприятий.

В статье приведены биографические сведения, краткая научная биография, цитирования из воспоминаний Г. С. Шарыгина, отражен факт его интереса к вопросам истории и методологии науки и техники, а также участия в работе 2nd Region 8 IEEE Conference on the History of Telecommunications и в работе секций «История развития радиотехнологий и телекоммуникаций, история и методология науки и техники» конференции КрыМиКо.



Рис. 1. Г. С. Шарыгин. 1990-е гг.

Fig. 1. G. S. Sharygin. 1990s

2. Краткая научная биография

Направленность научной деятельности Г. С. Шарыгина определилась еще в годы студенчества и аспирантуры.

Г. С. Шарыгин учился на РТФ ТПИ в 1952—1957 гг., а факультет был открыт в 1950 г. Педагогические кадры для вновь созданного факультета присылались из Москвы и Ленинграда. В 1953 г. в ТПИ начал работу молодой кандидат наук из МАИ Е. И. Фиалко. Это был очень деятельный человек. Он возглавил вновь созданную кафедру радиотехнической аппаратуры и договорился с Институтом физики атмосферы АН СССР о разработке радиолокатора для исследования отражений радиоволн от метеорных следов и проведения соответствующих измерений. Метеор — небесное тело величиной со спичечную головку, влетая в атмосферу Земли сгорает, оставляя за собой ионизированный след. Локатора, какой тогда был создан в ТПИ для метеорных исследований, ранее не было. Это был импульсный локатор, работающий на волне 10 м со слабонаправленной передающей антенной, освещавшей полнеба. Метод определения направления прихода отраженной волны — фазовый.

Полуволновые приемные диполи располагались по сторонам прямого угла в плоскости Земли и по измеренным разностям фаз между ними определялось направление прихода волны.

Герман Сергеевич в этом проекте разрабатывал фазометрическую аппаратуру под руководством И. Д. Золотарева. Локатор был изготовлен и установлен на специально созданном полигоне, но оказалось, что ошибки угловых измерений очень велики. Это выяснилось в процессе «облета» локатора на спортивном самолете, на котором был установлен маломощный передатчик. Герман Сергеевич участвовал в этих измерениях. Выяснилось, что причиной ошибок были отражения радиоволн от окружающего леса. Так Герман Сергеевич встретился с объектом своих будущих многолетних исследований.

Следующим важным этапом в становлении Г. С. Шарыгина как ученого была НИР «Пункт-МВО».

Исследования по НИР начались в 1958 г. на кафедре радиотехнической аппаратуры Томского политехнического института им. С. М. Кирова под фактическим руководством Ф. И. Перегудова, в то время младшего научного сотрудника кафедры, а впоследствии — заместителя председателя Государственного комитета СССР по высшему образованию. Необходимость исследований была вызвана выполнением кафедрой НИР «Пункт-МВО» по заказу министерства обороны. Задача НИР заключалась в выяс-

нении принципиальной возможности создания станции радиотехнической разведки, позволяющей измерять координаты работающей радиолокационной станции «из одного пункта», то есть когда позиции приемной аппаратуры располагаются на площадке с размерами не более сотен метров. С самого начала выполнения НИР выяснилось, что основным фактором, определяющим возможность создания подобной системы, являются фазовые и амплитудные искажения сигналов на трассе распространения радиоволн. Именно они задают необходимый разнос приемных пунктов при измерении расстояния до излучающего объекта пеленгационным методом.

Для выяснения существующих ограничений по точности местоопределения были развернуты обширные исследования фазовых и амплитудных искажений сигналов сантиметрового диапазона на наземных трассах в зонах прямой радиовидимости и дифракции. Исследования проводились в 1958—1962 гг. на территории Томской и Кемеровской областей в летнее и зимнее время. Сначала предполагалось, что основную роль в искажениях пространственно-временной структуры сигналов играет турбулентность тропосферы. Однако эксперименты показали, что на трассах прямой радиовидимости, а также в области дифракционного распространения более существенно рассеяние радиоволн неровностями рельефа, растительностью и искусственными сооружениями. Эти исследования стали темой кандидатской диссертации Г. С. Шарыгина.

Аппаратура для экспериментальных исследований в те времена была относительно инерционной, термин «моноимпульсная радиолокация» только вводился в инженерный обиход. В лучшем случае можно было сделать одно измерение за время принимаемого импульсного сигнала, просмотрев его на экране осциллографа. Просмотреть таким образом достаточно длинную последовательность импульсов не представлялось возможным. Особенно инерционной была аппаратура регистрации данных. Результаты эксперимента, как правило, записывались на бумажную ленту самописца.

Тем не менее, необходимые измерения в рамках НИР «Пункт-МВО» были сделаны. Была показана возможность создания станции разведки на принципах триангуляционного метода местоопределения и фазового метода пеленгования с дальномерной базой в единицы километров.

В 1962 году в Томске была организована новая проектная организация радиотехнического профиля, получившая впоследствии название Томское КБ «Проект», а затем НИИ «Проект». Организация принадлежала Томскому Совнархозу. Совнархозы были созданы во времена руководства страной Н. С. Хрущевым как органы территориального управления народ-

ным хозяйством. Вновь созданную проектную организацию возглавил Ф. И. Перегудов. Постановлением директивных органов ей было поручено выполнение ОКР по созданию малобазовой станции разведки на основе материалов, полученных в ходе НИР «Пункт-МВО». Большая часть исполнителей НИР вместе с Ф. И. Перегудовым перешла из ТПИ в новую организацию и занялись проектной работой. Большая, но не все. В 1962 г. на базе радиотехнического факультета ТПИ в Томске образовался новый вуз, который ныне называется ТУСУР. Г. С. Шарыгин занял в нем должность заведующего кафедрой радиоприемных устройств и с тех пор организовывал и возглавлял научно-исследовательские работы, связанные с изучением распространения радиоволн в интересах совершенствования станций радиотехнической разведки, расположенных на различных носителях. Основными техническими характеристиками таких станций являются дальность действия, точность определения координат источников радиоизлучения и быстродействие.

Следующим шагом в научной биографии Г. С. Шарыгина стало обоснование достижимой точности пеленгования и дальности действия самолетных станций разведки, работающих по наземным источникам радиоизлучения. Были нужны стационарные наклонные трассы типа «самолет — земля». Поскольку Томск находится на равнинной местности и подходящих трасс в его окрестностях нет, эксперименты проводились на Кавказе. Приемный пункт располагался в Дагестане вблизи Буйнакса на высоте 2300 м, передающие пункты — на восточном побережье Каспия на полуострове Мангышлак.

Значительная часть трассы находилась в зоне дальнего тропосферного распространения (ДТР). К тому времени явление ДТР было еще мало изучено. Полученные результаты представляли теоретический и практический интерес, основные из них представлены на рис. 2.

Экспериментальное изучение ДТР и его особенностей для работы радиотехнических систем продолжилось в интересах ВМФ в 1969—1979 гг. над Черным морем. Схема проведения эксперимента показана на рис 3.

Один из пунктов экспериментального комплекса был установлен в Крыму (в районе Судака). Другие – на Кавказском побережье Черного моря (Туапсе, Сочи, Очамчира).

Помимо ставшей уже традиционной оценки точности пеленгования и дальности действия фазовых и амплитудных моноимпульсных пеленгаторов в данных экспериментах оценивалась возможность барьерной радиолокации за радиогоризонтом, возможности когерентной обработки сигналов в активной локации при ДТР, возможность динамических методов

Трассы 348 км, 380 км, 468 км
Высота передатчиков 10 и 25 м
За горизонтом 150, 180 и 270 км
Высота приемных антенн 2310 м
Длина волны 10 см и 3,5 м

- Множитель ослабления
- Быстрые флуктуации уровня
- Медленные флуктуации уровня
- Флуктуации разности фаз
- Угол прихода и его вариации
- Частотно-селективные замирания
- Искажения ДН передающих антенн
- Деполяризация, кросс-компонент
- Искажения формы импульсов

Передатчики П-35 и П-12
Разнесенный прием 1,3; 4,85 и 20 м
Усиление приемных антенн 24 и 12 дБ
Прием основного и бокового излучения

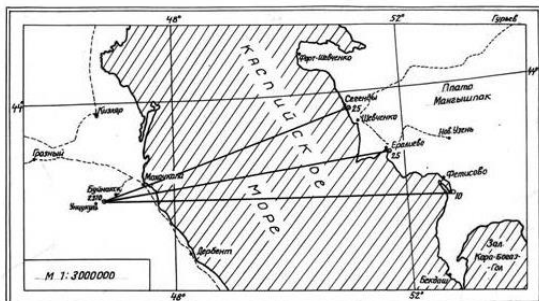
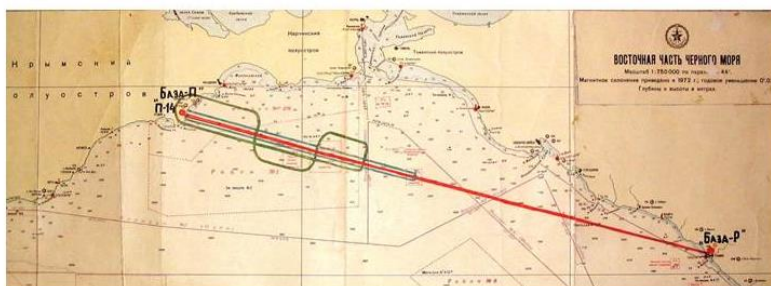


Рис. 2. Наклонные трассы в северной части Каспийского моря (1967—1968).

Fig. 2. Inclined tracks in the northern part of the Caspian Sea (1967—1968)



Трассы 220 - 350 км
Высота передатчиков — до 40 м
Высота приемных антенн 8-12 м
Длина волны 10 см, 35 см, 180 см

- Все статистические характеристики сигналов
- Ошибки амплитудного и фазового пеленгования
- Прямая проверка моноимпульсных пеленгаторов
- Проверка динамических методов определения Д
- Изучение доплеровских эффектов при ДТР
- Опыты по барьерной радиолокации за горизонтом
- Когерентная обработка ДТР сигналов

Рис. 3. Восточная часть Черного моря (1970—1979).

Fig. 3. Eastern Black Sea (1970—1979)

пассивного измерения дальности. Особенность эксперимента: в точке П устанавливалась передающая радиолокационная станция, в точке Р — ретранслятор, сигналы которого принимались в точке П. Ответные импульсы излучались с сохранением фазы высокочастотного заполнения. Это позволило определить характеристики когерентной обработки сигналов.

На рис. 3 показаны траектории перемещения кораблей и самолетов, участвующих в экспериментах. Это было нужно для проверки динамических методов определения дальности и возможностей барьерной радиолокации (в те времена военные помогали разработчикам аппаратуры).

Работы данного периода обобщены в монографии Г. С. Шарыгина «Статистическая структура поля УКВ за горизонтом», вышедшей в свет в издательстве «Радио и связь» в 1983 г. [1].

Следующим шагом в научной деятельности Г. С. Шарыгина была организация дальневосточного радиофизического полигона. На рис. 4, 5 показаны трассы, на которых велись исследования, а также внешний вид станций. На трассе Сахалин — Итуруп исследования проводились на регулярной основе с 1980 по 1991 гг., то есть по существу до развала СССР.

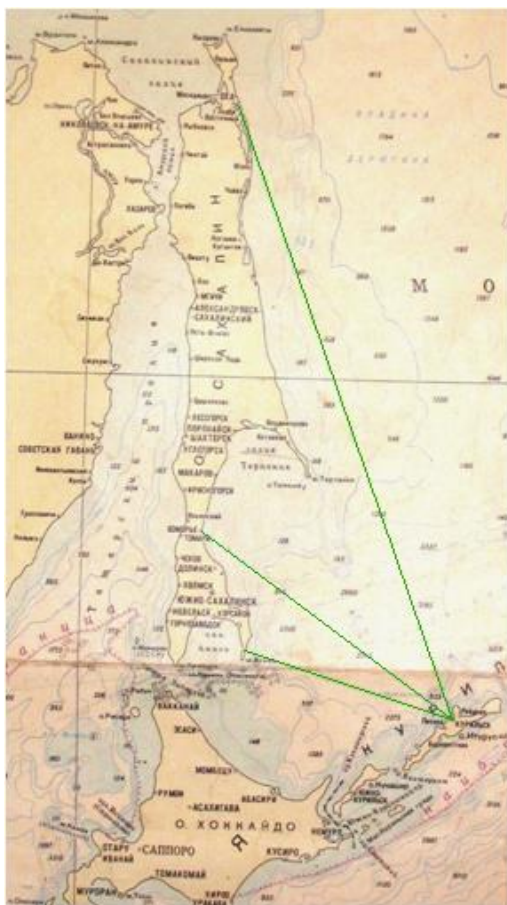


Рис. 4. Станции обнаружения и пеленгования корабельных РЛС 10-см диапазона на расстоянии до 500—1000 км

Fig. 4. Station detection and direction finding ship radar 10-cm range at a distance of 500–1000 km

Рис. 5. Трассы дальневосточного радиофизического полигона

Fig. 5. Tracks of the Far Eastern radio physical test site

Апофеозом деятельности Г. С. Шарыгина по исследованию распространения радиоволн над морем стало дооборудование судов Госкомгидромета радиотехнической аппаратурой и участие в регулярных рейсах этих судов по Тихому и Индийскому океанам (1978—1986 гг.).

Суда Госкомгидромета были элементами всемирной службы погоды. Они вели наблюдения за состоянием воды и атмосферы в плановых точках, используя палубные приборы, шары-зонды, метеорологические ракеты. Данные отправлялись в международные центры погоды. Установленная на борту НИС «Академик Ширшов» аппаратура позволяла связать распространение радиоволн с метеоусловиями. В исследованиях участвовали и корабли гидрографической службы ВМФ. Было выполнено 40 рейсов НИС.

В результате обработки полученных материалов и обобщений литературных данных в 2000 г. был издан «Радиоклиматический тропосферный атлас Тихого океана» — главная работа Г. С. Шарыгина о распространении радиоволн над морем [2]. Атлас содержит 139 карт с изолиниями основных радиометеорологических и радиофизических параметров тропосферы для различных районов океана и различных времен года (рис. 6, 7).

Радиометеорологические параметры:

- индекс преломления на разных высотах над водой;
- высота приводных волноводов;
- высота слоев повышенной рефракции;
- скорость ветра на разных высотах и др.

Радиофизические параметры:

- расстояние до радиогоризонта;
- погонное ослабление в гидрометеорах;
- погонное ослабление в зоне дифракции;
- множитель ослабления при ДТР;
- поляризационное отношение в зоне ДТР;
- интервалы пространственной и временной корреляции амплитуды и фазы;
- множитель ослабления в приводном волноводе.

Данные атласа могут служить для планирования работы радиоэлектронных средств в заданных районах океана.

В 1996—2010 гг. коллектив НИИ РТС, научным руководителем которого был Г. С. Шарыгин, провел обширные исследования распространения радиоволн на приземных трассах в интересах ГРАУ МО. Стояла задача определить предельные характеристики точности местоопределения наземных источников радиоизлучения типа РЛС с использованием современных

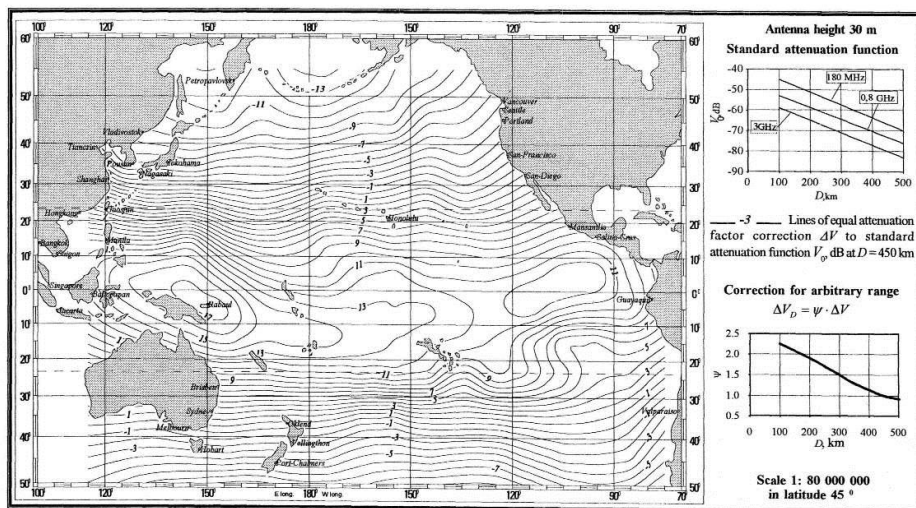


Рис. 6. Фрагмент радиоклиматического тропосферного атласа Тихого океана.

Fig. 6. Fragment of the radio climatic tropospheric atlas of the Pacific Ocean

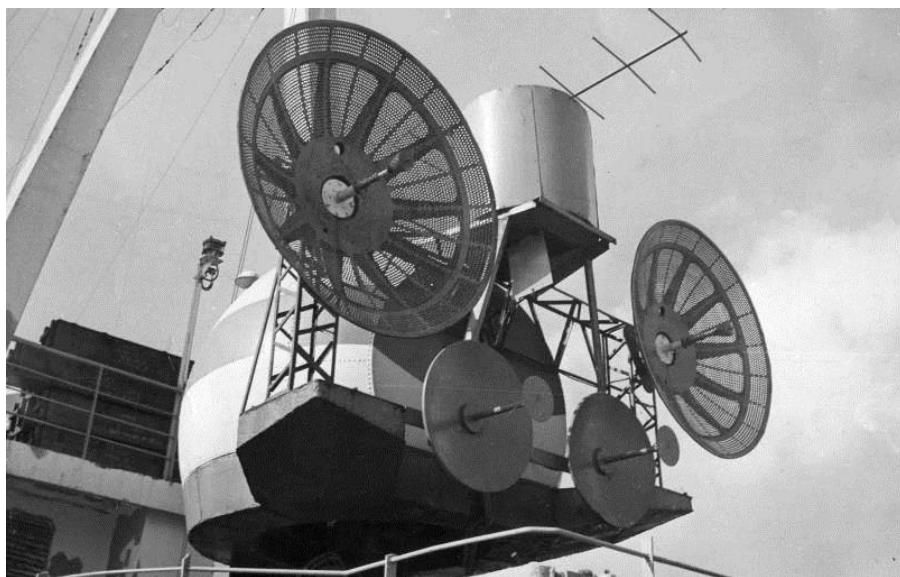


Рис. 7. Корабельный макет моноимпульсной системы радиотехнической разведки и целеуказания с дальностью действия до 500—700 км. $\lambda = 3$ и 10 см.

Fig. 7. Ship model of a single-pulse electronic intelligence system and target designation with a range of up to 500–700 km. $\lambda = 3$ and 10 cm

технических возможностей. Исследовались разностно-дальномерный и пеленгационный методы местоопределения и их комбинации.

Структурная схема измерительного радиофизического комплекса приведена на рис. 8. По полноте получаемой информации об искажениях радиосигналов на трассах распространения это самая совершенная на то время аппаратура. Внешний комплекс приведен на рис. 9.

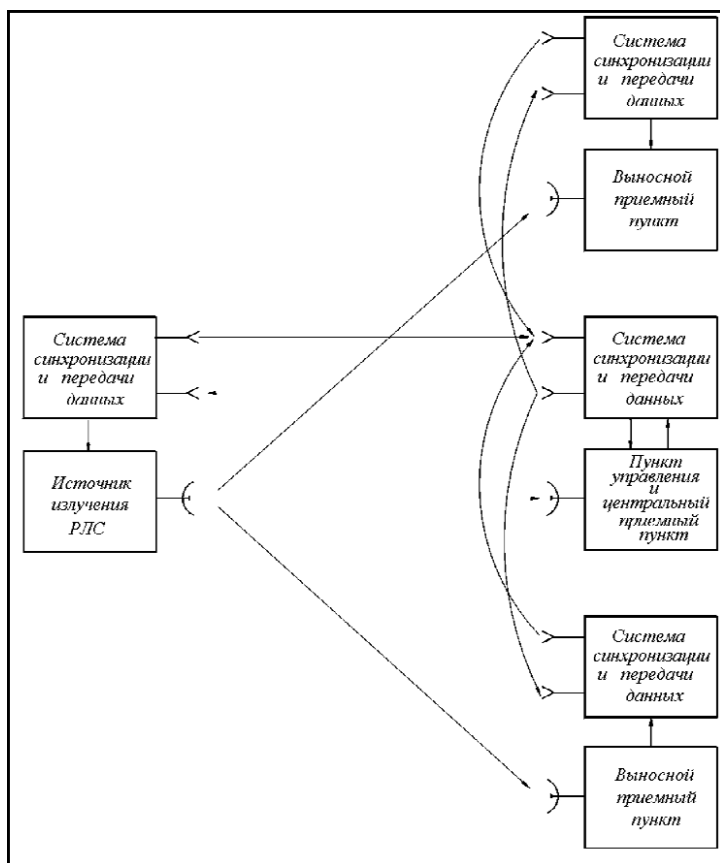


Рис. 8. Структура радиофизического комплекса для исследования распространения радиоволн на наземных трассах.

Fig. 8. The structure of the radio physical complex for investigation of propagation of radio waves on terrestrial paths

Аппаратура позволяла синхронно записывать на цифровые носители сигналы, принятые четырех- и восьмиканальными приемными установками, разнесенными на местности, с временным интервалом 10 нс.



Рис. 9. Внешний вид восьмиканальной измерительной установки одного из приемных пунктов.

Fig. 9. Appearance of the eight-channel measuring installation of one of the receiving points

В результате исследований были разработаны:

- статистически оптимальные алгоритмы обработки ортогонально поляризованных компонент сигналов;
- алгоритмы анализа структуры и отбраковки импульсов, приводящих к аномально большим ошибкам моноимпульсного пеленгования;
- алгоритмы отбраковки ошибочных пеленгов в процессе устранения неоднозначности фазовых измерений;
- статистически оптимальные алгоритмы разностно-дальномерных измерений с учетом рельефа местности;
- алгоритм однопозиционного пассивного измерения дальности до источника радиоизлучения на основе использования отражений радиоволн от совокупности элементов рельефа.

Одним из важных результатов исследований является разработка на основании экспериментальных данных однопозиционного пассивного метода измерения дальности до источника радиоизлучения на основе использования отражений радиоволн от совокупности элементов рельефа на трассе распространения. Решена задача, которая была поставлена в конце пятидесятих годов в НИР «Пункт-МВО». Ее решение стало возможным на основе быстродействующей вычислительной техники и современных геоинформационных технологий.

Основные результаты исследований последнего времени на наземных трассах приведены в коллективной монографии «Пространственно-временные искажения сантиметровых радиосигналов на наземных трассах распространения и их влияние на точность пассивных систем местоопределения», изданной в 2014 году в издательстве ТУСУР [3].

В последние годы Г. С. Шарыгин занимался разработкой спутниковых систем радиомониторинга земной поверхности. Концепция построения предлагаемой им системы показана на рис. 10.

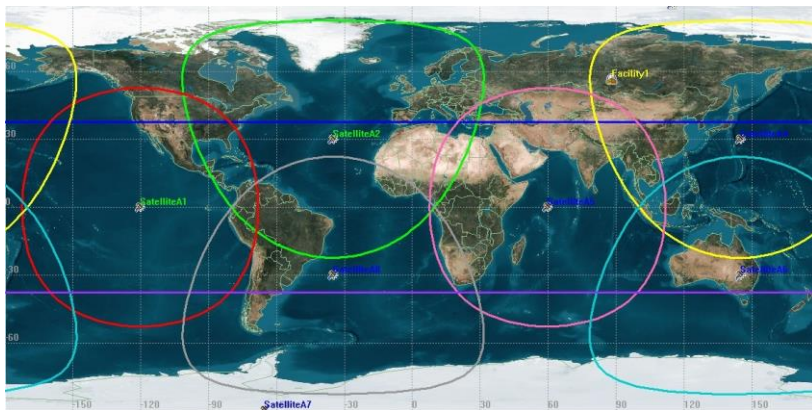


Рис. 10. Концепция и обоснование глобальной системы радиомониторинга с использованием группировки малых космических аппаратов.

Fig. 10. The concept and justification of the global monitoring system using a group of small spacecraft

3. Из воспоминаний Г. С. Шарыгина¹

В декабре 1958 года сотрудниками кафедры радиотехнической аппаратуры Томского политехнического института был составлен отчет по 1-му этапу научно-исследовательской работы «Пункт-МВО», выполнявшейся по заказу Главного артиллерийского управления Министерства обороны СССР. Аббревиатура «МВО» означала принадлежность исполнителя к Министерству высшего образования и свидетельствовала о том, что работа выполняется по решению правительственного органа — Комиссии по военно-промышленным вопросам при Совете министров СССР. Научным руководителем работы был доцент Е. И. Фиалко, ответственным исполнителем — кандидат технических наук Ф. И. Перегудов. В составлении отчета принимали участие молодые аспиранты В. П. Денисов, Б. П. Дудко, Б. А. Редькин, Г. С. Шарыгин, инженеры Г. Б. Григорьев, Б. Я. Маслов, Э. К. Немирова, Н. А. Сысоев, В. А. Федоров. Четверо из этой группы исследователей стали в дальнейшем докторами наук, двое — Г. С. Шарыгин и В. П. Денисов — до настоящего времени работают на кафедре РТС.

¹ Шарыгин Г. С. Подвиг эксперимента. В кн. : Из прошлого — в будущее: воспоминания и размышления выпускников и ветеранов университета / Томский государственный университет систем управления и радиозлектроники ; ред. А. В. Кобзев, Г. С. Шарыгин. Томск : ТУСУР, 2002. 237 с.

НИР «Пункт-МВО» явилась родоначальником большой серии научных исследований в области радиолокации и распространения волн радиолокационного диапазона в тропосфере над поверхностью суши и моря. Сформировавшийся в те далекие годы коллектив научных работников и инженеров оказался весьма стабильным и устойчивым к разного рода жизненным переменам и испытаниям. В 1962 году этот коллектив в составе РТФ ТПИ был переведен во вновь организованный Томский институт радиоэлектроники и электронной техники.

В новом вузе возникла лаборатория, затем отдел, а затем и НИИ радиотехнических систем, в котором за прошедшее время были успешно выполнены более 30 крупных научно-исследовательских работ государственного значения.

Как возникают научные школы? Что движет энтузиастами и заставляет их забывать обо всем ради своей работы? Ведь они жертвуют многим: своим материальным благополучием, временем, здоровьем, часто даже своей семейной жизнью. Мгновение успеха приходит после многих месяцев и даже лет тяжелого труда, без вечернего отдыха, без выходных, без отпуска. Что это — самоотверженность и подвиг ради идеи или то, что приносит высшее удовлетворение и называется счастьем? И что мы должны испытывать, глядя на этих людей, — жалость или зависть? Презрение или восхищение?

Нет однозначного ответа на эти вопросы. Каждый отвечает на них по-своему. Часто встает вопрос — какую работу можно считать научной, а какую — нет. Я для себя решил этот вопрос так: задачами научного поиска является либо получение новых, ранее не известных, фактов и сведений о природных явлениях, либо осмысливание этих данных, приведение их в стройную систему и создание соответствующих моделей. Первую из этих задач преимущественно решают экспериментаторы, вторую — теоретики. Экспериментаторы всегда находятся на переднем крае науки, именно новые факты дают толчок к разработке гипотез и теорий. А поиск фактов начинается тогда, когда у общества возникают новые потребности. В нашем случае — необходимость достижения таких показателей в радиолокационных измерениях, которые не могла обеспечить существующая аппаратура. В конце 50-х годов потребовалось измерять направление на цель с ошибкой не более 10–20 угловых секунд в 50–100 раз точнее, чем было до этого достигнуто.

Именно такая задача и была поставлена перед нами в те далекие годы. Задача настолько сложная, что и сейчас она решена не полностью. Но мы были молоды, полны энтузиазма и оптимизма. Почти сразу стало ясно, что основная трудность не в создании аппаратуры, а в преодолении тех трудностей и ограничений, которые накладывает среда распространения радиоволн. А каковы эти ограничения, можно было решить только путем опыта, эксперимента. Тогда и началась наша экспедиционная эпопея.

В молодости человек берется за такие дела, что, будь он поопытнее и постарше, никогда бы не влез в эту авантюру. Но авантюризм в науке необходим. Ведь в том и состоит научная проблема, что никто не знает ответа на поставленный вопрос и часто даже не знает, как к нему подступиться. Человек осторожный не возьмется за проблему — и найдет тому десяток объективных причин и оправданий. А авантюрист возьмется. Ведь знания и опыт — дело наживное, если голова на плечах. Недаром говорят, что дорогу осилит идущий. И если взяться за дело с охотой и упрямством, то рано или поздно проблема будет решена.

Первая экспедиция на левый берег реки Томи была организована нами в 1960 году. В памяти остались снежные заносы, холодная заводка дизелей, ночное при-

мерзание к стенке вагончика, вооруженное «отражение атаки» местного пса на секретную технику, круглосуточные дежурства около самодельных приемников, первое изобретение студента-дипломника Марка Райзмана, предложившего метод сверхточных измерений «на подручных средствах», среди замерзших волноводов и разбросанных полшубков. И гордая поездка лаборанта Андрианова на гусеничном артиллерийском тягаче по улицам Томска на глазах у изумленных и растерявшихся гаишников. Возвращались из первой экспедиции через Томь на тягачах и тяжелых машинах по льду, залитому весенней водой, рискуя жизнью, стоя на ступеньках открытых кабин и каждую секунду ожидая катастрофы.

Экспедиции последовали одна за другой, почти каждый год, летом и зимой. Курлек и Варюхино, Ярское и Зелеево, Мальцево и Юрга, Новосибирская и Кемеровская область, тягачи, автомашины, геодезические вышки, антенны, дизельные электростанции, мороз и жара, снег и грязь. Зимой от ближайшей дороги ходили «на точку» пешком по 15—20 км, в мороз и пургу. «Капкан-один, я Капкан-два, как слышите меня? Прием...»

Работа «Пункт-МВО» была успешно завершена, ее результаты переданы для опытно-конструкторских разработок в Томское КБ «Проект» и в один из ленинградских НИИ. Как раз в это время был организован ТИРиЭТ, и мы сразу, без «раскачки», бросились в очередную авантюру. На сей раз нашим заказчикам потребовалось с самолетов обнаруживать работающие радиолокационные станции далеко за пределами горизонта. Таких систем в Советском Союзе, да и нигде в мире не было. Снова потребовались эксперименты, но такие, которые имитировали бы расположение приемной аппаратуры высоко над землей. Пришлось из Сибири перебазироваться в горы. Подходящее место нашли на восточном Кавказе, в горах Дагестана, а передатчики РЛС расположили в пустыне Кара-Кум, на другом берегу Каспийского моря. В глазах стоит красивый белый город Шевченко без единой капли природной воды, бесконечные пески, верблюды, взявшийся неизвестно откуда и съевший у нас ящик мыла, тысячи заснувших осетров, почему-то выбросившихся на берег. Были и трагикомические случаи. В горах Дагестана машина с главным бухгалтером нашего вуза, который ехал проверять, правильно ли мы расходует государственные средства, сорвалась в пропасть, и, слава Богу, он отделался только переломом руки. После этого И. В. Пахотнов без слов подписывал все наши финансовые требования.

Толя Ерохин, Боря Рыбаков, Олег Киселев, Коля Барабанов, Гриша Глазов, Ваап Сеитов, Валя Слюсарчук, Юра Полищук, Камил Нафигин — сколько их было, самоотверженных энтузиастов, настоящих друзей, романтиков шестидесятых годов!

1963 год. Мы — я, О. Н. Киселев и А. В. Ерохин — в горах Дагестана выбираем место для будущей научно-экспериментальной базы. Пройдет год, и на этом голом обрыве на высоте 2500 метров вырастет палаточный городок, будут установлены антенны и аппаратные кабины, десятки студентов, аспирантов и молодых научных работников будут круглосуточно принимать сигналы, посылаемые нашими товарищами из пустыни Кара-Кум через Каспийское море.

В 1971 году лаборатория РТС вышла на новую орбиту. Интересы Военно-Морского Флота [СССР] потребовали исследований так называемого дальнего тропосферного распространения радиоволн (ДТР). Еще в 40-х годах было замечено, что радиолокационные станции на южном берегу Крыма иногда «видят» турецкие берега, а иногда не могут обнаружить цели даже на расстояниях в 30—50 километров. Проблема оказалась настолько важной и многоплановой, что на ее решение были направлены усилия многих научных учреждений Ленинграда, Харькова,

Москвы, Томска и других городов. Работы коллектива нашего университета заняли в этих исследованиях достойное место. В восточной части Черного моря нами был создан большой полигон с научно-экспериментальными базами в районах Судак — Феодосия и Туапсе — Сочи — Очамчири. Целыми железнодорожными составами вывозилось из Томска в эти районы и устанавливалось оборудование, сооружались антенные системы, линии связи и управления. В работах участвовали десятки сотрудников и студентов. Рядом с нашим антенным полем располагался экспедиционный отряд СФТИ Томского государственного университета во главе с В. Б. Фортесом, в исследованиях участвовали корабли и полигоны Черноморского флота.

В 1976 году, воспользовавшись временным отсутствием нашего экспедиционного отряда и задержкой выхода очередного постановления Правительства о продлении работ, директор винсовхоза «Солнечная долина» с помощью бульдозеров разрушил нашу с таким трудом построенную базу на берегу Черного моря. Он мало кого боялся — в его совхозе угощались изысканными винами самые высокопоставленные лица СССР и зарубежных стран.

К тому времени мы уже ориентировались на развертывание широких исследований в Дальневосточном регионе. Советский Военно-Морской Флот утверждал свое присутствие на океанах, и, естественно, исследования характеристик радиосигналов, влияющих на работу корабельных и береговых радиосистем, нужно было проводить в условиях, максимально приближенных к реальному театру действий флота.

На нашу долю выпал Тихий океан — невообразимо громадный и разнообразный по своим условиям район Мирового океана. Последовало несколько рекогносцировок, а затем — строительство и эксплуатация Охотского радиофизического полигона в южной части Охотского моря с базами на островах Сахалин и Итуруп. Кроме полигона, для исследований использовались специально оборудованные нами научно-исследовательские суда, вертолеты и самолеты.

Регулярные исследовательские работы на Дальнем Востоке начались с 1977 года. Общее время сложнейших измерений составило более 4000 часов. В 1977–1986 гг. были проведены 40 рейсов научно-исследовательских судов Гидрометслужбы и Гидрографического управления ВМФ, на которых работали наши сотрудники со своей аппаратурой. Для сопоставления результатов с метеорологическими условиями было использовано 1,2 млн метеорологических и около 40 тысяч аэрологических наблюдений. В работах, координируемых нашим институтом, принимали участие научные организации и учреждения Владивостока, Иркутска, Йошкар-Олы, Томска и других городов.

1984 год. На рис. 4² показана одна из позиций на острове Сахалин. Здесь, «на краю света», были размещены 12 РЛС, для перевозки которых потребовался целый железнодорожный состав. В 500 километрах отсюда — остров Итуруп. Там круглые сутки принимали сигналы этих станций сотрудники, аспиранты и студенты кафедры РТС.

На рис. 7 — так называемая «Чебурашка» — система антенн на НИС «Академик Шишов», сделанная руками сотрудников отдела РТС в 70-х годах. На этом судне десятки научных сотрудников, инженеров и аспирантов «прошли боевое крещение» в плаваниях по Тихому и Индийскому океанам. С помощью аппаратуры собственного изготовления принимались радиосигналы береговых и корабельных передатчиков на расстояниях до 1000 км. Американские полицейские и журналисты смотрели на нас подозрительно — никак не верили, что мы всего-навсего исследуем распространение радиоволн.

² Часть ссылок привязана авторами к иллюстрациям предыдущего раздела.

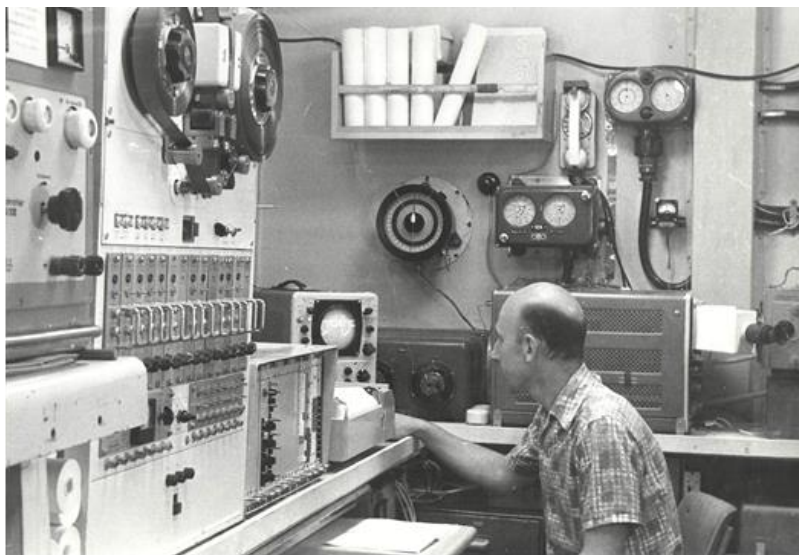


Рис. 11. Г. С. Шарыгин на НИС «Академик Ширшов».

Fig. 11. G. S. Sharygin on the research ship “Akademik Shirshov”

На рис 11 — наша лаборатория на НИС «Академик Ширшов». Здесь днем и ночью несли вахту профессора Е. С. Коваленко и В. П. Денисов, доценты Л. Я. Серебrenников и В. И. Тисленко, инженеры А. В. Лопатин, И. Л. Корнеев, Л. Н. Бабушкин, В. И. Белов, Е. В. Малиновская, О. О. Вальнер и многие, многие другие. Компьютеров не было, писали на 12-канальный магнитограф. А в перерывах — кальмары и киты, проливы и вулканы, Полярная звезда и Южный Крест, штормы и штили, кокосовые пальмы и ледовые поля, Сингапур, Фиджи, Папуа — Новая Гвинея и Гавайские острова. Всю оставшуюся жизнь мы не забудем эти 40 рейсов 70—80-х годов.

Работы нашего коллектива были высоко оценены и широко использовались при разработке новых радиолокационных средств. Поздравляя меня с пятидесятилетием, командование Научно-исследовательского института ВМФ отмечало: «С чувством глубокого уважения к Вам и Вашим заслугам в развитии радиофизики выражаем Вам особую признательность за Ваше личное участие в работах над решением актуальных проблем в интересах нашего Военно-Морского Флота. Выражаем уверенность, что наше тесное сотрудничество с Вашим научным коллективом будет способствовать дальнейшему развитию средств Военно-Морского Флота».

Я вспоминаю имена и фамилии тех, кто в разные годы трудился в лаборатории, в отделе, на кафедре и в НИИ радиотехнических систем. Мне повезло — какие прекрасные и чистые люди окружали меня всю жизнь! О каждом из них можно написать книгу или рассказ, каждый неповторим, каждый — профессор или шофер — оставил свой след в истории нашего славного коллектива. Хочется, чтобы, найдя себя в списке ветеранов, каждый из них знал, что его труд не забыт, что он навсегда остается вместе со своими друзьями и соратниками, чтобы каждый вспоминал и передавал детям и внукам энергию и азарт своей молодости.

4. История и методология науки и техники

Акцент на этом аспекте деятельности связан с близостью научных интересов одного из авторов настоящей статьи и Г. С. Шарыгина, которым опубликовано около 40 работ в этой области. Цитируемые три работы [4—6] далеко не исчерпывают всего объема исследований, а только свидетельствуют о фактах непосредственного с ним общения автора настоящего доклада на конференциях в Мадриде (2010) и Севастополе (2014, 2015).



Рис. 6. Г. С. Шарыгин, Л. И. Шарыгина, В. В. Шилов,
О. В. Махровский, П. П. Ермолов, В. А. Китов. Мадрид, 3 ноября 2010 г.

Fig. 6. G. S. Sharygin, L. I. Sharygina, V. V. Shilov,
O. V. Makhrovskiy, P. P. Yermolov, V. A. Kitov. Madrid, November 3, 2010

В докладе [4] рассмотрена история и результаты исследований дальнего тропосферного распространения радиоволн, проведенных в СССР во второй половине XX в., дан сравнительный анализ результатов исследований в этой области в СССР и США, отмечена роль и значение работ, выполненных Томским университетом систем управления и радиоэлектроники.

В докладе [5] приведен обзор экспериментальных исследований тропосферного загоризонтного распространения УКВ- и СВЧ-радиоволн над поверхностью северо-восточной части Черного моря, проведенных в Крыму в 30-х—70-х гг. XX в. Комплекс экспериментов позволил уточнить механизмы дальнего тропосферного распространения над морем, создать базу данных о

множителе ослабления и др. На основе проведенных исследований была разработана методика прогноза множителя ослабления и сделан ряд рекомендаций по синтезу адаптивных радиолокационных систем.

В докладе [6] обосновывается необходимость изучения истории техники в высших технических учебных заведениях на примере истории радиоэлектроники. Раскрывается цель такого изучения и его значение для подготовки молодого специалиста, обладающего необходимыми компетенциями. Предлагаются формы и содержание учебного процесса, делается обзор необходимого учебно-методического обеспечения.

Международная научно-техническая конференция КрыМиКо'2018 (Севастополь, 9—15 сент. 2018 г.) почтила память Германа Сергеевича [7].

5. Заключение

Творческая деятельность профессора Г. С. Шарыгина, специалиста в области исследования тропосферных радиоканалов, одного из самых заметных профессоров в истории становления и развития Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, заслуживает более детального исследования.

Список литературы

1. Шарыгин Г. С. Статистическая структура поля УКВ за горизонтом. М. : Радио и связь, 1983. 140 с.
2. Радиоклиматический тропосферный атлас Тихого океана / Под ред. Г. С. Шарыгина. Томск : Том. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2000. 170 с.
3. Пространственно-временные искажения сантиметровых радиосигналов на наземных трассах распространения и их влияние на точность пассивных систем местоопределения / [В. П. Денисов и др.] ; Томский гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники. Томск : Изд-во ТУСУРа, 2014. 501 с.
4. Sharygin G., Sharygina L. Long-distance tropospheric propagation investigations in USSR last century. В кн. : 2nd Region 8 IEEE Conference on the History of Telecommunications : A Century of Broadcasting — HISTELCON 2010 (Мадрид, 3—5 нояб. 2010 г.). 2010. С. 237—241.
5. Шарыгин Г. С., Шарыгина Л. И. Исследования тропосферного распространения радиоволн над поверхностью Черного моря. В кн. : 24-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» — КрыМиКо'2014 (Севастополь, 7—13 сент. 2014 г.). 2014. Т. 1. С. 47—48.
6. Шарыгина Л. И., Шарыгин Г. С. Изучение истории радиоэлектроники в техническом вузе. В кн. : 25-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» — КрыМиКо'2015 (Севастополь 6—12 сент. 2015 г.). 2015. Т. 1. С. 59—60.
7. Ермолов П. П. Исследователь тропосферных радиоканалов над морской поверхностью. Памяти профессора Г. С. Шарыгина (1934—2018). В кн. : 28-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» — КрыМиКо'2018 (Севастополь 9—15 сент. 2018 г.). 2018. С. 1851—1862.

References

- [1] G. S. Sharygin, *Statisticheskaya struktura polya UKV za gorizontom* [The statistical structure of the VHF field beyond the horizon]. Moscow: Radio i svyaz', 1983. (In Russ.).
- [2] *Radioklimaticheskiiy troposfernyy atlas Tikhogo okeana* [Radio-climatic tropospheric atlas of the Pacific Ocean], G. S. Sharygin, Ed. Tomsk, TUSUR, 2000.
- [3] *Prostranstvenno-vremennyye iskazheniya santimetrovykh radiosignalov na nazemnykh trasakh rasprostraneniya i ikh vliyaniye na tochnost' passivnykh sistem mestoopredeleniya* [Spatio-temporal distortion of centimeter radio signals on terrestrial propagation paths and their influence on the accuracy of passive positioning systems], V. P. Denisov et al. Tomsk, TUSUR, 2000. (In Russ.).
- [4] G. Sharygin and L. Sharygina, "Long-distance tropospheric propagation investigations in USSR last century," in *2nd Region 8 IEEE Conference on the History of Telecommunications: A Century of Broadcasting — HISTELCON 2010* (Madrid, Nov. 3–5 2010). 2010, pp. [237—241].
- [5] G. S. Sharygin and L. I. Sharygina, "Investigations of troposphere radiowave propagation over the Black Sea surface," in *Microwave and Telecommunication Technology (CriMiCo), 2014 24th International Crimean Conference*, 2014, pp. 47–48. (In Russ.).
- [6] L. I. Sharygina and G. S. Sharygin, "Study of electronics history in a technical university," in *Microwave and Telecommunication Technology (CriMiCo), 2015 25th International Crimean Conference*, 2015, pp. 59–60. (In Russ.).
- [7] P. P. Yermolov, "Researcher of the tropospheric radio channels over the sea surface. In memory of Professor G. S. Sharygin (1934–2018)," in *Microwave and Telecommunication Technology (CriMiCo), 2018 28th International Crimean Conference*, 2018, pp. 1851–1862. (In Russ.).

Информация об авторах

Денисов Вадим Прокопьевич, профессор кафедры радиотехнических систем Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, Российская Федерация.

Ермолов Павел Петрович, заведующий базовой кафедрой «Инновационная радиоэлектроника», доцент кафедры «Радиоэлектроника и телекоммуникации» Института радиоэлектроники и информационной безопасности Севастопольского государственного университета, г. Севастополь, Российская Федерация. ORCID 0000-0001-9089-974X.

Information about the authors

Vadim P. Denisov, professor, department of radio engineering systems, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Russian Federation.

Pavel P. Yermolov, head of "Innovative Radio Electronics" basic department, associate professor of "Radio Electronics and Telecommunications" department, Institute of Radio Electronics and Information Security, Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation. ORCID 0000-0001-9089-974X.