

537.86
R42

V.I. LUTSENKO
I.V. LUTSENKO
D.O. POPOV
I.V. POPOV

**REMOTE
SENSING
OF THE
ENVIRONMENT**
USING
THE RADIATION
OF EXISTING
GROUND
AND SPACE
RADIO SYSTEMS

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE
O. Ya. USIKOV INSTITUTE FOR RADIOPHYSICS
AND ELECTRONICS OF THE NAS OF UKRAINE

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ РАДІОФІЗИКИ ТА ЕЛЕКТРОНІКИ
ім. О. Я. УСИКОВА НАН УКРАЇНИ

В. І. ЛУЦЕНКО
І. В. ЛУЦЕНКО
Д. О. ПОПОВ
І. В. ПОПОВ

**ДИСТАНЦІЙНЕ
ЗОНДУВАННЯ
ДОВКІЛЛЯ
З ВИКОРИСТАННЯМ
ВИПРОМІНЮВАННЯ
НАЗЕМНИХ
І КОСМІЧНИХ
РАДІОСИСТЕМ**

*ПРОЄКТ
«УКРАЇНСЬКА НАУКОВА КНИГА
ІНОЗЕМНОЮ МОВОЮ»*

КИЇВ
АКАДЕМПЕРІОДИКА
2020

V. I. LUTSENKO
I. V. LUTSENKO
D. O. POPOV
I. V. POPOV

**REMOTE SENSING
OF THE
ENVIRONMENT
USING THE RADIATION
OF EXISTING
GROUND
AND SPACE
RADIO SYSTEMS**

*PROJECT
«UKRAINIAN SCIENTIFIC BOOK
INA FOREIGN LANGUAGE»*

KYIV
AKADEMPERIODYKA
2020

<https://doi.org/10.15407/akademperiodyka.429.345>
UDC 537.86 + 621.371; 621.396
L97

Reviewers:

F. V. KIVVA, O. Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics
of the NAS of Ukraine, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

V. K. VOLOSUYUK, Professor of the National Aerospace University M. E. Zhukovsky (KhAI),
Doctor of Technical Sciences, Professor

*Approved for publication by the O. Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics
of the National Academy of Sciences of Ukraine (26.06.2018, Protocol No. 6)*

***Publication was funded in the frame of the Targeted Complex
Program “Creation and Development of Scientific Publishing Complex
of the National Academy of Sciences of Ukraine”***

Lutsenko V. I.

L97 Remote sensing of the environment using the radiation of existing
ground and space radio systems / V. I. Lutsenko, I. V. Lutsenko, D. O. Popov,
I. V. Popov; O. Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics of the
NAS of Ukraine. — Kyiv: Akademperiodyka, 2020. — 345 p.

ISBN 978-966-360-429-9

Possibilities of using existing ground (TV centers, broadcasting stations) and space
(Global Navigation Satellite Systems) radio systems for solving the problem of remote
sensing and monitoring of the environment and objects in it are considered. The methods
of diagnostics of the troposphere, description of the refractive index with the use of semi-
Markov processes and atomic functions of Kravchenko-Rvacheva are proposed.

The book is intended mainly for scientists and specialists involved in the development
of methods and technologies for remote sensing of the environment using the radiation
of existing ground and space radio systems. It is useful for students and teachers of
educational institutions of the radiophysical profile.

UDC 537.86 + 621.371; 621.396

ISBN 978-966-360-429 9

© O. Ya. Usikov Institute for Radiophysics
and Electronics of the NAS of Ukraine, 2020
© Akademperiodyka, design, 2020

CONTENTS

LIST OF ABBREVIATIONS AND ACRONYMS.....	5
FOREWORD	9
INTRODUCTION.....	10
CHAPTER 1	
METHODS OF TROPOSPHERE DIAGNOSTIC	
<hr/>	
1.1. Features of the radio waves propagation in the troposphere.....	15
1.2. Methods of evaluation.....	18
1.2.1. Contact methods of measurement.....	18
1.2.2. Non-contact measurement methods.....	23
1.3. Use of a satellite for atmospheric diagnostics.....	30
Conclusions.....	36
CHAPTER 2	
SEASONAL AND ALTITUDE DEPENDENCES OF RADIOMETEOROLOGICAL PARAMETERS. MODEL FOR DESCRIPTION OF REFRACTIVE INDEX	
<hr/>	
2.1. Contact measurements using ball-sondes.....	39
2.2. Characteristics of the troposphere refraction coefficient at the measuring points.....	45
2.3. Simulation model of refractive index.....	60
2.4. Experimental investigations of seasonal density distribution of refractive index.....	63
2.5. Using the least squares method for approximating experimental data	69
2.6. Estimation of torque characteristics of the refractive index in terms of its distribution density by poly-gaussian statistics.....	72
2.7. Approximation of the distribution density of the coefficient of refraction by the Kravchenko-Rvachev functions.....	75
2.8. New approaches to testing hypotheses about the laws of the distribution of random variables.....	78
Conclusions	82

CONTENTS

CHAPTER 3

FORECASTING TECHNOLOGIES FOR THE TROPOSPHERE REFRACTIVE INDEX AND SELECTION OF OBJECTS OF SPACE NETWORK GROUND SEGMENT SUSTAINMENT

3.1. Diagnosis of refractive index based on measurement results of meteorological parameters at arbitrary points of space.....	84
3.1.1. Substantiation of the method	85
3.1.2. Use of the method for different regions of Ukraine and other countries	92
3.2. Principles of the choice optimization for the location points of Ukraine navigation equipment	118
3.2.1. Quality criteria for selection of reference points	118
3.2.2. Methodology of covering the territory by reference points	122
3.3. A map of similar to the radioclimatic conditions of the points of Ukraine	123
Conclusions	130

CHAPTER 4

DETERMINATION OF TROPOSPHERIC REFRACTION USING SIGNALS OF TV BROADCAST STATIONS

4.1. Measurement methodology and hardware complex for registration of VHF signals.....	131
4.1.1. Selection of measuring tracks	131
4.1.2. Hardware complex for receiving VHF signals	132
4.1.3. Estimation of the multiplier of the weakening of the troposphere.....	135
4.2. Determination of the refractive properties of the troposphere using radiation from television centers	138
4.2.1. Experimental study of the factor of weakening the field of VHF.....	138
4.2.2. Determination of tropospheric refraction by the level and nature of the behavior of the VHF signal	142
4.3. Determination of the characteristics of reflecting layers in the troposphere by variations in the intensity of signals on the tracks	149
4.3.1. Channel propagation model of a VHF signal on a training line in the presence of an inversion layer.....	150
4.3.2. Experimental studies.....	152
4.4. Analysis of the characteristics of secondary radiation sources in channels with multipath	154
4.4.1. Using the methods of detection-measurement	155
4.4.2. Spectral evaluation methods.....	160
4.5. Influence of solar eclipses on the characteristics of tensile signals.....	166
4.5.1. Influence on VHF television signals.....	172
4.5.2. Comparison with data of contact measurements.....	175
Conclusions	179

CHAPTER 5

**USE OF RADIO EMISSION OF NAVIGATION SATELLITES
FOR MONITORING OF ENVIRONMENT**

5.1. Use of “radio-sets” of GNSS satellites to determine the refractive properties of the troposphere	181
5.1.1. Measurement techniques and data processing.....	183
5.1.2. Data on the angles of satellite “radio-sets” measurements and their correlation with the gradient of the refractive index	185
5.2. Use of standard modes of receivers of global navigation systems for evaluation of the troposphere refractive properties.....	192
5.2.1. Equipment and method of measurement.....	192
5.2.2. Results	195
5.3. Detection of meteorological phenomena on the basis of GNSS-measurements.....	199
5.3.1. Prerequisites for using GPS.....	199
5.3.2. Peculiarities of the behavior of GNSS signals in the presence of meteorological formations on the rout and the results of their detection.....	204
5.3.3. Analysis of spatial distribution of refractive index according to GPS data	215
5.4. Model of the mapping function for tropospheric delay.....	216
5.4.1. Formulation of the model of the mapping function.....	218
5.4.2. Solution of inverse problem to find a gradient of the troposphere refractive index.....	223
5.5. The influence of the Sun on the atmosphere.....	225
5.5.1. Influence of solar activity on the troposphere	225
5.5.2. Influence of solar eclipse on GNSS-measurement	227
5.6. Investigation of the underlying surface with the help of the radiation of the global navigation satellite system	234
Conclusions	247

CHAPTER 6

**DETECTION OF AIR AND ABOVE WATER OBJECTS
USING ABOVE-GROUND AND SPACE RADIO TECHNICAL SYSTEMS**

6.1. Use of GNSS radiation	249
6.1.1. Bistatic system using illumination of GNSS signals	249
6.1.2. Detection of objects in raying mode.....	254
6.2. Using the radiation of HF-band broadcast stations	256
6.2.1. Bistatic radar with illumination through the ionosphere	257
6.2.2. Effective scattering surfaces of airborne objects in the decameter band.....	259
6.2.3. Experimental study of the level of disturbances for bistatic HF-radar	261
6.2.4. Detection of air objects using broadcast HF stations	265
6.3. Estimation of the refractive properties of the troposphere and the detection of objects using the angles of arrival of signals of television centres in the range of direct visibility.....	267
6.3.1. Method of determining the refractive properties of the troposphere using the angle of arrival of the television center radiation	267

CONTENTS

6.3.2. Use of backlighting by television signals for remote sensing of anthropogenic formations by a monopulse phase-difference direction finder.....	271
Conclusions	274

CHAPTER 7

ACCOUNTING THE INFLUENCE OF MEDIUM OF PROPAGATION FOR INCREASING ACCURACY OF COORDINATE FINDING WHILE USING GNSS

7.1. Formation of differential corrections in systems of global navigation	275
7.1.1. Interpolation method for the formation of differential corrections in the determination of coordinates	275
7.1.2. Interpolation method of pseudorange correction	285
7.2. Removal of abnormally big errors while determining the coordinates of GNSS.....	289
7.2.1. Removal of abnormally big errors while measuring the spatial coordinates.....	289
7.2.2. Use of the features of GNSS signals behavior at small elevation angles to improve the accuracy of measurements.....	292
7.3. An empirical model for the correction of zenith tropospheric delay	297
Conclusions	303
CONCLUSIONS.....	305

Appendix A

APPARATUS COMPLEXES FOR MEASUREMENT

A.1. Measuring complex for registration of GNSS signals	311
A.1.1. Single-frequency complex	311
A.1.2. Two-frequency complex	314
A.2. Meteorological support for experiments.....	315
A.2.1. Measurement complex for registration of signals of meteorological satellites of the Earth	315
A.2.2. Meteorological station	316
A.2.3. Condenser low-frequency refractometer.....	320
REFERENCES.....	322

Розглянуті можливості використання радіосистем наземного (телевізійні центри, віщальні мовні станції) і космічного (глобальні навігаційні супутникові системи) базування для вирішення проблеми дистанційного зондування та моніторингу навколишнього середовища і об'єктів у ньому. Запропоновано методи діагностики тропосфери, опису коефіцієнта заломлення з використанням напівмарківських процесів та атомарних функцій Кравченка — Рвачова. Вивчено сезонні і висотні залежності радіометеорологічних параметрів, радіокліматичні особливості України. Створено технології визначення ефективного градієнта коефіцієнта заломлення за множителем послаблення ультракороткохвильових сигналів телевізійних центрів на заобрійних трасах у зоні ближньої геометричної тіні, за кутами радіозаходів і сходів штучних супутників Землі, виявлення зон опадів за флуктуаціями псевдовідстаней і змінами оцінок координат, характеристик поверхні суші за флуктуаціями сигналів глобальної навігаційної супутникової системи.

Книга призначена для науковців і фахівців, що займаються розробкою методів і технологій дистанційного зондування довкілля з використанням випромінювань наземних і космічних радіотехнічних систем. Буде корисною для студентів і викладачів закладів вищої освіти радіофізичного профілю.

Наукове видання

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ РАДІОФІЗИКИ ТА ЕЛЕКТРОНІКИ
ім. О. Я. УСИКОВА НАН УКРАЇНИ

ЛУЦЕНКО Владислав Іванович, ЛУЦЕНКО Ірина Владиславовна,
ПОПОВ Дмитро Олегович, ПОПОВ Ігор Володимирович

ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ ДОВКІЛЛЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ВИПРОМІНЮВАННЯ НАЗЕМНИХ І КОСМІЧНИХ РАДІОСИСТЕМ

Англійською мовою

Видається в авторській редакції

Художнє оформлення *Є. О. Ільницького*
Технічний редактор *Т. М. Шендерович*
Комп'ютерна верстка *В. Г. Веденської*

Підписано до друку 10.12.2020. Формат 70 × 100/16.
Гарн. МіпіонPro. Ум. друк. арк. 28,19. Обл.-вид. арк. 31,50.
Тираж 200 прим. Зам. № 6182

Видавець і виготовлювач

Видавничий дім «Академперіодика» НАН України
вул. Терешенківська, 4, Київ, 01004, Україна

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи серії ДК № 544 від 27.07.2001