

# РАДИО- ТЕХНИКА

**175/2013**



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

## **РАДИОТЕХНИКА**

**Всеукраинский межведомственный  
научно-технический сборник**

Основан в 1965 г.

**В Ы П У С К 175**

Харків  
Харківський національний  
університет радіоелектроніки  
2013

*Сборник включен в список специальных изданий ВАК Украины по физико-математическим и техническим наукам.*

*Регистрационное свидетельство КВ № 12098-969 ПР от 14. 12. 2006.*

*Ответственность за содержание статей несут авторы.*

#### **Редакционная коллегия**

Н.И. Слипченко, д-р физ.-мат наук, проф. (главный редактор)  
Ю.Б. Гимпилевич, д-р физ.-мат. наук, проф.  
И.Д. Горбенко, д-р техн. наук, проф.  
Ю.Е. Гордиенко, д-р физ.-мат. наук, проф.  
А.Н. Довбня, чл.-кор. НАНУ, д-р физ.-мат. наук., проф.  
В.М. Карташов, д-р техн. наук, проф.  
А.А. Коноваленко, академик НАНУ, д-р физ.-мат. наук  
В.М. Кузмичев, д-р физ.-мат. наук, проф.  
Л.М. Литвиненко, академик НАНУ, д-р физ.-мат. наук  
А.И. Лучанинов, д-р физ.-мат. наук, проф. (зам. главного редактора)  
И.М. Неклюдов, академик НАНУ, д-р физ.-мат. наук  
А.Г. Пашенко, канд. физ.-мат. наук, доц. (ответственный секретарь)  
В.В. Поповский, д-р техн. наук, проф.  
Э.Д. Прохоров, д-р физ.-мат. наук, проф.  
А.И. Стрелков, д-р техн. наук, проф.  
К.С. Сундучков, д-р техн. наук, проф.  
П.Л. Токарский, д-р физ.-мат. наук, проф.  
А.И. Фисун, д-р физ.-мат. наук, проф.  
Г.И. Хлопов, д-р техн. наук  
Я.С. Шифрин, д-р техн. наук, проф.

#### **Международная редакционная коллегия**

A.G. Karabanov, USA  
S.E. Sandström, Sveden  
N. Chichkov, Germany

*Ответственный за выпуск А.И. Лучанинов, д-р физ.-мат. наук, проф.  
Технический секретарь Е.С. Полякова*

Рекомендовано Ученым советом Харьковского национального университета радиоэлектроники, протокол № 26 от 27.12.2013.

*Адрес редакционной коллегии: Харьковский национальный университет радиоэлектроники (ХНУРЕ), просп. Ленина, 14, Харьков, 61166, тел. (0572) 7021-397.*

*Сборник «Радиотехника» включен в Каталог подписных изданий Украины, подписной индекс 08391*



## СОДЕРЖАНИЕ

### КАФЕДРЕ ФИЗИЧЕСКИХ ОСНОВ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ – 50 ЛЕТ

<i>Е.В. Вознюк, Ю.П. Мачехин</i> DWDM системы связи на основе многочастотного лазерного излучения	7
<i>А.В. Васянович, Ю.П. Мачехин, Ю.Л. Старчевский, А.И. Экезли, А.В. Горбань</i> Коллиматор для светодиодных источников инфракрасного излучения	15
<i>С.В. Николаев, В.В. Пожар, М.И. Дзюбенко</i> Влияние частоты возбуждения на генерационные характеристики лазеров на красителях с когерентной накачкой	22
<i>С.В. Николаев, В.В. Пожар, М.И. Дзюбенко</i> Вынужденное излучение твердотельных оптически-неоднородных активных сред на основе гетерокомпозигов “полиуретан-краситель”	30
<i>Е. Н. Одаренко</i> Фотонно-кристаллические волноводные структуры для электронных приборов терагерцового диапазона	39
<i>С.В. Грищенко, О.И. Синельников, С.О. Якушев, В.И. Фесенко, А.В. Шулика, И.А. Сухоиванов</i> Исследование переноса заряда в низкоразмерной двумерной полупроводниковой структуре с учетом немарковских эффектов	46
<i>А.П. Федоряко, А.И. Кочержин, М.П. Кухтин, Э.И. Черняков</i> Динамическое рассеяние света в нематическом жидком кристалле ЖК-440	53
<i>С.М. Кухтин</i> Измерение потерь в газах методом модуляционной лазерной спектроскопии с прямым преобразованием Фурье	58
<i>О.В. Афанасьева, Н.А. Лалазарова, Е.П. Федоренко</i> Использование лазеров малой мощности в промышленных технологиях	63
<i>Т.И. Фролова</i> Выбор материала для изготовления колбы безэлектродной СВЧ-лампы	68

### РАДИОФИЗИКА

<i>В. Н. Мизерник, Е. Н. Одаренко, А. А. Шматько</i> Новый подход для решения электродинамической задачи возбуждения волноводной волной ферритового резонатора	73
<i>А. С. Вакула, С. В. Недух, С. И. Тарапов, С. Ю. Полевой, А. А. Харченко</i> Исследование эффективной намагнитченности насыщения наноразмерных пленок пермаллоя методом сверхвысокочастотного ферромагнитного резонанса	78
<i>С.П. Арсеничев, Г.Н. Бендеберя, Е.В. Григорьев, С.А. Зувев, Н.И. Слипченко, В.В. Старостенко, Е.П. Таран</i> Экспериментальное исследование дифракционных свойств тонких проводящих пленок в волноводе	82
<i>Н.И. Слипченко, А.Н. Бородкина</i> Сравнение результатов численного моделирования систем помещения образцов в СВЧ резонаторных датчиках с коаксиальной измерительной апертурой	89
<i>Е.А. Медведев, Уайд С. Р.</i> Сравнительная оценка различных методов анализа электродинамических свойств нанотрубок	97
<i>С.В. Куцак</i> Моделирование импедансными поверхностями периодических неоднородностей в прямоугольных волноводах	102

### РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ

<i>В.А. Тихонов, А.И. Литвин-Попович, Н.В. Кудрявцева</i> Подавление земной помехи в системах вертикального зондирования атмосферы на основе мультипликативной модели	109
<i>С.И. Бабкин, М.В. Кушнир</i> Оценка влияния горизонтального ветра на амплитудную структуру сигналов системы радиоакустического зондирования атмосферы	114
<i>В.И. Леонидов</i> Акустическое зондирование в задаче обнаружения и регистрации термодинамических возмущений в приземном слое атмосферы	120
<i>У.Г. Богомаз, Т.В. Белик, В.В. Данилов</i> Информационная технология определения функции передачи оптической системы построения изображения	127
<i>Т.Е. Данова, Б.В. Перелыгин</i> Требования к гидрометеорологической информации, получаемой от радиолокационных станций	134



<i>В.В. Журнов, С.В. Солонская, И.И. Зима</i> Применение вейвлет-преобразования для формирования радиолокационных виртуальных изображений	142
<i>О.Н. Файзулаева</i> Автоматизация процедур принятия решения об исключении из обработки первой модовой функции при использовании преобразования Гильберта - Хуанга	147

## ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

<i>О.Ю. Евсеева</i> Тензорная модель многополюсной телекоммуникационной сети	154
<i>С.В. Гаркуша</i> Особенности использования гиперграфов при моделировании многоканальных mesh-сетей стандарта IEEE 802.11	160
<i>О.Ю. Евсеева, М.Б. Кадер</i> Математическая модель управления ресурсами гибридной сети доставки контента с гарантированным качеством обслуживания	170
<i>А.Ю. Васильев, Р.В. Кожин</i> Высокоэффективная система передачи на ПЛИС	178

## РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА

<i>В.Г. Крыжановский</i> Автогенератор класса Е с расширенной полосой перестройки	184
<i>В.Г. Крыжановский, Ю.Г. Охрименко, Д.В. Чернов</i> Анализ области устойчивой работы кольцевого автогенератора класса Е	189

## СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

<i>А.В. Бессалов, А.А. Дихтенко, О.В. Цыганкова</i> Алгоритм выбора канонической кривой, изоморфной кривой Эдвардса над простым полем	195
<i>А.В. Бессалов, А.А. Дихтенко</i> Изоморфные канонической форме эллиптические кривые Эдвардса над расширенными полями характеристики 2	200
<i>Ю.С. Яремчук</i> Специалізовані процесори реалізації автентифікації учасників взаємодії на основі рекурентних послідовностей	206
<i>А. И. Цопа</i> Оценка влияния кодирования и скремблирования сигнала на защищенность системы передачи информации	210

## ТЕХНОЛОГИЯ, ПРОИЗВОДСТВО, ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ РЭА

<i>В.Г. Котух, К.Ю. Харенко, М.А. Мирошник, Ю.В. Пахомов</i> К вопросу применения лакофольговых диэлектриков в датчиках измерения физических величин	217
<i>С.К. Мецанинов</i> Исследование эффективности электронной аппаратуры для медико-биологических исследований	224

## СМЕЖНЫЕ ВОПРОСЫ РАДИОТЕХНИКИ

<i>А.Н. Андреев, А.Г. Лазаренко</i> Измерение размеров частиц в коллоидных растворах методами корреляционной спектроскопии	229
<i>Н.Н. Чернышов</i> Исследование квазинейтральной модели плазмы на основании флуктуационно-диссипативной теоремы	234
РЕФЕРАТЫ	238

# CONTENT

## DEPARTMENT OF PHYSICAL FOUNDATIONS OF ELECTRONIC ENGINEERING – 50 YEARS ANNIVERSARY

<i>E. Vozniuk, Yu. Machekhin</i> DWDM communication systems based on multifrequency laser radiation	7
<i>A.V. Vasyanovich, Y.P. Machekhin, Y.L. Starchevskiy, A.I. Ekezi, O.V.Gorban</i> LED collimator for sources of infrared radiation	15
<i>S.V. Nikolaev, V.V. Pozhar, M.I. Dzyubenko</i> Influence of the excitation frequency on generation characteristics of dye coherent pumped lasers	22
<i>S.V. Nikolaev, V.V. Pozhar, M.I. Dzyubenko</i> Stimulated radiation of solid -state optical-inhomogeneous active medium based on heterocomposites “polyurethane-dye”	30
<i>E. N. Odarenko</i> Photonic crystal waveguide structures for terahertz vacuum electronic devices	39
<i>S.V. Grishchenko, O.I. Sinelnikov, S.O. Yakushev V.I. Fesenko, A. Shulika, I.A. Suhoivanov</i> The study of charge transfer in a two-dimensional low-dimensional semiconductor structure including non-Markov effects	46
<i>A.P. Fedoryako, A.I. Kocherzhin, M.P. Kukhtin, E.I. Chernyakov</i> Dynamic light scattering in nematic liquid crystal LC-440	53
<i>S. M. Kukhtin</i> Measurement of losses in gases by means of laser modulation spectroscopy with direct Fourier transform	58
<i>O. V. Afanasieva, N. A. Lalazarova. E.P. Fedorenko</i> Usage of low-intensity lasers in the industrial engineering	63
<i>T.I. Frolova</i> Selection of the material for a microwave electrodeless bulb lamp manufacture	68

## RADIO PHYSICS

<i>V. N. Mizernik, E. N. Odarenko, A. A. Shmat'ko</i> New approach to the solution of the electrodynamics problem of the ferrite resonator excitation by guided wave	73
<i>A. S. Vakula, S. V. Nedukh, S. I. Tarapov, S. Yu. Polevoy, A. A. Kharchenko</i> Research into effective saturation magnetization of nano dimensional films using microwave ferromagnetic resonance method	78
<i>S.P. Arsenichev, G.N. Bendeberya, Ye.V. Grygoriev, S.A. Zuev, N.I. Slipchenko, V.V. Starostenko, Ye.P. Taran</i> Experimental research of conducting thin films diffraction properties in a waveguide	82
<i>N.I. Slipchenko, A.N. Borodkina</i> Comparison of the results of numerical modeling of systems by placing a sample in a microwave resonator sensor with coaxial measuring aperture	89
<i>E.A. Medvedev, S.R. Owaid</i> Comparative evaluation of different methods for analysis of the nanotubes electrodynamic properties	97
<i>S.V. Kutsak</i> Modeling of periodic irregularities in rectangular waveguides by impedance surfaces	102

## RADIO ENGINEERING SYSTEMS, SIGNALS PROCESSING

<i>V.A.Tikhonov, A.I.Lytvyn-Popovych, N.V.Kudryavtseva</i> Ground clutter suppression in radar wind profiler systems by means of a multiplicative mode	109
<i>S.I.Babkin, M.V.Kushnir</i> Estimation of the impact of horizontal wind on the structure of the signal amplitude of the atmosphere radio-acoustic sounding	114
<i>V.I. Leonidov</i> Acoustic sounding in problem of the finding and registrations of the thermodynamic perturbations in the surface layer of atmosphere	120
<i>U.G. Bogomaz, T.V. Belik, V.V. Danilov</i> Information technology for defining the transfer function of optical imaging system	127
<i>T. Danova, B. Perelygin</i> Requirements for radar hydrometeorological information received from radars	134
<i>V. Zhirnov, S. Solonskaya, I. Zima</i> Wavelet-transform applications to generate the radar virtual images	142
<i>O.N. Fayzulayeva</i> Automation of decision-making procedures to exclude the first mode function from the processing using the Hilbert-Huang transform	147



## TELECOMMUNICATIONS SYSTEMS

<i>O. Yu. Yevsyeyeva</i> Tensor model of multipolar telecommunications network	154
<i>S.V. Garkusha</i> Hypergraphs use features in the simulation of multi-channel mesh networking standard IEEE 802.11	160
<i>O. Yu. Yevsyeyeva, M.B. Khader</i> Mathematical model for resource management in hybrid content delivery network with guaranteed quality of service	170
<i>O.U. Vasilyev, R.V. Kozhin</i> High-effective data transmission system using FPGA	178

## RADIO ENGINEERING DEVICES

<i>V. G. Krizhanovski</i> E class oscillator with extended frequency tuning bandwidth	184
<i>V. G. Krizhanovski, Ju. G. Okhrimenko, D.V. Chernov</i> Analysis of area stable mode of operation of the E class ring oscillator	189

## INFORMATION SECURITY SYSTEMS

<i>A.V. Bessalov, A.A. Dikhtenko, O.V. Tsygankova</i> Algorithm of choosing an elliptic curve isomorphic to the Edwards curve over a prime field	195
<i>A.V. Bessalov, A.A. Dikhtenko</i> Edwards curves isomorphic to ordinary elliptic curves over extended fields of characteristics 2	200
<i>Yu. Yaremchuk</i> Specialized processors realization authentication of interaction parties based on recurrent sequences	206
<i>O. Tsopa</i> Estimation of the signal encoding and scrambling impact on the information transmission system security	210

## REA TECHNOLOGY, PRODUCTION AND LIFE CYCLE

<i>V.G.Kotukh, K.Yu. Kharenko, M.A. Miroshnick, Yu.V. Pakhomov</i> To the problem of the lacquer-foil dielectrics use in sensors for physical quantities measuring	217
<i>S.K. Meshaninov</i> Researches into efficiency of electronic apparatus for medical-biological explorations	224

## COMPLEMENTARY QUESTIONS OF RADIO ENGINEERING

<i>A.N. Andreev, A.G. Lazarenko</i> Particles sizes measurement in colloidal solutions with correlation spectroscopy methods	229
<i>N.N. Chernyshov</i> Research in quasi neutral model of plasma based on the fluctuation-dissipative theorem	234
ABSTRACTS	238



## ТРЕБОВАНИЯ К ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ, ПОЛУЧАЕМОЙ ОТ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ

### Введение

Состояние атмосферы существенным образом определяет эффективность функционирования различных отраслей хозяйства – транспорта, сельского, лесного и водного хозяйства, а также различных городских структур. Изучение закономерностей процессов и количественного описания различных атмосферных явлений основано на результатах экспериментальных измерений. Экспериментальные исследования, которые включают в себя дистанционные наблюдения за различными характеристиками тропосферы, носят, безусловно, научно-исследовательский характер.

### Актуальность

Последние три десятилетия характеризуются существенным ростом количества стихийных бедствий в масштабах всего мира. Ежегодно катастрофы, связанные с метеорологическими, гидрологическими и климатическими факторами, уносят жизни огромного числа людей и задерживают социально-экономическое развитие стран на многие годы, и даже десятилетия. Опасности, связанные с погодой, климатом или водной стихией, т.е. засухи, наводнения, ураганы, тропические циклоны, штормовые приливы, экстремальные температуры воздуха, оползни и лесные пожары, а также эпидемии заболеваний и заражения насекомыми напрямую связаны с метеорологическими и гидрологическими условиями. По данным Steve Jennings, “Time’s Bitter Flood” на долю метеорологических и гидрологических условий приходится 90 % этих стихийных бедствий, гибель 73 % их жертв и 75 % экономических потерь. Прогресс в области мониторинга, прогнозирования и предупреждения опасных климатических явлений в сочетании с эффективным обеспечением готовности к чрезвычайным ситуациям и реагированием на них на земле, позволяет спасать жизни людей. За последние 50 лет, притом, что количество стихийных бедствий и масштабы связанных с ними экономических потерь увеличились в глобальном масштабе в 10 – 50 раз, зарегистрированное число погибших в результате этих бедствий сократилось в 10 раз. Климатические прогнозы и информация позволяют совершенствовать организацию жизни сообществ, чтобы снизить риск бедствий в случае формирования экстремальных погодных условий.

### Цель исследования

Информацию о состоянии атмосферы предоставляют, в ряду существующих технических средств, и радиолокационные станции (РЛС). Более чем шестидесятилетний опыт их применения для наблюдения за облаками и осадками позволил сформулировать достаточно четкие требования к РЛС метеорологического назначения. Эти требования зависят как от решаемых метеорологическими РЛС (МРЛС) задач, так и от метеорологических условий распространения радиоволн в данном физико-географическом районе. Однако современные климатические изменения, коснувшиеся, в том числе, и территории Украины, а также усовершенствование технических средств наземного зондирования атмосферы, выдвигают новые требования к гидрометеорологической информации, получаемой от МРЛС. Целью исследования является уточнение требований к МРЛС с учетом изменяющихся климатических условий и необходимости построения радиолокационной системы, образующей единое радиолокационное поле над всей территорией страны и прилегающими к ней районами.



## Научная новизна

Научная новизна приведенных исследований заключается в уточнении требований к МРЛС в современных климатических условиях.

## Методы исследования

На примененном в работе теоретическом уровне исследования в качестве основного метода исследования использовался анализ.

## Изложение основного материала

В настоящее время одним из основных инструментов дистанционного мониторинга окружающей среды для обнаружения опасных явлений погоды, а следовательно, прогнозирования и обнаружения бедствий и предупреждения их негативных последствий являются МРЛС. Эти станции осуществляют сбор данных о состоянии окружающей среды на основе измерения параметров естественных и искусственных электромагнитных излучений, которым присуще свойство сохранения информации о взаимодействующей с ними окружающей среде. Средства дистанционного зондирования наземного и космического базирования образуют фундамент Глобальной системы наблюдения за климатом Всемирной метеорологической организации (ВМО). Современные климатические изменения придают задаче мониторинга основополагающее значение. Мониторинг, как известно, включает в себя долговременные измерения многих параметров атмосферы и подстилающей поверхности, анализ изменений состояния системы атмосфера-поверхность, и прогноз этих изменений в будущем. С изменением климата Земли связаны разрушение озонового слоя нашей планеты, изменение температуры, осадков, подъем уровня Мирового океана, увеличение ультрафиолетовой освещенности земной поверхности и т.д. В настоящее время это является наиболее значимой проблемой [1 – 4]. Учитывая, что климатические изменения могут стать причиной нежелательных экологических, экономических и социальных последствий, международным сообществом был заключен ряд соглашений: Рамочное соглашение ООН по изменению климата Земли (UN Framework Convention on Climate Change – FCCC); Венская конвенция об охране озонового слоя; Монреальский протокол Венской Конвенции об охране озонового слоя; Соглашение об ограничении выбросов парниковых газов; Киотский протокол и т.д.

В связи с этим, одним из важных направлений является формирование системы наблюдений за состоянием атмосферы, выполняющей, кроме всех прочих, функцию климатического мониторинга. Для выполнения всех требований необходим вклад различных систем наблюдений – локальных, дистанционных. Оптимальная интеграция этих систем требует тщательного планирования на международном и национальном уровне для получения максимального эффекта от существующей и планируемой к созданию наблюдательной системы [4, 5]. Таким планированием занимается ВМО, в которую входят 189 стран и территорий, а также другие международные и национальные ведомства.

В границах одной страны целесообразно, доступно и экономически выгодно вести разработку системы наземного дистанционного зондирования атмосферы. К измерениям характеристик атмосферы с помощью наземных дистанционных систем предъявляются специфические требования: 1) необходимость измерения большого количества характеристик атмосферы; 2) измерения должны охватывать значительный диапазон пространственных масштабов атмосферных процессов и явлений (от молекулярных процессов до синоптического масштаба); 3) исследования и контроль состояния должны осуществляться на территории всей страны; 4) необходимость долговременного постоянного контроля состояния системы «подстилающая поверхность-атмосфера» и осуществления прогнозов на различные сроки.

Таким образом, цели наземного дистанционного зондирования атмосферы можно сформулировать следующим образом: 1) контроль состояния атмосферы, включающий в себя ежедневный мониторинг, своевременное обнаружение опасных явлений; 2) осуществление прогнозов погоды различной заблаговременности; 3) исследование климата определенной территории и прогноз его возможных изменений; 4) научно-исследовательские задачи.



Следовавшие одна за другой всемирные конференции радиосвязи Международного союза за электросвязи учитывали потребности метеорологического сообщества в обеспечении наличия и защиты радиочастотных полос для таких инструментов наблюдения, как радиозонды, метеорологические радары и радары профиля ветра, инфракрасные и микроволновые зонды космического базирования. В рамках нескольких пунктов Всемирной конференции радиосвязи 2012 года (ВКР-12) рассматриваются полосы частот и вопросы, представляющие первоочередной интерес для метеорологии. Эти пункты можно разделить на две группы: 1) пункты, касающиеся дальнейшего развития систем или применений наблюдения; 2) пункты, которые могут оказать определенное воздействие на эксплуатацию систем или применений мониторинга.

В целях своевременного и полноценного мониторинга окружающей среды необходимо перейти на качественно более высокий уровень, который предполагает построение общегосударственной сети метеорологических радиолокационных станций. Данные, полученные в ходе оперативной работы метеорологических радиолокаторов и автоматических грозопеленгаторов-дальномеров, в сопоставлении с данными сети пунктов наземных метеорологических наблюдений позволят существенно повысить качество сверхкраткосрочного («Nowcasting») прогноза опасных природных явлений. Задача состоит в создании единой сети наземных метеорологических радиолокаторов с единым, охватывающим всю территорию Украины, радиолокационным полем, и позволяющей осуществлять полный климатический мониторинг.

### Обсуждение результатов исследования

Дистанционные методы измерений основаны на регистрации на определенном расстоянии от исследуемого объекта характеристик различных полей – электрических, магнитных, электромагнитных, гравитационных, акустических. Исследуемый объект трансформирует падающие на него поля или генерирует собственные поля, и это позволяет исследовать его состояние [4, 6]. Определим перечень важнейших параметров климата Земли, которые необходимо контролировать периодически и длительное время, в том числе и радиолокационными методами (табл. 1) [5].

Таблица 1

Среда	Важнейшие климатические параметры
Атмосфера	Температура, осадки, скорость и направление ветра, водяной пар
Свободная атмосфера	Температура, характеристики облаков, радиационный баланс (включая солнечное излучение), скорость и направление ветра, водяной пар
Состав атмосферы	CO <sub>2</sub> , метан, озон, другие долгоживущие газы, характеристики аэрозолей

На основе длительной работы большого числа специалистов в различных областях атмосферной науки, в рамках специальных международных рабочих групп были сформулированы требования к измерениям в атмосфере для решения различных задач и для различных разделов геофизической науки [4]. К ним относят: а) погрешности измерений (случайные и систематические); б) пространственное (горизонтальное и вертикальное) разрешение; в) периодичность (частота) измерений; г) высотный диапазон измерений; д) оперативность представления данных измерений для использования; е) надежность (reliability) данных измерений.

В ряде случаев [4, 7] формулируются требования трех уровней: 1) «threshold» – минимальные (предельные) требования, которые следует выполнять, чтобы измерения были полезны; 2) «goal» – идеальные требования, выполнение которых не требует дальнейшего улучшения систем наблюдения; 3) «breakthrough» – промежуточный (оптимальный) уровень требований между «breakthrough» и «goal», который при достижении дает значительное улучшение для конкретного применения. Этот уровень можно рассматривать как оптимальный с учетом компромисса между стоимостью и выгодой, когда планируется, или создается система наблюдений.



Полный и детальный список требований к измерениям многочисленных параметров атмосферы подготовила ВМО для следующих областей использования: а) атмосферная химия; б) численный прогноз погоды; в) «Nowcasting» (мезомасштабный сверхкраткосрочный прогноз погоды на период 2-3 часа); г) региональный численный прогноз погоды; д) исследования климата; е) синоптическая метеорология; ж) авиационная метеорология; и) сельскохозяйственная метеорология; к) безопасность и предотвращение террористической деятельности.

Требования к измерениям (по пространственному разрешению, характеристикам точности и т.д.) отличаются в зависимости от области использования и сформулированы для различных областей атмосферы: а) нижняя тропосфера (1000 – 500 гПа), б) верхняя тропосфера (500 – 100 гПа), в) нижняя стратосфера (100 – 10 гПа), г) общее содержание в атмосферном столбе (иногда отдельно в тропосфере). Все параметры разбиты на группы: а) температурное и влажностное зондирование атмосферы; б) ветровое зондирование; в) облака и осадки; г) атмосферная энергетика; д) озон и другие малые газовые составляющие;

Требования ВМО и других ведомств и программ сформулированы для следующих параметров различных областей атмосферы и поверхности: а) температура и влажность воздуха; б) показатель устойчивости атмосферы; в) тип облаков; г) бальность облачности; д) высота нижней и верхней границ облачности; е) температура верхней границы облаков; ж) профиль жидкой воды в облаках и общее содержание жидкой воды; и) размеры облачных капель на верхней границе облаков; к) профиль облачных ледяных частиц и их общее содержание; л) характеристики осадков; м) изображения облачного покрова; н) профиль вертикальной и горизонтальной компонент ветра; п) профиль содержания аэрозоля и интегральный (суммарный) аэрозоль.

Проанализируем требования для ряда параметров атмосферы, сформулированные ВМО для выполнения задач контроля состояния атмосферы, прогнозов погоды различной заблаговременности и пространственных масштабов, исследований климата определенной территории, а также использования данных в различных областях жизнедеятельности. В первую очередь, представляет интерес своевременное обнаружение, идентификация опасных погодных условий и принятия мер защиты от них (в том числе и методами активного воздействия).

*Требования, предъявляемые к измерениям характеристик облаков.* Требования к измерениям различных характеристик облаков отличаются в зависимости от использования данных в региональном прогнозе, «Nowcasting», авиационной и синоптической метеорологии. В качестве примера в табл. 2 приведены требования (оптимальные/предельные) к измерениям характеристик облаков при использовании данных в региональном прогнозе.

Требования к горизонтальному разрешению различных характеристик облаков составляют, как правило, 10/250 км. Исключением являются требования к изображениям облаков – 1/50 км. Требования к вертикальному разрешению измерений в нижней тропосфере составляют 0,3/5 км, в верхней тропосфере – 1/10 км. Требуемая периодичность измерений почти одинакова для различных параметров и колеблется в диапазоне (0,5/6–0,5/12) ч. Требования к погрешностям измерений различных параметров облаков приведены в пятом столбце табл. 2. Например, высоту нижней границы облаков (основание) следует определять с погрешностями 0,5/1 км, покрытие облаков (бальность облачности) с погрешностями 5/20 %. Требуемая оперативность представления данных измерений колеблется в диапазоне (0,5/2–0,5/12) ч.

Учитывая, что исследования проводятся для территории Украины, где последние десятилетия характеризуются значительными изменениями термического режима тропосферы, необходимо внести коррективы в требования к вертикальному разрешению измерений в верхней тропосфере [8]. Анализ динамики высот основных температурных уровней в тропосфере Украины показал устойчивый рост их высот. Исследования коснулись высоты трех основных температурных уровней в тропосфере:

1) нулевая изотерма 0,0°C, линия одинаковых температур, делящая тропосферу на положительные и отрицательные температуры;



- 2) изотерма  $-25,0^{\circ}\text{C}$  характеризует уровень, на котором начинается естественная кристаллизация;
- 3) изотерма  $-32,0^{\circ}\text{C}$  характеризует уровень интенсивной кристаллизации.

Таблица 2

Требования	Горизонтальное разрешение, км	Вертикальное разрешение, км	Периодичность, ч	Погрешность	Оперативность, ч
Высота основания облаков	10/250		0,5/12	0,5/1 км	0,5/3
Покрытие облаков	10/250		0,5/12	5/20 %	0,5/2
Размеры частиц на верхней границе облаков	10/250		0,5/12	0,5/2 мкм	0,5/2
Профиль ледяных частиц в верхней тропосфере	10/250	1/10	0,5/12	5/20 %	0,5/2
Профиль ледяных частиц в нижней стратосфере	10/250	0,3/5	0,5/12	5/20 %	0,5/2
Общее содержание ледяных частиц	10/250		0,5/12	10/20 г/м <sup>2</sup>	0,5/2
Изображение облаков	1/50		0,5/6		0,5/2
Высота верхней границы	10/250		0,5/12	0,5/1 км	0,5/2
Профиль водяных частиц (<100 мкм) в верхней тропосфере	10/250	1/10	0,5/12	5/20 %	0,5/2
Профиль водяных частиц (<100 мкм) в нижней тропосфере	10/250	0,3/5	0,5/12	5/20 %	0,5/12
Общее содержание водяных частиц (<100 мкм)	10/250		0,5/12	10/50 кг/м <sup>2</sup>	0,5/12
Профиль водяных частиц (>100 мкм) в верхней тропосфере	10/250	1/10	0,5/12	5/20 %	0,5/2
Профиль водяных частиц (>100 мкм) в нижней тропосфере	10/250	0,3/5	0,5/12	5/20	0,5/2
Общее содержание водяных частиц (>100 мкм)	10/250		0,5/12	10/50 кг/м <sup>2</sup>	0,5/4

Высота каждого из этих уровней имеет огромное значение для облако- и осадкообразования. Особенно это касается кучево-дождевой облачности, с которой связано большинство стихийных явлений погоды теплого периода года. Так, формирование ливневых осадков в облаке прямым образом зависит от температурного режима тропосферы: выпадающие на поверхность земли крупные капли дождя в облаке формируются как ледяная крупа или мелкий град, только таким образом они могут достигнуть поверхности земли и не испарится [9].

За период с 1973 по 2012 год в тропосфере Украины наблюдается значительное увеличение высоты всех температурных уровней на величину от 100 до 400 м. Причем максимальный рост наблюдается у уровня интенсивной кристаллизации [8]. Учитывая повышение основных температурных уровней можно ожидать, кроме всего прочего, рост высоты кучево-дождевой облачности в регионе. Так, ранее проведенные исследования показали, что для Северного Причерноморья характерны максимальные высоты верхней границы мощных кучево-дождевых облаков теплого периода года в пределах от 11,0 до 18,7 км [10], в современных условиях вполне возможно формирование мощной кучево-дождевой облачности с высокой верхней границы превышающей рубеж 20,0 км.



Выявление особенностей зарождения и развития радиоэха конвективных ячеек имеет большое значение для сверхкраткосрочного прогноза града. Проблемы, связанные с таким прогнозом, определены как «Nowcasting», заключаются в выявлении закономерностей появления новых ячеек и развития их до градовой стадии. Расчет высоты первого радиоэха конвективных ячеек  $H_{np}$  проводился для 156 случаев за период с 1987 по 1993 год, из них в 117 случаев первое радиоэхо в дальнейшем преобразовалось в градовую ячейку, другие относились к ливневым ячейкам [8]. Данные исследования проводились на двухволновой метеорологической радиолокационной станции МРЛ-5. Первое радиоэхо на длине волны 10 см чаще появлялось при отражаемости от облачного образования, равной  $5 \cdot 10^{-12} \div 1 \cdot 10^{-11} \text{ см}^{-1}$ . Анализ статистических данных показал, что для разных типов градовых процессов среднее значение  $\overline{H_{np}}$  отличается незначительно. Это отличие не превышает среднеквадратического отклонения. Статистические характеристики  $H_{np}$  градовых ячеек для процессов разных типов представлены в табл. 3. Среднее за весь период наблюдений значение  $\overline{H_{np}}$  составляет 6,0 км и незначительно отличается от соответствующего значения  $\overline{H_{np}}$ , равного 6,7 км в Гровере и Колорадо (США), где с 1972 по 1976 год проводился Национальный градовый эксперимент NHRE [11]. Более существенна разница в значениях превышения средней высоты первого радиоэха над уровнем конденсации  $(\Delta H_{np})_{\text{конд}}$ , рассчитанная для Северного Причерноморья [9], и равна соответственно 4,7 и 2,8 км. Этот факт, возможно, связан с тем, что средний уровень конденсации  $\overline{H_{\text{конд}}}$  в Гровере составляет 4,0 км [11], а для региона Северного Причерноморья, который отличается высоким уровнем влагосодержания воздушных масс,  $\overline{H_{\text{конд}}}$  в дни с градом – 1,5 км.

Таблица 3

Статистические характеристики	$H_{np}, \text{ км}$		
	Одноячейковые	Многоячейковые	Суперячейковые (а также переходного типа)
$\overline{H_{np}}$	5,2	6,2	6,0
$(H_{np})_{\min}$	4,6	5,0	5,1
$(H_{np})_{\max}$	6,7	7,3	7,9
$\sigma_{H_{np}}$	0,9	1,1	0,7
$\sigma^2$	0,81	1,21	0,49
Число случаев	12	89	16

Сказанное выше дает основание внести в список требований к измерениям характеристик облаков определение высоты первого радиоэха конвективных ячеек  $H_{np}$  для сверхкраткосрочного прогноза града «Nowcasting». Кроме того, для таких наблюдений необходимы станции с двумя рабочими каналами с длинами волн от 3 до 10 см. Согласно рекомендациям ВМО для зондирования атмосферы с целью гидрометеорологических исследованиях предлагается использовать радары с единственной длиной волны 6 см.

По нашему мнению, такое ограничение диапазонности МРЛС приведет к существенной потере информации, особенно, когда речь идет об индикации крупнокапельной части облака для сверхкраткосрочного прогноза «Nowcasting». Поэтому необходимо проведение районирования территории Украины для выявления регионов с наибольшей повторяемостью опасных явлений погоды, связанных с формированием мощной конвективной облачности. В таких районах необходима установка многоволновых МРЛС.

*Требования, предъявляемые к измерениям характеристик осадков.* Проанализируем требования к измерениям дневного количества и интенсивности жидких и твердых осадков для использования этих данных в региональном прогнозе, «Nowcasting», синоптической и сельскохозяйственной метеорологии.

Необходимое горизонтальное разрешение измерений (оптимальное/предельное) составляет 5/50 км для степени жидких и твердых осадков при использовании данных в



«Nowcasting». Требуемая периодичность измерений колеблется от 0,08/1 ч для степени жидких осадков («Nowcasting») до 24/72 ч для суммарного индекса осадков (сельскохозяйственная метеорология). Рекомендуемые погрешности измерений для суммарного индекса осадков составляют 0,5/5,0 мм/день (региональный прогноз) и 2/10 мм/день для сельскохозяйственной метеорологии. Погрешности измерений степени жидких и твердых осадков должны находиться в пределах 0,1 – 1,0 мм/ч.

Оценка современной изменчивости повторяемости и количества осадков статистическими методами на территории Украины проведенная в рамках [8] показала, что в последние два десятилетия происходит увеличение количества осадков при уменьшении числа дней с дождем и снегом, что связано с увеличением интенсивности осадков. Кроме того, выявлено, что за сорокалетний период с 1973 по 2012 год в зоне максимальных осадков, совпадающей с зоной максимальных значений повторяемости дождя в западной части Черного моря, наблюдается устойчивое уменьшение количества осадков. Полученные отрицательные аномалии характеристики снегонакопления являются основным тревожным сигналом для различных отраслей хозяйства стран, входящих в регион Причерноморья [8].

Учитывая, что сегодня все новые отрасли хозяйства становятся потребителями информации об атмосферных осадках, чрезвычайно возросшие потребности в воде, особенно пресной, диктуют жесткие требования к мониторингу количества и качества природной влаги. Своевременный мониторинг современного состояния количества и качества атмосферных осадков, является необходимым и обязательным условием устойчивого развития хозяйства.

*Требования, предъявляемые к измерениям характеристик поля ветра.* Исследования ветрового режима тропосферы над Украиной показали, что уменьшение скорости ветра в тропосфере наблюдается во все месяцы теплого периода года за последние сорок лет и на всех изобарических поверхностях. Наибольшее падение скорости ветра характерно для верхней тропосферы 500 – 300 гПа. Полученные результаты свидетельствуют о том, что тропосфера над Украиной стала динамически менее активной, что является причиной уменьшения количества мощных грозоградовых процессов в регионе [8].

Горизонтальная и вертикальная компоненты ветра должны измеряться до высоты 30 км. Для горизонтальных компонент скорости ветра необходимое горизонтальное разрешение измерений колеблется от 5/200 км до 50/500 км в зависимости от области использования. Требования к вертикальному разрешению измерений горизонтальных компонент варьируют от 0,1 – 0,15/0,6 – 2,0 км (для авиационной и сельскохозяйственной метеорологии). Требуемая периодичность измерений может быть очень большой, например, 0,0833/0167 ч для авиационной метеорологии. Для синоптической метеорологии достаточны измерения через 3/12 ч. Погрешности измерений должны находиться в пределах 1-2/5-8 м/с для различных областей применения данных. Оперативность представления результатов измерений может быть также очень высокой – 0,08/0,5 ч для «Nowcasting». Требования к горизонтальному разрешению измерений вертикальной компоненты скорости ветра составляют 10-50/500 км. В этом случае максимальное горизонтальное разрешение требуется для «Nowcasting» нижней тропосферы – 5/200 км. Оптимальное вертикальное разрешение составляет 0,5 км, предельное находится в диапазоне 2 – 10 км (2 км требуется для «Nowcasting»). Оптимальная периодичность меняется от 0,25 ч («Nowcasting») до предельной, находящейся в диапазоне 1 – 12 ч. Требуемые погрешности измерений вертикальной компоненты скорости ветра – 1/5 см/с. Требования к оперативности представления данных для пользователей аналогичны требованиям для горизонтальных компонент скорости ветра. Особые требования в каталоге ВМО сформулированы для измерений скорости ветра у поверхностей моря и суши. В этом случае требования сформулированы для скорости и направления ветра. Оптимальные погрешности этих величин должны находиться в пределах 0,5 – 2 м/с, предельные – 3 – 5 м/с в зависимости от области использования [12].

## Выводы

Проведенные исследования показали ярко выраженную динамику объектов исследования – вертикального распределения полей облачности, характеристик режима ветра в тропосфере, повторяемости и количества осадков в регионе и т.д. Выявленная динамика соответ-



ствуется современным климатическим изменениям. Проведенная оценка свидетельствует о необходимости изменения подхода к требованиям к гидрометеорологической информации, получаемой от метеорологических радиолокационных станций, а также к требованиям технического облика самих метеорологических радиолокационных станций.

Вопрос о том, какими будут наземные МРЛС, т.е. в каком диапазоне будут работать радары, составляющие сеть, и каковы будут их другие параметры, будет решаться только после адекватной и обоснованной оценки необходимости установки станции с определенными параметрами, для каждого конкретного района Украины. В этой связи также возникает вопрос о создании современной многофункциональной метеорологической радиолокационной станции. Обоснованный подход к построению единой сети наземных метеорологических радиолокаторов позволит вплотную подойти к разработке международного соглашения (регламента) по обмену метеорологической радиолокационной информацией между национальными гидрометеорологическими службами с целью создания единого радиолокационного поля не только для Украины, но и в международном масштабе.

Кроме того, возникает необходимость в создании современной системы оперативной обработки гидрометеорологической информации, полученной в результате дистанционного зондирования окружающей среды, сочетающей в себе централизацию расчетов, требующих значительных вычислительных ресурсов, с децентрализованной системой интерпретации и визуализации.

Необходимо также уделить внимание совершенствованию технологии управления данными в центральной архивной системе для обеспечения автоматизированного процесса приема, регистрации и каталогизации, архивации, подготовки производных массивов (баз) данных, а также получению и распространению информационной продукции.

Создание национальной системы штормового предупреждения об опасных и неблагоприятных условиях погоды, функционирующей на базе объединенной сети МРЛС и грозорегистраторов, и использование данных радиолокационных наблюдений в сопоставлении с данными приземных метеорологических наблюдений позволит существенно повысить точность и своевременность краткосрочных и сверхкраткосрочных («Nowcasting») метеорологических прогнозов, гидрологических прогнозов, штормовых предупреждений, консультационную информированность об опасных метеорологических явлениях командного, летного составов, органов управления воздушным движением в целях повышения безопасности и эффективности полетов, а также обеспечить безопасность функционирования и других погодозависимых отраслей экономики.

**Список литературы:** 1. IPCC. 2007. Climate change. 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policy Makers). Cambridge University Press. Cambridge. United Kingdom and New York. NY. USA. 2007. 996 pp. 2. Solomon. S., D. Qin. M. Manning. et al. (eds). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge. United Kingdom and New York. NY. USA. 2007. 996 pp. 3. *Scientific Assessment of the Effects of Global Change on the United States*. A Report of the Committee on Environment and Natural Resources National Science and Technology Council. 2008. 271 pp. 4. Тимофеев Ю.М. Глобальная система мониторинга параметров атмосферы и поверхности. – СПб, 2009. – 129 с. 5. *Towards an Integrated Global Observing Strategy*. European Space Agency. Committee on Earth Observation Satellites. CEOS Yearbook. Paris. 1997. 6. Кароль И.Л., Розанов Е.В., Тимофеев Ю.М. Газовые примеси в атмосфере. – Л. : Гидрометеиздат, 1983. -192 с. 7. Официальный сайт ВМО URL: <http://www.wmo.int/pages/prog/.pdf>. 8. Науково-дослідна тема: № 0113U000164 «Удосконалення методів побудови систем одержання та обробки вимірювальної інформації з метою моніторингу навколишнього середовища». Розділ: 3 – 2013 р. 9. Данова Т.Е. Термодинамические параметры конвекции при градовых процессах // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. 2003. – Вип. 47. – С. 42-47. 10. Данов Е.И., Данова Т.Е. Классификация градовых процессов в условиях Северного Причерноморья // Труды НИГМИ Узбекистана, вып. 2(247). – Ташкент, 2005. – С. 59-68. 11. NHRE, 1982: Nail storms of the central High Plains, Colorado Associated University Press, Boulder, Colorado. – 282 p. 12. Официальный сайт ВМО URL:<http://www.wmo.ch>; <http://www.wmo.int>.

Одесский государственный  
экологический университет

Поступила в редколлегию 18.10.2013