

СТАТЬЯ

УДК 551.509.326

DOI 10.17513/use.38209

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА МОНИТОРИНГА ГРОЗОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

¹Керефова З.М., ²Аджиева А.А., ³Кортиев А.Л., ¹Гятов Р.А.

¹ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Нальчик, e-mail: zknuz-kbsy@mail.ru;

²ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет
имени В.М. Кокова», Нальчик, e-mail: aida-adzhieva@mail.ru;

³ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт», Владикавказ,
e-mail: kortiev73@mail.ru

В статье приводятся результаты сравнительного анализа современных методов и средств мониторинга грозовой активности на территории России. К настоящему времени эксплуатируются пять основных грозоопеленгационных сетей в России: 3 – зарубежного производства и 2 – отечественные. Грозоопеленгационная сеть Росгидромета включает 87 датчиков/индикаторов, расположенных в европейской части, на Урале и Дальнем Востоке РФ. Из них 30 грозоопеленгационных датчиков производства фирмы Vaisala (Финляндия) и 57 датчиков производства фирмы Alwes (Россия). В европейской части расположены 14 грозоопеленгационных датчиков производства Vaisala, объединенных в единую сеть («ВГИ» и Европейский центр НИЦ «Планета»). В ФГБУ «ВГИ» проведены тестовые сравнительные испытания различных грозоопеленгационных датчиков. Получена хорошая согласованность выходных данных сравниваемых систем грозоопеленгации при регистрации наземных молниевых разрядов. Имеет место взаимное перекрытие территории мониторинга грозовой активности системами Росгидромета, TOA LPS-200, ENTLS, а также имеется часть территории РФ, которая охвачена грозоопеленгационными датчиками Росгидромета. В этой связи до создания грозоопеленгационной сети, покрывающей всю территорию РФ, рекомендуется привлекать для мониторинга грозовой активности данные TOA LPS-200.

Ключевые слова: молния, грозоопеленгационная сеть, грозорегистрация, атмосферное электричество, датчики

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (Соглашение № 23-17-20001).

MODERN METHODS AND TOOLS FOR MONITORING LIGHTNING ACTIVITY

¹Kerefova Z.M., ²Adzhieva A.A., ³Kortiev A.L., ¹Gyatov R.A.

¹High Mountain Geophysical Institute, Nalchik, e-mail: zknuz-kbsy@mail.ru;

²Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, Nalchik,
e-mail: aida-adzhieva@mail.ru;

³North Caucasus Mining and Metallurgical Institute, Vladikavkaz, e-mail: kortiev73@mail.ru

The article presents the results of a comparative analysis of modern methods and means of monitoring thunderstorm activity on the territory of Russia. To date, five main lightning direction finding networks are in operation in Russia: 3 foreign-made and 2 domestic. The lightning direction detection network of Roshydromet includes 87 sensors/indicators located in the European part, in the Urals and the Far East of the Russian Federation. Of these, 30 lightning direction finding sensors are manufactured by Vaisala (Finland) and 57 sensors are manufactured by Alwes (Russia). In the European part there are 14 lightning direction sensors manufactured by Vaisala, united in a single network (VGI and the European Center of the Planet Research Center). The Federal State Budgetary Institution "VGI" carried out comparative tests of various lightning direction finding sensors. Good agreement was obtained between the output data of the compared lightning direction finding systems when recording ground-based lightning discharges. There is mutual overlap of the territory for monitoring thunderstorm activity by the systems of Roshydromet, TOA LPS-200, ENTLS, and there is also a part of the territory of the Russian Federation that is covered by lightning direction-finding sensors of Roshydromet. In this regard, before creating a lightning direction network covering the entire territory of the Russian Federation, it is recommended to use TOA LPS-200 data to monitor lightning activity.

Keywords: lightning, lightning direction network, lightning registration, atmospheric electricity, sensors

The work was supported by a grant from the Russian Science Foundation (Agreement No. 23-17-20001).

Прогноз погодных явлений, особенно опасных, сегодня является обязательным условием для осуществления целого ряда видов деятельности человека. Без точного и своевременного прогноза сегодня не обходится ни один регулярный рейс гражданской и военной авиации, невозможна эффек-

тивная работа ремонтных и спасательных служб. Известно, что грозовая активность зачастую сопровождается такими опасными явлениями (ОЯ), как ливневые осадки, град, штормовой и ураганный ветер.

Интенсивная грозовая деятельность представляет большую опасность для ави-

ации, как на эшелонах полетов воздушных судов, так и в зоне взлета и посадки. Другим не менее опасным последствием грозовой активности, особенно «сухих» гроз, являются природные пожары, возникающие в том числе в труднодоступных таежных массивах. Площадь лесов в России составляет более 800 млн га и является самой большой в мире. В 2016 г. представители Рослесхоза называли «сухие» грозы главными виновниками в 80% летних лесных пожаров.

В перечень задач прогноза гроз входят определение вероятности развития грозовой ячейки, ее параметров и физических характеристик, а также мониторинг ее дальнейшей динамики и перемещения. Решение перечисленных выше задач потребовало изменения традиционных подходов к анализу грозовых явлений, существенного пересмотра требований к техническим характеристикам при модернизации существующего и разработке нового поколения систем место определения гроз, значительного расширения круга решаемых ими задач.

Грозопеленгационные системы (ГПС) определяют в режиме реального времени наибольшее число характеристик грозовой активности, которые не могут быть получены при наблюдениях на метеорологических станциях, путем дискретных измерений метеорологических радиолокаторов (периодичность раз в 10 мин) или метеорологических спутников. К таким характеристикам относятся точные координаты и время, а также тип (отдельные ГПС могут отдельно регистрировать разряды как облако – земля (ОЗ), так и облако – облако (ОО)) и токовые характеристики разрядов молний.

Другим преимуществом ГПС является больший радиус действия (по сравнению с метеорологическими радиолокаторами и наблюдениями на метеорологических станциях), а также незначительные эксплуатационные затраты.

Целью работы является повышение надежности защиты от грозовых явлений. Для этого очень важно иметь оперативную и непрерывную информацию о характеристиках гроз для конкретных географических районов, а также надежные и удобные методы получения этой информации. В статье рассмотрены действующие на сегодняшний день в России грозопеленгационные системы.

Материалы и методы исследования

Данная работа посвящена сравнительному анализу современных методов и средств мониторинга грозовой активности

на территории России. К настоящему времени эксплуатируются пять основных ГПС, 3 – зарубежного производства и 2 – отечественные. В работе выполнен их сравнительный анализ.

Отечественные и зарубежные ГПС:

- ГПС LS8000 фирмы Vaisala (Финляндия) [1, 2];
- ГПС EN Lightning System фирмы Earth Networks (США) [3, 4];
- ГПС LPS-200 фирмы TOA Systems Inc (США) [5, 6];
- ГПС «Алвес» [7, 8];
- ГПС «Верей» [9, 10].

Все вышеуказанные ГПС состоят из территориально разнесенных датчиков и центрального пункта приема, обработки, хранения и передачи информации потребителям. Работа датчиков заключается в регистрации радиочастотных сигналов, излучаемых молнией. Два возможных метода регистрации: по времени прихода к датчику электромагнитного излучения (ТОА) и магнитный пеленг (MDF) направления на излучатель (молнию). Если используется только время прибытия, по крайней мере три и, как правило, больше датчиков должны принимать сигнал, чтобы иметь возможность определить местоположение события молнии. Если используется магнитный пеленг, для определения местоположения события достаточно только двух датчиков. Однако, если доступно только магнитное определение направления, результирующая точность определения местоположения молнии будет невысокая.

Использование магнитного пеленга необходимо для нормального функционирования сети при сбоях отдельных датчиков.

Грозопеленгационная сеть датчиков EARTH NETWORKS

Разработчиками датчиков Earth Networks являются США, фирма Earth Networks Total Lightning System (ENTLS). Для проведения тестовых испытаний на Северном Кавказе было установлено 5 грозопеленгаторов фирмы ENTLS. Дистрибьютором фирмы Earth Networks в России является ООО «Метео Телеком». Система ENTLS является одной из самых технологически развитых сенсорных сетей грозопеленгации, которая способна обнаружить как внутриоблачные молнии, так и наземные грозовые разряды. Система Total Lightning Network используется во всем мире для обнаружения опасных погодных явлений и генерации своевременных предупреждений.

Таблица 1

Координаты мест установок грозопеленгаторов Total Lightning Network

№	Населенный пункт	Координаты		
		Широта	Долгота	Высота
1	Черкесск	44,2874 °	42,2404 °	901
2	Зеленокумск	44,4337 °	43,9036 °	172
3	Ставрополь	45,1136 °	42,1012 °	483
4	Кызбурун	43,6787 °	43,4048 °	747
5	Лабинск	44.6546 °	40.7470 °	121

По сравнению с традиционными радарми и другими общепринятыми технологиями, ENTLS имеет возможность значительно улучшить время предупреждения о приближении экстремальных погодных условий. Благодаря встроенным возможностям заблаговременного прогнозирования ENTLS улучшает не только период времени с момента предупреждения до наступления сильных штормов, но также обеспечивает планирование управления погодой. Именно поэтому ENTLS имеет неоценимое значение для мобильного оповещения и используется правительствами и метеорологическими службами, авиацией, организациями спорта и отдыха по всему миру.

Система ENTLS функционирует на основе уникальной технологии датчиков – Earth Networks Lightning Sensors (ENLS). По сравнению с датчиками грозопеленгации других компаний, которые способны обеспечить обнаружение только внутриоблачных молний, ENLS имеют широкий частотный диапазон от 1 Гц до 12 МГц, что позволяет детектировать как внутриоблачные, так и наземные молнии. Координаты мест установок исследованных в данной работе грозопеленгаторов приведены в табл. 1.

Грозопеленгационная сеть датчиков LS8000 (LS7002)

На территории Российской Федерации Росгидрометом развернута сеть грозопеленгаторов на базе датчиков LS фирмы Vaisala (Финляндия).

В настоящее время система грозопеленгации Росгидромета охватывает всю территорию европейской части России, Дальнего Востока (Хабаровский край, Амурская область, Еврейская автономная область) и о. Сахалин.

Грозопеленгационная сеть состоит из 30 датчиков LS8000 и LS7002. Европейский

сегмент включает 14 датчиков, объединенных в единую сеть. На Северном Кавказе 6 датчиков (4 датчика LS8000 и 2 датчика LS7002) и сеть в Московской области из 8 датчиков (рис. 1).

Балансодержателем северокавказского сегмента ГПС Росгидромета с 2008 г. является ФГБУ «ВГИ». Московский сегмент ГПС Росгидромета эксплуатирует ФГБУ «НИЦ» Планета».

Грозопеленгационная сеть LS8000 ФГБУ «ВГИ» до 2020 г. состояла из четырех грозопеленгаторов LS8000, после была еще дополнена двумя грозорегистраторами LS7002, более совершенные модели той же компании – Vaisala (Финляндия).

Грозопеленгатор LS8000 состоит из двух датчиков – LF и VHF. VHF-датчик регистрирует только молниевые разряды облако – облако, а LF-датчик регистрирует в основном молниевые разряды облако – земля.

Грозопеленгатор LS7002 имеет только один сенсор, но за счет совершенствования аппаратной и программной части грозопеленгатора этот сенсор фиксирует как наземные, так и облачные молниевые разряды. Также грозопеленгатор LS7002 гораздо компактнее, что облегчает установку и обслуживание этого грозопеленгатора.

Грозорегистратор TOA

Грозорегистратор TOA Systems Inc, оборудованный датчиками LPS-200, также является эффективной системой грозопеленгации внутриоблачных молний и молний типа облако – земля, с классификацией их на положительные и отрицательные [5, 6].

Балансодержателем ГПС TOA LPS-200 является ООО «Гроза». Сеть состоит из трех сегментов в СЗФО, ЦФО, ПФО и УФО, всего 28 грозопеленгаторов TOA LPS-200. Общая схема размещения датчиков представлена на рис. 2.

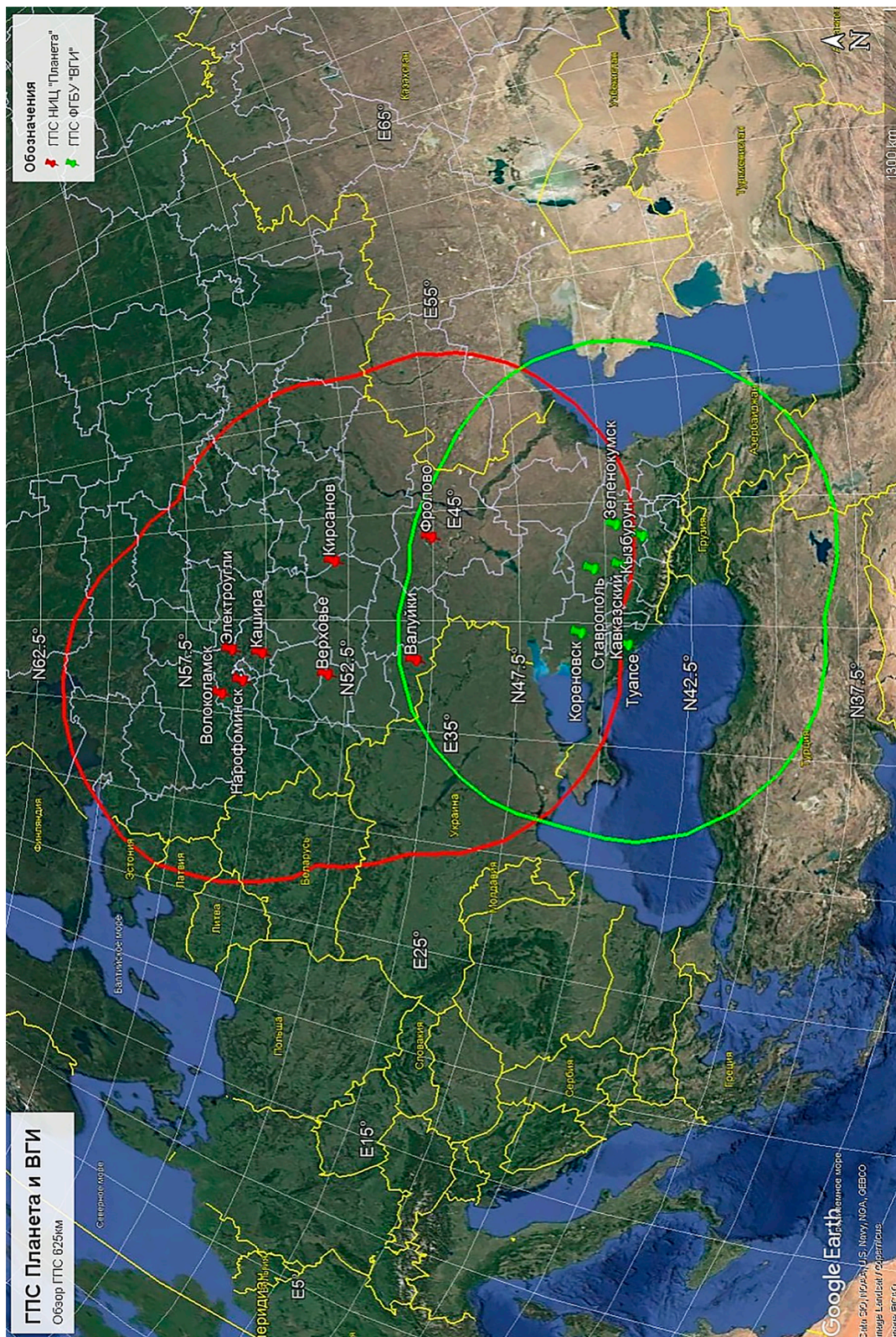


Рис. 1. Зоны обзора LF сенсоров ГПС «ВГИ» и ГПС «Планета»



Рис. 2. Схема размещения грозопеленгаторов ООО «Гроза»

Текущая зона покрытия:

СЗФО – Псковская, Ленинградская, Новгородская, Вологодская, Кировская области, Республика Коми.

ЦФО – Московская, Тверская, Смоленская, Брянская, Калужская, Тульская и Ярославская области.

ПФО – Республики Татарстан, Башкортостан, Мари Эл, Удмуртия, Оренбургская, Ульяновская и Самарская области, Пермский край.

УФО – ХМАО, ЯНАО, Тюменская, Свердловская и Челябинская области.

Авторами также выполнены сравнительные оценки эффективности ГПС ТОА и ГПС LS8000 (табл. 2). ГПС ТОА, так же как и рассмотренные выше ГПС LS8000 и ENTLN, являются эффективными средствами мониторинга грозových дней. При этом ГПС ТОА более чувствительная, чем ГПС LS8000, и регистрирует большее количество молний во всем диапазоне частот.

Наиболее существенными отличиями в пользу LS8000 и, возможно, существенными для эксплуатации ГПС в труднодоступных районах являются:

а) диапазон регистрации электромагнитного излучения у LS от 1 Гц до 120 МГц, у EN от 1 Гц до 12 МГц, т.е. у LS верхне-частотный диапазон регистрации в 10 раз выше (120 МГц). Следствием этого будет выявление слабых облачных молний эффективнее, чем у EN и ТОА;

б) более чувствителен порог регистрации наземных положительных молний у LS, чем у других, примерно в 10 раз;

в) площадь охвата системой при минимальном количестве датчиков у LS больше на 100 км², чем у остальных;

г) опыт эксплуатации в России у LS в европейской части России 14 лет, у остальных – чуть больше 3 лет;

д) минимальное количество датчиков для работы системы LS – 2 датчика, у EN – 5 датчиков, ТОА – 3 датчика.

Данная характеристика для условий Сибири с труднопроходимыми территориями особо актуальна. По остальным характеристикам параметры систем совпадают (табл. 2).

Грозорегистраторы «АЛВЕС 7.04»

На территории РФ установлены 57 датчиков «Алвес». Для получения информации о месте положения грозových разрядов ГПС Алвес осуществляет регистрацию электромагнитного излучения (ЭМИ) молниевых разрядов в территориально разнесенных пунктах. Установленные в пунктах индикаторы грозовой опасности «Alwes 7.04» (далее – Индикаторы) принимают сигналы ЭМИ грозových разрядов, оцифровывают их, привязывают к сигналам точного времени, обрабатывают и передают параметры молниевых разрядов, включая точное время, на Центральный сервер.

Таблица 2
Технические характеристики грозоупаковочных систем ENTLS, LS8000, LPS-200 и Alwes 9.07.14

№ п/п	Характеристики	LS8000 (Финляндия)	ENTLS (США)	TOA LPS-200 (США)	Alwes 9.07.14 (Россия)
1	Время разряда молнии: дата, час, минута, секунда	Имеется	Имеется	Имеется	Имеется
2	Точность определения координаты разряда молнии, метров	от 100	от 100	от 100	от 100
3	Дискретность по времени определения значений уровня сигнала разряда молнии, наносекунд	2	2	5	–
4	Диапазон регистрации излучения молнии	1 Гц – 120 МГц	1 Гц – 12 МГц	1 Гц – 1 ГГц	1 Гц – 120 МГц
5	Определение формы сигнала молниевых разрядов	Имеется	Имеется	Имеется	Нет
6	Формат регистрации координат молний	WGS – 84	WGS – 84	WGS – 84	WGS – 84
7	Программы обработки, представления и передачи информации	Не русифицированы	Не русифицированы	Не русифицированы	Русифицированы
8	Число дней с грозой (при сравнении с данными метеостанций), %	100	100	100	Не сравнивались
9	Классификация разрядов на типы облако – земля, облако – облако	Имеется	Имеется	Имеется	Нет
10	Классификация наземных молний на положительные и отрицательные	Имеется	Имеется	Имеется	Нет
11	Значение тока наземных молний положительной полярности, кА	От 1,5 до 500	От 15 до 500	От 15 до 500 без дополнительной проверки по высоте разряда от 3 до 500 кА с проверкой высоты	Нет
12	Значение тока наземных молний отрицательной полярности, кА	От -1,5 до -500	От -1,5 до -500	От -1,5 до -500	Нет
13	Точность определения тока молнии, кА	3	3	Погрешность 10%	Нет
14	Минимальное количество датчиков для работы системы, штук	2	5	3	4

Окончание табл. 2

№ п/п	Характеристики	LS8000 (Финляндия)	ENTLS (США)	TOA LPS-200 (США)	Alwes 9.07.14 (Россия)
15	Оптимальное количество датчиков для работы системы, штук	4	8	5	5
16	Радиус охвата площади системой при минимальном количестве датчиков, километров	Около 600 км	Около 500 км	Около 400 км	—
17	Возможность наложения координат молнии на топографическую карту местности	Имеется	Имеется	Имеется	Имеется
18	Возможность совмещения координат молний с радиозохо облаков	Не имеется	Имеется	Имеется	Имеется
19	Опыт эксплуатации в России	С 2008 г. по настоящее время система эксплуатируется в европейской части России	В 2019 г. на Северном Кавказе проведена опытная эксплуатация	В 2017 г. на Северном Кавказе проведена опытная эксплуатация. в настоящее время в РФ работает 32 сенсора, 12 мест законсервировано и готово к установке сенсоров	В 2019 г. на территории республики Башкортостан
20	Возможность определения пространственной динамики опасных явлений погоды по молниевой активности	Не имеется	Имеется	Имеется	Нет
21	Возможность визуализации грозовой активности в режиме реального времени	Имеется	Имеется	Имеется	Имеется
22	Возможность формирования базы данных	Имеется	Имеется	Имеется	Имеется
23	Тип обработки данных	Цифровая	Цифровая	Цифровая	Аналоговая

Центральный сервер осуществляет прием данных с Индикаторов, вычисление координат грозовых разрядов, передачу результатов вычислений на Сервер базы данных SQL ИСУБД, контроль и диагностику сети Индикаторов. Сервер базы данных SQL ИСУБД является хранилищем всех данных о молниевых разрядах. Он архивирует первичные данные с Индикаторов, вычисленные координаты и параметры ЭМИ (полярность и длительность первой полуволны сигнала ЭМИ разрядов, длительность переднего фронта, амплитуду сигнала) и дополнительные данные с метеорологических локаторов и спутников (модуль сбора и обработки данных метеолокаторов и ИСЗ поставляются отдельно). Он позволяет различным пользователям иметь доступ к данным для проведения анализа с использованием программного обеспечения ALWES ADA (ALWES Displai applikation) или модуля отображения данных в интернете AWDA (ALWES WEB Displai applikation) (модуль AWDA поставляется отдельно). Технические характеристики ГПС ALWES представлены в табл. 2.

Конструктивно регистраторы представляют собой антенный модуль и рабочее место оператора. Антенный модуль состоит из внешней антенны регистрации электрической компоненты ЭМИ, антенны GPS приемника, блоков предварительного усиления и фильтрации низких и высоких частот, размещенных в корпусе, обеспечивающем защиту от неблагоприятных условий внешней среды. Регистраторы работают непрерывно (круглосуточно), сообщения о проведенных измерениях передаются через определенные временные интервалы или по запросу. Для обмена информацией с сервером регистраторы оборудованы сетевой картой с интерфейсом связи LAN.

Система регистрации гроз от ООО «Алвес» позволяет определять координаты грозовых разрядов и параметры их электромагнитного излучения. Строить карты грозовой активности и объединять свои данные с данными о метеоявлениях метеорологических радиолокаторов и ИСЗ.

Грозорегистраторы «ВЕРЕЯ МР»

Система регистрации гроз «Верея-МР» развернута на территории России ФГУ «Авиалесоохрана». Принцип действия системы можно описать следующим образом: каждый пункт регистрирует время приема сигнала излучения, его направление, амплитудные характеристики принимаемого сиг-

нала и передает данные в обрабатывающий центр. Имеющаяся сеть грозопеленгации состоит из 26 пунктов регистрации гроз [11].

В целом зоны охватывают площадь в 11 млн км² с погрешностью определения места разряда 3 км. Аппаратурный модуль регистрирует импульсные сигналы электромагнитного излучения, обрабатывает их, формирует оперативные сообщения, содержащие параметры сигналов, и передает информацию в обрабатывающий центр, а также принимает и отображает данные о МР. Особенностью данной разработки является выносной антенный блок, имеющий более высокую чувствительность и значительно меньшие габариты, чем аналогичные зарубежные изделия. Высокая чувствительность обеспечивает 2–3-кратное преимущество в дальности действия и как минимум 4–9-кратное сокращение удельных затрат на единицу контролируемой площади (при одинаковой стоимости станций) система благодаря таким характеристикам фиксирует грозовые разряды на дальности до 1500 км [12].

Результаты исследования и их обсуждение

ФГБУ «ВГИ» провел сравнительные испытания различных грозопеленгационных систем. В частности, сравнительные оценки систем LS8000 и Earth Networks (табл. 2).

Сравнительные испытания показали, что ГПС Earth Networks и ГПС LS8000 являются эффективными средствами мониторинга грозовых дней. По территории обзора при сравнительных испытаниях, за период с 11 июля по 24 ноября 2019 г., ГПС Earth Networks зарегистрировала 59605 молниевых разрядов облако – земля, из них 5427 положительной полярности, 51237 – отрицательной полярности и 2941 – неопределенной полярности.

По этой же территории за этот же период системой LS8000 зарегистрировано 106090 молниевых разрядов облако – земля, из них 39330 положительной полярности и 66760 – отрицательной полярности.

Из полученных данных видно, что по выделенной части ГПС Earth Networks зарегистрировала на 46485 молниевых разрядов облако – земля меньше, чем ГПС LS8000, что составляет около 43 %.

За период с 11 июля по 24 ноября 2019 г. на определенной территории обзора система Earth Networks зарегистрировала 565430 молниевых разрядов облако – облако. За этот же период системой LS8000 заре-

гистрировано 38157 молниевых разрядов облако – облако. Такое малое количество молниевых разрядов облако – облако, зафиксированных системой LS8000, объясняется тем, что в рассматриваемый период времени работали 2 или 1 VHF-датчик. При только одном работающем датчике невозможна вообще регистрация молниевых разрядов, а при двух датчиках очень ограничена. Таким образом, система регистраций молниевых разрядов облако – облако у системы LS8000 в рассматриваемое время или полностью не функционировала (с 01.09.2019 по 06.10.2019), или функционировала только с двумя VHF-датчиками.

С нашей точки зрения, основной причиной возникновения большой разницы в соотношении между количествами молниевых разрядов разной полярности является разный подход в определении наземных молний положительной полярности в сравниваемых ГПС. А именно, в ГПС Earth Networks при классификации молниевых разрядов положительной полярности принимается, в соответствии с опубликованными научными исследованиями [11], что молниевые разряды положительной полярности с силой тока меньше +15 кА относятся к облачным разрядам, а в ГПС LS8000 таких ограничений на силу тока в наземных положительных разрядах нет.

Различия особенно проявляются по таким важным параметрам, как средний и медианный ток для положительных молниевых разрядов и минимальные и максимальные значения по отрицательным молниевым разрядам. Для положительных разрядов среднее и медианное значения тока по данным ГПС Earth Networks +38,1 кА и +29,4 кА, а по данным ГПС LS8000 – +13,7 кА и +9,1 кА. То есть у ГПС Earth Networks эти значения в 3 раза больше, чем у ГПС LS8000. С нашей точки зрения, основной причиной возникновения таких различий в значениях средних и медианных значений тока в положительных молниевых разрядах является та же причина, что указывалась в предыдущем пункте. А именно то, что из числа наземных молниевых разрядов исключаются положительные молнии с силой тока меньше 15 кА.

Сравнительный анализ данных о молниевых разрядах и их статистических параметрах, полученных с помощью грозопеленгационных сетей двух компаний, ГПС LS8000 фирмы Vaisala (Финляндия) и ГПС Earth Networks (США) за период времени с 11 июля по 24 ноября 2019 г. по терри-

тории, ограниченной широтами 42°– Хорошую согласованность выходных данных сравниваемых систем грозопеленгации при регистрации молниевых разрядов облако – земля. Всего за период испытаний ГПС Earth Networks зафиксировала 340297, а ГПС LS8000 – 279591 молниевый разряд облако – земля. Число дней за указанный период с регистрируемым молниевым разрядом облако – земля по данным Earth Networks составило 94, а по данным LS8000 – 95. А число дней с количеством молниевых разрядов больше 100 по данным ГПС Earth Networks было 67, а по данным ГПС LS8000 – 62 дня. Метеостанции, расположенные по территории обзора, зарегистрировали за это время 45 дней с грозой, что хорошо согласуется с данными ГПС, так как метеостанции используют для регистрации визуально-слуховые методы, и часть гроз могут не зафиксировать.

– Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что использование грозопеленгационной системы на основе датчиков Earth Networks позволит повысить точность и эффективность предупреждения опасных погодных явлений, а также улучшит заблаговременность их прогноза.

– ГПС Earth Networks и ГПС LS8000 являются эффективными средствами мониторинга грозовых дней.

Выводы

1. ГПС Росгидромета включает 87 грозопеленгационных датчиков (индикаторов), расположенных в европейской части, на Урале и Дальнем Востоке РФ. Из них 30 ГПД производства фирмы Vaisala (Финляндия) и 57 ГПД производства фирмы Alwes (РФ).

В европейской части расположены 14 ГПД производства Vaisala, объединенных в единую сеть («ВГИ» и Европейский центр НИЦ «Планета»).

В настоящее время в НИЦ «Планета» текущая плотность ГПС является недостаточной. Для наращивания ГПС НИЦ «Планета» необходимо дополнительно разместить ГПД на территории Сибирско-Дальневосточной зоны: от о. Байкал Байкальского района до Дальнего Востока. Требуется увеличить количество ГПД на территории центра европейской части РФ с целью повышения точности регистрации грозовой активности на этой территории. Необходимо расширить ГПС, развернув дополнительные сети, для создания непрерывного и равномерного поля наблюдений за грозами на всей территории РФ: от Юж-

ного и Северо-Кавказского ФО до Северо-Западного ФО.

2. Кроме ГПС Росгидромета на территории РФ развернуто ограниченное количество датчиков типа ENTLS (США) и TOA LPS-200 (США), но тем не менее до настоящего времени значительная часть территории РФ не покрыта сетью грозопеленгационных датчиков.

3. В ФГБУ «ВГИ» проведены тестовые сравнительные испытания различных грозопеленгационных датчиков. Получена хорошая согласованность выходных данных сравниваемых систем грозопеленгации при регистрации наземных молниевых разрядов.

Совмещение грозопеленгационных данных, как ГПС Earth Networks, так и ГПС LS8000, с данными радиоэха облаков, получаемых метеорологическими радиолокаторами, показало хорошую согласованность между выходными данными для обоих ГПС. Около 90% разрядов молнии сосредоточено в зонах радиоэха облаков и осадков.

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что использование грозопеленгационной системы на основе датчиков Earth Networks позволит повысить точность и эффективность предупреждения опасных погодных явлений, а также улучшить заблаговременность их прогноза.

4. Имеет место взаимное перекрытие территории мониторинга грозовой активности системами Росгидромета, TOA LPS-200, ENTLS, а также имеется часть территории РФ, которая охвачена грозопеленгационными датчиками Росгидромета. В этой связи до создания грозопеленгационной сети, покрывающей всю территорию РФ, рекомендуется привлекать для мониторинга грозовой активности данные TOA LPS-200.

Список литературы

1. Аджиев А.Х., Стасенко В.Н., Тапасханов В.О. Система грозопеленгации на Северном Кавказе // Метеорология и гидрология. 2013. № 1. С. 5–11.
2. Аджиев А.Х., Куповых Г.В. Измерения электрического поля атмосферы в высокогорных условиях Приэльбрусья // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. 2015. Т. 51, № 6. С. 710–715.
3. Thompson K.B., Bateman M.G., Carey L.D. A comparison of two ground-based lightning detection networks against the satellite-based lightning imaging sensor (LIS) // Journal of Atmospheric and Oceanic Technology. 2014. Vol. 31, Is. 10. P. 2191–2205. DOI:10.1175/JTECH-D-13-00186.1.
4. Goodman S.J., et al. The GOES-R Geostationary Lightning Mapper (GLM) // Atmos. Res. 2013. № 125–126. P. 34–49. DOI: 10.1016/j.atmosres.2013.01.006.
5. Губенко И.М., Рубинштейн К.Г. Пример усвоения данных нескольких сетей грозопеленгации в численном прогнозе погоды // Оптика атмосферы и океана. 2021. Т. 34, № 10. С. 803–807. DOI: 10.15372/AOO20211007.
6. Lay E.H. Investigating lightning-to-ionosphere energy coupling based on VLF lightning propagation characterization // University of Washington, Seattle, Washington State, USA. 2008. P. 20–46.
7. Снегуров А.В., Снегуров В.С. Экспериментальная грозопеленгационная система // Труды ГГО. 2012. Вып. 567. С. 188–200.
8. Снегуров А.В., Снегуров В.С., Шаповалов А.В., Шуккин Г.Г. Опыт совместных наблюдений за грозами грозопеленгатором-дальномером и метеорологическим радиолокатором // Труды НИЦ ДЗА (Филиал ГГО). 2006. Вып. 7 (555). С. 139–148.
9. Жарашуев М.В. Метод выявления сбоев работы грозопеленгационной сети в сборнике: Инновационные решения в строительстве, природообустройстве и механизации сельскохозяйственного производства // Сборник научных трудов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Нальчик, 2022. С. 50–56.
10. Аджиев А.Х., Болдырев А.С., Кузьмин В.А. Методология предупреждения грозовой опасности с использованием измерителей напряженности электрического поля и грозопеленгационной сети // Известия ЮФУ. Технические науки. 2018. № 7 (201). С. 166–177.
11. Koshak W.J., Cummins K.L., Buechler D.E., Vant-Hull B., Blakeslee R.J., Williams E.R. and Peterson H.S. Variability of CONUS lightning in 2003–12 and associated impacts // Journal of Applied Meteorology and Climatology. 2015. № 54 (1). P. 15–41. DOI: 10.1175/JAMC-D-14-0072.1.