

УДК 551.501; 551.508; 551.594

УКРАИНСКИЙ СЕГМЕНТ СИСТЕМЫ ГРОЗОПЕЛЕНГАЦИИ ENTLN

Кривобок А. А., канд. геогр. наук,
Кривошеин А. О., канд. геогр. наук
Коман М. М.
Крупа Е. О.

*Украинский гидрометеорологический институт
03028, г. Киев, проспект Науки, 37., krivoshein@uhmi.org.ua*

В статье рассматривается украинский сегмент системы грозопеленгации компании Earth Networks, созданный в 2016 году. Он состоит из 12 датчиков, установленных на метеорологических станциях в разных частях Украины. В статье описываются общие принципы функционирования данного сегмента в составе общей системы грозопеленгации и рассматриваются примеры ее работы в период лета-осени 2016 года.

Ключевые слова: грозопеленгация, система ENTLN, обработка данных, грозовые разряды.

1. ВВЕДЕНИЕ

Система грозопеленгации имеет большое значение для метеорологической безопасности государства, благодаря своевременным прогнозам стихийных метеорологических явлений погоды и их влиянию, практически, на все отрасли промышленности и социальной деятельности человека. Именно поэтому, созданию и функционированию подобных систем придавалось огромное значение в различных странах мира. В настоящее время более 60 систем грозопеленгации работают по всему земному шару. Например, в США действуют несколько частных и государственных компаний, среди которых можно выделить WeatherBug Total Lightning Network (WTLN), National Lightning Detection Network (NLDN) и United States Precision Lightning Network (USPLN) [1-5]. В Европе, необходимо отметить, помимо национальных систем, как правило, работающих в границах отдельных государств, общеевропейскую - EUCLID (EUropean Cooperation for Lightning Detection) [6], которая объединяет 147 датчиков грозопеленгации, расположенных в 27 странах Европы. В Японии, Бразилии, Канаде, Южной Африке, Австралии, России и Китае также действуют национальные системы грозопеленгации, имеющие свои функциональные особенности [7-14]. Помимо национальных систем в последнее время интенсивно развиваются глобальные сети грозопеленгации, среди которых можно отметить систему грозопеленгации компании Vaisala (GLD360), вероятность обнаружения молниевых разрядов которой составляет около 80 % при точности определения местоположения разряда от 2 до 5 км [15, 16], а также систему грозопе-

ленгации World Wide Lightning Location Network (WWLLN), датчики которой могут располагаться в тысячах километрах друг от друга [17, 18]. Последние исследования показали, что вероятность обнаружения гроз и молний этой сети составляет около 30 % и точность локации около 50 км [19-20].

В последнее время подобные системы создаются частными компаниями, которые устанавливают датчики не только в одной стране, а в целом регионе, континенте или по всему земному шару, объединенные в единую сеть грозопеленгации. Примерами таких коммерческих сетей являются Earth Networks (США) и LINET-Nowcast (Германия) [1, 21, 22].

Работа всех подобных сетей основана на принципе получения информации с распределенной сети датчиков, ее дальнейшей обработкой и анализом в децентрализованной («облачной») инфраструктуре с последующим распределением обработанных результатов потребителям. Причем количество датчиков зависит от их определенных особенностей, характеризующих вероятность обнаружения молниевых разрядов. К таким особенностям, в первую очередь, относится их тип, позволяющий фиксировать электромагнитное излучение (ЭМИ) от молниевых разрядов. Считается, что наиболее эффективными являются датчики, которые фиксируют ЭМИ в низкочастотном (LF/VLF) и высокочастотном (HF/VHF) диапазонах одновременно, что позволяет определять как межоблачные разряды (MP), так и разряды земля-облако (PZO). Первые являются возможными предикторами о последующей интенсивности молниевой активности. Большинство вышеперечисленных сетей имеют

датчики, которые фиксируют ЭМИ в низкочастотной области спектра, что позволяет надежно определять только разряды земля-облако. К таким относится система LINET-Nowcast, которая регистрирует молниевые разряды в диапазоне частот от 10 до 400 кГц (LF/VLF). Число датчиков в сети, в настоящий момент, составляет 450, а заявленная точность около 150 м. Система позволяет идентифицировать как разряды земля-облако, так и межоблачные разряды, однако, вероятность их обнаружения является невысокой.

Существенным преимуществом системы грозопеленгации компании Earth Networks является то, что она позволяет регистрировать электромагнитные сигналы молний в диапазоне от 1 Гц до 12 МГц. Именно благодаря этому более точно определяются пространственное положение МР и РЗО путем анализа спектра электромагнитного сигнала в заявленном диапазоне. В настоящее время установлены 1200 датчиков по всему земному шару. Точность местоположения молниевых разряда определяется количеством датчиков и составляет, например, на территории Европы около 200 м [23].

В Украине до недавнего времени отсутствовали современные системы грозопеленгации, которые дают возможность получать более правдоподобную информацию о грозовой активности, чем спутниковые и радиолокационные измерения [24]. Именно поэтому Украинский гидрометеорологический институт (УкрГМИ) и Украинский Гидрометцентр (УкрГМЦ) инициировали создание подобной системы. Это связано с наблюдающимся большим количеством стихийных метеорологических явлений, вызванных конвективными процессами в теплый период года [25], приводящим к значительным разрушениям инфраструктуры и гибели людей. Анализ возможностей современных систем грозопеленгации, о которых говорилось выше, показал, что наиболее совершенные системы имеют точность локации грозового разряда менее 200 метров, фиксируют как разряды земля-облако, так и межоблачные, которые, в свою очередь, являются предикторами наиболее опасных разрядов земля-облако и сопутствующих им стихийных явлений погоды (смерчи, град, сильный ветер). Из-за отсутствия отечественного производителя подобных систем с вышеперечисленными характеристиками фиксации молниевых разрядов, был проведен поиск коммерческих компаний, предлагающих подобные услуги. Наиболее привлекательный вариант сотрудничества получен от американской компании Earth Networks (США) и

принято решение об использовании датчиков этой компании и интегрировании их в общую сеть ENTLN (Earth Networks Total Lightning Network) для оценивания и предупреждения грозовой активности на территории Украины.

Таким образом, целью данной работы является описание общих принципов функционирования украинского сегмента системы грозопеленгации компании Earth Networks созданного 2016 году.

2. СИСТЕМА ГРОЗОПЕЛЕНГАЦИИ КОМПАНИИ EARTH NETWORKS (ENTLN)

2.1 Оборудование для получения данных

Сенсор (датчик) системы грозопеленгации состоит из 4 компонентов: антенна грозопеленгации, GPS антенна, процессор цифровой обработки сигнала и сетевое устройство передачи данных (рис. 1).

Антенна грозопеленгации фиксирует электромагнитное излучение на длинах волн от 1 Гц до 12 МГц. Общеизвестно, что межоблачные разряды и разряды земля-облако излучают электромагнитную энергию в широком диапазоне частот [26-29], причем, если разряды земля-облако генерируют низкочастотное излучение (LF/VLF), которое может распространяться на тысячи километров, то межоблачные разряды генерируют коротковолновое излучение (HF/VHF), затухающее в радиусе около 150 км от источника излучения (молниевых разрядов). Поэтому компанией был создан датчик, позволяющий фиксировать излучение по всему указанному спектру электромагнитного излучения. Имея такой спектральный ход электромагнитного излучения разряда (waveform), можно с большей точностью различить межоблачные разряды от разрядов земля-облако. В общем, указанная система позволяет фиксировать до 95 % разрядов земля-облако и более 50 % межоблачных разрядов молний. Процессор цифровой обработки сигнала получает данные о виде спектрального хода электромагнитного излучения разряда от антенны грозопеленгации, времени и местоположении разряда от GPS антенны и передает всю информацию на сетевое устройство. Сетевое устройство, которое управляется микропроцессором, передает данные на «облачный сервер» компании, который анализирует полученную информацию, формирует и передает результаты обработки потребителям. Также сетевое устройство используется для диагностики, калибровки и настройки сенсора.



Рис. 1 - Компоненты сенсора системы грозопеленгації ENTLN



Рис. 2 - Метод локації молний на основі принципу «времени прихода сигнала»

2.2 Точность локализации разрядов молний в пространстве

Для локализации грозового разряда в сети ENTLN используется метод локации молний на основе принципа «времени прихода сигнала» (time of arrival – TOA) [30] (рис. 2). Подробный теоретический анализ этой методологии, называемой как местоположение гиперболических пересечений, проводил Льюис [30]. TOA методы могут давать точное местоположение на боль-

ших расстояниях [31], если датчики правильно расположены и систематические ошибки минимальны. Причем для того, чтобы отсутствовала неопределенность при вычислении местоположения, необходимо, чтобы минимальное количество датчиков (данные от которых используются в определении месторасположения конкретного разряда) было больше или равно четырем.

При получении датчиком сигнала от молниевго разряда сетевое устройство пересылает данные о точном моменте времени фиксации

электромагнитного излучения на «облачный сервер», где, на основе разницы во времени получения сигнала разными датчиками, рассчитывается географическое положение разряда молнии. Для расчетов используются ближайшие датчики (минимум 5, максимум 25). В работе [32] была проанализирована точность определения географического положения разрядов молний данной системы, причем исследовались три координаты: высота, широта и долгота. Сравнение проводилось с данными сети VHF датчиков, которая управляется NASA (DC Lightning Mapping Array), считающейся наиболее точной по фиксации молниевых разрядов на территории США. В результате анализа было показано, что высота, на которой произошел молниевый разряд, определяется системой ENTLN с ошибкой более 1 км. Это связано с тем, что точность фиксации сигнала составляет 7 микросекунд, а простой расчет показал [32], что временная разница между сигналами, пришедшими с расстояния 100 км и с высот 9 и 10 км, составляет 0,3 микросекунды. Задача может быть решена уплотнением сети датчиков (т. е. расположением их через 15 км, вместо существующих 150 км), что приведет, однако, к удорожанию системы. Точность определения географических координат существенно выше, чем вертикальных координат и соответствует 200 метрам, причем в 23 из 24 анализируемых случаях молниевые разряды по датчикам сети VHF находились в области 99 % вероятности их обнаружения системой ENTLN.

2.3 Возможность определения стихийных гидрометеорологических явлений системой ENTLN

Учитывая то, что грозовые явления сопровождаются сильными порывами ветра, смерчами, торнадо и градом, в работе [2] показана связь между количеством межоблачных разрядов (МР) в минуту, разрядов земля-облако (ЗОР) в минуту с указанными опасными явлениями погоды. Следуя этой работе, резкое увеличение количества межоблачных разрядов и отношение МР/ЗОР (рис. 3; 4) могут служить предикторами для возникновения града, сильного ветра, смерча или торнадо. Наиболее опасная конвективная облачность может генерировать большое количество МР и большие значения МР/ЗОР. Чем выше значения МР, тем выше вероятность возникновения града из конвективной облачности. Проводя мониторинг грозовых ячеек, можно, с заблаговременностью до 30 минут, выдавать

оповещения о грозовой опасности. Таким образом, данные сети ENTLN могут быть использованы для обеспечения заблаговременного предупреждения о стихийных метеорологических явлениях.

3. СПЕЦИФИКА ПОСТРОЕНИЯ УКРАИНСКОГО СЕГМЕНТА ENTLN

3.1 Установка датчиков системы гронопеленгации

Для получения информации о молниевых разрядах над территорией Украины с вероятностью обнаружения межоблачных разрядов более 50 %, разрядов земля-облако – 95 % и пространственной точностью обнаружения данных явлений около 200 м, было рассчитано необходимое количество и определено географическое местоположение соответствующих датчиков. Учитывая необходимость сохранности оборудования, была достигнута договоренность с Украинским гидрометеорологическим центром об установке датчиков гронопеленгации на территории метеорологических станций. В таблице 1 указан перечень соответствующих метеостанций, где установлено оборудование.

Сотрудниками УкрГМИ, при поддержке компании Earth Networks, начиная с мая 2016 года, было установлено 12 датчиков гронопеленгации на указанных метеостанциях. Установка проводилась в несколько этапов и была закончена в июле 2016 года. Согласно требованиям к установке датчиков, их вертикальное расположение должно превышать самую верхнюю точку здания на 2-3 метра, и поэтому была реализована соответствующая конструкция крепления блоков сенсора на мачте. На рис. 5 представлены установленные мачты на зданиях метеостанции в п. Аскании Нова, в Гидрометцентре Черного и Азовского морей (г. Одесса) и в УкрГМИ (г. Киев).

3.2 Система обработки и визуализации данных украинского сегмента ENTLN

3.2.1 Внутренняя обработка данных

Первичные данные, полученные от датчиков гронопеленгации, благодаря возможностям существующей у производителя внутренней системы централизованной обработки (проводится первичная валидация, исключение дублирующих сообщений, статистический анализ данных и пороговая обработка данных с низкой точностью определения месторасположения), могут

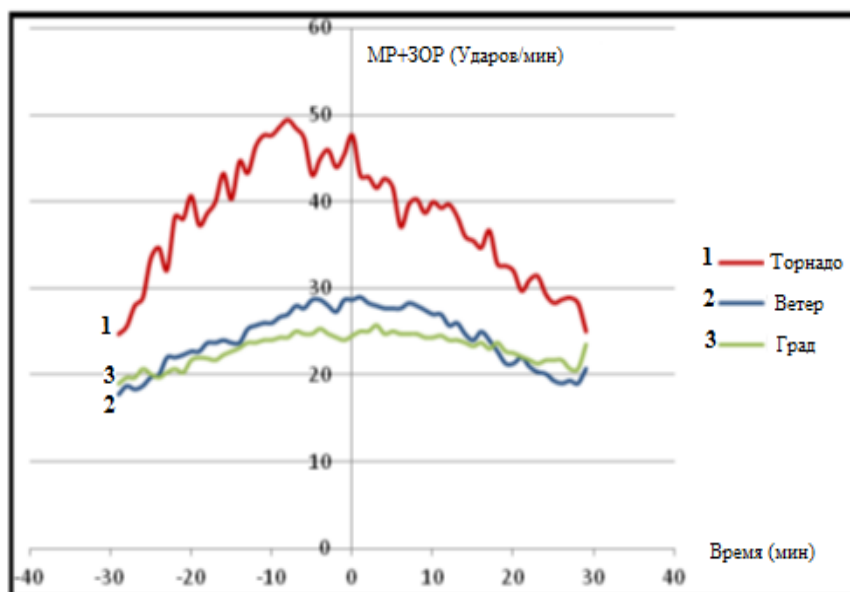


Рис. 3 - Залежність між часовою динамікою кількості МР і ЗОР і виникненням граду, сильного ветра, смерча і торнадо [2]

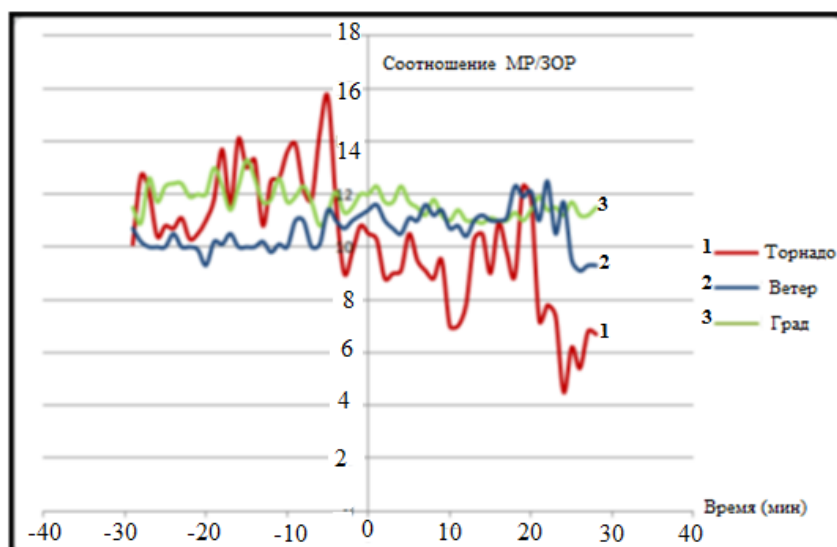


Рис. 4 - Залежність між часовою динамікою відношення МР/ЗОР і виникненням граду, сильного ветра, смерча і торнадо [2]

Таблиця 1 - Перечень метеостанцій, де встановлено обладнання системи грозопеленгації

Номер станції	Назва станції	Широта, в градусах	Долгота, в градусах
33464	г.Смела, Черкасска область	49.80	30.20
33345	г. Киев, УкрГМИ	50.60	30.40
33156	г. Глухов, Сумська область	51.60	34.00
34319	п. Большой Бурлук, Харьковская область	49.60	37.70
33506	г.Полтава, метеостанция	49.60	34.50
33838	Одесса, Гидрометцентр Чорного і Азовського морей	46.40	30.80
33915	п.Аскания Нова, Херсонская область	46.50	33.90
34606	п.Пришиб, Запорожская область	47.60	36.30
33088	г.Ровно	51.30	26.60
33513	г.Стрый, Львовская область	49.20	23.80
33662	г.Новоднестровск, Черновицкая область	48.10	27.07
33647	г.Рахов, Закарпатская область	48.00	24.20



Рис. 5 - Установленные мачты с датчиками грозопеленгации на метеостанции (п. Аскания Нова), в Гидрометцентре Черного и Азовского морей (г. Одесса) и в УкрГМИ (г. Киев)

использоваться потребителем как непосредственно, так и являться исходными для серии продуктов, являющимся результатом обработки с использованием математических, статистических и геоинформационных систем. Наиболее интересной и, в конечном итоге, ценной для потребителя является предварительно обработанная геотегируемая информация, получаемая в режиме реального времени в формате наиболее удобном для интеграции в существующие технологические процессы. Современным требованием, де-факто, является также возможность интеграции данных грозопеленгации в геоинформационные системы (ГИС) и с публичными картографическими сервисами (Google Maps, Yandex Maps, Bing, Yahoo Maps, OSM [33-37]), используя широкий спектр оборудования (специализированные АРМ мониторинга, принятия решений и АСУ ТП предприятий, оперативные стационарные и мобильные центры пр.) и применяя для их построения платформы PC, iOS, Android.

С целью унификации средств исходной обработки данных, формирования гибких возможностей по их вторичной обработке и обеспечения любых необходимых каналов с привлечением современных протоколов передачи данных, с учётом требований к надёжности, доступности, и безопасности передаваемой информации, в УкрГМИ разработана модульная система обработки данных, удовлетворяющая перечисленным требованиям.

Немаловажным фактором в основополагающих требованиях к системе является возмож-

ность ее развёртывания как в целом, так и отдельных её рабочих модулей ввода-вывода на широком спектре промышленного и бытового оборудования с возможностью резервирования компонентов системы и её горизонтального масштабирования с целью создания изолированных защищённых систем обработки и визуализации, а также распределённых высоконадёжных систем обработки и хранения геоинформационных, метеорологических и композитных данных. Эти требования обеспечиваются использованием базового программного обеспечения с открытым исходным кодом (OSS), а также открытого стека технологий в «ядре» системы обработки, являющимся стандартным в современной IT индустрии (WEB сервер Apache/Nginx, СУБД PostgreSQL/PostGIS, использование очереди сообщений (Message Query – MQ) в многопоточной обработке и обмене данными между процессами).

Использование унифицированного внутреннего межмодульного интерфейса прикладного программирования (API) позволило снизить себестоимость разработки системы, и в то же время позволяет легко создавать специализированные модули по передаче данных в необходимом потребителю формате и протоколе обмена, в том числе, выдачей их по зашифрованным каналам в базы данных потребителя.

3.2.2 Визуализация данных

С целью визуализации и тестирования возможностей обработки геотегируемых данных используется подсистема подготовки геоданных

GeoServer с отображением на клиентских средствах с использованием картографических данных проекта OpenStreetMap (рис. 6). Эти технологии используют данные закрытых или условно-бесплатных систем, поддерживающие стандарты Web Feature Service (WFS), Web Coverage Service (WCS), Web Map Service (WMS).

Кроме того, указанные технологии позволяют использовать геотегированные данные сети грозопеленгации совместно с картографическими сервисами и данными из других источников (спутникового зондирования, численных моделей и пр.).

Решения, используемые для обеспечения работы подсистем, предусматривают также создание специализированных веб-приложений по разным видам стихийных метеорологических явлений для различных категорий потребителей (авиация, энергетика, транспорт, связь и пр.). Такими решениями достигается также высокая интеграция различных видов отображения информации, например, для кризисных центров могут отображаться текущие данные сети грозопеленгации, вектор смещений очагов опасных явлений и текущие данные сети метеорологических/гидрологических наблюдений.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ УКРАИНСКОГО СЕГМЕНТА ENTLN В 2016 ГОДУ

Для анализа пространственного и временного распределения грозовой активности над территорией Украины были использованы данные сети грозопеленгации ENTLN с 10 июня до 30 сентября 2016 года. Эти данные включали в себя информацию о географическом местоположении (широта, долгота) молниевых разряда, типе разряда (межоблачный или земля-облако), максимальной силы тока разряда, количества импульсов в разряде и ряд другой информации. Основная идея анализа заключалась в том, чтобы сравнить среднемесячные данные о грозовой активности над территорией Украины в теплый период года (июнь-сентябрь), полученные с помощью новой технологии с соответствующими данными на метеостанциях. Очевидно, что такое сравнение имеет свои недостатки, в первую очередь из-за недостаточного ряда наблюдений сети грозопеленгации, всего четыре месяца, а стандартные метеонаблюдения составляют около 30 лет, во-вторых, если сеть грозопеленгации можно отнести к инструментальным наблюдениям, где молниевый разряд фиксируется по электро-

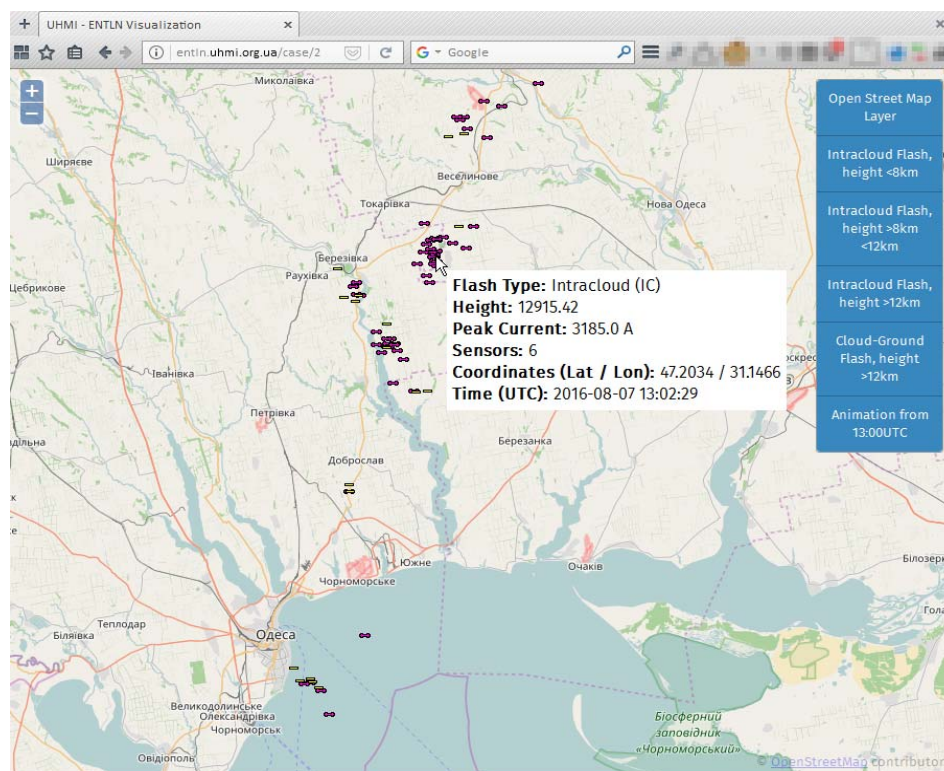


Рис. 6 - Визуализация архивных данных сети грозопеленгаторов в интересующем районе на картографической подложке

магнитному излучению независимо от наблюдателя, то наблюдения на станциях основаны на визуальном или слуховом восприятии (субъективном) дежурного наблюдателя. Тем не менее, об определённых результатах можно говорить уже сейчас.

Основные климатологические особенности пространственно-временного распределения гроз над территорией Украины подробно описаны в работах [25, 38]. В них было отмечено, что районами с наибольшим количеством дней с грозовой активностью являются Украинские Карпаты, Волынская, Подольская, Приднепровская и Донецкая возвышенности, а наименьшее количество наблюдалось в Крыму. Наш анализ показал, что в июне, июле и сентябре большая грозовая активность была в западной части Украины, а в августе - в восточной (рис. 7).

В июне максимальное количество дней с грозой наблюдалось в Киевской области (13 дней), а минимальное – 1 день на южном побережье Крыма, в остальной части Крыма эти значения составили 5-7 дней, что соответствовало средним многолетним значениям. В июле максимальное количество дней отмечалось в Украинских Карпатах (15 дней), что также, достаточно, близко к среднемуголетним – 12 дням. В августе наблюдалось увеличение количества дней на юге и востоке Украины, максимум зафиксирован в Крыму и составил 18 дней, а минимальное количество дней – на северо-западе и составило 3 дня, что не соответствовало среднемуголетним значениям. Это может быть объяснено особенностями атмосферных процессов, которые

характеризовали этот месяц. В сентябре, практически, по всей территории Украины, наблюдалось 1-2 дня с грозовой активностью, что соответствовало средним многолетним значениям. Наибольшее несоответствие между среднемуголетними данными и данными грозопеленгации было при расчёте отношения количества гроз к количеству дней с грозой (рис. 8).

Эти средние многолетние значения находятся в пределах 1.00 – 1.15 [39], наш анализ показал, что вариации данного значения составляют от 1 до 500. Безусловно, что такая большая разница определяется большими технологическими возможностями инструментальных наблюдений, в отличие от субъективной оценки наблюдателя.

Одним из основных преимуществ системы грозопеленгации является возможность фиксации межоблачных разрядов, которые могут характеризовать интенсивность грозовой активности, о чем уже отмечалось в разделе 2.3. Построенные карты месячных значений отношения межоблачных разрядов к разрядам земля-облако (рис. 9) показывают районы, где были наиболее опасные явления. В соответствии с [2] если значения МР/ЗОР будут превышать 10, то появляется большая вероятность возникновения града, сильного ветра, смерча и торнадо.

Таким образом, полученная информация может являться новым, качественным источником данных для климатологических исследований. В то же время, получение данных в режиме реального времени позволяет создавать серии продуктов для широкого круга потребителей, заинтересованных в краткосрочном прогнозировании.

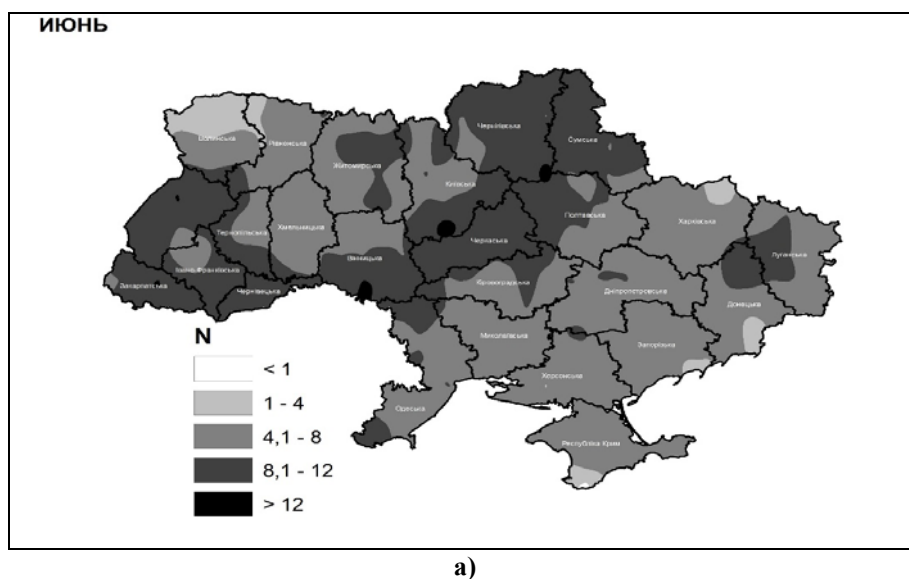
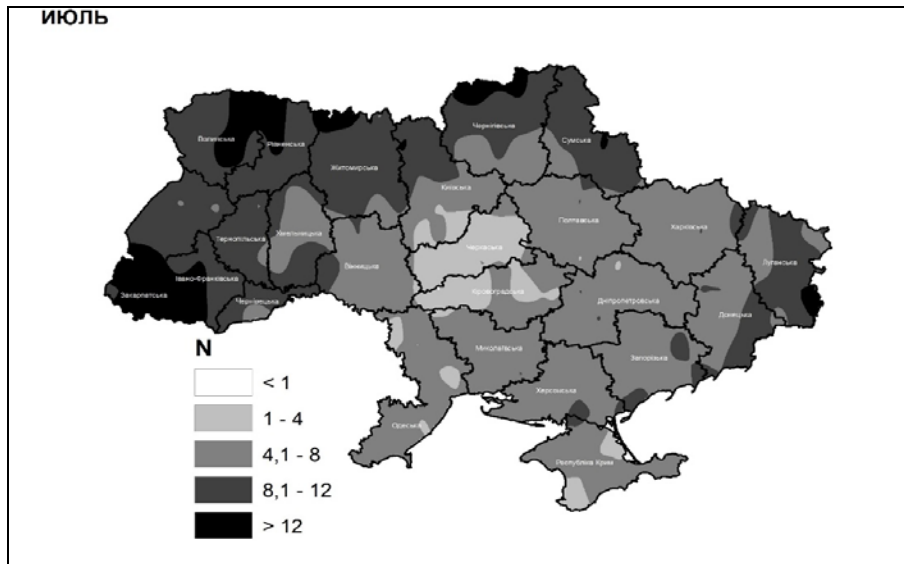
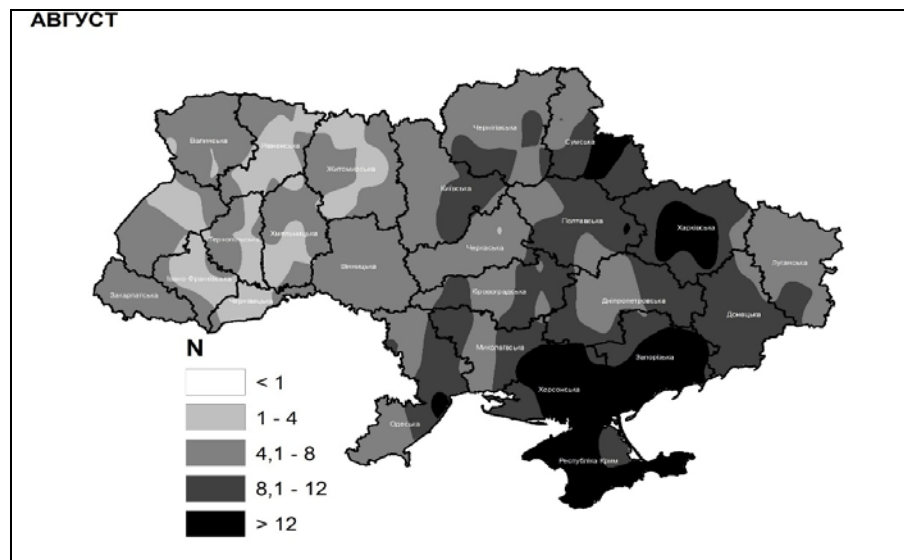


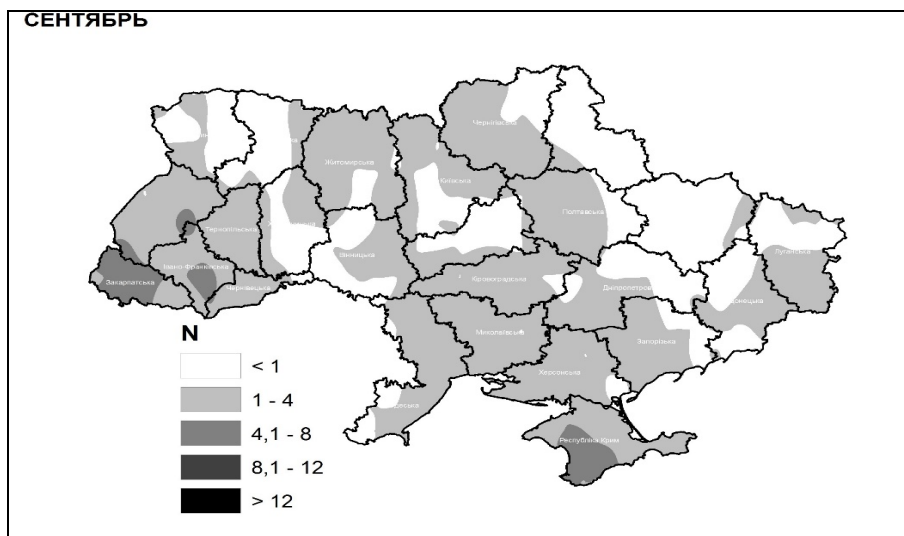
Рис. 7 – Количество дней с грозой (а – июнь, б – июль, в – август; г - сентябрь)



б)

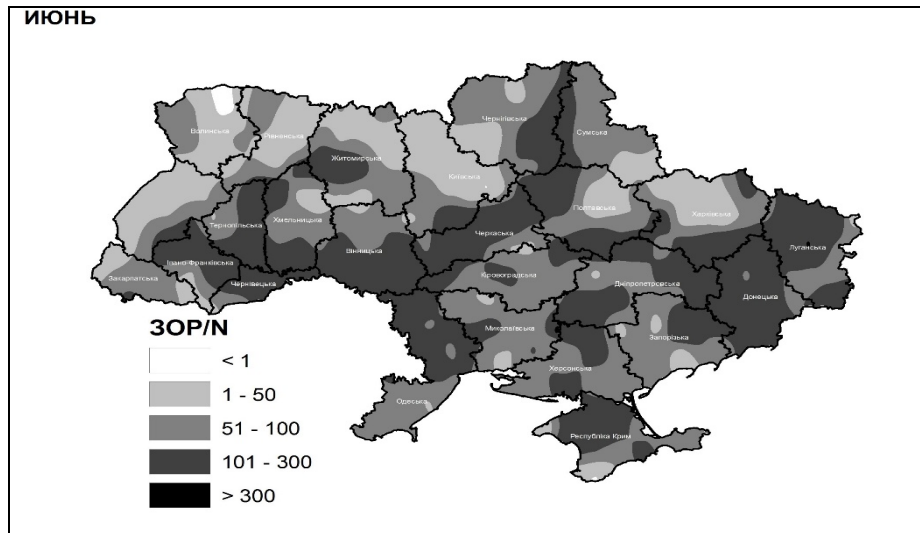


в)

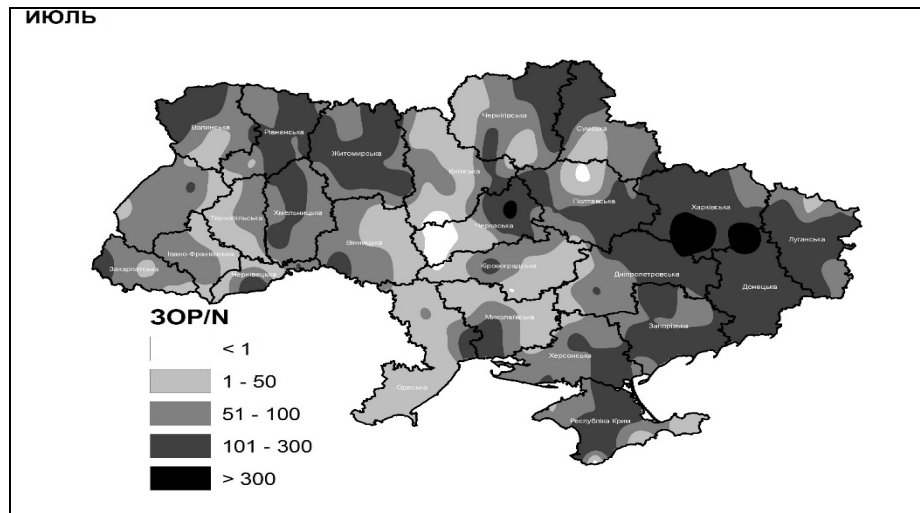


г)

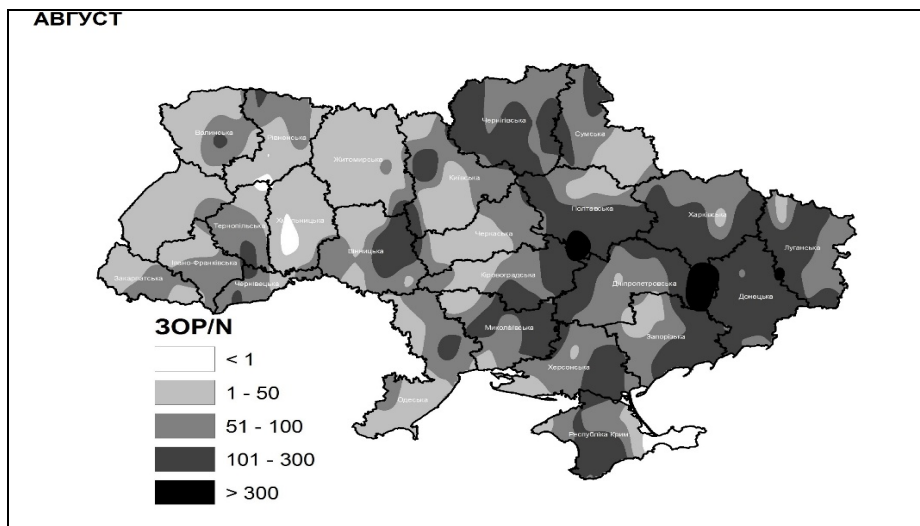
Рис. 7 – Окончание



а)

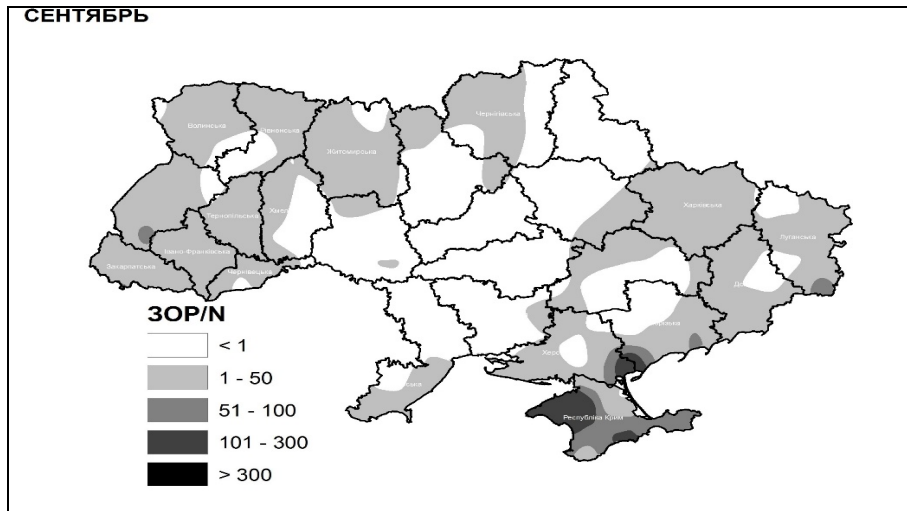


б)



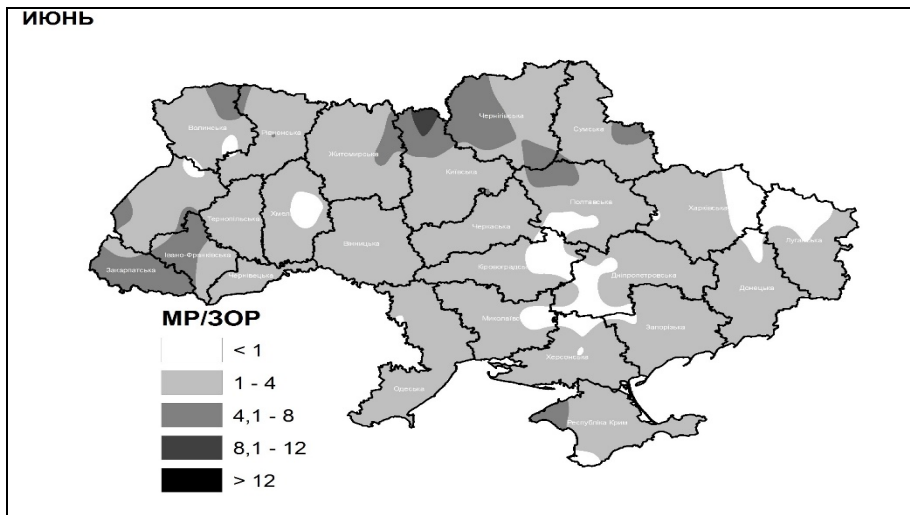
в)

Рис. 8 – Отношения количества гроз к количеству дней с грозой (а – июнь, б – июль; в – август, г - сентябрь)

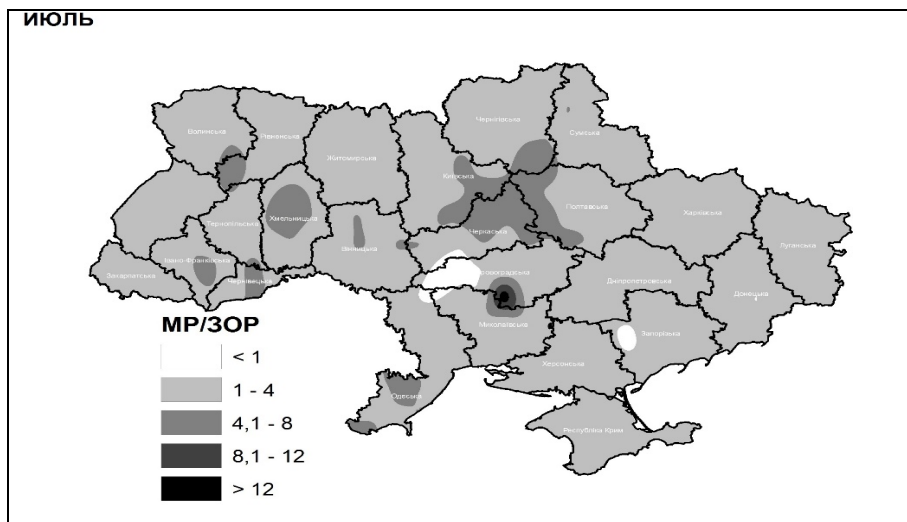


г)

Рис. 8 – Окончание

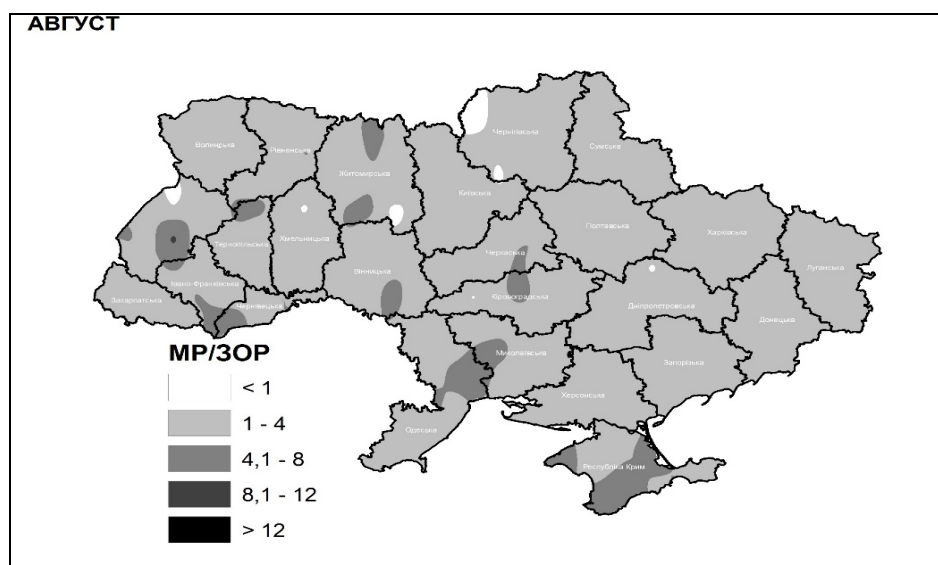


а)

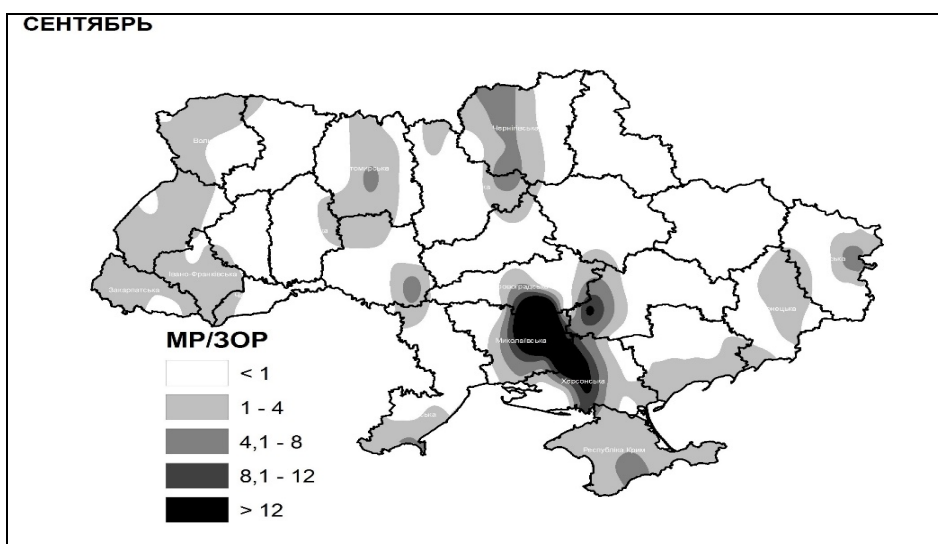


б)

Рис. 9 – Отношение межоблачных разрядов к разрядам в землю (а-июнь; б – июль, в – август; г - сентябрь)



в)



г)

Рис. 9 – Окончание

5. ВЫВОДЫ

Украинский сегмент сети грозопеленгации компании Earth Networks является первой системой, установленной на территории Украины, позволяющей в реальном режиме времени отслеживать грозовую активность. Весь процесс создания данного сегмента составил не более 2 месяцев и состоял из установки 12 датчиков в различных частях Украины. Эти датчики позволяют с высокой точностью фиксировать как межоблачные, так и разряды земля-облако, что подтверждено сравнением с данными метеостанций.

Поскольку, система грозопеленгации предоставляет не только информацию о текущих грозах

и молниях, но и даёт возможность предупредить о наступлении грозового фронта, в будущем планируется разработать систему автоматического оповещения выбранных районов о наступлении грозы и других опасных метеорологических явлений, таких как: шквальный ветер, ливень и град.

Таким образом, установленный Украинский сегмент сети грозопеленгации и грозооповещения, наряду с построенной в УкрГМИ инфраструктурой обработки, визуализации и распространения метеорологических данных, является важным инструментом как для исследовательских целей, так и для обеспечения деятельности различных категорий потребителей.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Earth networks company*. URL: <https://www.earthnetworks.com/> (accessed: 10.10.2017)
2. Charlie Liu, Chris Sloop, Stan Heckman. (2014). Application of lightning in predicting high impact weather. *Preprints, WMO Technical conference on meteorological and environmental instruments and methods of observation, July 7-9, Saint Petersburg, Russian Federation*.
3. Cummins, K.L., Pyle, R.B., Fournier, G. (1999). An integrated North American lightning detection network. *Preprints, 11th International Conference on Atmospheric Electricity, June 7-11, Guntersville, Alabama*, pp. 218-221.
4. Orville, R.E., Huffines, G.R., Burrows, W.R., Holle, R.L., Cummins, K.L. (2002). The North American lightning detection network (NALDN) – First results: 1998-2000. *Monthly Weather Review, August*, 130(8).
5. *TOA system*. URL: <http://www.uspln.com/product.html> (accessed: 10.10.2017).
6. Wolfgang Schulz, Gerhard Diendorfer, Stéphane Pedeboy, Dieter Roel Poelman. (2016). The European lightning location system EUCLID – Part 1: Performance analysis and validation. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 16, 595–605.
7. *Japan Lightning Detection Network (JLDN)*. URL: <http://www.franklinjapan.jp/contents/observation/jldn/> (accessed: 15.10.2017)
8. Naccarato, K.P., Pinto, Jr.O. (2008). The third generation relative detection efficiency model for the brazilian lightning detection network (brasildat). *20th International Lightning Detection Conference, 21-22 April. Tucson, Arizona USA*.
9. Naccarato, K.P., Pinto, Jr.O., Pinto, I. (2006). Different types of detection efficiency models to correct cloud-to-ground data obtained by Lightning Detection Networks. *Proceedings of the International Conference on Grounding and Earthing & 2nd International Conference on Lightning Physics and Effects*. SB-RAI, Maceió, CD-ROM, Nov.
10. Abreu, D., Chandan, D., Holzworth, R.H., Strong, K. (2010). A performance assessment of the World Wide Lightning Location Network (WWLLN) via comparison with the Canadian Lightning Detection Network (CLDN). *Atmos. Meas. Tech.*, 3, 1143-1153.
11. Evert, R., Schulze, G. (2005). Impact of a new lightning detection and location system in South Africa. *Power Engineering Society Inaugural Conference and Exposition in Africa, 2005 IEEE*. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=10730> (accessed: 15.10.2017)
12. *Australian largest lightning detection network*. URL: <http://www.gpats.com.au/> (accessed: 15.10.2017).
13. Jiahong Chen, Yubin Wu, Zhibin Zhao. (2010). The New lightning detection system in China : Its method and performance. *Conference: Electromagnetic Compatibility (APEMC), Asia-Pacific Symposium*.
14. Никитин Д. Системи грозопеленгації на страже електросетевого господарства. *Професійний журнал*. 2010. №06(7, 8). С. 17–20.
15. *Vaisala Lightning detection network*. URL: <http://www.vaisala.com/en/products/thunderstormandlightningdetectionsystems/Pages/GLD360.aspx> (accessed: 17.10.2017)
16. Demetriades, N.W.S., Pohjola, H., Murphy, M.J., Crame, J.A. (2010). Validation of vaisala's global lightning dataset (GLD360). *Preprints, WMO Technical conference on meteorological and environmental instruments and methods of observation, 30 August – 1 September, Helsinki, Finland*.
17. Rodger, C.J., Brundell, J.B., Dowden, R.L. (2005). Location accuracy of VLF World Wide Lightning Location (WWLL) network: Post-algorithm upgrade. *Ann. Geophys.*, 23, 277–290.
18. Rodger, C.J., Werner, S.W., Brundell, J.B., Thomson, N.R., Lay, E.H., Holzworth, R.H., Dowden, R.L. (2006). Detection efficiency of the VLF World-Wide Lightning Location Network (WWLLN): Initial case study. *Ann. Geophys.*, 24, 3197– 3214.
19. Jacobson, A.R., Holzworth, R., Harlin, J., Dowden, R., Lay, E. (2006). Performance assessment of the World Wide Lightning Location Network (WWLLN), using the Los Alamos Sferic Array (LASA) as Ground Truth. *J. Atmo. Oceanic Tech.*, 23, 1082–1092.
20. Lay, E.H., Jacobson, A.R., Holzworth, R.H., Rodger, C.J., Dowden, R.L. (2007). Local time variation in land/ocean lightning flash density as measured by the World Wide Lightning Location Network. *J. Geophys. Res.*, 112, D13111, doi:10.1029/2006JD007944.
21. Betz, H.D., Schmidt, K., Oettinger, W.P. (2008). LINET—An international VLF/LF lightning detection network in Europe. *Lightning: Principles, Instruments and Applications*. Dordrecht, NL: Springer Verlag, pp. 115-140.
22. Betz, H.D., Schmidt, K., Laroche, P., Blanchet, P., Oettinger, W.P., Defer, E., Dziejewicz, Z., Konarski, J. (2008). LINET—An international lightning detection network in Europe. *Atmos. Res.* doi:10.1016/j.atmosres.2008.06.01
23. Sidik, M.A.B., Shahroom, H.B., Salam, Z., Buntat, Z., Nawawi, Z., Ahmad, H., Jambak, M.I., Arief, Y.Z. (2015). Lightning monitoring system for sustainable energy supply: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, August 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.04.045
24. Kryvobok, O., Kulbida, M., Savchenko, L. (2011). Monitoring of Severe Weather in Ukraine With the Use of Satellite Data. *Use of satellite and in-situ Data to Improve Sustainability/ Part of the series NATO Science and Security/ Series C/Environmental Security*. Netherlands: Springer, pp. 41-48
25. Клімат України / за ред. Липінського В. М. Київ : Вид-во Раєвського, 2003. 343 с.
26. Malan, D.J. (1963). *Physics of Lightning*. London : The English Universities Press, Ltd.
27. Pierce, E.T. (1977). Atmospheric and radio noise, in Lightning. In: R.H. Golde (Ed.). *Lightning: Physics of Lightning*, 01, 351-384.
28. Murphy, M.J., Cummins, K.L. 2-D and 3-D cloud discharge detection, 1998. (1998). *Intl. Lightning Detection Conf.*, Tucson, AZ, Global Atmospheric, Inc.
29. Smith, D.A., Shao, X.M., Holden, D.N., Rhodes, C.T., Brook, M., Krehbiel, P.R. et al. (1999). A distinct class of isolated intracloud lightning discharges and their associated radio emissions. *J. Geophys. Res.*, 104, 4189-4212.
30. Lewis, E.A., Harvey, R.B., Rasmussen, J.E. (1960). Hyperbolic direction finding with sferics of transatlantic origin. *J. Geophys. Res.*, 65, 1879–1905.
31. Fagan, D., Meier, R. (2011). Intelligent time of arrival estimation. *IEEE forum on integrated and sustainable*

transportation system (FISTS).

32. Stan Heckman. (2014). ENTLN Status Update. *XV International Conference on Atmospheric Electricity, 15-20 June*, Norman, Oklahoma, U.S.A.
33. *Google maps APIs*. URL: <https://developers.google.com/maps/> (accessed: 01.11.2017)
34. *Yandex maps APIs*. URL: <https://tech.yandex.com/maps/> (accessed: 01.11.2017)
35. *Bing maps*. URL: <https://www.bingmapsportal.com/> (accessed: 01.11.2017)
36. *Developer network YAHOO*. URL: <https://developer.yahoo.com/maps/> (accessed at 01.11.2017)
37. *OpenStreetMap/ Wikipedia*. URL: <http://wiki.openstreetmap.org/wiki/API> (accessed: 01.11.2017)
38. Мазин И. П., Хргиан А. Х. Облака и облачная атмосфера. Справочник. Ленинград: Гидрометеоздат, 1989. 646 с.
39. Логвинов К. Т., Бабиченко В. Н., Кулаковская М. Ю. Опасные явления погоды в Украине. Ленинград: Гидрометеоздат, 1972. 236 с.
11. Evert, R., Schulze, G. (2005). Impact of a new lightning detection and location system in South Africa, *Power Engineering Society Inaugural Conference and Exposition in Africa, 2005 IEEE*. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=10730> (accessed at 15.10.2017)
12. *Australian largest lightning detection network*. Available at: <http://www.gpats.com.au/> (accessed: 15.10.2017)
13. Jiahong Chen, Yubin Wu, Zhibin Zhao. (2010). The New lightning detection system in China: Its method and performance. *Conference: Electromagnetic Compatibility (APEMC), Asia-Pacific Symposium*.
14. Nikitin, D. (2010). [Lightning detection system on guard of electric facilities]. *Profesionalnyy zhurnal [Professional magazine]*, 06 (7, 8), 17-20. (in Russ.)
15. *Vaisala Lightning detection network*. Available at: <http://www.vaisala.com/en/products/thunderstormandlightningdetectionsystems/Pages/GLD360.aspx> (accessed: 17.10.2017)
16. Demetriades, N.W.S., Pohjola, H., Murphy, M.J., Crame, J.A. (2010). Validation of vaisala's global lightning dataset (GLD360). *Preprints, WMO Technical conference on meteorological and environmental instruments and methods of observation, 30 August – 1 September*, Helsinki, Finland.
17. Rodger, C.J., Brundell, J.B., Dowden, R.L. (2005). Location accuracy of VLF World Wide Lightning Location (WWLL) network: Post-algorithm upgrade. *Ann. Geophys.*, 23, 277–290.
18. Rodger, C.J., Werner, S.W., Brundell, J.B., Thomson, N.R., Lay, E.H., Holzworth, R.H., Dowden, R.L. (2006). Detection efficiency of the VLF World-Wide Lightning Location Network (WWLLN): Initial case study. *Ann. Geophys.*, 24, 3197–3214.
19. Jacobson, A.R., Holzworth, R., Harlin, J., Dowden, R., Lay, E. (2006). Performance assessment of the World Wide Lightning Location Network (WWLLN), using the Los Alamos Sferic Array (LASA) as Ground Truth. *J. Atmo. Oceanic Tech.*, 23, 1082–1092.
20. Lay, E.H., Jacobson, A.R., Holzworth, R.H., Rodger, C.J., Dowden, R.L. (2007). Local time variation in land/ocean lightning flash density as measured by the World Wide Lightning Location Network. *J. Geophys. Res.*, 112, D13111, doi:10.1029/2006JD007944.
21. Betz, H.D., Schmidt, K., Oettinger, W.P. (2008). LINET—An international VLF/LF lightning detection network in Europe. *Lightning: Principles, Instruments and Applications*. Dordrecht, NL: Springer Verlag, pp. 115-140.
22. Betz, H.D., Schmidt, K., Laroche, P., Blanchet, P., Oettinger, W.P., Defer, E., Dziewit, Z., Konarski, J. (2008). LINET—An international lightning detection network in Europe. *Atmos. Res.* doi:10.1016/j.atmosres.2008.06.01
23. Sidik, M.A.B., Shahroom, H.B., Salam, Z., Buntat, Z., Nawawi, Z., Ahmad, H., Jambak, M.I., Arief, Y.Z. (2015). Lightning monitoring system for sustainable energy supply: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, August 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.04.045
24. Kryvobok, O., Kulbida, M., Savchenko, L. (2011). Monitoring of Severe Weather in Ukraine With the Use of Satellite Data. *Use of satellite and in-situ Data to Improve Sustainability/ Part of the series NATO Science and Security/ Series C/Environmental Security*. Netherlands: Springer, pp. 41-48
25. Lipinsky, V.M. (Ed). (2003). *Klimat Ukrainy* [The climate of Ukraine]. Kyiv: Raevsky Publishing House. (in Ukr.)
26. Malan, D.J. (1963). *Physics of Lightning*. London: The English Universities Press, Ltd.

REFERENCES

1. *Earth networks company*. Available at: <https://www.earthnetworks.com/> (accessed: 10.10.2017)
2. Charlie Liu, Chris Sloop, Stan Heckman. (2014). Application of lightning in predicting high impact weather. *Preprints, WMO Technical conference on meteorological and environmental instruments and methods of observation, July 7-9*, Saint Petersburg, Russian Federation.
3. Cummins, K.L., Pyle, R.B., Fournier, G. (1999). An integrated North American lightning detection network. *Preprints, 11th International Conference on Atmospheric Electricity, June 7-11*, Guntersville, Alabama, pp. 218-221.
4. Orville, R.E., Huffines, G.R., Burrows, W.R., Holle, R.L., Cummins, K.L. (2002). The North American lightning detection network (NALDN) – First results: 1998-2000. *Monthly Weather Review*, August, 130(8).
5. *TOA system*. Available at: <http://www.uspln.com/product.html> (accessed: 10.10.2017).
6. Wolfgang Schulz, Gerhard Diendorfer, Stéphane Pedeboy, Dieter Roel Poelman. (2016). The European lightning location system EUCLID – Part 1: Performance analysis and validation. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 16, 595–605.
7. *Japan Lightning Detection Network (JLDN)*. Available at: <http://www.franklinjapan.jp/contents/observation/jldn/> (accessed: 15.10.2017)
8. Naccarato, K.P., Pinto, Jr.O. (2008). The third generation relative detection efficiency model for the brazilian lightning detection network (brasildat). *20th International Lightning Detection Conference, 21-22 April*. Tucson, Arizona USA.
9. Naccarato, K.P., Pinto, Jr.O., Pinto, I. (2006). Different types of detection efficiency models to correct cloud-to-ground data obtained by Lightning Detection Networks. *Proceedings of the International Conference on Grounding and Earthing & 2nd International Conference on Lightning Physics and Effects*. SB-RAI, Maceió, CD-ROM, Nov.
10. Abreu, D., Chandan, D., Holzworth, R.H., Strong, K. (2010). A performance assessment of the World Wide Lightning Location Network (WWLLN) via comparison with the Canadian Lightning Detection Network (CLDN). *Atmos. Meas. Tech.*, 3, 1143-1153.

27. Pierce, E.T. (1977). Atmospherics and radio noise, in Lightning. In: R.H. Golde (Ed.). *Lightning : Physics of Lightning*, 01, 351-384.
28. Murphy, M.J., Cummins, K.L. 2-D and 3-D cloud discharge detection, 1998. (1998). *Intl. Lightning Detection Conf.*, Tucson, AZ, Global Atmospheric, Inc.
29. Smith, D.A., Shao, X.M., Holden, D.N., Rhodes, C.T., Brook, M., Krehbiel, P.R. et al. (1999). A distinct class of isolated intracloud lightning discharges and their associated radio emissions. *J. Geophys. Res.*, 104, 4189-4212.
30. Lewis, E.A., Harvey, R.B., Rasmussen, J.E. (1960). Hyperbolic direction finding with sferics of transatlantic origin. *J. Geophys. Res.*, 65, 1879-1905.
31. Fagan, D., Meier, R. (2011). Intelligent time of arrival estimation. *IEEE forum on integrated and sustainable transportation system (FISTS)*.
32. Stan Heckman. (2014). ENTLN Status Update. *XV International Conference on Atmospheric Electricity, 15-20 June*, Norman, Oklahoma, U.S.A.
33. *Google maps APIs*. Available at: <https://developers.google.com/maps/> (accessed: 01.11.2017)
34. *Yandex maps APIs*. Available at: <https://tech.yandex.com/maps/> (accessed: 01.11.2017)
35. *Bing maps*. Available at: <https://www.bingmapsportal.com/> (accessed: 01.11.2017)
36. *Developer network YAHOO*. Available at: <https://developer.yahoo.com/maps/> (accessed: 01.11.2017)
37. *OpenStreetMap/Wikipedia*. Available at: <http://wiki.openstreetmap.org/wiki/API> (accessed: 01.11.2017)
38. Mazin, I.P., Khrgian, A.Kh. (1989). *Oblaka i oblachnaya atmosfera. Spravochnik* [Clouds and cloudy atmosphere. Directory]. Leningrad : Gidrometeoizdat.
39. Logvinov, K.T., Babichenko, V.N., Kulakovskaya, M.U. (1972). *Opasnye yavleniya pogody v Ukraine* [Dangerous weather phenomena in Ukraine]. Leningrad: Gidrometeoizdat.

УКРАЇНСЬКИЙ СЕГМЕНТ СИСТЕМИ ГРОЗОПЕЛЕНГАЦІЇ ENTLN

Кривобок О. А., канд. геогр. наук,
Кривошеїн О. О., канд. геогр. наук
Коман М. М.
Крупа Є. О.

Український гідрометеорологічний інститут
 03028, м. Київ, проспект Науки, 37. krivoshein@uhmi.org.ua

В статті розглядається український сегмент системи грозопеленгації компанії Earth Networks, який був створений в 2016 році. Він складається з 12 датчиків, розташованих у різних частих України, які дозволяють ідентифікувати як розряди земля-хмара (ЗХР), так і розряди між хмарами (МР). Заявлена кількість датчиків покриває всю територію України і дозволяє визначити ЗХР з імовірністю 95 %, а просторова точність виявлення блискавок становить близько 200 метрів. З огляду на необхідність збереження обладнання, була досягнута домовленість з Українським гідрометеорологічним центром про встановлення датчиків грозопеленгації на території метеорологічних станцій. Істотною перевагою даної системи грозопеленгації є те, що вона дозволяє реєструвати електромагнітні сигнали блискавок в діапазоні від 1 Гц до 12 МГц. Саме завдяки цьому, більш точно визначається просторове положення ЗХР і МР шляхом аналізу спектра електромагнітного сигналу у вказаному діапазоні. Для локалізації грозового розряду в мережі ENTLN використовується метод локації блискавок на основі принципу «часу приходу сигналу» (time of arrival - TOA). Первинні дані, отримані від датчиків грозопеленгації проходять через внутрішню систему централізованої обробки і надалі можуть використовуватися споживачем як безпосередньо, так і бути вихідними для серії продуктів, які є результатом обробки з використанням математичних, статистичних та геоінформаційних систем. Для обробки даних в УкрГМІ розроблено модульну систему, яка дозволяє уніфікувати засоби первинної та вторинної обробки вихідних даних та забезпечити всі необхідні канали для передачі сформованих даних за допомогою широкого кола протоколів. Для візуалізації даних блискавки використовуються підсистема GeoServer та інструмент відображення OpenStreetMap.

В статті описуються загальні принципи функціонування українського сегменту у складі мережі грозопеленгації та розглядаються приклади її роботи в період з 10 червня до 30 вересня 2016 року. Таким чином, отримана інформація може бути новим, якісним джерелом даних для кліматологічних досліджень. У той же час, отримання даних в режимі реального

часу дозволяє створювати серії продуктів для широкого кола споживачів, зацікавлених в короткостроковому прогнозуванні.

Ключові слова: грозопеленгація, система ENTLN, обробка даних, грозові розряди.

UKRAINIAN SEGMENT OF THE ENTLN (LIGHTNING FINDING SYSTEM)

Kryvobok O. A., Cand. Geogr. Sci.

Kryvoshein O. O., Cand. Geogr. Sci.

Koman M. M.

Krupa E. O.

*Ukrainian Hydrometeorological Institute
03028, Kyiv, Nauki av., 37, krivoshein@uhmi.org.ua*

The Ukrainian segment of the Earth Networks lightning finding system created in 2016 is discussed in the paper. It consists of 12 sensors located in different parts of Ukraine which allow identifying both types of lightning: "cloud-to-ground discharge (CG)" and "cloud-to-cloud discharge (CC)". The stated number of sensors covers the entire territory of Ukraine and allows the determination of CG with a probability of 95 % with the spatial accuracy of lightning detection constituting about 200 meters. Taking into account the necessity to preserve the equipment, an agreement was reached with the Ukrainian Hydrometeorological Centre on installation of lightning finding sensors within the territory of meteorological stations. Significant advantage of this lightning finding system is that it allows recording of electromagnetic lightning signals within the range from 1 Hz to 12 MHz. Due to this, the spatial position of CG and CC can be determined more accurately by analyzing the spectrum of electromagnetic signal within the specified range. To localize a lightning discharge using the ENTLN network the method of lightning finding based on the principle of "time of signal arrival (ToA)" is applied. The primary data obtained from the lightning finding sensors are analyzed in the internal system of centralized processing and can be used further by a consumer in two ways: either directly, or serve as output data for series of products resulted from processing using mathematical, statistical and geographic information systems. In order to process obtained data the UHMI developed a modular system that allows unification of the means of primary and secondary processing of output data and enabling all necessary channels for transmission of generated data using a wide range of protocols. To visualize the lightning data a subsystem based on the open GeoServer for preprocessing of the geodata and client tools using the mapping data of OpenStreetMap are used. As an example of one of possibilities these lightning data provide, the analysis of the spatial and temporal distribution of lightning activity over the territory of Ukraine from June 10 to September 30, 2016 has been done and the results showed that these data could be a new, qualitative source of data for climatological studies. In addition, real-time data acquisition allows creation of a series of products for a wide range of consumers interested in a short-term forecasting.

Keywords: lightning finding, the ENTLN system, data processing, lightning discharges.

Подання до редакції : 20. 02. 2018

Надходження остаточної версії : 10. 05. 2018

Публікація статті : 29. 06. 2018