

РАЦИОНАЛЬНОЕ ПОСТРОЕНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ПОЛЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Введение

При проведении всеобъемлющего радиолокационного мониторинга окружающей среды очень важную роль играет радиолокационный мониторинг атмосферы [1]. Состояние атмосферы существенно влияет на работу многих хозяйственных отраслей: транспорта, сельского, лесного, водного хозяйства, различных муниципальных структур. В связи с изменениями климата особые угрозы в виде человеческих жертв и крупного материального ущерба представляют опасные явления погоды [2]. Процессы эти быстротечны. Информация об их протекании необходима в реальном масштабе времени. Это требование можно выполнить только с использованием технологии оперативного радиолокационного мониторинга.

Актуальность

Во многих странах существуют радиолокационные сети для наблюдения за состоянием атмосферы. В основу их функционирования положены различные приоритеты, позволяющие соответствующим службам получать необходимую информацию для прогнозирования с целью предотвращения гибели людей и материальных потерь. В Испании сеть составляют 12 метеорологических РЛС, в Великобритании и Ирландии – 15, в Скандинавских странах – 19. По проекту COST–73 в Западной Европе развернуты и функционируют более 120 метеорологических РЛС, в Японии – 22, в США – более 150, в России – более 140 [3]. На Украине сеть составляют 2 метеорологические РЛС, расположенные в Киеве и в Запорожье [4]. Столь малое количество средств мониторинга не обеспечивает прогностические центры радиолокационной информацией о состоянии всей толщи тропосферы в необходимом количестве и с требуемым качеством. По этой причине решение задачи рационального построения радиолокационного поля системы мониторинга окружающей среды для Украины является актуальным.

Цель исследования

Цель исследования – обоснование рационального построения радиолокационной системы мониторинга окружающей среды, образующей единое радиолокационное поле над всей территорией страны и прилегающими к ней районами и средств для моделирования этой системы.

Научная новизна

Научная новизна приведенных исследований состоит в обосновании рационального построения радиолокационного поля системы мониторинга окружающей среды и создании средств моделирования для этих целей.

Изложение основного материала

Концепции построения существующих радиолокационных сетей в разных странах обладают определенной общностью, однако есть и различия. Они обусловлены разными климатическими и погодными условиями, разным подходом к гидрометеорологическому прогнозированию.

Общностью обладают целевые установки создания радиолокационной сети наблюдения за атмосферными процессами [5, 6], она предназначается:

- 1) для штормового оповещения населения и организаций на новом качественном уровне, т.е. создания автоматизированной технологии текущего прогноза опасных стихийных явлений с целью многократного повышения его оперативности и качества;
- 2) организации метеорологического обеспечения гражданской и ведомственной авиации в соответствии с требованиями, предъявляемыми автоматизированными системами управле-

ния воздушным движением как по территории, так и в каждом аэропорту;

3) измерения интенсивности и количества осадков по территориям для использования в метеорологических и гидрологических прогнозах наводнений;

4) доведения информации непосредственно до инженерных служб коммунального хозяйства администрации городов, с целью полного и оперативного ее использования при организации работ и контроле состояния городских, пригородных и междугородных транспортных магистралей, особенно общенационального значения;

5) повышения качества работы прогностических центров по чрезвычайным ситуациям;

6) повышения уровня метеорологического обеспечения административных органов путем создания на рабочих местах абонентских пунктов потребителей информации;

7) перевода на качественно новый уровень обслуживания любых потребителей и в первую очередь тех, производственная деятельность которых существенно зависит от гидрометеорологических условий.

Общностью отличаются и подходы к созданию радиолокационных сетей в разных странах [6 – 8]:

1) предпосылка создания – возникновение настоятельной необходимости использования радиолокационной метеорологической информации об опасных явлениях и осадках для решения хозяйственных задач;

2) понимание обязательности системного подхода при создании радиолокационных сетей;

3) решение вопросов финансирования радиолокационных сетей по возможности на государственном уровне;

4) в зависимости от выделенных средств выбор пути создания радиолокационных сетей – быстрого или медленного.

Различия в построении радиолокационных сетей в разных странах заключаются в разных требованиях к информации радиолокационных сетей (табл. 1).

Различия существуют также в подходах к созданию радиолокационных сетей наблюдения за атмосферными процессами. Примером быстрого варианта создания радиолокационной сети является реализация проекта NEXRAD в США [6], а медленного – создание радиолокационной сети в Западной Европе [8, 9]. Суть концепции NEXRAD состояла в разработке и поставке однотипной радиолокационной системы, отвечающей минимальным запросам трех ведомств (Министерства торговли, Министерства перевозок, Министерства обороны), и их объединении в единой радиолокационной сети наблюдения за атмосферными процессами. В Западной Европе ее создание проводилось постепенно, по мере появления финансовых возможностей. В этой ситуации в каждой стране до момента начала функционирования радиолокационной сети в полном объеме были расставлены приоритеты [10] с учетом ценности и первоочередности информации метеорологических РЛС (таблица). В каждой стране Западной Европы радиолокационная сеть создавалась на базе отечественных метеорологических РЛС или метеорологических РЛС известных фирм. Системы автоматизации разрабатывались под приоритетные задачи, применялись свои методы кодирования и распознавания передаваемой информации. По мере совершенствования радиолокационных средств указанные сети комплектовались более совершенными метеорологическими радиолокационными станциями.

Совершенствование сетей, главным образом, осуществляется за счет расширения круга измеряемых параметров зондирующего сигнала (частота Доплера, параметры поляризации), за счет увеличения излучаемой энергии путем повышения мощности передающего устройства, за счет улучшения обработки полученных сигналов, основанных на принципах теории распознавания образов [3, 9, 11].

Страны Европы	Австрия	Бельгия	Великобритания	Германия	Дания	Испания	Италия	Нидерланды	Норвегия	Португалия	Финляндия	Франция	Швейцария	Швеция
Информационные приоритеты стран Европы														
Метеорологическое обеспечение авиации														
Штормовое оповещение														
Краткосрочный прогноз, в т.ч. осадков и опасных явлений														
Активные воздействия на град														
Метеорологическое обеспечение дорожного транспорта и дорог														
Показ радиолокационных карт погоды по телевидению														
Измерение осадков и гидрологический прогноз паводков, наводнений, речного и городского стока, управление водными ресурсами														
Повышение качества метеопрогноза прохождения фронтальных систем, сроков начала и окончания осадков														
Совмещение с данными искусственных спутников Земли														
Метеорологическое обеспечение сельскохозяйственных работ и обслуживание фермеров прогнозами осадков														
Строительство														
Расчет потоков на горных реках														
Разработка адвективных моделей краткосрочного прогноза														

Первый и последний из указанных путей совершенствования сомнений не вызывают. Однако рост излучаемой радиолокатором мощности с 1980-х годов по 2000-е годы в четыре раза (с 250 кВт у РЛС WSR-88D EEC USA и у большинства РЛС других стран до 1000 кВт у РЛС DWSR-10001C EEC USA) [12 – 14] явно нежелателен. Практика эксплуатации метеорологической РЛС даже с мощностью 250 кВт в южных густонаселенных районах Украины привела к тому, что пришлось отказаться от ее установки в интересах Гидрометеорологического центра Черного и Азовского морей на указанной территории. Ведомственные разногласия не позволили ее установить в уже отведенных районах, а отводить под установку РЛС новые земли затруднительно из-за дороговизны земли. Таким образом, декларируемый системный подход к созданию радиолокационных систем мониторинга не осуществляется, т.е. отсутствует понимание облика самой системы, который бы предъявил требования к собственно радиолокационной станции. Вполне может оказаться, что метеорологические РЛС с такими мощностями и не нужны.

Обсуждение результатов исследования

Анализ принципов построения зарубежных радиолокационных сетей приводит к выводу о том, что ориентирование на требования нескольких, пусть и важных, заказчиков, как в США, и существенные различия в приоритетах в гидрометеорологической информации, как в Европе, нарушает системную стройность радиолокационной системы мониторинга. Желание иметь однотипную РЛС, как в первом случае, приведет к избыточности информации там, где она не нужна, и к недостаточности там, где она необходима. А различные приоритеты будут сильно влиять на структуру системы обработки информации. Поэтому радиолокационную систему мониторинга нужно строить таким образом, чтобы информация о характери-

стиках и параметрах метеорологических процессов и явлений получалась из всей толщи атмосферы [15].

В то же время обслуживание потребителей информации радиолокационной системы мониторинга на договорных началах снижает эксплуатационные расходы государства на содержание радиолокационной системы мониторинга. Это возможно лишь при безоговорочном выполнении требований потребителей к формам, срокам, регулярности и достоверности метеорологической информации, которая позволяет им принимать решения, способствующие минимизации ущерба от погодных условий, или получать прибыль. Это означает, что метеорологическая информация должна быть доставлена на рабочее место потребителя в удобной для принятия решений форме, и содержать рекомендации практического характера.

Метеорологическая РЛС – дорогостоящее оборудование, которое требует больших затрат как при его установке на позиции, так и при ежегодной круглосуточной эксплуатации. Для минимизации и справедливого распределения финансовых затрат среди основных инвесторов – потребителей информации в государственном масштабе должна разрабатываться концепция создания радиолокационной системы мониторинга на территории Украины.

С учетом недостатков описанных ранее концепций и подходов к созданию радиолокационной системы мониторинга концепция для Украины должна предусматривать:

1) требования потенциальных инвесторов и потребителей информации (главных – представляющих государство и всех остальных);

2) требование к обнаружению и измерению всех доступных на настоящий момент параметров и характеристик метеорологических процессов и явлений во всей толще атмосферы, поскольку это необходимо при краткосрочном прогнозировании, так называемом „ноукастинге”, и для климатического анализа;

3) определение приоритетов, решаемых радиолокационной системой мониторинга. В зависимости от климатических особенностей территории (повторяемости опасных явлений, интенсивных осадков и ценности информации для минимизации ущерба) в каждом регионе необходимо устанавливать метеорологические РЛС в различной комплектации, поскольку разные процессы и явления требуют разных средств измерения;

4) учет социально-экономических факторов (распределение плотности населения и важнейших хозяйственных объектов по территории страны);

5) выбор высоты нижней границы единого радиолокационного поля страны (ни одно атмосферное явление, верхняя граница которого этот уровень превышает, не будет пропущено при радиолокационных наблюдениях);

6) основные принципы сбора информации и распространения ее потребителям;

7) источники финансирования;

8) технико-экономическое обоснование концепции.

Выполнение 2 и 3 пунктов приведенной концепции выявит область пространства, в которой необходимо измерять параметры и характеристики метеорологических процессов и явлений с заданными показателями качества [16, 17]. Целесообразно называть эту область пространства зоной полной информации.

Рациональным, т.е. соответствующим некоторым принятым правилам, является построение радиолокационного поля системы мониторинга окружающей среды таким образом, чтобы оно полностью покрывало зону полной информации. Если где-то поле не будет полностью покрывать зону полной информации, тогда появятся провалы в зоне полной информации. В указанном смысле можно отождествлять радиолокационное поле и зону полной информации.

Радиолокационное поле образуется за счет расстановки метеорологических РЛС на местности и взаимного пространственного наложения их зон наблюдения при работе. Графические расчеты на топографической карте при решении этой задачи громоздки, занимают много времени и не очень наглядны. Поэтому для решения задачи расстановки метеорологических РЛС был разработан программный комплекс графического моделирования

WW_CEEM_Radar [18] на базе трехмерного интерактивного виртуального глобуса NASA WorldWind [19, 20].

Разработанный программный комплекс позволяет оценивать геометрию формируемых вариантов построения радиолокационного поля в виде зон наблюдения РЛС и в виде внешних контуров горизонтальных сечений зон наблюдения РЛС на заданной высоте (рис. 1); а также энергетику формируемых вариантов построения радиолокационного поля с отображением структуры радиолокационного поля (рис. 2 – в центре с привязкой к местности разными цветами красно-желтой палитры отображаются значения плотности потока мощности, и, значит, степень опасности для людей электромагнитного излучения РЛС, разлитый по кругу сечения синий цвет говорит об отсутствии опасности).

В качестве эксперимента было осуществлено моделирование радиолокационного поля, сформированного однотипными РЛС, для двух метеорологических РЛС с дальностями обнаружения в режиме работы „отражаемость” 250 и 70 км. Полагая, что эти дальности реализуются при угле места антенной системы $\varepsilon = 0^\circ$ (т.е. на уровне радиогоризонта), можем воспользоваться известным из [21] уравнением радиогоризонта:

$$D_{\Gamma} = 4,11 \cdot (\sqrt{H_3} + \sqrt{h_a}), \quad (1)$$

где D_{Γ} – горизонтальная дальность в километрах, H_3 – поправка высоты на кривизну Земли в метрах, h_a – высота электрического центра антенны в метрах.

Подставив в (1) указанные выше значения дальностей и положив $h_a = 0$, получим значение нижней границы (рис. 3) беспровального радиолокационного поля (фактически это и есть поправка высоты на кривизну Земли):

$$H_3 = \frac{D_{\Gamma}^2}{16,9}. \quad (2)$$

Результаты графического моделирования этих вариантов построения поля радиолокационной системы мониторинга приведены соответственно на рис. 4 и 5.

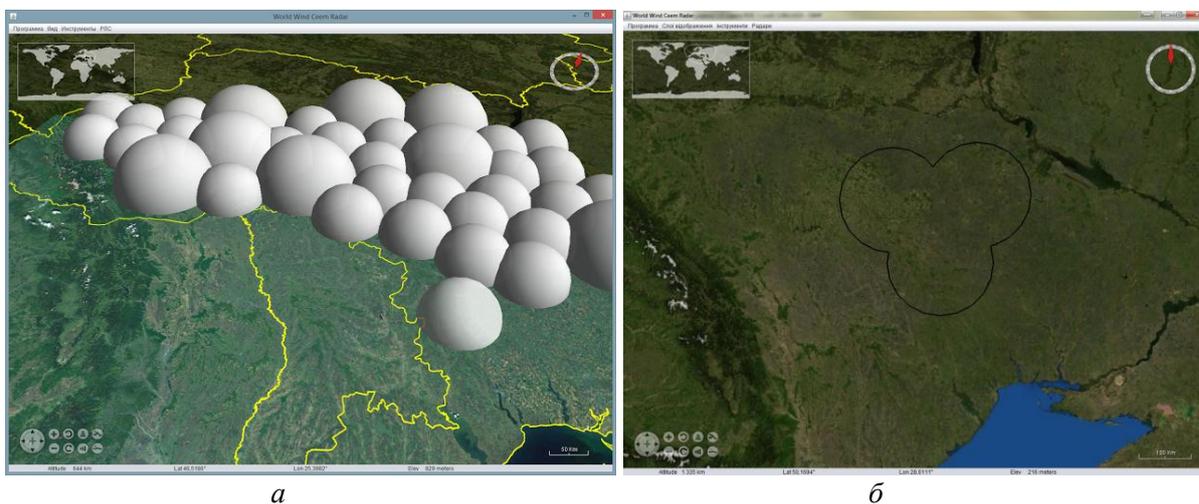


Рис. 1

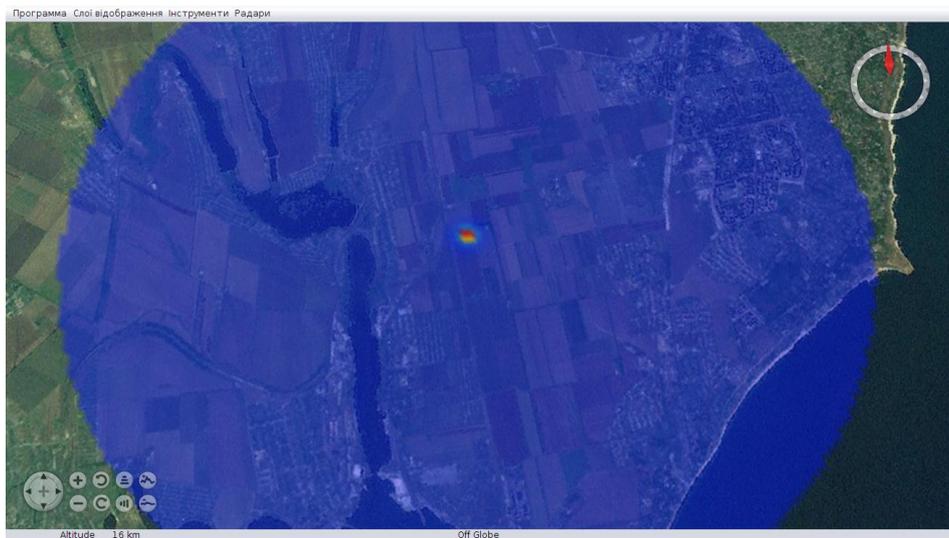


Рис. 2

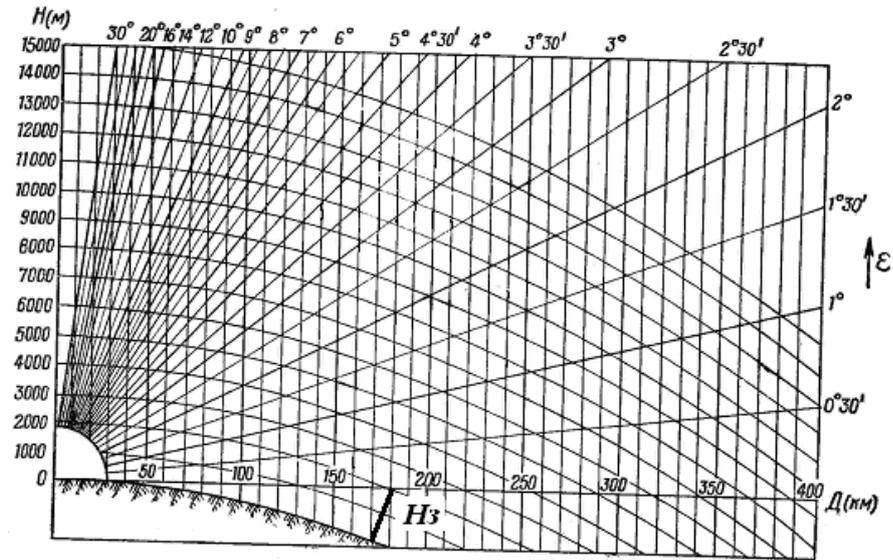


Рис. 3

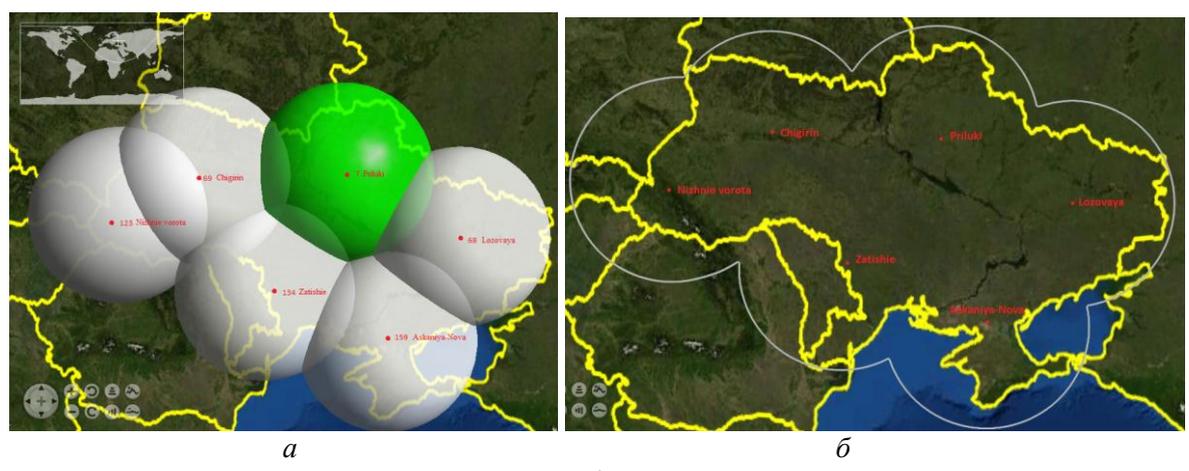


Рис. 4

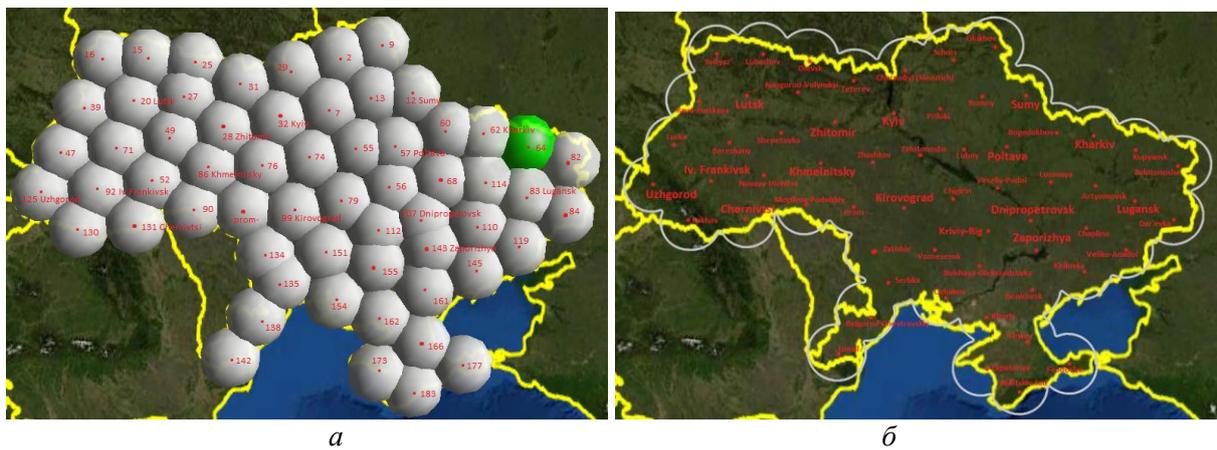


Рис. 5

Рис. 4 отражает структуру сплошного радиолокационного поля для метеорологических РЛС с дальностью действия в режиме „отражаемость” 250 км и с высотой нижней границы 3700 м (*a* – в виде зон наблюдения РЛС, *б* – в виде внешних контуров горизонтального сечения зон наблюдения РЛС на высоте 3700 м). Рис. 5 отражает структуру сплошного радиолокационного поля для метеорологических РЛС с дальностью действия в режиме „отражаемость” 70 км и с высотой нижней границы 30 м (*a* – в виде зон наблюдения РЛС, *б* – в виде внешних контуров горизонтального сечения зон наблюдения РЛС на высоте 30 м).

В первом случае для дальности обнаружения 250 км в режиме работы „отражаемость” беспровальное поле образуют шесть метеорологических РЛС и его нижняя граница составит примерно 3700 м, а во втором случае для дальности обнаружения 70 км в режиме работы „отражаемость” беспровальное поле образуют 60 метеорологических РЛС и его нижняя граница составит менее 30 м.

На основании рассмотрения заказчиком различных вариантов построения радиолокационного поля, покрывающего зону полной информации, после обсуждения и утверждения заказчиком концепции, а также выбора им нижней границы радиолокационного поля основным критерием при выборе конкретных пунктов для размещения метеорологических РЛС и конкретной позиции в каждом из утвержденных пунктов является минимизация экономических затрат.

Выводы

Проведенные исследования показали, что в связи с изменениями климата необходимо изменять подходы к формированию требований к гидрометеорологической информации, получаемой от метеорологических радиолокационных станций, а также к требованиям технического облика самих метеорологических радиолокационных станций. Информацию следует извлекать из всей толщи тропосферы, а облик радиолокационной станции будет определяться для каждого региона в зависимости от характеристик атмосферных процессов в нем и требований заказчика. При этом рациональным подходом к построению радиолокационного поля системы мониторинга окружающей среды Украины является выполнение следующей условий: обнаружение метеорологических явлений и процессов во всей толще тропосферы; учет климатических особенностей различных территорий для формирования облика метеорологических РЛС; формирование совместно с потребителями требований к гидрометеорологической информации и предвидение возможных требований будущих потребителей; выбор нижней границы радиолокационного поля системы мониторинга окружающей среды с учетом возможных экономических ограничений; учет социально-экономических факторов при расстановке метеорологических РЛС на местности.

Список литературы: 1. *Ерошенков, М.Г.* Радиолокационный мониторинг. – М. : МАКС Пресс, 2004. – 452 с. 2. *Стихийні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986-2005 р.р.)* ; за ред. В.М. Липінського, В.І. Осадчого, В.М. Бабіченко. – К. : Ніка-Центр, 2006. – 312 с. 3. *Базлова, Т.А., Бочарников, Н.В., Брылев, Г.Б.* [и др.] Метеорологические автоматизированные радиолокационные сети ; под ред. Г.Б. Брылева. – С.П.-б.: Гидрометиздат, 2002. – 332 с. 4. *Поступление данных от метеолокаторов РОСГИДРОМЕТА, Украины и Белоруссии.* Список локаторов. [Электронный ресурс] URL: <http://orm.mipt.ru:8000/radars>. 5. *Кольер К.Г.* Создание сети метеорологических радиолокаторов в Европе – проект COST-73 Комиссии европейского сообщества. – Бюллетень ВМО, 1991. – Т. 40. – № 4. – С. 445–451. 6. *Golden, J.H.* The prospects and promise of NEXRAD: 1990's and beyond. – COST 73, 1989, p. 17–36. 7. *Collier, C.G.* United Kingdom weather radar status report. Measurement of precipitation by radar. – COST Project 72 – Proceedings of a final seminar, 1985. 8. *Collier, C.G., Fair, C.A., Newsome, D.H.* International weather radar networking in Western Europe. – BAMS, 1988, v. 69, p. 16–21. 9. *Collier, C.G.* The development of a weather radar network in Western Europe. – COST 73, 1989, p. 3–16. 10. *Newsome D* II Practical applications of weather radar data in Europe. – COST 73, 1989, p. 445–458. 11. *Корбан, В.Х.* Состояние и перспективы развития автоматизированных радиолокационных метеорологических систем сети штормооповещения Украины // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2004. – Вип. 48. – с. 81–85. 12. *Официальный сайт компании ЕЕС.* [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.eecradar.ru/equipment/>. 13. *Официальный сайт компании VAISALA.* [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.vaisala.ru/Vaisala%20Documents/Brochures%20and%20Datasheets/WEA-MET-WRM100\(200\)-Datashet-B210698RU-E-LOW-v1.pdf](http://www.vaisala.ru/Vaisala%20Documents/Brochures%20and%20Datasheets/WEA-MET-WRM100(200)-Datashet-B210698RU-E-LOW-v1.pdf). 14. *Официальный сайт Научно-производственного объединения „Лианозовский электромеханический завод”* [Электронный ресурс] URL: <http://www.lemz.ru/goods/metrls/dmrlc/>. 15. *Данова, Т.Е., Перелыгин Б.В.* Требования к гидрометеорологической информации, получаемой от радиолокационных станций // Радиотехника. – 2013. – № 175. – с. 134–141. 16. *О составе, точности и пространственно-временном разрешении информации, необходимой для гидрометеорологического обеспечения народного хозяйства и службы гидрометеорологических прогнозов* ; под ред. Петросянца М.А., Решетова В.Д. – Л. : Гидрометиздат, 1975. – 220 с. 17. *Решетов, В.Д.* Изменчивость метеорологических элементов в атмосфере. – Л. : Гидрометиздат, 1973. – 216 с. 18. *Перелыгин, Б.В., Бакалов, А.А., Бритвина, А.К., Иванникова, М.В.* Комплекс для исследования геометрии и энергетике единого радиолокационного поля системы мониторинга окружающей среды // Информационные процессы и технологии „Информатика-2014”: Материалы 7 междунар. науч.-практ. конф., Севастополь, 22-26 апреля 2014 г. – Севастополь : Вебер, 2014. – С. 96–97. 19. *NasaWorldWind* [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://worldwind.arc.nasa.gov/java/>. 20. *GeoNames* [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.geonames.org/>. 21. *Мищенко Ю.А.* Зоны обнаружения. – М. : Воениздат, 1963. – 96 с.

Одесский государственный экологический университет

Поступила в редколлегию 27.06.2015