

**МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ РАДАРЫ И РАДИОЛОКАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
АКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА АТМОСФЕРНЫЕ ПРОЦЕССЫ В КАХЕТИИ**

¹Амиранашвили А.Г., ²Дзодзуашвили У.В., ²Ломтадзе Дж. Д.,
²Саури И.П., ¹Чихладзе В.А.

¹*Институт геофизики им. М. Нодиа Тбилисского государственного университета им. И. Джавахишвили*
²*Научно-технический центр «Дельта»*

В Грузии военизированная служба борьбы с градом функционировала по 1989 год. В силу разных причин она прекратила существование и практически вся её инфраструктура – локаторы, пусковые установки, пункты воздействия, командные пункты, средства электроснабжения и связи, транспорт, противоградовые изделия – все было разграблено и уничтожено. Хуже всего было то, что были потеряны выпестованные в течении длительного времени квалифицированные кадры – специалисты по локации и воздействию на активные процессы. Правда, ученые не теряли время и занимались обработкой и анализом архивных данных, благо, материал был достаточно солидный [1 - 13]. Однако, с течением времени стало приходить сознание того, что активные воздействия на метеорологические процессы, особенно на территории Кахети, необходимо восстановить, хотя бы и в меньшем масштабе [14 - 18]. Сначала об этом говорили ученые, потом крестьяне, однако поворотной точкой стало стихийное бедствие, когда шквалистый ветер и град нанесли серьезный ущерб не только посадкам и посевам, но и жилому фонду. После этого, когда власти возместили многомиллионный ущерб населению, стало ясно, что намного дешевле организовать и содержать службу по борьбе с градом. Правительство Грузии рассмотрело соответствующее предложение Научно-технического центра «Дельта» с участием института геофизики им. М. Нодиа о восстановлении противоградовых работ, одобрило его и выделило средства на его осуществление.

Основа основ при проведении противоградовых работ – наличие специализированного метеорологического радиолокатора. Его выбор – довольно-таки сложная задача, здесь надо учитывать и длину волны и дальность действия, и разрешение, и наличие одной или двух поляризаций, используется ли эффект Доплера, его надёжность, неприхотливость, наличие мощного программного обеспечения и т.д. Поэтому, для того чтобы ясно понимать, о чем идет речь, ниже дано краткое описание истории и понятий о метеорологических радиолокаторах.

Датой рождения радиолокационной метеорологии считается 20 февраля 1941 года, когда на побережье Великобритании при наблюдении за самолетом с помощью военной радиолокационной станции на расстоянии 11 км была обнаружена зона осадков [19]. Во время второй мировой войны было обнаружено, что распространение высокочастотных волн сильно зависело от метеорологических условий, а их отражение происходило от слоев инверсий, от облачных и пылевых масс и т.д. Созданные во время войны для военных целей, а после неё и для метеорологических целей специальные метеорологические радиолокаторы (МРЛ) начали широко применяться во многих странах [20].

В настоящее время МРЛ имеют широкое применение во всем мире. Они обладают обширным диапазоном возможностей и приспособлены к нуждам конкретной страны. В Великобритании используется радиолокатор «Siemens Plessey 45C». Его основная задача –

измерение осадков для прогноза наводнений и прогноз погоды с заблаговременностью до 3 часов [21]. В США фирмой была создана линейка метеорологических радиолокаторов WSR-57, WSR-74S и WSR-74C, а с 1990 года для штормоповещения, метеорологического обеспечения авиации и измерения осадков создана сеть метеорологических радиолокаторов, в которых используется радиолокатор S - диапазона WSR-88D (Weather Surveillance Radar 88 Doppler – погодный обзорный радар с доплеровским эффектом 1988 года) [22,23], являющийся одним из лучших в мире по своим возможностям и техническим данным. Карта размещения сети обзорных метеорологических радиолокаторов WSR-88D на территории США представлена на рис.1 [24]. Метеорологические радиолокаторы в Германии (DWD) предназначены для наблюдения за явлениями погоды и обеспечения гидрометеорологической информацией служб водного управления и авиации [25]. В Италии основной проблемой являются катастрофические ливни, для диагноза и прогноза которых используются МРЛ марок «ALenia-SMA» и «EER-ERICSSON» [26]. МРЛ в Японии (марка «Mitsubishi») служат для измерения характеристик осадков и прогноза наводнения при эксплуатации плотин на горных реках [27]. Разработанные в России метеорологические радиолокаторы МРЛ-2 и МРЛ-5 по всем рабочим параметрам превышали требования Всемирной метеорологической организации к метеорологическим радарам, не уступая параметрам подобных МРЛ Японии, Италии, Англии, Германии, США и даже превосходили их.

Помимо штормоповещения и метеообеспечения МРЛ являются также эффективным средством получения информации о состоянии облачности после физико-химического воздействия на нее с целью предотвращения ливней и града, либо увеличения осадков в засушливых районах. С помощью МРЛ изучают электрическую активность и зоны турбулентности в кучево-дождевых облаках и др.

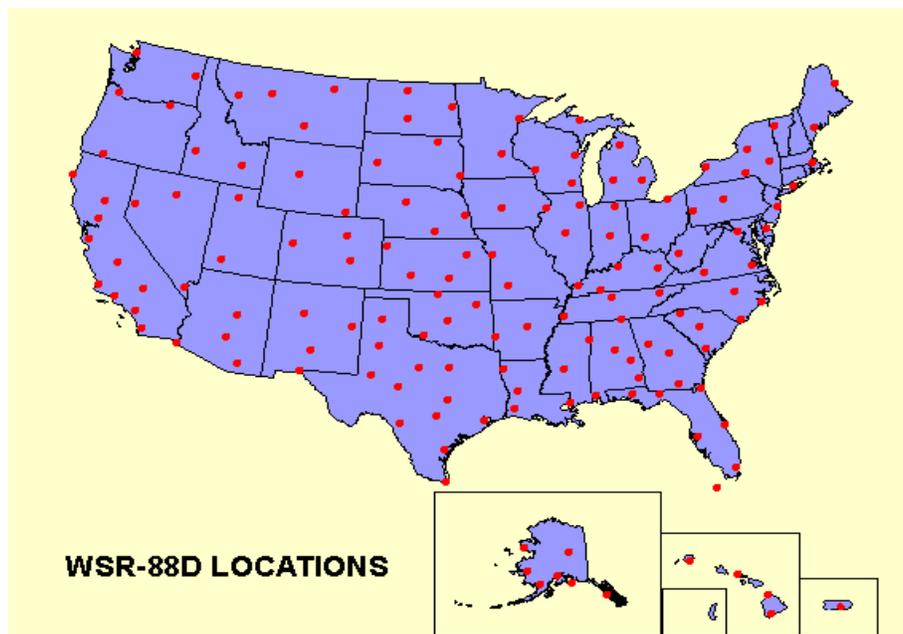


Рис.1

Схема расположения метеорадаров на территории США.

Основными частотными диапазонами метеорологических радиолокаторов считаются:

- 2700 – 2900 MHz (S-диапазон) 11.11 – 10.34 см;
- 5430 - 5800 МГц (С-диапазон) 5.525 – 5.17 см;

- 9375 МГц ± 30 МГц (X-диапазон) 3.2 см.

Каждый из них имеет свои положительные и отрицательные стороны. При прочих идентичных параметрах самые дешевые по стоимости это локаторы X-диапазона, самые дорогие - S-диапазона, причем стоимость локатора S-диапазона может превышать стоимость локатора C-диапазона в несколько раз.

Для увеличения отражения от атмосферных осадков большинство современных метеорологических радиолокационных станций используют горизонтальную поляризацию. Однако радиолокационные станции с одной поляризацией имеют серьезные ограничения в областях с частичным затенением луча и не обеспечивают классификации гидрометеоров. Преодолеть эти недостатки способны системы с чередующимися импульсами горизонтально и вертикально поляризованных сигналов, т.е. радиолокационные станции с двойной поляризацией, имеющими преимущество по сравнению с обычными радиолокаторами при оценке типа и количества атмосферных осадков, главными из которых является способность различать град и дождь, обнаруживать осадки со смешанной фазой и оценивать объем дождевых осадков. Радиолокационные станции с двойной поляризацией также обеспечивают классификацию осадков путем аналитической обработки обнаруженных радиолокатором форм гидрометеоров. Кроме того, путем контроля разности фаз между горизонтальной и вертикальной составляющими могут быть смягчены эффекты частичного затенения луча и может быть достигнуто большее подавление мешающих отражений [28].

По степени деполяризации отраженных сигналов можно судить о форме частиц облаков и осадков и, следовательно, об их агрегатном состоянии. Движение рассеивателей приводит к смещению частоты отраженных сигналов вследствие эффекта Доплера. Измерение доплеровского смещения частоты, а также других параметров спектра радиолокационных сигналов, отраженных от облаков и осадков, крупных частиц аэрозоля, искусственных рассеивателей, позволяет исследовать структуру различных движений в атмосфере (ветер, турбулентность, упорядоченные вертикальные потоки). С помощью высокочувствительных радиолокационных станций обнаруживаются области повышенных градиентов показателя преломления, связанные с образованием устойчивых слоев в приземном и пограничном слоях атмосферы, а также с зонами интенсивной турбулентности при «ясном» небе на высотах до 10—15 км. Интенсивность турбулентности в «ясном» небе оценивается по величине отраженных сигналов, а также по ширине их спектра, обусловленного доплеровским смещением [29].

Одним из лучших специализированных метеорологических радиолокаторов градозащиты и штормового оповещения был МРЛ-5 [30], предназначенный для обнаружения зон облаков, гроз и градовых очагов в облаках. Метеорологическая информация, получаемая от радиолокатора МРЛ-5, используется для обслуживания пунктов активных воздействий на градовые очаги с целью предотвращения градобитий, штормового оповещения аэропортов и крупных населенных пунктов.

Метеорологический радиолокатор производит: обнаружение градовых очагов в облаках, измерение их координат и определение физических характеристик; обнаружение и определение местоположения очагов гроз и ливневых осадков в радиусе до 300 км; определение горизонтальной и вертикальной протяженности метеообразований; определение верхней границы облаков любых форм и их нижней границы при отсутствии выпадающих из них осадков; измерение средней мощности радиоэхо от облачных образований и т.д.

Метеорологический радиолокатор МРЛ-5 работает в двух диапазонах длин волн – 9375 МГц ±30 МГц (X-диапазон) и 2700 – 2900 МГц (S-диапазон). При этом режим штормоповещения может осуществляться на каждом из имеющихся каналов, а режим обеспечения градозащиты реализуется главным образом при совместной работе обоих каналов.

Интенсивность радиоэхо метеоцелей и их координаты, измеренные на любом канале, позволяют определить тип метеоцели и обнаружить опасные метеорологические образования. Определение количественных характеристик градовых очагов производится автоматически с помощью специальной измерительной аппаратуры.

Устройство обработки, размещенное в пульте метеоролога, определяет логарифм отношения мощности радиоэхо обоих каналов радиолокатора и производит его индикацию на стрелочном приборе. Значение этого отношения используется для определения диаметра градовых частиц. Устройство обработки формирует также разностный видеосигнал обоих каналов радиолокатора, который воспроизводится на индикаторах для опознавания градового очага.

Вероятность радиолокационного обнаружения облаков и осадков зависит от технических характеристик МРЛ, физико-географических условий и величины углов закрытия антенны МРЛ в месте его установки. При вероятности обнаружения не менее 95% радиус действия МРЛ-5 для равнинных районов России находится в следующих диапазонах:

- 150-200 км - кучево-дождевые облака с грозой и градом (летом);
- 90-20 км - кучево-дождевые облака с ливневым дождем и снегом;
- 50 км - мощно-кучевые облака без осадков;
- 120 км - слоисто-дождевые облака (летом);
- 60 км - слоисто-дождевые облака (зимой);
- до 60 км - обложные морозящие осадки (летом);
- до 30 км - обложные морозящие осадки (зимой);
- до 20 км - облака всех форм без осадков.

Ограничивающими факторами обнаружения являются эффекты кривизны Земли (увеличение зоны радиотени с удалением от МРЛ), увеличение с расстоянием минимально принимаемых отраженных сигналов и ослабление радиоволн в осадках и атмосферных газах [31].

На базе МРЛ-5 в Болгарии создан и выпускается доплеровский метеорологический радиолокатор MRL5-IRIS с системой IRIS фирмы Sigmet-Vaisala, позволяющий проводить автоматическое объёмное сканирование атмосферы и архивирование данных [32].

Радиолокационные станции кругового обзора широко используются для наблюдения за процессом образования облаков, грозовых фронтов, ураганов, штормов и т. д. Для этой цели целесообразны частоты порядка 5500 МГц. Волны таких частот лучше проникают сквозь завесу дождя и дают возможность наблюдать находящиеся за ней облака, землю или водную поверхность, горы и другие препятствия [33].

В рамках федеральной целевой программы в России взамен устаревших МРЛ-5 предполагается установка более 140 доплеровских метеорологических радиолокаторов С-диапазона (ДМРЛ-С) с длиной волны 5.6 см. и создание сети радиолокационных станций кругового обзора. Доплеровский метеорологический радиолокатор нового поколения ДМРЛ-С, использующий сложный зондирующий сигнал, позволяет получать информацию об облачности, осадках и связанных с ними опасных метеорологических явлениях погоды в радиусе до 250 км в диапазоне высот от 0 до 20 км. Получаемая с помощью ДМРЛ-С информация включает полный комплекс метеорологических радиолокационных параметров: радиолокационную отражаемость, высоту верхней границы облачности, мгновенную интенсивность осадков и накопленную сумму осадков за 1, 3, 6, 12 и 24 часа, и дополнительно доплеровские характеристики: радиальную скорость, ширину доплеровского спектра, а также поляризационные характеристики гидрометеоров: дифференциальную отражаемость, коэффициент кросскорреляции и дифференциальную фазу [34].

Американская компания Enterprise Electronics Corporation (ЕЕС) производит одни из лучших в мире метеорологические радиолокаторы с 1971. ЕЕС произвела первую в мире коммерческую доплеровскую метеорологическую РЛС. На современном рынке ЕЕС представлена самой широкой линейкой продуктов доплеровских метеорологических РЛС. Продукция компании работает на всех обычных метеорологических частотах от диапазона Х до диапазона S и уровнях мощности от 250 Ватт до более одного миллиона Ватт. Компания установила более 950 РЛС в 85 странах – больше чем любая другая компания. Причём в каждом использовались новейшие технологии получения данных и удаления помех (последняя модель РЛС SIDPOL™ защищена 3 патентами.) Основная продукция ЕЕС – доплеровские метеорадиолокаторы с автоматической системой обработки данных. Все стандартные системы оснащены цифровым ресивером по последнему слову техники и мощными процессорами доплеровского сигнала. Это важнейший компонент метеорологической системы. В локаторах используется запатентованная технология одновременной двойной поляризации. Все РЛС ЕЕС SIDPOL имеют элемент разрешения по дальности до 4096. Это в 4 раза выше чем у большинства РЛС. Элементы разрешения по дальности ниже 25 метров, что в 2 раза выше среднеотраслевых стандартов [35]. Некоторые параметры современных метеорадаров С-диапазона представлены в таблице 1.

Табл.1

Параметры современных метеорологических радиолокаторов С-диапазона

Технические данные	WRM200	DWSR-2501C / DWSR-3501C	VHDD-350C / VHDD -1000C	Meteor 735CDP10
Рабочий диапазон частот:	5.5-5.7 ГГц	5200-5700 МГц	5300 – 5825 МГц	5430 – 5800 МГц
Пиковая мощность	250 кВт	250кВт/350кВт	350 кВт/1000кВт	400 кВт
Ширина импульса:	0.5; 0.8; 1.0; 2.0	0.2 – 2.0 мкс	0.8 – 3.5 мкс	0.5 – 3.3 мкс
Частота повторения импульсов	от 200 до 2000 Гц	200 – 2400 гц	250 – 1250 гц	250 – 2000гц
Рабочая дальность		240 км	480 км	100 - 300 км
Разрешающая способность	N·25 м	30 м	25 м	15 м
Число элементов разрешения	3096	4096	4000	20000
Диаметр антенны	4.5 м	4.2 м	2.4 м / 3.7 м / 4.3 м	4.3 м
Ширина луча	<1 градуса	0.95	1.6 град / 1.0 град / 0.9 град	<1 градуса
Диапазон возвышения	от -3 до 110 градусов	От -2 до 90 градусов	От -2 до 90 градусов	От -2 до 182 град
Макс. скорость сканирования	40 град/с	0 - 6 об/мин	0 - 6 об/мин	36 град/с
Ускорение	20 град/с ²			20 град/с ²
Точность позиционирования	0.1 град	0.1 град	Менее 0.05 град	Менее 0.1 град
Усиление антенны	45 Дб	45 Дб	44.5 Дб / 47 Дб / 50Дб	44.5 Дб
Диаметр колпака	6.7 м	5.5 м	5.5м / 8.5м / 12.6м	6.5 м
Материал колпака	Фиберглас + полиуретан	Пенопласт или фиберглас	Сендвич фиберглас	Стекловолокно + полиуретан
Потери в колпаке		Менее 2 Дб	Менее 0.3 Дб	Менее 0.3 Дб
Динамический диапазон приемника	95 Дб	До 100 Дб	100 Дб	105 Дб

С новыми решениями и с инновационной конструкцией финская компания Vaisala стала ведущим поставщиком метеорологических радаров с частотным диапазоном С. Высококачественная высокоэффективная антенная с лучшим в мире процессором обработки сигналов Sigmnet и программное обеспечение IRIS гарантирует высокое качество данных радара, которое соответствует даже самым строгим требованиям двойной поляризации для самых требовательных клиентов. Современная конструкция и высококачественное изготовление антенны и стойки также вносят свой вклад в обеспечение низких затрат на техническое обслуживание на протяжении всего срока службы системы [36].

Инновационная серия VHDD-350C и VHDD-1000C фирмы Baron Services (США) (Погодная радарная Доплеровская система) имеет архитектуру, составленную из оборудования и компонентов с совместимыми возможностями и особенностями конфигурации, доступна с одинарной или двойной поляризацией и в радиусе 350 км обеспечивают данными о состоянии метеобстановки и обнаружении таких опасных метеорологических явлений, как песчаные бури, штормы, грозы, ливни, снегопады, а также определяют их точное местоположение, объем, направление и скорость движения. При этом применяемые технологии позволяют получать информацию даже о структуре объекта, например, отслеживать не просто пылевое облако, но и его интенсивность и внутренние потоки [37].

Однако, выбор предполагаемого радиолокатора был решен в пользу метеорологического радиолокатора типа METEOR 735CDP10 фирмы Selex (Германия) исходя из преимуществ в разрезе цена/качество. Радиус действия этого радара составляет 200 км в режиме двойной поляризации и 100 км при использовании эффекта Доплера [38]. Учитывая тот факт, что расстояние до крайних точек защищаемой территории не превосходит 75-80 км от места предполагаемой установки радиолокатора (село Чотори Сигнахского района), то это вполне приемлемая дальность (рис.2).



Рис. 2
Зона действия радиолокатора типа METEOR 735CDP10 фирмы Selex на территории Восточной Грузии и сопредельных стран.

Отметим при этом, что радиус 200 км практически полностью покрывает территорию Восточной Грузии и даст возможность заблаговременно обнаружить потенциально градоопасную кучевую облачность. Кроме этого в рабочую зону радиолокационных наблюдений входит большая часть территории Армении, почти половина территории Азербайджана, часть территорий республик Северного Кавказа Российской Федерации (рис.2).

Высокие технические параметры – разрешение по дальности 15 метров, а число элементов при одной поляризации до 10000, дадут возможность с большой точностью определить тип облака, его потенциальную градоопасность и размер и вид предполагаемых осадков. Радиолокатор типа METEOR 735CDP10 оптимизирован под самое передовое метеорологическое программное обеспечение Rainbow*5. Благодаря восстановлению многолучевого эхосигнала, улучшена разрешающая способность по дальности и скорость сканирования. Станция обладает большой надёжностью, в автоматическом режиме с дистанционным управлением без остановки на профилактические ремонт и осмотр может работать целый год, благодаря высокой надежности в ней минимизирована стоимость жизненного цикла.

На рис. 3-6 в качестве примеров приведены изображения некоторых продуктов указанного радиолокатора [38].

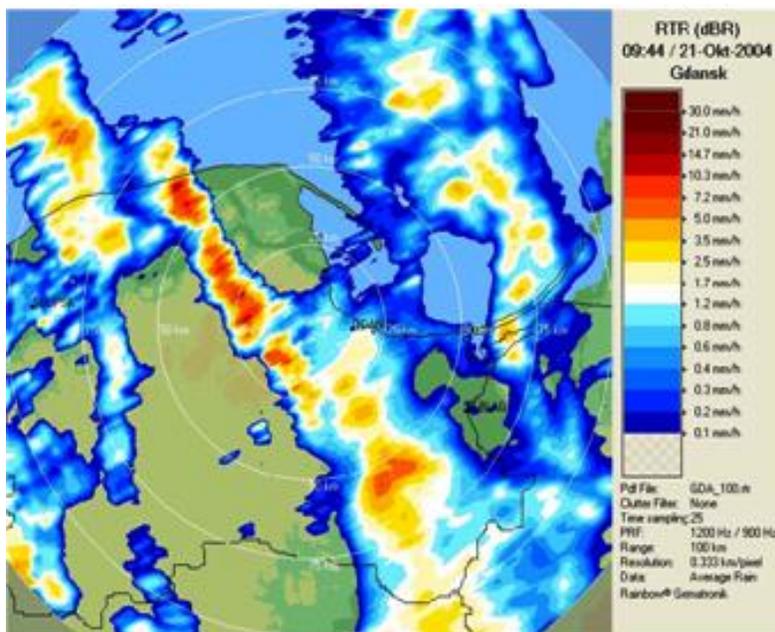


Рис. 3

Интенсивность выпадения осадков в Восточной Европе 21 октября 2004 г. по данным метеолокатора, установленного в Гданьске (Польша).

На рис. 3 представлен фрагмент радиолокационных измерений интенсивности выпадения осадков в Восточной Европе 21 октября 2004 г.

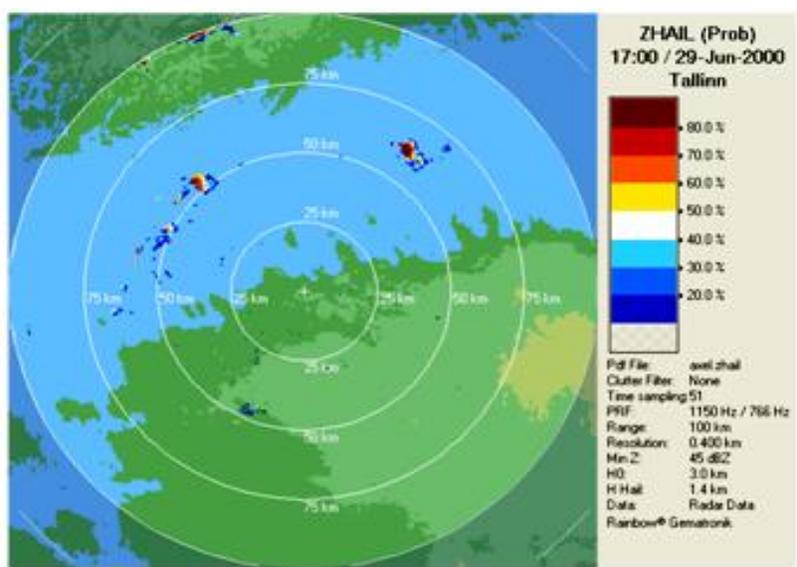


Рис. 4

Вероятность выпадения града в Восточной Европе 29 июня 2000 г. по данным метеолокатора, установленного в Таллинне (Эстония).

На рис. 4 представлен фрагмент радиолокационных измерений вероятности выпадения града в Восточной Европе 29 июня 2000 г.

На рис. 5 представлен пример радиолокационных данных о диаметре градин в облаках 30 мая 2008 г., а на рис. 6 - пример данных о виде твердых осадков (тающий снег, крупа, град).

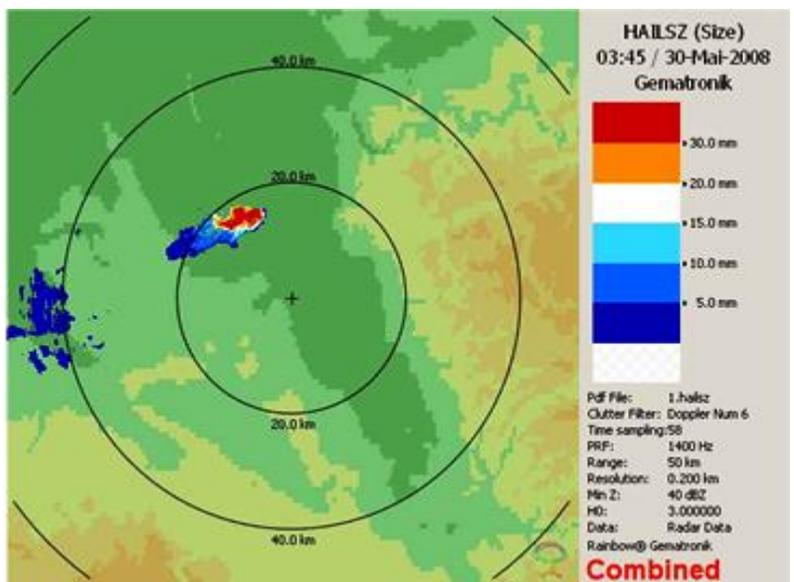


Рис. 5

Пример радиолокационных данных о диаметре градин в облаках 30 мая 2008 г.

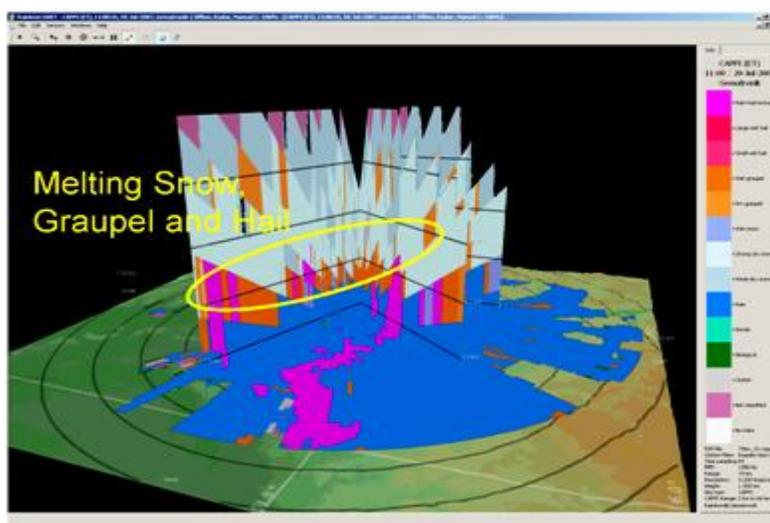


Рис. 6

Пример радиолокационных данных о виде твердых осадков.

Сооружение на территории Грузии в 2015 г. автоматизированной централизованной системы защиты от града обеспечит возможность своевременного обнаружения, наблюдения и прогнозирования в режиме реального времени неблагоприятных атмосферных явлений, таких как сильные ураганы, град, ливни и наводнения. Возможность своевременного и высокоэффективного активного воздействия позволит значительно снизить потери сельскохозяйственной продукции. Кроме того, радиолокатор позволит в течении всего года обеспечить радиолокационной метеорологической информацией таких потенциальных потребителей, как Грузавианавигация, военно-воздушные силы, агентство по чрезвычайным ситуациям, управление гидрометслужбы и т.п. При наличии межправительственных соглашений не исключена также возможность передачи заинтересованным организациям указанных выше соседних с Грузией стран соответствующей оперативной радиолокационной информации об опасных метеорологических процессах, организации с ними совместного мониторинга этих процессов, обмена информацией и др.

Литература

1. Амиранашвили А.Г., Варазанашвили О.Ш., Пипия М.Г., Церетели Н.С., Элизбарашвили М.Э., Элизбарашвили Э.Ш. Некоторые данные о градобитиях в Восточной Грузии и экономическом ущербе от них. Международная конференция “Актуальные проблемы геофизики”. Материалы научной конференции, посвященной 80 – летию со дня основания Института геофизики. Тб.:, 2014, с. 145-150.
2. Амиранашвили А.Г. Влияние антропогенного загрязнения атмосферы на изменчивость интенсивности градовых процессов. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 64, ISSN 1512-1135, Тб.:, 2013, с. 160-177.
3. Аджиев А.Х., Амиранашвили А.Г., Чаргазия Х.З. Влияние аэрозольного загрязнения атмосферы на эффективность противорадовых работ в Кахетии и на Северном Кавказе. Доклады Всероссийской открытой конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы, посвященной 80-летию Эльбрусской высокогорной комплексной экспедиции АН СССР, 7-9 октября 2014 г., часть 2, ФГБУ «Высокогорный Геофизический Институт», Нальчик, 2015, с. 387-395.

4. Элизбарашвили Э. Ш., Амиранашвили А. Г., Варазанашвили О. Ш., Церетели Н. С., Элизбарашвили М. Э., Элизбарашвили Ш. Э., Пипия М. Г. Градобитие на территории Грузии. Европейские географические исследования, т. 2, № 2, ISSN: 2312-0029, DOI: 10.13187/egs.2014.2.55, www.ejournal9.com, 2014, с. 55-69.
5. Varazanashvili O., Tsereteli N., Amiranashvili A., Tsereteli E., Elizbarashvili E., Dolidze J., Qaldani L., Saluqvadze M., Adamia Sh., Arevadze N., Gventcadze A. Vulnerability, hazards and multiple risk assessment for Georgia. Natural Hazards, Vol. 64, Number 3 (2012), pp. 2021-2056, DOI: 10.1007/s11069-012-0374-3, http://www.springerlink.com/content/9311_p18582143662/fulltext.pdf. 2013.
6. Amiranashvili A.G., Gzirishvili T.G., Chumburidze Z.A. On the role of artificial iceforming reagents and radioactive intermixtures in the variation of convective clouds thunderstorm and hail activity. Proc. 12th Int. Conf. on Clouds and Precipitation, Zurich, Switzerland, August 19-23, vol. 1, 1996, pp. 267-270.
7. Амиранашвили А.Г., Гзиришвили Т.Г. Аэрозоли и ледяные кристаллы в атмосфере. Тб.: “Мецниереба”, 1991, 113 с.
8. Амиранашвили А.Г., Нодия А.Г., Торонджадзе А.Ф., Хуродзе Т.В. Изменчивость числа дней с градом в Грузии в 1941-1990 гг. Тр. Института геофизики АН Грузии, т. 58, ISSN 1512-1135, Тб.:, 2004, с. 127-132.
9. Амиранашвили А.Г., Нодия А.Г., Торонджадзе А.Ф., Хуродзе Т.В. Некоторые статистические характеристики числа дней с градом в теплое полугодие в Грузии в 1941-1990 гг. Тр. Института геофизики АН Грузии, т. 58, ISSN 1512-1135, Тб.:, 2004, с.133-141.
10. Амиранашвили А.Г., Варазанашвили О.Ш., Нодия А.Г., Церетели Н.С., Хуродзе Т.В. Статистические характеристики числа дней с градом в год в Грузии. Материалы межд. конф. “Климат, природные ресурсы, стихийные катастрофы на Южном Кавказе”, Тр. Ин-та гидрометеорологии, том № 115, ISSN 1512-0902, Тб.:, 18-19 ноября, 2008, с. 427–433.
11. Салуквадзе Т.Г., Хелая Е.И. Эмпирические радиолокационные модели различных конвективных облаков теплого сезона восточной Грузии. Материалы межд. конф. “Климат, природные ресурсы, стихийные катастрофы на Южном Кавказе”, Тр. Ин-та гидрометеорологии, том № 115, ISSN 1512-0902, Тб.:, 18-19 ноября, 2008, с. 141-149.
12. Салуквадзе Т.Г., Хелая Э.И., Балавадзе А.Ш., Киладзе Р. И. Эмпирическая радиолокационная модель суперячейкового конвективного облака. Тр. Института геофизики им. М. Нодия, т. 60, Тб.:, 2008, с. 242-246.
13. Салуквадзе Т.Г., Хелая Э.И., Киладзе Р.И. Радиолокационные характеристики одноячейкового конвективного облака Кахетинского региона Грузии. Тр. Института геофизики им. М. Нодия, т. 60, Тб.:, 2008, с. 237 – 241.
14. Амиранашвили А.Г., Бахсолиани М.Г., Бегалишвили Н.А., Берадзе Н.И., Бериташвили Б.Ш., Рехвиашвили Р.Г., Цинцадзе Т.Н., Рухадзе Н.П. О возобновлении работ по регулированию осадков в Восточной Грузии. Тр. Института гидрометеорологии, т. 108, ISSN 1512-0902, Тб.:, 2002, с. 249-260.
15. Амиранашвили А.Г., Бахсолиани М.Г., Бегалишвили Н.А., Бериташвили Б.Ш., Рехвиашвили Р.Г., Цинцадзе Т.Н., Читанава Р.Б. О необходимости возобновления работ по искусственному регулированию атмосферных процессов в Грузии. Тр. Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета Грузии, т.119, ISSN 1512 – 0902, Тб.:, 2013, с. 144 - 152.
16. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Чихладзе В.А. Противоградовые ракеты типа земля-воздух. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодия, т. 64, ISSN 1512-1135, Тб.:, 2013, с. 151-159.
17. Амиранашвили А., Глonti Н., Дзодзуашвили У., Ломтадзе Дж., Чихладзе В. О возобновлении противоградовых работ в Грузии. Международная конференция “Актуальные проблемы

- геофизики”. Материалы научной конференции, посвященной 80 – летию со дня основания Института геофизики. Тб.:, 2014, с. 208-212.
18. Амиранашвили А.Г., Глonti Н.Я., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж.Д., Чихладзе В.А. О восстановлении службы борьбы с градом в Кахетинском регионе Грузии. Доклады Всероссийской открытой конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы, посвященной 80-летию Эльбрусской высокогорной комплексной экспедиции АН СССР, 7-9 октября 2014 г., часть 2, ФГБУ «Высокогорный Геофизический Институт», Нальчик, 2015, с. 132-139.
 19. Смирнова А.А. Объективный анализ облачности и опасных явлений погоды по данным радиолокационных и станционных наблюдений. А.А. Пермь:, “Перм. ун-т.”, 2005.
 20. Насилов Д.Н. Радиометеорология. М.:, 1966, 336 с.
 21. Collier C.G. United Kingdom weather radar status report. Measurement of precipitation by radar. COST Project 72. Proceeding of a final seminar. Madrid:, 1985.
 22. Serafin R.J., Wilson J.W. Operational weather radar in the U.S. Progress and opportunity. COST- 75. Madrid:, 1998, pp. 35–61.
 23. Atlas D. Advanes in radar meteorology. In H.E. Landsberg and J.Van Mieghem (eds). “Advanes in Geophysics”, Academic Press Inc., vol. 10, No 5, 1964. pp. 318–468.
 24. <http://www.srh.noaa.gov/mob/?n=nexrad>
 25. Malkomes M., Toussiant M., Mamment T. The new radar data processing software for the German weather radar network. Proc. of ERAD (2002), Copernicus GmbH, Delft:, Netherlands, 2002, pp. 335–338.
 26. Alberoni P.P. et al. The Italian radar network: current status and future developments. Proc. of ERAD (2002), Copernicus GmbH, Delft:, Netherlands, 2002, pp. 339–344.
 27. Yoshino F. et al. Overview of radar networking by MOC. Japan and its data dissemination system (FRJCS). COST 73, 1989. pp. 123–132.
 28. <http://www.freepatent.ru/patents/2394254>
 29. <http://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/125744/Радиолокация>
 30. Абшаев А.М., Абшаев М.Т., Барекова М.В., Малкарова А.М. Руководство по организации и проведению противогородовых работ. ISBN 978-5-905770-54-8, Нальчик:, “Печатный двор”, 2014, 508 с.
 31. <http://master-3.ru/meteorologicheskie-radiolokatory-page-3.html>
 32. http://www.weathermod-bg.eu/pages/rad_en.php
 33. <http://bluetooth4.ru/osnovy-radio-i-elektroniki/550-meteorologicheskie-radiolokacionnye-stancii.html>
 34. http://www.meteo.stv.ru/dmrl_minvod.shtml
 35. <http://www.sicenter.by/eecradar.html>
 36. <http://www.vaisala.ru/ru/meteorology/products/weatherradars/Pages/default.aspx>
 37. <http://sibakom.com/pdf/CM.pdf> (байрон)
 38. Selex ES GmbH · Gematronik Weather Radar Systems. Rainbow®5 User Guide, 464 p., www.gematronik.com

**მეტეოროლოგიური რადარები და კახეთში ატმოსფერულ პროცესებზე
აქტიური ზემოქმედების რადიოლოკაციური უზრუნველყოფა
ამირანაშვილი ა., ძოდუაშვილი უ., ლომთაძე ჯ., საური ი., ჩიხლაძე ვ.
რეზიუმე**

მოკლედ არის აღწერილი საქართველოს ტერიტორიაზე ატმოსფერულ პროცესებზე აქტიური ზემოქმედების ისტორია. მოყვანილია მიმოხილვითი და სპეციალიზირებული სექცვასაწინააღმდეგო მეტეოროლოგიური რადიოლოკატორების მუშაობის პრინციპის და მუშაობის მეთოდების აღწერილობა. მოყვანილია C-დიაპაზონის თანამედროვე მეტეოროლოგიური რადარების პარამეტრების შედარება. დასაბუთებულია ატმოსფერულ პროცესებზე აქტიური ზემოქმედების რადიოლოკაციური უზრუნველყოფის და სექცვის საწინააღმდეგო ავტომატიზირებული სისტემის შესაქმნელად თანამედროვე მეტეოროლოგიური რადიოლოკატორის არჩევანი.

**METEOROLOGICAL RADAR AND RADAR ENSURING ACTIVE IMPACTS ON
ATMOSPHERIC PROCESSES IN KAKHETI**

Amiranashvili A., Dzodzuashvili U., Lomtadze J., Sauri I., Chikhladze V.

Abstract

The prehistory of active actions on the atmospheric processes on the territory of Georgia is briefly described. The description of the operating principle and methods of operation of the surveillance and specialized anti-hail meteorological radars is given. The comparison of the parameters of the contemporary meteorological radars of C-range is carried out. The selection of contemporary meteorological radar for the radar guarantee of active actions on the atmospheric processes and creating the automated system for dealing with the hail is substantiated.