НАУКИ ОБ АТМОСФЕРЕ И КЛИМАТЕ/ATMOSPHERIC AND CLIMATE SCIENCES

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.161.68

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАДИОМЕТРА В ПРОТИВОГРАДОВЫХ РАБОТАХ

Научная статья

Кущев С.А.[1], *, Лиев К.Б.[2]
[1] ORCID : 0000-0002-3380-4959;
[2] ORCID : 0000-0002-6940-9977;
[1, 2] Высокогорный геофизический институт, Нальчик, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (stasuk6[at]mail.ru)

Аннотация

В статье рассматривается возможность использования радиометра RPG-FMCW-94-B в противоградовой защите. Представлены данные о современных методах определения высоты нулевой изотермы, которые являются важными для эффективного проведения активных воздействий на градовые облака. В ходе эксперимента, проведенного на НИП «Кызбурун» в летний период 2024 года, были сравнены данные радиометра и аэрологического зондирования атмосферы. Результаты показали тесную связь между измерениями, что подтверждает высокую точность радиометра. Использование данного устройства позволяет оперативно корректировать параметры воздействия и снижает зависимость противоградовых служб от удалённых пунктов зондирования, что повышает эффективность защиты сельскохозяйственных культур от града.

Ключевые слова: радиометр, противоградовая защита, градовые облака, высота нулевой изотермы, активные воздействия, сельскохозяйственные культуры, атмосферное зондирование, погодные явления, эффективность защиты.

ON THE POSSIBILITY OF USING A RADIOMETER IN HAIL CONTROL WORK

Research article

Kushchev S.A.[1], *, Liev K.B.[2]
[1] ORCID : 0000-0002-3380-4959;
[2] ORCID : 0000-0002-6940-9977;
[1, 2] High-Mountain Geophysical Institute, Nalchik, Russian Federation

* Corresponding author (stasuk6[at]mail.ru)

Abstract

The article examines the possibility of using the RPG-FMCW-94-B radiometer in hail protection. It presents data on modern methods for determining the zero isotherm height, which are important for effectively influencing hail clouds. During an experiment conducted at the "Kyzburun" RTS in the summer of 2024, data from the radiometer and aerological sounding of the atmosphere were compared. The results showed a close correlation between the measurements, confirming the high accuracy of the radiometer. The use of this device allows for prompt adjustment of the impact parameters and reduces the dependence of hail protection services on remote sounding stations, which increases the effectiveness of crop protection against hail.

Keywords: radiometer, hail protection, hail clouds, zero isotherm height, active effects, agricultural crops, atmospheric sounding, weather phenomena, protection effectiveness.

Введение

Зачастую при интенсивном выпадении града повреждения сельскохозяйственных культур могут достигать 100%. При частичном повреждении растения могут оправиться, но урожайность с такого поля будет значительно ниже. Проводимые противоградовые работы по защите сельскохозяйственных культур от градобития, не позволяет обеспечить 100-процентную эффективность [1]. В связи с этим актуальной задачей является улучшение существующей технологии и средств защиты от града.

Активные воздействия на градовые облака осуществляются по российской технологии, которая подробно описана в руководящих документах [2]. Одним из важных параметров, который используется при воздействии на конвективные ячейки, является специализированный градовый прогноз. Такие прогнозы включают анализ синоптической обстановки, термодинамического состояния атмосферы на период максимального развития конвекции, а также прогнозы кучево-дождевой облачности, ливневых осадков, гроз, града и шквалов [3], [4], [5]. Эти прогнозы необходимы для оперативного планирования и проведения работ всеми подразделениями противоградовых служб. Район действия прогноза охватывает защищаемую и прилегающую территории.

Методы и принципы исследования

Для районов с противоградовой защитой выявлены основные типы синоптических ситуаций, при которых наиболее вероятно развитие конвективных облаков. Градовые облака часто возникают в условиях атмосферных фронтов, где взаимодействуют тёплый и холодный воздух. Различия в температуре и влажности провоцируют интенсивные конвективные движения, способствующие образованию гроз и градовых облаков. По многолетним наблюдениям Северо-Кавказской военизированной службы, в Центральной части Кавказа 90% градовых процессов имеют фронтальное происхождение, 10% — внутримассовое. На территории Центрального Кавказа градовые процессы связаны с четырьмя типами атмосферных фронтов:

- 66% — при вторжении холодных фронтов (ХФ);
- 4% — при вторжении тёплых фронтов (ТФ);
- 27% — при влиянии фронтов окклюзии;
- 3% — при влиянии вторичных холодных фронтов.

На рисунке 1 показано распределение повторяемости дней с градом для различных типов фронтов.

Рисунок 1 - Распределение дней с градом для различных типов фронтов

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.161.68.1

Наибольшее число градобитий связано с вторжением полярных масс (78%), 22% случаев — с тропическими массами. На рисунке 2 показано распределение дней с градом по типам воздушных масс.

Рисунок 2 - Распределение дней с градом по типам воздушных масс

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.161.68.2

Для составления специализированных прогнозов погоды необходимы следующие материалы:

1. Приземные и кольцевые карты погоды.
2. Комплект карт барической топографии до 200 мб.
3. Прогностические карты приземного поля и $АТ_{850}$.
4. Информация об облачности с метеорологических спутников.
5. Данные радиозондирования атмосферы.

В последние годы радиозондирование проводится нерегулярно, что затрудняет точное определение высоты изотерм [6]. Эта проблема становится критичной при интенсивных градовых процессах. Использование радиометров может решить задачу оперативного определения высоты нулевой и -6 °C изотерм, необходимых для корректного планирования противоградовых воздействий. Для воздействия на градовые облака большое значение имеет высота изотермы -6 ºС, потому что технология воздействия на градовые облака использует кристаллизующей реагент AgI, а он более эффективен в переохлаждённой части облака, при температурах от -6 до -12 ºС [7].

Сейчас в районе исследования прогноз проводится в ближайшей точке аэрологического зондирования атмосферы в аэропорту Минеральных Вод и данные с него не регулярны, хотя используются, как для авиации, так и для противоградовых работ всех служб Северного Кавказа. Аэрологическое зондирование атмосферы в районе аэропорта Минеральные Воды проводится на специализированной метеорологической площадке, входящей в сеть аэрологических станций Росгидромета. Запуски радиозондов выполняются, как правило, дважды в сутки — в 00:00 и 12:00 UTC. В качестве измерительного комплекса используется радиозонд, оснащённый датчиками температуры, влажности, давления и скорости ветра. Он поднимается с помощью наполненного гелием шара на высоту до 30–35 км, передавая данные в реальном времени на приёмную станцию. Полученные вертикальные профили метеорологических параметров применяются для анализа стратификации атмосферы, определения высоты тропопаузы, расчёта индексов конвективной неустойчивости и уточнения условий формирования облачности и осадков, включая градовые явления, в предгорной зоне Северного Кавказа. Проблема заключается в том, что аэрологическое зондирование проводят два раза в сутки в 00 и 12 часов по Гринвичу, а высота изотермы 0 и -6 ºС имеют свойство изменяться в течение дня. Использование 12 часового зондирования с периодичностью в 12 часов зачастую имеет погрешность, к тому же данные зондирования поступают к прогнозисту не сразу, что неблагоприятно при интенсивных градовых процессах [8].

При анализе пропуска градобитий на защищаемой территории нами были сделаны выводы, что одна из причин не точное определение высоты изотермы -6 ºС и как следствие не верный угол возвышения при стрельбе [9], [10], [11], [12]. Для оперативного нахождения изотермы 0 и -6 ºС возможно использование радиометров для каждой из служб по борьбе с градом [13]. Анализ сравнения показаний радиометра и станцией аэрологического зондирования и является целью данной работы.

Основные результаты

На научно-исследовательском полигоне «Кызбурун» был установлен радиометр RPG-FMCW-94-B (рис. 3). Рабочая частота 94 ГГц позволяет достичь более высокой чувствительности при меньшем форм-факторе, чем у радаров X- и Ka-диапазона [14]. Небольшие размеры и малый вес системы позволяют использовать радар в мобильных измерительных платформах. Короткая длина волны и высокая средняя передаваемая мощность (1,5 Вт) обеспечивают высокую чувствительность -45 dBZe на дистанции 5 км со средним временем в 1,7 секунды. Благодаря пропорциональности доплеровского сдвига рабочей частоте радар может достигать Доплеровское разрешение составляет 1,7 см/с или даже выше.

Рисунок 3 - Облачный радар, радиометр RPG-FMCW-94-B

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.161.68.3

Сигнал FMCW генерируется с помощью твердотельного передатчика, который намного дешевле и надежнее, чем передатчики на основе вакуумной трубки, которые часто используются в импульсных облачных радарах. В радиолокационном передатчике не используется высокое напряжение, которое часто требуется в импульсных системах и может привести к выходу прибора из строя при работе во влажных условиях из-за высоковольтных разрядов. Низкая пиковая мощность, составляющая порядка нескольких Ватт, менее критична для электромагнитной совместимости. Цифровое формирование сигнала исключает изменение формы сигнала, которое может иметь место, но не всегда отслеживается в импульсных системах. В импульсных радарах форма импульса может изменяться из-за старения передатчика. Изменение формы импульса приводит к рассогласованию принимающего фильтра и, следовательно, к потере чувствительности и неправильной калибровке. Радар может измерять атмосферные профили с пространственным разрешением до 1 м, что часто недоступно для импульсных облачных радаров. Минимальная дальность наблюдения составляет 50 м и очень высокое разрешение по дальности позволяет проводить детальные наблюдения за пограничным слоем и туманом. Автоматическая регулировка усиления исключает насыщение приемника в случае сильных осадков.

Данный вид радиометра позволяет получать различные метеорологические характеристики см. рисунок 4, но в данной статье нас интересует только высота нулевой изотермы.

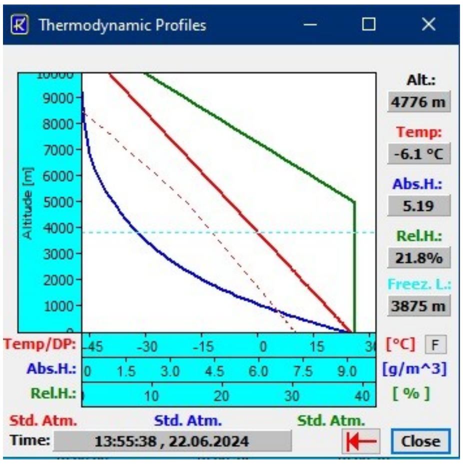

Рисунок 4 - Термодинамический профиль
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.161.68.4

В течение летнего сезона 2024 года на НИП «Кызбурун» ежедневно в 15:00 проводились измерения высоты нулевой изотермы радиометром, что соответствовало времени 12 UTC запуска аэрологических зондов в Минеральных Водах (61 км от полигона). Для сравнения показаний радиометра и аэрологической станции, расстояние на наш взгляд приемлемое.

В нашем эксперименте данные распределяются таким образом, что оказалось возможным описать их изменение линейной зависимостью рисунок 5.

Рисунок 5 - Аппроксимация показаний RPG и зондирования атмосферы
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.161.68.5

Из графика видно, что за три летних месяца с июня по август, измерений высоты нулевой изотермы и сравнений с аэрологическим зондированием атмосферы коэффициент аппроксимации R^2=0,7, что соответствует тесной связи между показаниями.

Заключение

Из проделанной работы можно сделать вывод, что радиометр RPG-FMCW-94-B позволяет оперативно определять высоту нулевой изотермы в течение дня, что улучшает точность противоградовых мероприятий. Использование радиометра снижает зависимость противоградовых служб от аэрологического зондирования, позволяя проводить измерения непосредственно над защищаемой территорией. Результаты эксперимента показали высокую корреляцию между показаниями радиометра и данных аэрологической станции, что подтверждает его надёжность и точность. Внедрение радиометра в противоградовые работы может существенно повысить их эффективность и снизить риск ущерба от градобитий.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Кущев С.А. Анализ экономической эффективности противоградовых работ в РФ. / С.А. Кущев // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И.Воейкова. — 2021. — № 602. — С. 124–133.
2. Абшаев М.Т. Руководство по организации и проведению противоградовых работ / М.Т. Абшаев. — Нальчик: Печатный двор, 2014. — 508 с.
3. Бибилашвили Н.Ш. Руководство по организации и проведению противоградовых работ / Н.Ш. Бибилашвили. — Ленинград: Гидрометеоиздат, 1981. — 167 с.
4. Гораль Г.Г. К прогнозу шквалов, связанных с развитием конвективных облаков. / Г.Г. Гораль, О.И. Чеповская // Труды ВГИ. — 1981. — № 47. — С. 67–73.
5. Федченко Л.М. Усовершенствованный способ прогноза интенсивных градовых процессов. / Л.М. Федченко, В.А. Беленцова // Труды ВГИ. — 1987. — № 67. — С. 57–67.
6. Суспицына Ю.В. Прогнозирование зарождения градовых облаков на территории Краснодарского края. / Ю.В. Суспицына, С.А. Кущев // Дневник науки. — 2021. — № 12. — С. 1–10.
7. Суспицына Ю.В. Сравнительный анализ результатов аэрологического зондирования температуры и влажности воздуха с данными сети метеостанций / Ю.В. Суспицына // Наука и практика в XXI веке : Электронный ресурс: межвузовский сборник научных статей с международным участием, Астрахань, 15 апреля 2019 года. — Астрахань: Астраханский университет, 2019. — Вып. 3. — С. 162–168.
8. Кущев С.А. Прогнозирование развития градовых облаков с помощью глобальной модели атмосферы / С.А. Кущев, Ю.В. Суспицына // Перспектива–2022: Материалы международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. Нальчик, 22–30 апреля 2022 года. — Нальчик: Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, 2022. — Вып. 4. — С. 257–261.
9. Лиев К.Б. Эффективность противоградовых изделий типа «Алазанье» при низкой нулевой изотерме в весенний период. / К.Б. Лиев, С.А. Кущев, А.Х. Гергоков // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И.Воейкова. — 2022. — № 605. — С. 173–184.
10. Залиханов М.Ч. Результаты апробации прогноза града по выходным данным глобальной модели атмосферы в зоне ответственности Северо-Кавказской военизированный службы. / М.Ч. Залиханов, А.Х. Кагермазов, Л.Т. Созаева // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. — 2023. — № 609. — С. 132–143.
11. Кагермазов А.Х. Прогноз града по выходным данным глобальной модели атмосферы с заблаговременностью 30–36 часов / А.Х. Кагермазов, Л.Т. Созаева // Нелокальные краевые задачи и родственные проблемы математической биологии, информатики и физики : Материалы VII Международной научной конференции, Нальчик, 04–08 декабря 2023 года. — Нальчик: Принт-центр, 2023.
12. Кагермазов А.Х. Результаты апробации прогноза града по выходным данным глобальной модели атмосферы с учетом природно-климатических зон центральной части Северного Кавказа. / А.Х. Кагермазов, Л.Т. Созаева // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. — 2024. — № 614. — С. 140–151.
13. Суспицына Ю.В. Распределение синоптических данных для дней с градом в центральной части Северного Кавказа. / Ю.В. Суспицына // Безопасность жизнедеятельности. — 2025. — № 1. — С. 48–52.
14. Tukiainen S. Remote sensing measurements during PaCE 2022 campaign. / S. Tukiainen, T. Siipola, N. Leskinen et al. // Articles. — 2025. — Vol. 17. — Iss. 8.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kushhev S.A. Analiz e'konomicheskoj e'ffektivnosti protivogradovy'x rabot v RF [Analysis of the economic efficiency of anti-hail works in the Russian Federation]. / S.A. Kushhev // Proceedings of the Main Geophysical Observatory. — 2021. — № 602. — P. 124–133. [in Russian]
2. Abshaev M.T. Rukovodstvo po organizacii i provedeniyu protivogradovy'x rabot [Guide to organizing and conducting anti-hail works] / M.T. Abshaev. — Nal'chik: Pechatny'j dvor, 2014. — 508 p. [in Russian]
3. Bibilashvili N.Sh. Rukovodstvo po organizacii i provedeniyu protivogradovy'x rabot [Guide to organizing and conducting anti-hail works] / N.Sh. Bibilashvili. — Leningrad: Gidrometeoizdat, 1981. — 167 p. [in Russian]
4. Goral' G.G. K prognozu shkvalov, svyazanny'x s razvitiem konvektivny'x oblakov [On the forecast of squalls associated with the development of convective clouds]. / G.G. Goral', O.I. Chepovskaya // Proceedings of VGI. — 1981. — № 47. — P. 67–73. [in Russian]
5. Fedchenko L.M. Usovershenstvovanny'j sposob prognoza intensivny'x gradovy'x processov [Improved method for forecasting intensive hail processes]. / L.M. Fedchenko, V.A. Belenczova // Proceedings of VGI. — 1987. — № 67. — P. 57–67. [in Russian]
6. Suspicy'na Yu.V. Prognozirovanie zarozhdeniya gradovy'x oblakov na territorii Krasnodarskogo kraya [Forecasting the formation of hail clouds in the Krasnodar Territory]. / Yu.V. Suspicy'na, S.A. Kushhev // Science Diary. — 2021. — № 12. — P. 1–10. [in Russian]

7. Suspitsina Yu.V. Sravnitelnii analiz rezultatov aerologicheskogo zondirovaniya temperaturi i vlazhnosti vozdukha s dannimi seti meteostantsii [Comparative analysis of the results of aerological sounding of air temperature and humidity with data from a network of weather stations] / Yu.V. Suspitsina // cience and practice in the 21st century: Electronic resource: interuniversity collection of scientific articles with international participation, Astrakhan, April 15, 2019. — Astrakhan: Astrakhan University, 2019. — Iss. 3. — P. 162–168. [in Russian]

8. Kushchev S.A. Prognozirovanie razvitiya gradovikh oblakov s pomoshchyu globalnoi modeli atmosferi [Forecasting the development of hail clouds using a global atmospheric model] / S.A. Kushchev, Yu.V. Suspitsina // Perspective-2022: Proceedings of the International Scientific Conference of Students, Graduate Students and Young Scientists. Nalchik, April 22–30, 2022. — Nalchik: Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, 2022. — Iss. 4. — P. 257–261. [in Russian]

9. Liev K.B. E'ffektivnost' protivogradovy'x izdelij tipa «Alazan'e» pri nizkoj nulevoj izoterme v vesennij period [Efficiency of anti-hail products of the "Alazan" type at a low zero isotherm in the spring]. / K.B. Liev, S.A. Kushhev, A.X. Gergokov // Proceedings of the Main Geophysical Observatory. — 2022. — № 605. — P. 173–184. [in Russian]

10. Zalixanov M.Ch. Rezul'taty' aprobacii prognoza grada po vy'xodny'm danny'm global'noj modeli atmosfery' v zone otvetstvennosti Severo-Kavkazskoj voenizirovanny'j sluzhby' [Results of testing a hail forecast based on the output data of the global atmospheric model in the area of responsibility of the North Caucasus Military Service]. / M.Ch. Zalixanov, A.X. Kagermazov, L.T. Sozaeva // Proceedings of the A.I. Voeykov Main Geophysical Observatory. — 2023. — № 609. — P. 132–143. [in Russian]

11. Kagermazov A.Kh. Prognoz grada po vikhodnim dannim globalnoi modeli atmosferi s zablagovremennostyu 30–36 chasov [Hail forecast based on global atmospheric model output with a lead time of 30–36 hours] / A.Kh. Kagermazov, L.T. Sozaeva // Nonlocal boundary value problems and related problems of mathematical biology, computer science and physics: Proceedings of the VII International Scientific Conference, Nalchik, December 4–8, 2023. — Nalchik: Print-tsentr, 2023. [in Russian]

12. Kagermazov A.X. Rezul'taty' aprobacii prognoza grada po vy'xodny'm danny'm global'noj modeli atmosfery' s uchetom prirodno-klimaticheskix zon central'noj chasti Severnogo Kavkaza [Results of testing a hail forecast based on the output data of a global atmospheric model, taking into account the natural and climatic zones of the central part of the North Caucasus]. / A.X. Kagermazov, L.T. Sozaeva // Proceedings of the A.I. Voeykov Main Geophysical Observatory. — 2024. — № 614. — P. 140–151. [in Russian]

13. Suspicy'na Yu.V. Raspredelenie sinopticheskix danny'x dlya dnej s gradom v central'noj chasti Severnogo Kavkaza [Distribution of synoptic data for days with hail in the central part of the North Caucasus]. / Yu.V. Suspicy'na // Life Safety. — 2025. — № 1. — P. 48–52. [in Russian]

14. Tukiainen S. Remote sensing measurements during PaCE 2022 campaign. / S. Tukiainen, T. Siipola, N. Leskinen et al. // Articles. — 2025. — Vol. 17. — Iss. 8.