

УДК 551.508.94

М.К. Олжабаев [murat16091973@gmail.com](mailto:murat16091973@gmail.com)

К.Ж. Исабаев [rtv\\_nk@mail.ru](mailto:rtv_nk@mail.ru)

С.А. Фомичев [sergfomichev@mail.ru](mailto:sergfomichev@mail.ru)

Военно-инженерный институт радиоэлектроники и связи,

г. Алматы, Республика Казахстан

Б.Б. Имансакипова [imansakipova@mail.ru](mailto:imansakipova@mail.ru)

Университет Сампаева

## АНАЛИЗ ИМЕЮЩИХСЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ И КОМПЛЕКСОВ ОБНАРУЖЕНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТИ

Статья проводит анализ существующих радиолокационных станций и комплексов обнаружения и регистрации грозовой активности. Она охватывает различные аспекты, связанные с обнаружением и регистрацией грозовых явлений, включая методы измерения, типы используемых радиолокационных систем и их характеристики. Автор исследует существующие технологии и методы обнаружения грозовых активностей, а также рассматривает преимущества и ограничения каждого подхода. В заключение статья предлагает рекомендации для дальнейших исследований и улучшения существующих систем обнаружения и регистрации грозовой активности с целью повышения эффективности и точности прогнозирования грозовых явлений.

**Ключевые слова:** анализ, радиолокационные станции, комплексы обнаружения, регистрация, грозовая активность, измерение, технологии, преимущества, ограничения, прогнозирование.

### Введение

Грозовая активность является одним из важных метеорологических явлений, которые могут иметь значительное влияние на различные аспекты человеческой жизни и инфраструктуру. Однако, точное и эффективное обнаружение и регистрация грозовой активности остаются вызовом для научного сообщества и инженеров. В данной статье проводится анализ имеющихся радиолокационных станций и комплексов, предназначенных для обнаружения и регистрации грозовой активности, с целью определения их основных характеристик, достоинств и недостатков.

### Методология исследования

Для проведения анализа был осуществлен обзор литературы и доступных научных публикаций, а также проведен сравнительный анализ имеющихся радиолокационных станций и комплексов обнаружения и регистрации грозовой активности. Важными параметрами, рассмотренными в данном анализе, были дальность действия, чувствительность, точность определения местоположения грозы, пространственное разрешение, возможность определения типов грозовой активности и другие технические характеристики [1-20].

### Результаты и обсуждение

Радиолокационные станции и комплексы используются для обнаружения и регистрации грозовой активности с помощью различных технологий. Проведем краткий обзор (см. таблица 1), некоторых основных технологий и исследований:

Спутники. Используются для отслеживания облачности и их температуры. Облака с холодными вершинами обычно находятся очень высоко в атмосфере и могут указывать на грозу. Метеорологи отслеживают движение этих облаков, чтобы предсказать, какие области будут затронуты грозой [4].

Радары. Очень важны для метеорологов, поскольку они могут обнаруживать дождь и суровую погоду, даже когда облачно или темно. Они используют технологию Доплера, которая может указывать на скорость ветра внутри и вокруг грозы, что полезно для понимания возможных угроз, связанных с грозой [1, 3].

Двухполяризационные радары. Эта технология может определить вихри, поднявшие обломки с земли, и различать типы осадков, что помогает прогнозировать град или наводнения [5].

Фазированные антенные решетки. Они сканируют небо гораздо быстрее, чем обычные радары, позволяя более эффективно отслеживать быстро развивающиеся ситуации с грозами и торнадо [7].



Рисунок 1 – Мобильный радар NOAA X-band dual-POL (NOXP)

Мобильные радары. Например, радар NOAA X-band dual-POL (NOXP) установлен на грузовик (рис. 1), чтобы его можно было приблизить к различным типам гроз, чтобы изучать и отслеживать их [19].

В отношении более технических аспектов, двухполяризационная технология радара стала широко использоваться после 2000 года, увеличивая количество доступной информации о типе осадков.

С 2003 года Национальное управление океанической и атмосферной администрации США экспериментирует с фазированными антенными решетками в качестве замены традиционным параболическим антеннам, чтобы обеспечить более своевременные данные об атмосферном зондировании. В 2023 году частная американская компания Tomorrow.io запустила радар на основе космического радара Ka-диапазона для наблюдения за погодой и прогнозирования [20].

Таблица 1 – Краткое сравнение основных типов радаров [20]

Тип радара	Описание
WSR-88D Doppler Radar (США)	Использует доплеровский эффект для определения скорости и направления ветра внутри шторма. Это помогает понять, какие опасности может нести гроза (торнадо, микровзрывы, порывы ветра и т.д.). Также может отличать разные типы осадков, что помогает прогнозировать град или наводнения.
Фазированная антенная решетка (Phased Array Radar, США)	Сканирует небо гораздо быстрее, чем WSR-88D радары. Эта технология более эффективно отбирает погодные данные, что позволяет метеорологам быстро реагировать на развивающиеся ситуации с сильными штормами и торнадо.

Продолжение таблицы 1.

Dual-Polarization Radar (США, Франция, Канада)	Позволяет идентифицировать обломки, поднятые торнадо на землю, и отличать разные типы осадков. Широкомасштабное использование началось после 2000 года.
Tomorrow.io (США)	В 2023 году компания запустила космический радар на Ka-диапазоне для наблюдения за погодой и прогнозирования. Их технология позволяет получать данные о погодных условиях в режиме реального времени и более точно прогнозировать погодные события. Радар способен захватить информацию о выпадении осадков, включая интенсивность, размер капель и скорость падения, и следить за жизненным циклом отдельных штормовых ячеек.

Далее остановимся на анализе одной из систем обнаружения грозовой активности.

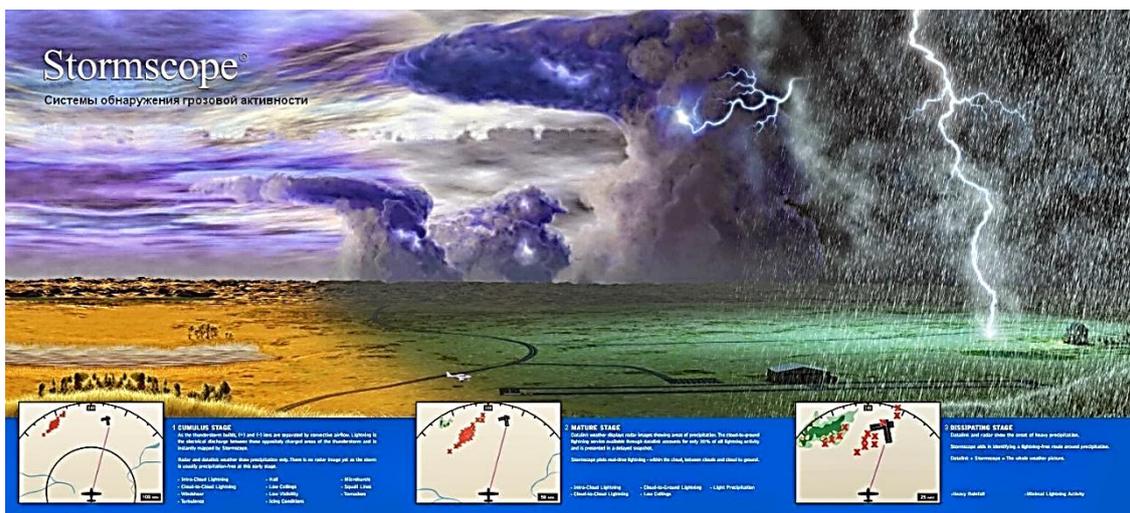


Рисунок 2 – Системы обнаружения грозовой активности STORMSCOPE

Системы обнаружения грозовой активности STORMSCOPE (рис. 2).

Компания L-3 AVIONICS SYSTEMS разработала и реализовала более 60 000 систем обнаружения грозовой активности в течение последних 35 лет. Их флагманское семейство продуктов, Stormscope, представляет собой набор инструментов для графического отображения зон грозовой активности в реальном времени, которые отличаются высокой скоростью и надежностью.

Процесс формирования и развития грозовой и штормовой активности состоит из трех основных этапов, каждый из которых имеет свои особенности в отношении обнаружения и отображения на дисплеях системы грозовой или штормовой активности [16].

Грозовые облака содержат как положительно, так и отрицательно заряженные ионы, что создает разделенные конвективные воздушные потоки. Молния, которая является электрическим разрядом между областями с противоположным зарядом в грозовых облаках, мгновенно отображается на дисплее системы Stormscope.

Информация, получаемая от радарной системы и канала передачи погодных данных, позволяет отобразить только наличие осадков. На этой стадии пока отсутствует радарное изображение штормовой активности, так как шторм обычно возникает без выпадения осадков.

Штормовые или грозовые области определяются по следующим характерным признакам:

Внутриоблачные молнии: молнии, которые происходят внутри самого облака.

Молнии между тучами: молнии, возникающие между разными облаками.

Сдвиг ветра: изменение направления и скорости ветра во время шторма.

Турбулентность: нестабильные и вихревые воздушные потоки, которые могут вызывать тряску и потерю устойчивости в полете.

Град: выпадение льда диаметром более 5 мм, который может нанести ущерб самолету.

Низкий потолок облачности: низкое расположение облачности, что может снизить видимость и усложнить навигацию.

Низкая видимость: ограниченная видимость из-за сильных осадков или облачности.

Условия обледенения: образование льда на поверхности самолета из-за присутствия суперохлажденных капель или инородных частиц воздуха.

Микропорывы ветра: резкие изменения направления и скорости ветра на малом пространстве.

Шквалистый ветер: сильные порывы ветра, которые могут повлиять на полет самолета.

Торнадо: смерч, представляющий собой сильный вихревой столб, который может быть опасен для самолета и земной поверхности.

Эти признаки помогают определить наличие и интенсивность штормовой активности на основе данных, собранных и отображаемых системой Stormscope.

Системы Stormscope предоставляют возможность получения графического изображения грозовой активности и молниевых разрядов в реальном времени. При этом погодный канал передачи данных используется для формирования радиолокационного изображения, которое отображает области осадков. Однако только около 20% всей грозовой активности, включая молнии между облаками и землей, доступны для отображения через этот канал с некоторой задержкой [16].

Системы Stormscope способны предоставлять графическое изображение следующих процессов в реальном масштабе времени:

Внутриоблачные молнии: молнии, которые происходят внутри грозового облака.

Молнии между тучевыми скоплениями: молнии, возникающие между разными облаками.

Молнии между облаками и землей: молнии, которые происходят между грозовыми облаками и землей.

Кроме того, системы Stormscope могут отображать низкие потолки облачности и незначительные осадки. Эти функции позволяют пилотам получать более полную информацию о грозовой активности и принимать соответствующие решения во время полета.

На этом этапе погодный канал передачи данных и радарная система позволяют отобразить начало обильных осадков. Система Stormscope играет важную роль в помощи пилотам определить маршрут полета, который обходит зоны с грозовой активностью и позволяет миновать области с интенсивными осадками.

Таким образом, данные, получаемые по погодному каналу передачи и от системы Stormscope, позволяют создать полную картину погодных условий, обеспечивая безопасность выполнения полета в любых погодных условиях.

На этапе рассеивания характерными особенностями являются проливной дождь и минимальная грозовая активность. Это означает, что осадки становятся более интенсивными, но активность молний и других грозовых явлений снижается [16].



Рисунок 3 – Система Stormscope®  
Модели WX-500

Система Stormscope WX-500 (рис. 3), предназначена для отображения информации о грозовой активности на расстоянии от 25 до 200 морских миль (46,3 - 370,4 км). Она разработана для интеграции с популярными дисплеями и новыми поколениями многофункциональных MFD-дисплеев.

С помощью WX-500 пилот может просматривать информацию о грозовых областях непосредственно на своем MFD-дисплее в виде отдельной страницы или наложенной на движущуюся карту.

Даже если MFD-дисплей уже имеет данные о погоде через другой канал передачи, данные, предоставляемые системой Stormscope, могут расширить и обеспечить более точную информацию о грозовой активности [16].

WX-500 позволяет пилоту выбирать режим отображения в зависимости от предпочтений: режим «strike» - отображение молний или режим «cell» - отображение грозowych очагов.

При добавлении системы Stormscope WX-500 к системе SKYWATCH или SKYWATCH HP информация о трафике воздушных судов и грозовой активности (молнии) может быть наложена на данные, получаемые через канал передачи погоды или сигналы радара (режим отображения зависимых данных).

Комплект системы (рис. 4), Stormscope WX-500 позволяет управлять рабочими режимами непосредственно с MFD-дисплея или радарного индикатора (при использовании графического компьютера RGC350), что устраняет необходимость в дополнительном пространстве для оборудования и дополнительных контроллерах [16].



Рисунок 4 – Рабочие режимы системы Stormscope WX-500 и SKYWATCH управляются непосредственно с MFD-дисплея или радарного индикатора (при использовании графического компьютера RGC350)

Система Stormscope WX-500 имеет следующие свойства:

Дальность обнаружения. Способность обнаруживать грозовую активность на расстоянии до 200 морских миль (370,4 километра).

Режимы отображения. Пилот может выбирать между режимами отображения молний (strike mode) или грозowych очагов (cell mode) в зависимости от предпочтений.

Отображение воздушного пространства. Система отображает воздушное пространство в секторе 120° по курсу движения и 360° вокруг самолета, обеспечивая широкий обзор окружающего пространства.

Стабилизация азимута. При использовании совместимой системы ориентации система стабилизирует азимут (направление), обеспечивая более точное отображение грозовой активности.

Сохранение данных молний. Система одновременно сохраняет данные о молниях на всей дальности обнаружения, что позволяет пилоту анализировать их в любой момент.

Индикация скорости разрядов молний. Система позволяет пилоту видеть информацию о скорости молний, что может быть полезно при оценке интенсивности грозовой активности.

Множественные мониторы. Пилот может просматривать данные о молниях на нескольких мониторах одновременно, обеспечивая удобство использования и обзорность.

Отображение на странице или карте. Информацию о молниях можно просматривать на специальной странице системы или в виде наложенном на движущуюся карту, что позволяет интегрировать ее с другими полезными данными [16].

Все эти свойства делают систему Stormscope WX-500 мощным инструментом для обнаружения и отображения грозовой активности во время полета.



Рисунок 5 – Дисплейные опции

Система Stormscope WX-500 имеет различные дисплейные опции (рис. 5), которые позволяют интегрировать ее с различными авионическими системами [16]. Некоторые из поддерживаемых дисплеев включают:

Garmin G1000, G900, GTN серии, GNS400/500 серии, GMX-200. Это популярные авионические системы Garmin, которые могут взаимодействовать с системой Stormscope WX-500.

Радарные индикаторы. Большинство радиолокационных индикаторов могут использовать графический компьютер RGC-350 для отображения информации от системы Stormscope.

Avidyne Flightmax, Entegra, EX500/600, EX5000, MHD300. Эти системы дисплеев Avidyne также могут быть интегрированы с системой Stormscope.

Apollo MX-20, UPSAT MX-20, Goodrich i-linc. Это некоторые из дисплеев, поддерживаемых системой Stormscope WX-500.

Cobham (Chelton) 3D Synthetic Vision EFIS. Дисплеи Cobham с функцией 3D Synthetic Vision также совместимы с системой Stormscope.

OP Technologies. Дисплеи от компании OP Technologies также могут использоваться для отображения информации от системы Stormscope [16].

Moving (Map) Terrain MFD. Дисплеи Moving (Map) Terrain MFD также поддерживают систему Stormscope WX-500.

Bendix King KMD-850, 550. Эти дисплеи от Bendix King могут интегрироваться с системой Stormscope.

Sandel ST3400, 3500, 4500. Дисплеи Sandel также совместимы с системой Stormscope WX-500.

Aspen Avionics Evolution. Дисплеи серии Aspen Avionics Evolution также могут использоваться для отображения информации от системы Stormscope.

Эти различные дисплеи предоставляют пилотам возможность выбора и интеграции системы Stormscope WX-500 с существующими авионическими системами в самолете [16].

Анализ показал, что существует разнообразие радиолокационных станций и комплексов обнаружения и регистрации грозовой активности, которые имеют различные технические характеристики и возможности. Некоторые системы основываются на радиоволновых излучениях и рефлексии, другие используют приемников-детекторов, способных регистрировать электромагнитные сигналы, порождаемые грозой. Большинство

систем обладают способностью определения местоположения грозы, и некоторые могут даже классифицировать тип грозы (например, молнии, грозовые фронты и т.д.).

Однако, некоторые системы имеют ограничения в дальности обнаружения и точности определения местоположения грозы. Некоторые могут быть подвержены помехам, вызванным другими источниками радиочастотных сигналов или неспецифическими электромагнитными шумами. Также стоит отметить, что некоторые системы требуют сложной калибровки и обслуживания, что может затруднить их практическое применение.

**Закключение.** Таким образом, анализ имеющихся радиолокационных станций и комплексов обнаружения и регистрации грозовой активности позволяет сделать вывод о разнообразии технических решений и подходов, используемых для обнаружения и регистрации грозы. Однако, не существует универсальной системы, которая бы полностью удовлетворяла всем требованиям и условиям. При выборе конкретной системы необходимо учитывать особенности конкретного региона, требования к точности и надежности, бюджетные ограничения и другие факторы.

Дальнейшие исследования и разработки в этой области могут сосредоточиться на улучшении точности определения местоположения грозы, снижении помех и шумов, а также разработке более компактных и автономных систем обнаружения и регистрации грозовой активности. Это может в свою очередь повысить эффективность систем предупреждения и мониторинга грозowych явлений, что является важным шагом для обеспечения безопасности и улучшения прогнозирования погоды.

### **Литература**

1. Аджиева, А. А. Космическая погода и климатические явления в атмосфере / А. Аджиева, А. А. Черкесов // Наука. Инновации. Технологии. — 2021. — № 3. — С. 91—104.
2. Апостолиди, Х. Т. Сравнение параметров грозовой активности, зарегистрированных системой WWLLN и визуально на метеостанциях / Х. Т. Апостолиди, А. А. Карпова // Азимут геонаук : Материалы Всероссийской междисциплинарной молодежной научной конференции, Томск, 06—09 декабря 2022 года. Том Вып. 3. — Томск: Издательство Томского ЦНТИ, 2023. — С. 197—200.
3. Булгин, Д. В. Алгоритм дистанционной регистрации грозowych разрядов / Д. В. Булгин, В. И. Федоров, В. С. Волков // Комплексные проблемы техносферной безопасности : материалы VI Международной научно—практической конференции. В 3—х частях, Воронеж, 21—22 декабря 2020 года. Том Часть I. — Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2021. — С. 176—181.
4. Васильев, Р. В. Анализ грозовой активности в приполярной области по ОНЧ сигналам атмосфера с приемников PWING / Р. В. Васильев, А. В. Ойнац, Ю. В. Калашников // Климатические риски и космическая погода : Тезисы Международной конференции и Школы молодых ученых, посвященных памяти Нины Константиновны Кононовой, Иркутск, 14—17 июня 2021 года. — Иркутск: Иркутский государственный университет, 2021. — С. 36.
5. Горлова, И. Д. Изучение грозовой активности средствами космического и наземного базирования / И. Д. Горлова // Проблемы военно—прикладной геофизики и контроля состояния природной среды : Материалы VI Всероссийской научной конференции, Санкт—Петербург, 16—18 сентября 2020 года. — Санкт—Петербург: Военно—космическая академия имени А.Ф. Можайского, 2020. — С. 211—213.
6. Грозовая активность / М. С. Пермяков, П. В. Журавлев, С. С. Капач, З. Ю. Лешневский // Российско—вьетнамские океанологические исследования в Южно—китайском море. — Владивосток : Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, 2020. — С. 91—98.

7. Грозовая активность и вихревые структуры в атмосфере / Н. И. Ижовкина, С. Н. Артеха, Н. С. Ерохин, Л. А. Михайловская // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2022. — Т. 19, № 1. — С. 267—276.
8. Дацук, Д. Г. Система и методы регистрации грозных разрядов и определения мест перекрытия воздушной линии / Д. Г. Дацук // Теория и практика современной науки. — 2022. — № 2(80). — С. 80—83.
9. Дугин, Г. С. Влияние грозных явлений на безопасность полетов / Г. С. Дугин // Проблемы безопасности полетов. — 2020. — № 3. — С. 15—23.
10. Елисеев, А. А. Грозовая энергетика и грозные электростанции, перспективы развития / А. А. Елисеев // Приоритетные направления развития науки и образования : сборник статей XV Международной научно—практической конференции, Пенза, 12 ноября 2020 года. — Пенза: «Наука и Просвещение» (ИП Гуляев Г.Ю.), 2020. — С. 24—26.
11. Кереева, З. М. Технические средства контроля и регистрации грозных явлений / З. М. Кереева // Перспектива—2022 : Материалы международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, Нальчик, 22—30 апреля 2022 года. Том 4. — Нальчик: Кабардино—Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, 2022. — С. 251—254.
12. Кононов, И. И. Трековый метод отображения грозной активности / И. И. Кононов, И. Е. Юсупов // Доклады Всероссийской открытой конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы : доклады конференции, Нальчик, 08—10 сентября 2021 года. — Нальчик: Издательство «Принт Центр», 2021. — С. 334—340.
13. Наблюдения за грозной активностью и параметрами молниевых разрядов на территории юга европейской части России / А. Х. Аджиев, Н. В. Юрченко, Г. В. Куповых, Т. В. Кудринская // Распространение радиоволн : Труды XXVII Всероссийской открытой научной конференции, Калининград, 28 июня — 03 июля 2021 года. — Калининград: Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, 2021. — С. 828—832.
14. Направления совершенствования пассивных радиотехнических средств мониторинга грозной активности / И. И. Кононов, Е. А. Коровин, Г. Г. Щукин, И. Е. Юсупов // Метеорология и гидрология. — 2022. — № 12. — С. 108—115.
15. Регистрация спектральных характеристик верхней атмосферы над регионами с грозной активностью / А. С. Баден, А. А. Мукушев, Г. Сагатдинова, В. Ф. Грищенко // Современные техника и технологии в научных исследованиях : сборник материалов XIII Международной конференции молодых ученых и студентов, Бишкек, 28—30 апреля 2021 года. — Бишкек: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научная станция Российской академии наук в г. Бишкеке, 2021. — С. 33—37.
16. Системы обнаружения грозной активности. Р1. Электронный ресурс URL: <https://radiocom—review.blogspot.com/2014/06/1—3—avionics—systems.html>
17. Туев, Д. Д. Энергия за счет грозных электростанций / Д. Д. Туев // E—Scio. — 2023. — № 2(77). — С. 367—370.
18. Экспериментальная сеть датчиков мониторинга грозной активности / И. А. Готюр, Е. А. Коровин, С. В. Чернышев [и др.] // Труды Военно—космической академии имени А.Ф.Можайского. — 2022. — № S685. — С. 66—74.
19. Thunderstorm Detection. Электронный ресурс URL: <https://www.nssl.noaa.gov/education/svrwx101/thunderstorms/detection/>
20. Weather radar. Электронный ресурс URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Weather\\_radar](https://en.wikipedia.org/wiki/Weather_radar)