

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ
И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
(Росгидромет)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ВЫСОКОГОРНЫЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

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 2014г.

ЧАСТЬ 2

г. Нальчик
2015

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 2

Методы и технические средства активных воздействий на гидрометеорологические процессы. Активные воздействия на град и электрические явления в облаках. Реагенты для активных воздействий. Искусственное увеличение осадков. Рассеивание облаков и туманов.

Борисов Ю.А., Ганьшин Е.В., Горелик А. Г., Кадыгров Е. Н., Князев А.К., Миллер Е.А., Некрасов В.В, Точилкина Т.А, Троицкий А.В., Шапошников А.Н.

Многоканальный наземный СВЧ комплекс «Микроградком» - технические характеристики, результаты мониторинга термодинамических параметров тропосферы и фазовых переходов влаги в облаках.7

Абшаев А.М., Абшаев М.Т.

Метод калибровки МРЛ и ДМРЛ по радиоизлучению Солнца.15

Инюхин В.С., Атабиев М.Д.

Ослабление радиоволн в смешанных градовых осадках.24

Абшаев М.Т., Абшаев А.М., Гузоев Т.Х., Чочаев Х.Х.

Автоматизированная ракетная система противорадовой защиты «АСУ-ГРАД».....34

Абшаев М.Т., Абшаев А.М., Аджиев А.Х., Геккиева Ж.М.

Изменение грозовой активности облаков при активных воздействиях на град.....44

Таласханов В.О., Капитанников А.В., Чочаев Х.Х., Пометельников В.А., Бейтуганов М.Н., Вавилов П.Е., Сокол В.И., Шаповалов А.В., Атабиев М.Д., Колосов М.В., Атабиев З.М.

Аппаратно-программный комплекс управления АВ на грозоградовые процессы "Мерком".51

Бычков А.А., Корнеев В.П. Колосков Б.П., Частухин А.В., Петрунин А.М.

Перспективы использования беспилотных летательных аппаратов в работах по воздействию на облака и туманы.....58.

Абшаев М.Т., Абшаев А.М., Анаев М.А., Соловьев В.В.

Многоцелевой беспилотный авиационный комплекс мониторинга и предотвращения опасных явлений погоды.66

Абшаев А.М., Абшаев М.Т., Зорин В.А., Кратиров Д.В., Михеев Н.И., Энкин Э.А.

Малогобаритный противорадовый комплекс «АС-Элия».80

Петрунин А.М., Колосков Б.П., Бычков А.А, Частухин А.В.

Перспективы использования наземных аэрозольных генераторов в Северо-Кавказской военизированной службе.90

Калов Р.Х., Калов Х.М.

Активное воздействие на грозоградовые облака кристаллизующим реагентом.99

<i>Лозовой В. И., Акимова И.И.</i> Активные воздействия на градовые облака на территории Ставропольского края.	113
<i>Бейтуганов М.Н., Чочаев Х.Х.</i> Анализ проведения противоградовой защиты сельскохозяйственных культур с 2001 по 2013 год в Южном и Северо-Кавказском округах.	118
<i>Манташьян П.Н.</i> О технической возможности предотвращения возникновения тропического циклона.....	128
<i>Амиранашвили А.Г., Глонти Н.Я., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж. Д., Чихладзе В.А.</i> О восстановлении службы борьбы с градом в Кахетинском районе Грузии.....	132
<i>Кучкарова К.Х., Имамджанов Х.А.</i> Усовершенствование метода активных воздействий на градовые процессы с учетом места их зарождения и направления перемещения.....	140
<i>Андриевская В.Ю., Машуков Х.Х., Рагимов Р.А.</i> Технические пути решения задач по обеспечению безопасности полетов летательных аппаратов при грозах.	144
<i>Калов Р.Х.</i> Влияние электрических зарядов и полей на эффективность действия льдообразующих реагентов при активных воздействиях на грозоградовые облака.....	150
<i>Аджиев А.Х., Аджиева А.А., Князева З.М., Стасенко В.Н.</i> Расчет числа дней с грозой на ограниченной территории.	164
<i>Частухин А.В., Ким Н.С., Петрунин А.М., Баззаев Т.В., Хижняк А.Н.</i> Особенности применения порошкообразных реагентов для воздействия на облака и туманы.....	175
<i>Шилин А.Г., Савченко А.В., Иванов В.Н., Федоренко А.И., Шилин В.А.</i> Исследование процессов старения льдообразующих аэрозолей, содержащих йодистое серебро.	182
<i>Федоренко А.И., Савченко А.В., Шилин А.Г.</i> Исследование эффективности штатных пиротехнических средств в ситуациях, моделирующих длительное хранение.	189
<i>Сосникова Е.В., Данелян Б.Г., Воронин Е.Ф., Носач Л.В., Пахлов Е.М., Гунько В.М., Покровский В.А.</i> Наноразмерный кристаллизующий реагент AgI/SiO ₂ , исследование эффективности.....	195
<i>Таласханов В.О., Хучунаев Б.М., Хучунаев А.Б., Панаэтов В.П.</i> Предварительные результаты исследования льдообразующих свойств нанотрубок оксида цинка и AgJ.	201
<i>Бадахова Г.Х., Кравченко Н.А., Лашманов Ю.К., Несудимов Р.В.</i>	

К вопросу о возобновлении работ по искусственному увеличению осадков на Северном Кавказе.205

Мазуров Г.И., Акселевич В.И., Торгунаков Р.Е.
Возможность вызывания выпадения снега из искусственно созданных облаков.
.....213

Мазуров Г.И., Акселевич В.И., Белогуб В.П.
Теоретическая оценка возможности создания искусственных облаков в аэродинамическом спутном следе.....218

Филиппов С.Г.
Учет формирования возможных орографических осадков при организации и оценке индивидуальных опытов по увеличению осадков.....224

Жекамухов М.К., Калов Х.М., Калов Р.Х.
Рассеяние теплых туманов микровзрывами тепловых зарядов.230

Секция 3. Прогноз опасных гидрометеорологических явлений. Оценка эффективности активных воздействий. Экологические и климатологические аспекты опасных конвективных явлений погоды.

Переходцева Э.В.
Гидродинамико-статистический прогноз сильных и опасных летних осадков и ветра и вызываемых ими катастрофических явлений – смерчей, селей и оползней,- по территории Северного Кавказа.237

Кагермазов А.Х.
О методологии и методах исследования опасных явлений метеорологических процессов на основе «цифровой атмосферы».....247

Золотухина О.И., Петухова О.В., Громницкая А.А.
Характеристики опасных конвективных явлений погоды в районе космодрома «Восточный».257

Инюхин В.С., Кущев С.А., Лиев К.Б.
Распределение мест зарождения града в центральной части Северного Кавказа.
.....261

Инюхин В.С., Кущев С.А., Лиев К.Б.
Распределение мест выпадения града в центральной части Северного Кавказа..... 271

Барекова М.В., Инюхин В.С., Макитов В.С.
Комплексные исследования интенсивного градового процесса, развивавшегося над центральной частью Северного Кавказа 07.06.2012. Часть I. Термодинамические и аэросиноптические условия формирования и развития конвективной облачности.
.....277

Барекова М.В., Инюхин В.С., Макитов В.С.

Комплексные исследования интенсивного градового процесса, развивавшегося над центральной частью Северного Кавказа 07.06.2012. Часть II. Радиолокационная структура и динамика развития отдельных градовых ячеек.285

Данова Т.Е.

Тенденции изменчивости грозоградской активности в Причерноморском регионе... 297

Ершова Т.В.

Термодинамические характеристики атмосферы при грозах.....303

Кешева Л.А., Пшихачева И.Н., Таубекова З.А., Ташилова А.А.

Исследование изменения режима осадков и повторяемости их экстремальных значений на юге России.310

Кешева Л.А., Орсеева И.М., Ташилова А.А.

Анализ и прогноз изменений режима осадков в Центральной части Северного Кавказа.....319

Михайловский Ю.П.

Об оценке эффективности работ по активным воздействиям на электрическое состояние конвективных облаков.328

Клейменова А.В., Колосков Б.П., Аджиева А.А.

Оценка эффективности работ по ИУО с целью повышения урожайности сельскохозяйственных культур в Кабардино-Балкарии.334

Клейменова А.В., Корнеев В.П., Колосков В.П., Петрунин А.М., Бычков А.А., Частухин А.В.

Оценка эффективности работ по ИУО для пополнения водохранилищ в зимний период (на примере Чернореченского водохранилища, Крым).340

Данелян Б.Г., Красновская Л.И., Хижняк А.Н., Сергеев Б.Н., Банкова Н.Ю.

Оценка зависимости эффективности рассеяния тумана с использованием гигроскопических веществ от концентрации и размера вводимых частиц и микрофизических параметров тумана.350

Ушинцева В.Ф.

Оценка результативности сезона и многолетних проектов по модификации погоды... ..360

Реутова Т.В., Гущина Л.П., Воробьева Т.И., Жинжакова Л.З., Машуков Х.Х., Рогозина А.И., Отарова А.С.

Уровни загрязнения атмосферных осадков на территории градозащиты.370

Воробьева Т.И., Жинжакова Л.З., Чередник Е.А., Гущина Л.П., Реутова Т.В., Шондирова Д.Ю.

Исследование содержания макро- и микропримесей в водах реки Нальчик на территории активных воздействий.373

Аджиев А.Х., Амиранашвили А.Г., Чаргазия Х.З.

Влияние аэрозольного загрязнения атмосферы на эффективность противогородовых работ в Кахетии и на Северном Кавказе.387

<i>Мазуров Г.И., Акселевич В.И., Торгунаков Р.Е.</i> К вопросу об экологических аспектах активных воздействий на погоду.	395
<i>Курбаткин В. П.</i> Экологические аспекты активных воздействий на погоду в горных и предгорных зонах Турана.	402
<i>Овсепян С.Р.</i> Экологическая безопасность акустических противорадовых пушек.....	409
<i>Архестов Г.Х., Ташилова А.А., Темирхоева Х.М., Балкизов А.Х., Штымов А.А.</i> Результаты прогноза динамики агроклиматических ресурсов в предгорной зоне КБР.....	414
<i>Архестов Г.Х., Ташилова А.А., Темирхоева Х.М., Балкизов А.Х., Темботов Х.В.</i> Модель определения траектории развития регионального аграрного сектора с учетом изменений агроклиматических ресурсов.	422

МНОГОКАНАЛЬНЫЙ НАЗЕМНЫЙ СВЧ КОМПЛЕКС «МИКРОРАДКОМ» - ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРОПОСФЕРЫ И ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ВЛАГИ В ОБЛАКАХ

**Ю.А. Борисов, Е.В. Ганьшин, А.Г. Горелик, Е.Н. Кадыгров, А.К. Князев,
Е.А. Миллер, В.В. Некрасов, Т.А. Точилкина, А.В. Троицкий,
А.Н. Шапошников**

ФГБУ «Центральная аэрологическая обсерватория», г. Долгопрудный

Введение

В статье приводятся параметры разработанного в 2008-2013 г.г. в ФГБУ «Центральная аэрологическая обсерватория» совместно со специалистами ФГБНУ «НИРФИ» и НПО «АТТЕХ» наземного многоканального СВЧ радиометрического комплекса «Микрорадком», а также результаты синхронных измерений и методика обработки данных. Радиометрическая СВЧ аппаратура комплекса «Микрорадком» имеет совмещенное в пространстве поле обзора в диапазоне длин волн 13.5-5 мм. В состав комплекса вошли как ранее разработанные в ЦАО приборы (измеритель профилей температуры пограничного слоя атмосферы МТР-5 на основе сканирующего радиометра с частотой около 60 ГГц, в комплекте с автоматической метеостанцией WXT-520 финской компании Vaisala), так и вновь разработанные и изготовленные приборы: 6-ти канальный СВЧ радиометр с частотными каналами в диапазоне 53-57 ГГц и два модуляционных СВЧ радиометра прямого усиления с частотами 22.235 ГГц и 37.5 ГГц [2,3,5-7,9-11]. Представлены данные, полученные с помощью высокочувствительной и высокостабильной радиометрической аппаратуры, указывают на возможность путем одновременного измерения общего содержания водяного пара, жидкой воды и температурного режима оценить фазовый состав влаги в облаках. Подобные результаты измерений носят как прикладной (мониторинг термодинамических характеристик тропосферы), так и фундаментальный характер (исследование фазовых переходов влаги в облаках) [7].

Методика микроволновых измерений

Работа комплекса «Микрорадком» основана на приеме собственного теплового излучения атмосферы в диапазоне миллиметровых радиоволн (час-

тоты от 20 ГГц до 60 ГГц или длины волн от 15 мм до 5 мм соответственно) [7]. Возможность определения метеопараметров атмосферы радиометрическим методом основана на спектральных особенностях принятого излучения и на взаимной связи характеристик этого излучения (радиояркой температуры и коэффициента поглощения) с исследуемыми метеопараметрами [2,9]. Поскольку эти особенности связаны с поглощением радиоволн молекулами водяного пара (спектральная линия 22.235 ГГц) и молекулярного кислорода (спектральные линии вблизи 60 ГГц), то принимаемое собственное радиоизлучение атмосферы будет в существенной степени зависеть от концентрации упомянутых газов и их высотного распределения, а также от температурной стратификации атмосферы [2,9,10]. При наличии в атмосфере гидрообразований (облачности, дождя) радиоизлучение атмосферы существенно зависит от фазового состава, количества жидкой воды и температуры этих образований [3-5,9]. Это особенно важно в так называемом «окне прозрачности» (длина волны 8 мм или частота 37.5 ГГц), где вклад газовых компонентов водяного пара и молекулярного кислорода минимален [2]. Вышеуказанные обстоятельства определили рабочие частоты комплекса «Микро-радком» и состав входящих в него технических устройств [7].

Основные технические характеристики «Микрорадком»

Структурная схема измерительного СВЧ комплекса для измерения профилей температуры тропосферы и общего содержания водяного пара в столбе атмосферы («Микрорадком») изображена на рис.1. Весь измерительный комплекс монтируется на базе тонара (прицеп-фургон) [7]. При этом внутри тонара находятся СВЧ радиометры каналов измерения профилей температуры тропосферы, водозапаса облаков и влагозапаса атмосферы, а также аппаратный интерфейс, персональный компьютер, навигатор, блоки питания, система климат-контроля. Измерения производятся через окно, закрытое радиопрозрачным материалом с использованием металлического контррефлектора, расположенного под углом 45 градусов относительно стенки тонара. На крыше тонара расположены сканирующий радиометр канала измерения профилей температуры погранслоя (МТР-5), автоматическая метеостанция (WXT-520 Vaisala), контактный датчик температуры в метеозащите, видеокамеры наблюдения за облачностью (рис.2) [7]. Система климат-контроля обеспечивает комфортный режим (20-24 °С) внутри тонара как для оператора, так и трех СВЧ радиометров при изменении внешних температур в диапазоне от - 40°С до + 40°С.

Основные технические характеристики комплекса:

1.1 Измерение профилей температуры тропосферы:

- диапазон высот измерения профилей температуры тропосферы: 0-10 км (в безоблачной атмосфере), 0-4 км (при наличии облачности);
- темп выдачи данных - 600 с (300 с - по специальному запросу);
- шаг выдачи данных по высоте в выходном файле 1000м (500м - по специальному запросу);
- погрешность восстановления профилей температуры 0.5°C - 2.0°C;
- число частотных каналов - 6;
- диапазон частот - 53 - 57 ГГц;
- полоса пропускания частотных каналов - 250 МГц;
- приведенная чувствительность радиометрического приемника (при постоянной времени интегрирования 1 с) - 0.1 - 0.15 К.

1.2 Измерение общего содержания водяного пара в столбе атмосферы:

- диапазон измерения интегрального влагосодержания - 0.2 г/см² - 20 г/см²;
- темп выдачи данных - 100 с;

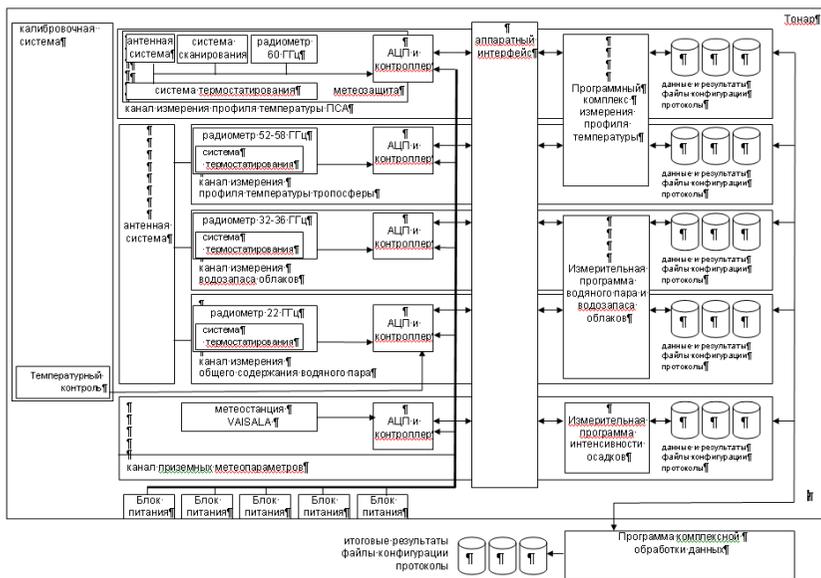


Рис. 1. Структурная схема радиометрического комплекса.

- погрешность измерения - 0.2 г/см²;
- центральная частота измерительного канала - 22.235 ГГц;
- полоса пропускания радиометра - 400 МГц;

- приведенная чувствительность радиометра (при времени интегрирования 1 с) - 0.07 К.

1.3 Измерение профилей температуры пограничного слоя атмосферы:

- диапазон высот: 0 – 1,6 км;
- темп выдачи данных - 600 с;
- шаг по высоте - 100 м;
- погрешность восстановления профилей температуры не более 1 °С;
- калибровка автоматическая.

1.4 Измерение интегральной влажности:

- интервал измерений 0 – 2 кг/м²;
- погрешность измерений 0,05 кг/м²;
- центральная частота измерительного канала 37.5 ГГц
- приведенная чувствительность радиометра 0.02 К.



Рис.2. Измерительный комплекс «Микродадком» в сборе.

Результаты мониторинга термодинамических параметров тропосферы

Измерения с помощью комплекса «Микродадком» производятся практически непрерывно с марта 2012 г. на территории Центральной аэрологической обсерватории (г. Долгопрудный Московской области). В непосредственной близости (100 м) находится аэрологическая станция «Долгопрудный», на которой дважды в сутки выполняются выпуски метеорологических радиозондов, что позволяет производить периодические сравнения данных дистанционных и контактных измерений [7]. В настоящее время в Российской Фе-

дерации отсутствует система мониторинга термодинамических характеристик тропосферы. Данные о профилях температуры тропосферы и общем содержании водяного пара поступают только с сети аэрологических станций, производящих выпуски одноразовых приборов (радиозондов) с контактными датчиками. При этом выпуски радиозондов производятся не чаще двух раз в сутки, что не удовлетворяет условиям проведения мониторинга [6,10]. Поэтому комплекс «Микрорадком» практически заполняет эту нишу, обеспечивая непрерывные измерения профилей температуры тропосферы (до высоты 10 км при безоблачной атмосфере и 3-4 км при наличии облачности) и общего содержания водяного пара в столбе атмосферы [7]. На рис.3 дан пример сравнений профилей температуры, полученных с помощью комплекса «Микрорадком» и радиозондом. Были проведены сравнения с более чем 100 выпусками радиозондов, среднеквадратические отклонения в данных профилей температуры составили не более 0.5°C для атмосферного пограничного слоя и 1.8°C - для более высоких слоев тропосферы.

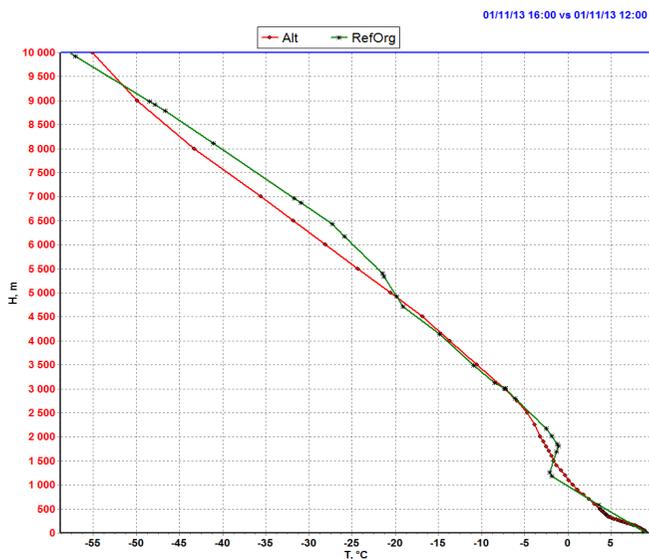


Рис.3. Сравнение профилей температуры, полученных по данным радиометра и радиозонда 2013/11/01.

Результаты измерений водозапаса и влагозапаса облаков

Облачный покров Земли играет ключевую роль в формировании всех синоптических и климатических процессов в атмосфере. Еще древнегреческие философы называли воду основным веществом жизни, обосновывая

свое мнение тем, что на Земле только она существует в твердом, жидком и парообразном состоянии. Исследования фазового состояния влаги в облаках являются важным разделом физики облаков, имеющим и прикладные аспекты в части развития методов активного воздействия на гидрометеорологические процессы [1,9]. При этом идентификацию кристаллического состояния влаги в облаках традиционно производят с помощью активных методов зондирования - метеорологических радиолокаторов [1], в то время как для исследования жидкой и парообразной влаги в облаках в основном применяют пассивную микроволновую радиометрию, результатам использования которой было в прошлом посвящено большое количество публикаций [2-5,9]. В отличие от предшествующей аппаратуры [3,5,9], СВЧ радиометры комплекса «Микрорадком» обладают на порядок более высокой чувствительностью и стабильностью, что позволяет исследовать водозапас оптически тонких облаков и даже дымки [7,8]. На рис.4 приведен пример сравнений данных об интегральном содержании водяного пара в столбе атмосферы, измеренных комплексом «Микрорадком» и радиозондом.

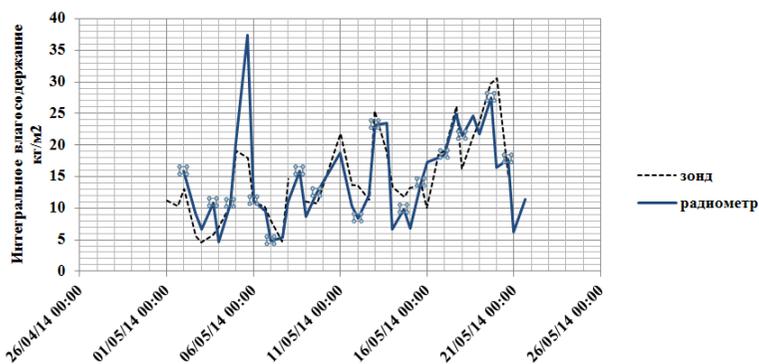


Рис.4. Сравнение данных об интегральном влагосодержании атмосферы, полученных с помощью радиозонда с результатами радиометрического комплекса (26.04.2014 - 26.05.2014 г.).

На рис.5 представлены результаты измерений водности облаков (г/см^2), на рис.6 – радиояркостных температур на канале 0,8 см. и 1,35 см.

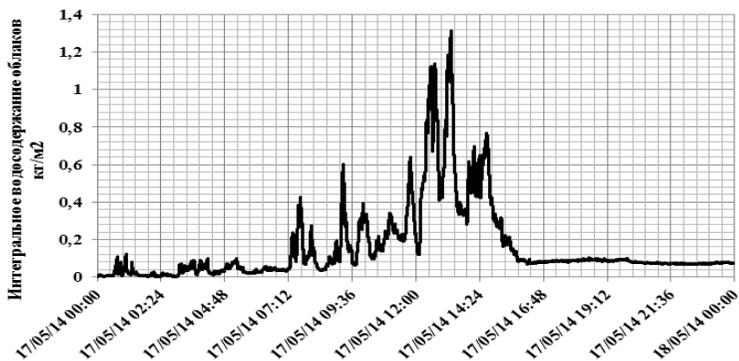


Рис.5. Изменение интегрального содержания жидкокапельной воды в столбе атмосферы единичной площади за 24 часа 17.05.2014 года (данные комплекса «Микро-радком»).

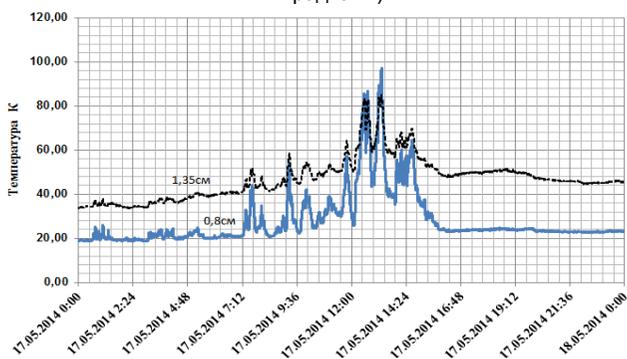


Рис.6. Характер изменения величины радиояркой температуры на каналах 0,8см. и 1,35 см. в течение 24 часов 17.05.2014 г.

Заключение

Созданный в ФГБУ «ЦАО» новейший радиометрический комплекс «Микро-радком», обладающий высокой чувствительностью и стабильностью входящих в его состав СВЧ радиометров, создает уникальные возможности для мониторинга термодинамического состояния тропосферы, а также для исследования облачности на разных стадиях ее развития. Каналы диапазона 5 мм позволяют измерять профили температуры тропосферы вплоть до высоты 10 км, каналы 13.5 мм и 8 мм позволяют оценивать фазовые переходы внутри облака (жидкой и парообразной влаги), что является важной информацией для оценок термодинамического состояния тропосферы и ее динамики. Оперативная информация о водозапасе облаков может быть

также востребована в задачах активного воздействия на гидрометеорологические процессы. Главным достоинством подобных комплексов по сравнению с радиозондированием являются непрерывность и мобильность измерений, возможность измерения водозапаса, а главным недостатком - более низкое вертикальное разрешение.

Список литературы

1. Абшаев М.Т. Радиолокационное обнаружение града//Изв. АН СССР, Физика атмосферы и океана. – 1982. - Т.18, № 5. - С.483-494.
2. Башаринов А.Е., Гурвич А.С., Егоров С.Т. Радиоизлучение Земли как планеты. - М.: Наука, 1974. - 188 с.
3. Башаринов А.Е., Кутуза Б.Г. Исследование радиоизлучения и поглощения облачной атмосферы в миллиметровом и сантиметровом диапазонах волн//Тр. ГГО. -1968. – Вып. 222. - С.100-110.
4. Горелик А.Г., Калашников В.В., Райкова Л.С., Фролов Ю.А. Радиотепловые измерения влажности атмосферы и интегральной водности облаков//Изв. АН СССР, Физика атмосферы и океана. – 1973. - №5. - С. 928-936.
5. Жевакин С.А. О радиотеплокационном определении интегральной влажности атмосферы и интегральной водности, температуры и высоты капельной фазы облаков//Изв. вузов. Радиофизика. – 1978. - Т. XXI, № 8. - С.1122-1131.
6. Кадыгров Е.Н., Кузнецова И.Н., Голицын Г.С. Остров тепла в пограничном слое атмосферы над большим городом: новые результаты на основе дистанционных данных//Доклады Академии Наук. – 2002. – Т. 385, № 4. - С.541-548.
7. Кадыгров Е.Н., Горелик А.Г., Миллер Е.А., Некрасов В.В., Троицкий А.В., Точилкина Т.А., Шапошников А.Н. Результаты мониторинга термодинамического состояния тропосферы многоканальным микроволновым радиометрическим комплексом//Оптика атмосферы и океана. – 2013. - Т. 26, № 6. - С.459-465.
8. Кадыгров Е.Н., А.Г.Горелик, Т.А. Точилкина. Результаты исследований водозапаса облаков радиометрическим комплексом «Микрорадиометр»//Оптика атмосферы и океана. – 2014. - Т. 27, № 6 (в печати).
9. Степаненко В.Д., Г.Г. Щукин, Л.П. Бобылёв, С.Ю. Матросов. Радиотеплолокация в метеорологии. - Л.: Гидрометеиздат, 1987. - С.283.
10. Троицкий А.В. Дистанционное определение температуры атмосферы из спектральных радиометрических измерений в линии λ 5 мм//Изв. ВУЗов. Радиофизика. - 1986. - Т. 29, № 8. - С. 878.

11. Kadygrov E.N., Pick D.R. The potential for temperature retrieval from an angular- scanning single-channel microwave radiometer and some comparisons with in situ observations//Meteorological Applications. – 1998. - V.5, Issue 4. - P. 393-404.

МЕТОД КАЛИБРОВКИ МРЛ И ДМРЛ ПО РАДИОИЗЛУЧЕНИЮ СОЛНЦА

А.М. Абшаев, М.Т. Абшаев

*ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», г. Нальчик,
<abshaev@yahoo.com>*

Одним из наиболее информативных параметров метеоцелей является их радиолокационная отражаемость, которая используется для обнаружения града, измерения размера и кинетической энергии града, интенсивности и количества осадков и распознавания явлений погоды. Измерение радиолокационной отражаемости требует знания постоянной (константы) МРЛ как измерительного прибора, которую часто называют его метеорологическим потенциалом. Определение константы МРЛ и ДМРЛ осуществляется процедурой их калибровки, выполняемой следующими методами.

1. Инструментальный метод

Зачастую константу МРЛ (C_λ , см³) рассчитывают по данным инструментальных измерений его параметров (табл.1) по формуле:

$$C_\lambda = \frac{P_\tau G^2 \lambda^2 c \tau \theta^2}{P_0 4^5 \pi^2 \ln 2 \cdot 10^{0,1\zeta}}, \text{ см}^3 \quad (1)$$

или $10 \lg C_\lambda = 10 \lg P_\tau - 10 \lg P_0 + 20 \lg G + 20 \lg \lambda + 10 \lg \tau + 20 \lg \theta - \zeta + 66,32$, dB (2)
где C_λ - константа МРЛ на длине волны λ , см³; P_τ - импульсная мощность передатчика, Вт; G - коэффициент усиления антенны; λ - длина волны, см; c – скорость света, см/с; τ - длительность импульса, с; θ - ширина диаграммы направленности излучения антенны на уровне половинной мощности, радиан; ζ - суммарные потери в волноводном тракте на прием и передачу, dB; P_0 - чувствительность приемника, Вт.

Таблица 1. Параметры МРЛ-5 при $\tau = 2$ мкс, $F = 250$ Гц при снятом малом зеркале антенны и замене ЛБВ на малошумящие СВЧ усилители.

Параметр	Значение параметра		Параметр	Значение параметра в дБ	
	канал 1	канал 2		канал 1	канал 2
λ , см	3,13	10,15	$20\lg\lambda$	9,91	20,13
P_{τ} , кВт	150	500	$10\lg P_{\tau}$	51,80	57,00
P_0 , Вт	$2,5 \cdot 10^{-14}$	$1,6 \cdot 10^{-14}$	$10\lg P_0$	-136,00	-139,00
τ , сек	$2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$10\lg \tau$	-57,00	-57,00
G , дБ	$1,1 \cdot 10^5$	$1,01 \cdot 10^4$	$20\lg G$	100,2	80
θ , градус	0,5	1,5	$20\lg \theta$	-41,13	-31,6
ζ , дБ	6,0	5,0	ζ	6,0	5,0
C_{λ} , см ³	$1,02 \cdot 10^{26}$	$8,0 \cdot 10^{26}$	$10\lg C_{\lambda}$	260,1	269,0

Если в приемниках МРЛ-5 используются штатные СВЧ усилители на ЛБВ, то константы обычно не более: $10\lg C_{10} \approx 267$ дБ; $10\lg C_{3,2} \approx 257$ дБ.

2. Метод стандартной мишени

Наиболее точное определение константы МРЛ достигается при его калибровке по внешней цели – *стандартной мишени*, отражательная способность которой известна, а мощность радиоэха зависит от технических характеристик передатчика, приемника и антенно-волноводной системы. Такая калибровка осуществляется путем измерения наклонной дальности и мощности радиоэха мишени, поднимаемой на удалении от 2 до 5 км от МРЛ до высоты от 0,5 до 1,0 км на шаре-пилоте, наполненном водородом или гелием [1].

В качестве стандартной мишени обычно используется полый алюминиевый шар радиусом $r = 15,25$ см, имеющийся в комплекте ЗИП МРЛ-5. Может использоваться также матерчатый надувной шар радиусом не менее 15,25 см, обклеенный алюминиевой фольгой. Расчет константы МРЛ по данным измерений радиоэха стандартной мишени осуществляется по формуле:

$$C_{\lambda i} = \frac{10^{0,1N} R^4 c \tau \theta^2}{3,54\sigma}, \text{ см}^3 \quad (3)$$

или $10\lg C_{\lambda i} = N + 40\lg R + 10\lg \tau + 20\lg \theta - 10\lg \sigma + 99,3$, дБ (4)
 где N – мощность радиоэха мишени, усредненная по множеству измерений, дБ; R – наклонная дальность мишени, см; $\sigma = \pi^2$ – поперечное сечение обратного рассеяния сферической мишени радиуса r , см².

В случае калибровки по мишени, отпущенной в свободный полет, осуществляются непрерывные измерения R и N в режиме сопровождения мишени до исчезновения ее радиозеха на уровне шумов. Строится кривая зависимости мощности радиозеха N от расстояния R , которая уменьшается пропорционально R^4 , и значение C_λ рассчитывается по формуле

$$10 \lg C_{10} = N + 40 \lg R - \text{const, dB} \quad (5)$$

где значение N может быть взято на расстоянии, например, $R = 10^6$ см и $\text{const} = 17,92$ (при $r = 15,25$ см, $\theta = 1,5^\circ$ и длительности импульса $\tau = 2$ мкс).

Этот метод калибровки охватывает все параметры приемопередающего тракта и антенной системы МРЛ и является наиболее точным. Однако, несмотря на его преимущества, он не всегда применяется из-за проблем организации такой калибровки с приобретением мишени, шарпилота, лебедки и средств связи.

3. Калибровка МРЛ по осадкам

Одной из важнейших задач МРЛ является измерение интенсивности и количества осадков, распознавание их видов и сопровождающих явлений погоды. Поэтому в качестве внешней цели для калибровки МРЛ могут служить атмосферные осадки.

Для калибровки МРЛ по осадкам в рамках программного обеспечения «АСУ-МРЛ» разработана программа автоматического сопоставления количества осадков, измеренных МРЛ, с количеством осадков, измеренных на сети метеостанций. Такие измерения следует проводить в радиусе не более 60 км, чтобы исключить влияние уширения и перелета луча, искажений вносимых линией таяния под уровнем изотермы 0°C , а также затуханием радиоволн в облаках, осадках и газах атмосферы. По данным этих измерений строится график (рис.1), на котором проводится линия тренда экспериментальных данных (сплошная линия) и линия биссектрисы (пунктир), обеспечивающей совпадение данных радиолокационных и наземных измерений. Поправка на константу МРЛ рассчитывается по отклонению линии тренда от линии совпадения данных об осадках по формуле:

$$\Delta(10 \lg C_\lambda) = \Delta Z = 16 (\lg Q_R - \lg Q_O), \quad (6)$$

где $\Delta(10 \lg C_\lambda)$ и ΔZ – величина поправки на значения константы МРЛ, необходимая для согласования количества осадков, полученных по радиолокационным и наземным измерениям, усредненным по достаточно большому количеству измерений в дождях разной интенсивности.

По данным рис.1 поправка на константу МРЛ будет равна $\approx 0,5$ dB. Достоинством калибровки МРЛ по реальным осадкам является высокая точность, а неудобством - длительность набора статистических данных.

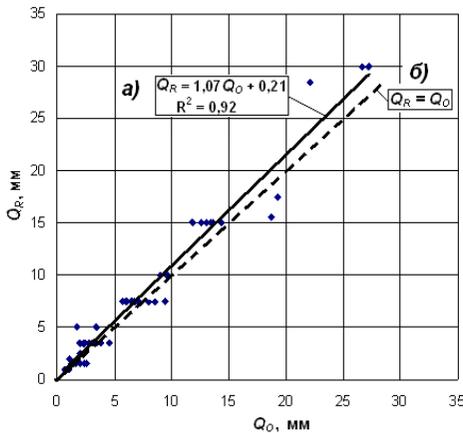


Рис.1. Количество осадков по данным «АСУ-МРЛ» Q_R и pluвиографа Q_O : а) сплошная линия – линия тренда радиолокационных данных; б) линия согласования радиолокационных данных с данными наземных осадкомеров.

4. Калибровка МРЛ по радиоизлучению Солнца

Для удобства практического применения предлагается новый метод калибровки МРЛ по радиотепловому излучению Солнца, которое является единой целью для МРЛ и ДМРЛ всех типов и на любой позиции. Поэтому калибровка МРЛ по радиоизлучению Солнца может обеспечить сравнимость данных сетей МРЛ и ДМРЛ.

Солнце является мощным источником излучения в широком диапазоне радиоволн. Полное радиотепловое излучение Солнца в сантиметровом диапазоне волн состоит из постоянной компоненты излучения диска спокойного Солнца F_{\oplus} и медленно меняющейся в зависимости от солнечной активности S-компоненты, связанной с излучением хромосферных пятен и факелов. Кроме того, отмечаются кратковременные вспышки (длительностью от миллисекунд до 1 часа), связанные с излучением электронов высокой энергии в солнечной короне, которые могут многократно превышать постоянную и S-компоненту радиоизлучения Солнца.

Поток радиоизлучения *спокойного Солнца* (F_{\oplus}) зависит от частоты. В сантиметровом диапазоне волн ($f > 6000$ МГц) излучение исходит в основном из хромосферы и значение F_{\oplus} приблизительно пропорционально f^2 , как у абсолютно чёрного тела с температурой от 6000 до 10000 °К. Плотность

потока радиоизлучения спокойного Солнца в этом диапазоне частот может быть представлена согласно [6] выражением:

$$F_{\oplus} = 2,79f^{1,748} \quad \text{при } 6000 < f < 400000 \text{ МГц}, \quad (7)$$

где F_{\oplus} измеряется в единицах $\text{sfu} = 10^{-22} \text{Вт}/(\text{м}^2 \text{Гц})$, а частота f в МГц.

Многолетние наблюдения показывают [5], что полное радиоизлучение Солнца на $\lambda = 10,7$ см варьирует в пределах $69 < F_{10,7} < 230 \text{ sfu}$ в зависимости от солнечной активности, имеющей 10-13 летний цикл, и имеет небольшие флуктуации, связанные с более кратковременными вариациями вращения Солнца с периодом приблизительно 30 дней. Плотность потока излучения Солнца зависит от числа солнечных пятен N_S . Согласно [6] зависимость $F_{10,7}$ от N_S может быть представлена выражением:

$$F_{10,7} = 67 + 0,572N_S + (0,0575N_S)^2 - (0,0209N_S)^3 \text{ sfu}. \quad (8)$$

Из рис.2 следует, что значение $F_{10,7}$ в течение многолетнего периода варьирует относительно среднего в пределах $\pm 2,5 \text{ dB}$. В течение более короткого периода (1–2 года) пределы вариации становятся еще меньше. Так из рис.3 следует, что значения $F_{10,7}$ в течение 2012–2013 гг. изменялись в пределах не более $\pm 1,0 \text{ dB}$, но высокое разрешение во времени обнаруживает кратковременные выбросы значений $F_{10,7}$, связанные со вспышками солнечной активности, когда нельзя проводить калибровку МРЛ.

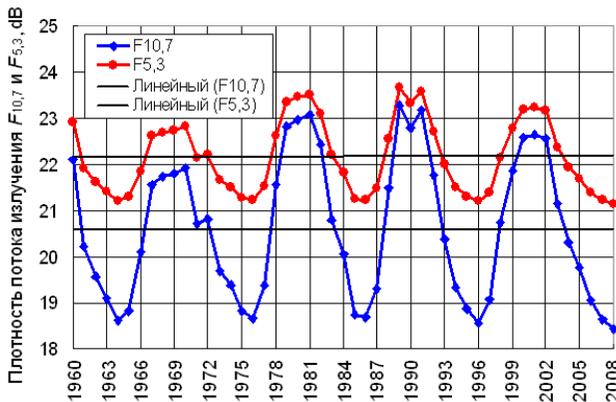


Рис.2. Временной ход значения $F_{10,7}$ и $F_{5,3}$ в dB за длинный период.

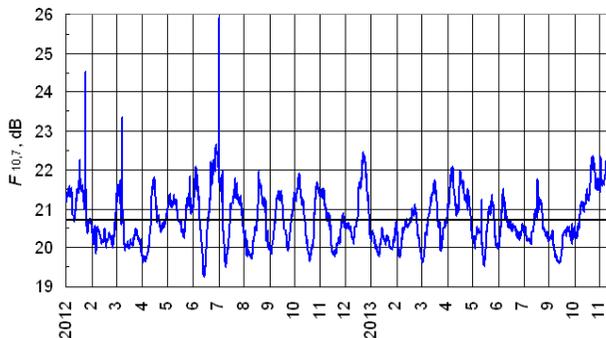


Рис.3. Временной ход значения $F_{10,7}$ в dB в 2012 – 2013 гг. Хорошо видны выбросы, связанные с кратковременными вспышками.

Ежедневный мониторинг потока солнечного радиоизлучения ведется на частоте 2800 МГц ($\lambda = 10,7$ см) с 1947 г. в Канаде Доминионской Радиоастрофизической обсерваторией, ежедневные данные которой можно получить на сайте ftp://ftp.geolab.nrcan.gc.ca/data/solar_flux/daily_flux_values/fluxtable.txt.

На других длинах волн согласно [7] поток излучения можно оценить по значениям $F_{10,7}$ по формуле:

$$F_f = (0,0002F_{10} - 0,01)(f - 2800) + F_{10}, \quad (9)$$

а на $\lambda = 5,3$ см значение $F_{5,3}$ для «ДМРЛ-С» можно рассчитать по более точной формуле:

$$F_{5,3} = 0,71(F_{10,7} - 64) + 126. \quad (10)$$

С уменьшением длины волны плотность потока радиоизлучения повышается, но сокращаются пределы его вариации в зависимости от солнечной активности [5] (см. табл. 1).

Таблица 1. Пределы вариации и средние значения потока излучения на разных длинах волн

Длина волны, λ , см	Тип МРЛ	Пределы вариации поток радиоизлучения солнца по многолетним данным		
		F , sfu	F , dB	\bar{F} , dB
3,12	МРЛ-5, 1-й канал	253 ÷ 377	24,0 ÷ 25,8	24,7
5,3	ДМРЛ-С	138 ÷ 290	21,1 ÷ 24,6	22,7
10,17	МРЛ-5, 2-й канал,	79 ÷ 257	19,0 ÷ 24,1	21,2
10,7	ТРЛК 12А6	69 ÷ 230	18,4 ÷ 23,6	20,6

При отсутствии облаков и осадков, сухом обтекатель антенны и углах визирования Солнца более 20 градусов потери на ослабление в газах атмосферы и обтекатель не превышают 0,1 dB и мощность радиоизлучения Солнца равна:

$$10 \lg P_C = 10 \lg P_0 + 10 \lg \frac{F_C}{P_{\text{ш}}} = 10 \lg P_0 + N_C \text{ dB или } P_C = 10^{P_0 + N_C} \text{ Вт.} \quad (11)$$

Константу МРЛ по данным таких измерений предлагается рассчитать по формуле:

$$10 \lg C_{\oplus} = 10 \lg C_{\oplus} + [N_C - (F_C - F_{C_{\oplus}})], \quad (12)$$

где $10 \lg C_{\oplus}$ – константа, соответствующая порогу обнаружения сигнала спокойного Солнца ($N_{C_{\oplus}} = 0$ dB при $F_C = F_{C_{\oplus}}$), принятая равной 267 dB; N_C – измеренное при калибровке превышение сигнала от Солнца над уровнем шумов приемного устройства $P_{\text{ш}}$, dB; F_C – плотность потока радиоизлучения Солнца в dB в день измерений; $F_{C_{\oplus}}$ – плотность потока излучения спокойного Солнца в С диапазоне, равная 18,26 dB.

В системе обработки радиолокационной информации «АСУ-МРЛ» предусмотрено:

- вычисление координат Солнца с помощью встроенной астрономической программы;
- автоматическое наведение антенны МРЛ на Солнце;
- расчет ошибок ориентирования и горизонтирования МРЛ;
- измерение мощности шумов приемного устройства $P_{\text{ш}}$ (dB), сигнала от Солнца P_C (dB) и его превышения над уровнем шумов $N_C = F_C - P_{\text{ш}}$ (dB).

Значение F_C для нужной длины волны рассчитывается по формуле (11) по значениям $F_{10,7}$, полученным на сайте Доминионской Радиоастрофизической обсерватории.

На рис.4 представлены результаты такой калибровки сети «ДМРЛ-С», установленных в различных позициях. Для обеспечения сравнимости данных измерений в *разные дни*, проведено нормирование значений F_C в дни измерений к его значению для спокойного Солнца ($F_C = 128,13$ sfu или 21,0765 dB). Из рис.4 следует, что среднее значение превышения сигнала от Солнца над уровнем собственных шумов приемных устройств «ДМРЛ-С» составляет около $N_C = 8,6 \pm 0,6$ dB, а константа «ДМРЛ-С», размещенных на разных позициях, равна $10 \lg C_M = 275,6 \pm 0,6$ dB.

Пример калибровки радиолокатора «МРЛ-5»:

На Ардонском «МРЛ-5» при юстировке на Солнце 04.09.2013 г. получено, что значение $N_{10,2} = 6,5$ dB. По данным DRAO в этот день $F_{10,7}$ составляло 109,3 sfu или 20,38 db. Подставив в формулу (12.42) экспериментальные

значения $N_C = 6,5$ dB и $F_C = 20,38$ dB, а также характерные для спокойного Солнца значения $F_{C\odot} = 18,26$ dB и $10lgC_{\odot} = 267$ dB получим, что константа Ардонского «МРЛ-5» равна:

$$10lgC_M = 267 + [6,5 - (20,38 - 18,26)] \approx 269,1 \text{ dB.}$$

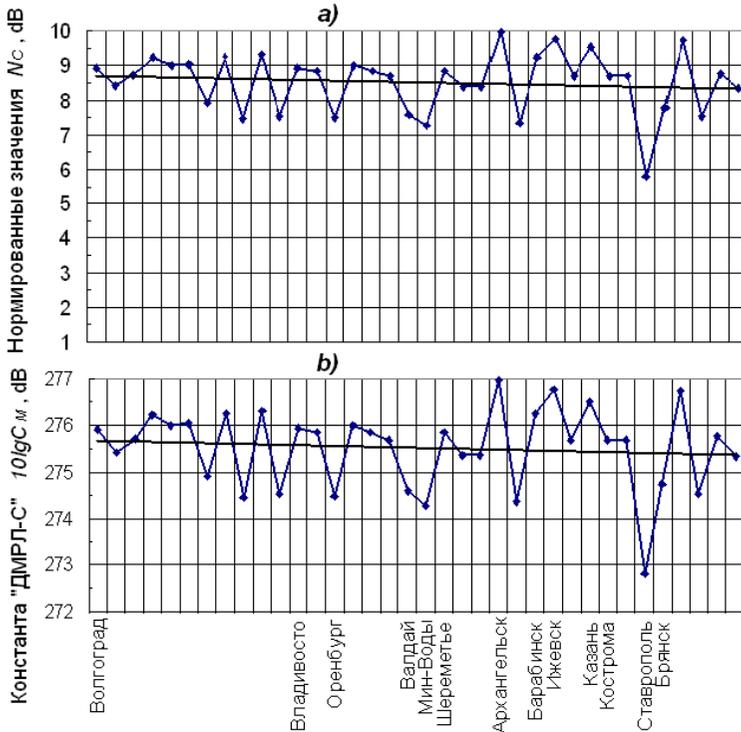


Рис. 4. Нормированные значения N_C (а) и значения констант на сети «ДМРЛ-С» Росгидромета (б) по данным калибровки по солнечному радиоизлучению.

Калибровку МРЛ (ДМРЛ) по Солнцу *нельзя проводить в период всплеска радиоизлучения*, которое для 10 см определяется по значению $N_C > 11$ dB. Рекомендуется переждать период таких всплесков, длительность которых редко превышает 1 час [6].

Калибровка МРЛ по Солнцу имеет неоспоримые преимущества:

1. Солнце – единая цель для МРЛ и ДМРЛ России и других стран, имеющая всегда известные координаты, одинаковый для всех позиций и известный сигнал;

2. Одновременно с калибровкой МРЛ можно осуществлять проверку его ориентирования и горизонтирования.

Поэтому калибровка всех МРЛ и ДМРЛ по предлагаемой методике может стать стандартной процедурой, обеспечивающей сравнимость показаний всех радиолокаторов на сети Росгидромета о количестве осадков, явлениях погоды и исключить нестыковки данных.

5. Метод контроля стабильности показаний МРЛ

В системе «АСУ-МРЛ» реализован метод его автокалибровки в каждом цикле обзора. Суть этого метода заключается в том, что автокалибровка осуществляется по внешним целям, в качестве которых используются несколько массивов местных предметов, имеющих наиболее мощное радиоэхо. В целях снижения влияния метеоцелей и рефракции радиоволн эти массивы местных предметов выбираются в разных секторах азимута на относительно небольших удалениях. После градуировки и калибровки «АСУ-МРЛ» записывается файл местников и автоматически измеряется эталонное значение средней мощности радиоэха совокупности всех массивов местников на малых углах возвышения ($\bar{P}_{ЭТ}$, dB). При проведении метеонаблюдений в каждом цикле обзора измеряется текущее значение (\bar{P}_i , dB). Оба эти значения вносятся в заголовок файла обзора, и отображается внизу панели файлов обзора: в скобках – эталонное значение $\bar{P}_{ЭТ}$, за скобками – текущее значение в каждом цикле обзора \bar{P}_i .

В случае расхождения эталонного $\bar{P}_{ЭТ}$ и текущего \bar{P}_i значений средней мощности радиоэха совокупности местников в программном обеспечении «АСУ-МРЛ» предусмотрен автоматический ввод поправок на изменение потенциала МРЛ в каждом цикле обзора на каждой длине волны. При расхождении более чем на 5 dB значение \bar{P}_i отображается красным цветом, что указывает на неисправность МРЛ.

Список литературы

1. Абшаев М.Т., Бурцев И.И., Ваксенбург С.И., Шевела Г.Ф. Руководство по применению радиолокаторов МРЛ-4, МРЛ-5 и МРЛ-6 в системе градуоцифры. – Л.: – Гидрометеиздат, 1980. – 231 с.

2. Абшаев М.Т., Вовшин Б.М., Вылегжанин И.С., Ефремов В.С., Жуков В.Ю., Мельничук Ю.В. Стасенко В.Н., Шаповалов А.В., Щукин Г.Г. Когерентный метеорологический радиолокатор с поляризационной селекцией сигнала

ла для оснащения сети Росгидромета//Труды XXVII Всерос. симпози. «Радиолокационные иссл. природных сред». – СПб., 2011. – 226-242.

3. Абшаев М.Т., Абшаев А.М. Возможности и ограничения радиолокационных метеорологических измерений//Труды II Всерос. научной конф. «Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природ. среды». Том. I. – СПб., 2012. – С. 276-288.

4. Абшаев М.Т., Абшаев А.М., Котелевич А.Ф., Сирота Н.В. Автоматизированная система обработки радиолокационной информации для целей штормооповещения и активного воздействия на облачные процессы//Сборник трудов XXVII Всерос. симпози. «Радиолокационное исследование природных сред». – СПб. 2011. – С. 211-225.

5. Hachenberg, O.: in Landolt-Bornstein, New Series, Vol. VI/2a, Astronomy and Astrophysics (K. Schaifers, H. H. Voigt, eds.). – Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1981. – P. 287.

6. Tapping, K.F., Boteler, D., Charbonneau, P., Crouch, A., Manson, A., Paquette, H. – Solar Physic. – No 246, 2007. – 309 p.

7. Tapping, K.F., Zwaan, C.: Solar Phys. 199 (2001) 317.

8. Kevin M. Calibration of the Doppler on Wheels System Gain using Solar Flux. 2002.

ОСЛАБЛЕНИЕ РАДИОВОЛН В СМЕШАННЫХ ГРАДОВЫХ ОСАДКАХ

В.С. Инюхин, М.Д. Атабиев

*ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», г. Нальчик,
inuhin51@mail.ru*

Самым сложным вопросом при радиолокационных исследованиях микрофизики града остается вопрос корректного учета ослабления электромагнитных волн в облаках и осадках. Известно, что при двухволновых исследованиях в большей степени ослабляется сигнал на более короткой длине волны.

Для учета такого ослабления часто используется связь коэффициента ослабления $k_{3,2}$ с отражаемостью η_{10} , которая может быть записана в виде:

$$k_{3,2} = A \cdot \eta_{10}^{\alpha}, \quad (1)$$

где A и α некоторые коэффициенты. На рис.1 приведен расчетный график, выражающий искомую зависимость вида (1). График на рисунке получен для града в предположении, что концентрация градин в зондируемом объеме равна 1 м^{-3} , а толщина пленки воды на всех градинах равна $0,05 \text{ см}$.

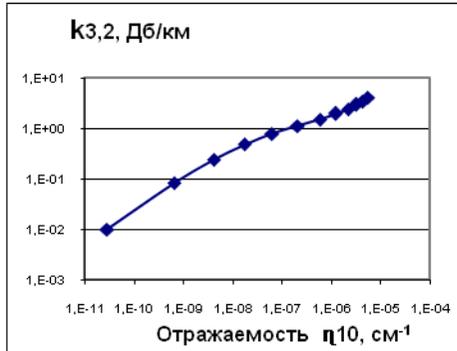


Рис.1. График зависимости коэффициента ослабления $k_{3,2}$ от отражаемости η_{10} , рассчитанный для града с толщиной пленки воды $h=0.05 \text{ см}$ и $N=1 \text{ м}^{-3}$.

Коэффициенты в соотношении (1) можно получить из эксперимента. Так в работе [1] анализируются указанные коэффициенты, полученные для различных сред: град, дождь и смесь дождь-град. В ней показано, что A может изменяться в широких пределах, а коэффициент α варьирует в пределах $0,6-0,85$ в дожде, в пределах $0,5-0,7$ в граде и в пределах $0,5 - 0,85$ в смеси дождя с градом. Наиболее типичное значение коэффициента α , при этом равно $0,63$. В экспериментальной работе [7] было получено значение $\alpha = 0,65$, что хорошо согласуется с данными [1].

Учет ослабления в дожде

В основу расчета радиолокационных характеристик капель дождя положены результаты решения задач дифракции электромагнитных волн на сфере. Для удельного поперечника обратного радиолокационного рассеяния, характеризующего количество энергии рассеиваемой сферой в направлении на радиолокационную станцию, имеем:

$$\sigma_0 = \frac{1}{\alpha^2} \left| \sum_{n=1}^{\infty} (2n+1)(-1)^n (a_n - b_n) \right|^2. \quad (2)$$

Для удельного поперечника ослабления, характеризующего сумму поглощающей и рассеивающей энергии, имеем

$$\sigma_1 = \frac{2}{\alpha^2} \sum_{n=1}^{\infty} (2n+1) (-\operatorname{Re})(a_n + b_n). \quad (3)$$

В этих выражениях $\alpha = \frac{\pi d}{\lambda}$; d – диаметр сферической капли; λ – длина

волны, a_n и b_n – коэффициенты, выражающиеся через функции Бесселя и Ханкеля аргумента α и m , где m – комплексная диэлектрическая проницаемость воды.

Отражающая поверхность единицы объема осадков при однородном пространственном распределении капель может быть найдена из соотношения

$$\eta = \int_{d_{\min}}^{d_{\max}} n(d) \sigma'_o(d, \lambda) dd, \quad (4)$$

где $\sigma'_o = \frac{\pi}{4} d^2 \sigma_o$ – поперечник обратного радиолокационного рассеяния,

имеющий размерность см^2 . Границы интегрирования в (4) имеют конкретные значения, в частности всегда $d_{\max} < 7,3$ мм. Выбор оптимальных значений d_{\min} и d_{\max} и оценка погрешностей расчета η для различных $n(d)$ и λ должны проводиться для каждого конкретного случая.

Для распределения дождевых капель по размерам, имеющего экспоненциальную форму с отрицательным показателем, именуемое распределением Маршалла-Пальмера можно записать:

$$N(d) = N_0 \exp(-\Lambda d). \quad (5)$$

Коэффициент Λ в (5) зависит от интенсивности дождя $\Lambda = 41 \cdot I^{-0,21}$, где Λ в см^{-1} , а I – в миллиметрах в час. Константа N_0 равна $0,08 \text{ см}^{-4}$.

Известно, что для области Релея отражаемость дождя пропорциональна d^6 . Для каждой длины волны можно определить те размеры частиц, которые еще будут лежать в области Релея. Для $\lambda = 10$ см $d \leq 0,40$ см (это практически весь спектр дождевых капель), а для $\lambda = 3,2$ см $d < 0,13$ см (при $I = 100$ мм/ч это 87% капель для распределения Маршалла-Пальмера и более 99,5% при $I = 1$ мм/ч) [6].

Ослабление радиолокационного сигнала в дождях обусловлено поглощением и общим рассеянием

$$k = 0,4343 \int_{d_{\min}}^{d_{\max}} n(d) \sigma_2'(d, \lambda) dd \cdot \quad (6)$$

Расчеты показывают, что характеристики радиолокационного сигнала в дожде в значительной степени зависят от интенсивности дождя и длины волны излучения. Для длины волны $\lambda = 10$ см ослабление растет практически линейно с ростом интенсивности дождя от 0,0035 дБ/км при $I = 5$ мм/ч до 0,712 дБ/км при $I = 100$ мм/ч. Для длины волны $\lambda = 3,2$ см рост ослабления носит более сложный характер. На рис.2. показано, как изменяется отношение $k_{3,2} / k_{10}$ при изменении интенсивности дождя.

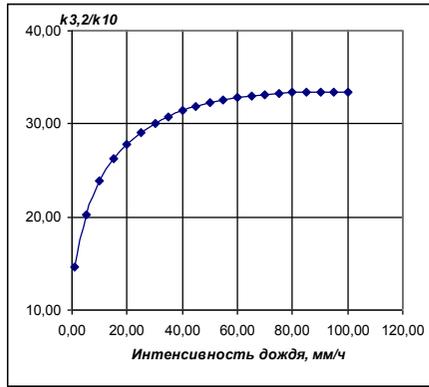


Рис.2. Закономерность изменения отношения $k_{3,2} / k_{10}$ с ростом интенсивности дождя.

Анализ рис.2 показывает, что радиолокационный сигнал на $\lambda = 3,2$ см ослабляется в десятки раз более интенсивно, чем на $\lambda = 10$ см. Кривую на рис.2 можно аппроксимировать формулой вида:

$$k_{3,2} / k_{10} = 4,37 \ln(I) + 14,53 \quad (7)$$

Для области Релея коэффициент ослабления можно записать в виде:

$$k = 0,4343 \frac{\pi^2}{\lambda} \operatorname{Im} \left(-\frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right) \int_{d_{\min}}^{d_{\max}} n(d) d^3 dd \cdot$$

В диапазоне $\lambda < 10$ см $\operatorname{Im} \left(-\frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right) = \frac{f(t)}{\lambda}$, $f(t)$ – некоторая функция

температуры, $f(t) = 1$ при $t = 18^\circ \text{C}$.

Для дождя связь коэффициента ослабления $k_{3,2}$ с отражаемостью η_{10} хорошо описывается степенной функцией и имеет вид:

$$k_{3,2} = 4.0 \cdot 10^7 \eta_{10}^{0,88} . \quad (8)$$

Формула (8) получена для температуры капель $t = 20^\circ \text{C}$, что характерно для летних дождей. В смешанных осадках (дождь с градом) более вероятна температура капель близкая к нулю. Для $t = 0^\circ \text{C}$ имеем:

$$k_{3,2} = 1.0 \cdot 10^7 \eta_{10}^{0,83} . \quad (9)$$

Таким образом, при проведении коррекции на ослабление радиолокационного сигнала в дожде необходимо учитывать температуру капель.

В более общем случае капли могут быть описаны с помощью гамма-распределения:

$$n(d) = \frac{N b^{\mu+1}}{\Gamma(\mu+1)} \frac{d^\mu}{\bar{d}^{\mu+1}} \exp\left[-b \frac{d}{\bar{d}}\right], \quad (10)$$

где $b = (\mu + 1)$; \bar{d} – средний диаметр капель; μ – параметр т.н. формы кривой распределения, который варьирует в широких пределах. Как видно из (10), отражаемость зависит от трех параметров: \bar{d} , N и μ .

Расчеты показывают, что если капли дождя описываются гамма-распределением, то зависимость коэффициента ослабления $k_{3,2}$ от отражаемости η_{10} имеет вид:

$$k_{3,2} = A(N) \cdot \eta_{10}^{0,8}, \quad (11)$$

где $A(N) = 2,0 \cdot 10^6 N^{0,2}$.

Для трехпараметрического гамма-распределения интегральная характеристика дождя – коэффициент ослабления $k_{3,2}$ также зависит от трех параметров: отражаемости η_{10} , концентрации N и μ . Как показывают расчеты параметр μ мало влияет на радиолокационные характеристики дождя (рис.3).

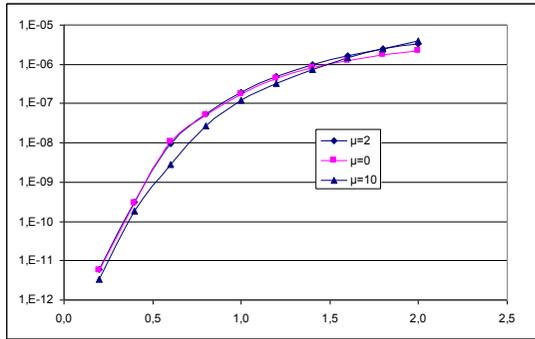


Рис.3. Зависимость радиолокационной отражаемости капель дождя от коэффициента μ для гамма-распределения.

Распределение Маршалла-Пальмера (5) дает абсолютное число частиц данного размера в единице объема. Можно показать, просуммировав по частицам всех размеров, что их число в единице объема, т.е. концентрация капель дождя, не остается постоянной, а зависит от интенсивности дождя

$$N = 1,95 \cdot 10^3 \cdot I^{0,21}. \quad (12)$$

Считая, что закон (11) носит универсальный характер, подставим (11) в (10) и получим для гамма-распределения:

$$k_{3,2} = A(I)\eta_{10}^{0,8}, \text{ где } A(I) = 9,1 \cdot 10^6 I^{0,42}. \quad (13)$$

Таким образом:

1. Для дождей различной дисперсности определение связи коэффициента ослабления $k_{3,2}$ с отражаемостью η_{10} должно проводиться по различным формулам.
2. Для трехпараметрического гамма-распределения интегральная характеристика дождя – коэффициент ослабления $k_{3,2}$ можно однозначно определить, зная отражаемость на длине волны 10 см – η_{10} и концентрацию капель N . Что касается третьего параметра – μ , то его влиянием можно пренебречь.

Учет ослабления в граде

Для исследования зависимости (1) нами были выполнено численное моделирование радиолокационных характеристик града по дифракционным формулам Ми. При этом расчеты проводились для градин, размеры которых

описывались гамма-распределением. Среднекубический диаметр градин варьировался в пределах $d_3 = 0,6 \div 2,4$ см, концентрация - в пределах $N = 0.1 \div 10$ м⁻³. Расчеты проводились для трех различных толщин пленки воды на градинах $h_{пл} = 0,01; 0,05$ и $0,10$ см. В результате проведенных исследований было получено следующее: величина коэффициента ослабления ансамбля обводненных градовых частиц $k_{3,2}$ зависит не только от отражаемости η_{10} , но и от других параметров града, в частности, от толщины пленки воды на граде и концентрации самих градин. При этом полученный закон изменения коэффициента ослабления $k_{3,2}$ будет иметь вид (1), а коэффициенты A и α значения, представленные в таблице.

Таблица. Коэффициенты A и α в формуле (1), полученные при численном моделировании радиолокационных характеристик обводненного града при вариации параметров h и N .

$h_{пл}, \text{ см}$	A	α
0,10	$0,35 \cdot 10^3 \cdot N^{0,61}$	0,39
0,05	$1,06 \cdot 10^3 \cdot N^{0,55}$	0,45
0,01	$6,57 \cdot 10^4 \cdot N^{0,34}$	0,66

Таким образом, в результате модельных исследований были определены пределы изменений коэффициентов A и α в соотношении (1) в зависимости от выбора толщины пленки воды на градинах.

Необходимо отметить, что при радиолокационных измерениях микроструктуры града, заранее неизвестно какая толщина пленки воды находится на ее поверхности. Кроме того, трудно предположить, что все градины в спектре покрыты одинаковой пленкой воды. В работе [3] было показано, что величина пленки на градинах зависит от радиуса последней. Там была получена формула, определяющая толщину пленки воды на градине радиусом R :

$$h = 3,0 \cdot 10^{-2} \cdot R^{-0,5}, \text{ см.} \quad (14)$$

Теоретические результаты, полученные в [3] хорошо согласуются с экспериментами [8-9].

Моделирование радиолокационных характеристик града с переменной пленкой (14) дало следующий результат:

$$k_{3,2} = A(N)\eta_{10}^{0,47},$$

где $A(N) = 2,49 \cdot 10^3 N^{0,53}$. (15)

В работе [5] примерно для тех же температурных условий в результате численного моделирования процесса таяния града была получена формула для толщины пленки воды, имеющая вид:

$$h = 1,5 \cdot 10^{-2} \cdot R^{-0,68} \quad (16)$$

Полученные в работе [5] результаты учитывали не только таяние градин различного размера, но и срыв талой воды, и формирование спектра капель. Процесс моделирования основывался на экспериментальных исследованиях генерации капель осадков тающими градинами.

В результате расчета радиолокационных характеристик града с пленкой (16) нами была получена зависимость $k_{3,2}$ от отражаемости η_{10} в виде:

$$k_{3,2} = A(N)\eta_{10}^{0,56},$$

где $A(N) = 1,3 \cdot 10^4 N^{0,45}$. (17)

Сравнивая полученные результаты с данными экспериментов, приведенных в [1] и [7], можно сделать вывод, что в этих экспериментах толщина пленки воды была близка к 0,01 см (судя по коэффициенту α).

Учет ослабления в смешанных осадках

В результате выпадения града в теплой части атмосферы часть льда превращается в воду, выпадающую в виде дождя. Важное значение для практики имеют количественные оценки параметров дождя, сопровождающего град, а также соотношение между ледяной и дождевой составляющей в осадках. Можно найти так называемый «коэффициент таяния», связывающий ледность выпадающего града и водность жидких осадков, образованных при его таянии:

$$K = \frac{W_{zp}}{W_{m.e}} = \frac{1/6 \pi \rho_{zp} \bar{d}_3^3 N}{\int_{d_{\min}}^{d_{\max}} m_g(d) n(d) dd}, \quad (18)$$

где W_{zp} – ледность выпадающего града; $W_{m.e}$ – водность талой воды; \bar{d}_3 – среднекубический размер града; ρ_{zp} – интегральная плотность градины;

$m_{m.g}$ – масса талой воды, срывающаяся с градины размером d ; $n(d)$ – функция распределения градин по размерам.

На основании исследований, проведенных в [4], было получено соотношение между параметрами талой воды и параметрами выпадающего града. В частности, в ней была найдена зависимость, связывающая коэффициент таяния K с размером выпадающего града. Кроме того, была получена зависимость интенсивности дождя, вызванного таянием града, от его среднекубического размера (рис.4). Кривая на рис.4 хорошо описывается степенной зависимостью вида:

$$I = 5,24 \cdot \bar{d}_3^{2,85}. \quad (19)$$

Расчет радиолокационных характеристик градовых осадков проводился при следующих предположениях:

- град выпадает вместе с дождем, вызванным его таянием;
- связь интенсивности дождя с размером града определяется формулой (19);
- град имеет гамма-распределение;
- дождь имеет распределение Маршалла-Пальмера;
- капли имеют температуру 0°C .

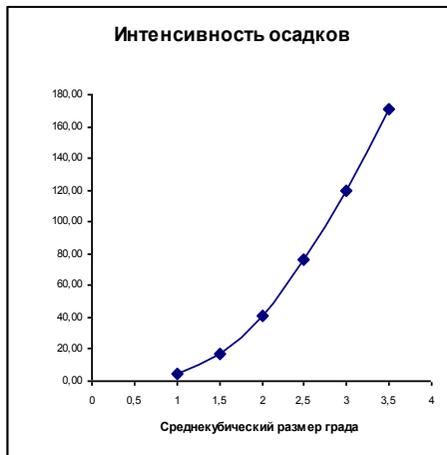


Рис.4. Зависимость интенсивности осадков от среднекубического размера града \bar{d}_3 .

При этих предположениях в смешанных градовых осадках связь коэффициента ослабления $k_{3,2}$ с отражаемостью η_{10} имеет вид:

$$k_{3,2} = 3,35 \cdot 10^4 \eta_{10}^{0,61} \quad (20)$$

На рис.5 представлены графики зависимости коэффициента ослабления $k_{3,2}$ от отражаемости η_{10} для града (формула (17)) и града с дождем (формула (20)).

Результаты, приведенные выше, получены для концентрации града $N = 1 \text{ м}^{-3}$. Анализ числовых коэффициентов в формуле (20) при вариациях N показывает, что они оба зависят от N . С ростом концентрации града в смешанных осадках величина коэффициента ослабления все в меньшей степени будет зависеть от дождевой составляющей.

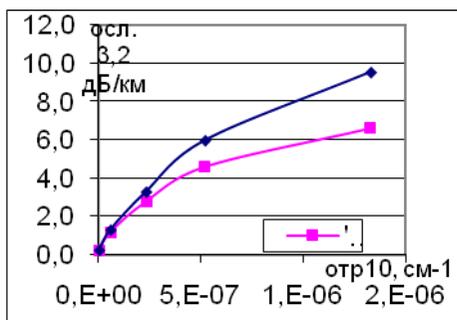


Рис.5. Графики зависимости коэффициента ослабления $k_{3,2}$ от отражаемости η_{10} для града и града с дождем.

При $N = 10 \text{ м}^{-3}$ формула (20) перейдет в формулу (17). При $N \leq 1 \text{ м}^{-3}$

$$A(N) = 3,35 \cdot 10^4 N^{-0,79} \quad (21)$$

Коэффициент $\alpha(N)$ при всех N хорошо описывается соотношением:

$$\alpha(N) = 0,61 \cdot N^{-0,5} \quad (22)$$

Из формулы (22) при $N=0,55$ получим $\alpha = 0,63$, что соответствует данным [1], при $N=0,4$ получим $\alpha = 0,65$, что соответствует данным [3].

Список литературы

1. Атабиев М.Д. Двухволновый метод коррекции на ослабление радиоволн в метеообъектах//Тр. ВГИ. - 1985. - Вып. 61. – С83-92.
2. Будак И. В., Дьячук В. А., Рудько Ю. С. О генерации капель осадков тающими градинами//Тр. УкрНИИ. 1985. № 206. С. 20-28.

3. Закинян Р.Г. Срыв капель с поверхности градины//Доклады Всероссийской конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы. С-Пб.: Гидрометеоиздат, 2005. – С.228-233.
4. Инюхин В.С. Радиолокационная модель градового облака//Радиолокационная метеорология и активные воздействия: (сборник статей). – С-Пб.: ГГО, 2012.- С. 145-162.
5. Инюхин В.С., Макитов В.С., Жекамихов Х.М. Трансформация радиолокационных характеристик спектра тающего града//Тр. ВГИ. – 1989.– Вып. 72. – С.42-52.
6. Инюхин В.С. Радиолокационные характеристики дождя//Тр. ВГИ. 2013. Вып. 98. – С.
7. Хайкин М.Н. Некоторые результаты измерения относительного ослабления радиоволн в осадках//Труды V Всесоюзного совещания по радиометеорологии. М.: Гидрометеоиздат. -1981. - С.54-57.
8. Хоргуани В.Г. Микрофизика зарождения и роста града. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984.–188с.
9. Эмба Я.А., Хоргуани В.Г., Тлисов М.И.Некоторые вопросы термодинамики града//Тр. ВГИ.– 1973.–Вып.24.– С.3–15.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ РАКЕТНАЯ СИСТЕМА ПРОТИВОГРАДОВОЙ ЗАЩИТЫ «АСУ-ГРАД»

М.Т. Абшаев¹, А.М. Абшаев¹, Т.Х. Гузоев¹, Х.Х. Чочаев²

¹*ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», г. Нальчик*

²*ФГБУ «Северо-Кавказская военизированная служба
по активному воздействию на метеорологические и другие геофизические
процессы», г. Нальчик*

Современная российская автоматизированная ракетная технология противорадовой защиты (ПГЗ) предусматривает распознавание градовых и градоопасных облаков, получение их пространственной структуры, выделение места засева и выработку команд на засев с помощью радиолокационной системы «АСУ-МРЛ». Команды на засев передаются с помощью УКВ радиостанций на ракетные пункты (РП), имеющие по 1–2 ракетных пусковых установки (ПУ). Голосовая передача команд и ручное управление применяемых ПУ требует содержания на каждом РП 4 человек (по 2 в смену),

строительства жилых и рабочих помещений, склада противорадовых изделений (ПГИ), линий электроснабжения и т.д. Содержание персонала и инфраструктуры РП ощутимо повышает себестоимость ПГЗ. Ручной режим передачи и исполнения команд не обеспечивает требуемый по технологии темп засева мощных градовых облаков.

В целях устранения этих проблем предлагается программно-технический комплекс (ПТК) «АСУ-Град», предназначенный для дальнейшей автоматизации противорадовых операций и реализации малолюдной технологии ПГЗ. Действующий образец ПТК «АСУ-Град» создан в 2012 г. на базе Западной военизированной части Северо-Кавказской ВС.

1. Состав ПТК «АСУ-Град» (рис.1):

– ПТК «АСУ-МРЛ», который выполняет функции ПТК «верхнего уровня» по управлению противорадовыми операциями, включая обнаружение и распознавание градовых и градоопасных облаков, принятие решения о проведении активного воздействия (АВ), выработку команд на ракетный засев, контроль и документирование результатов АВ.

– ПТК «АСУ-Элия», который управляет сетью удаленных ПУ и выполняет функции ПТК «среднего уровня» по реализации обмена информацией между нижним и верхним уровнями системы, включая прием их команд «АСУ-МРЛ», установление связи и передачу команд на РП, контроль их исполнения и ввод сообщений в ПТК «верхнего уровня».

– Сеть автоматизированных ПУ «Элия-2» выполняет функции ПТК «нижнего уровня» по ракетному засеву ОБ по командам, поступающим из систем управления верхнего уровня.

– Система связи и обмена информацией между ПТК «АСУ-Град», «АСУ-Элия», «АСУ-МРЛ» и сетью ударенных ракетных ПУ.

2. Размещение составных частей:

– ПТК «АСУ-МРЛ» встроены в Куба-Табинский радиолокатор «МРЛ-5». Управление режимами его работы и передача информации на сервер «АСУ-МРЛ» осуществляется по УКВ радиомосту, имеющему скорость передачи информации порядка 78 Мбит/с.

– Серверы ПТК «АСУ-МРЛ» и «АСУ-Элия» размещены в Ситуационном Центре Северо-Кавказской ВС в г. Нальчике.

– Сеть из 27 ПУ «Элия-2» разбросана по территории Кабардино-Балкарии на удалении до 80 км от МРЛ-5.

– Система связи включает три базовых радиомодема, установленных на мачтах высотой 30 м, и 24 радиомодема, встроенных непосредственно в ПУ «Элия-2».

Координаты МРЛ и ПУ (долгота, широта, высота над уровнем моря) определены с помощью GPS с точностью до 0,001 мин и введены в компьютеры «АСУ-МРЛ» и «АСУ-Элия». В «АСУ-МРЛ» введены также траекторные характеристики применяемых типов ПГИ. На ракетном пункте размещены по 1 ПУ «Элия-2». Каждой ПУ присвоен свой идентификационный номер.

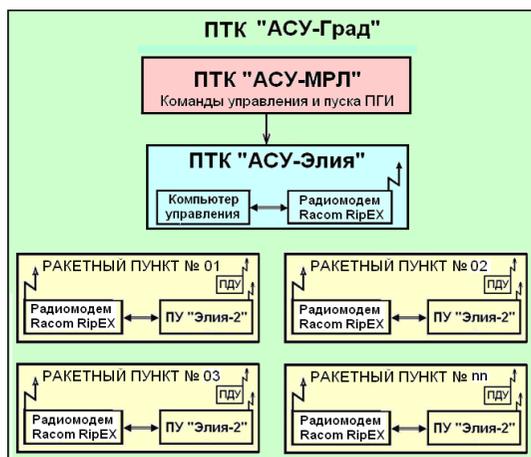


Рис.1. Блок-схема программно-технического комплекса «АСУ-Град».

3. Система связи и управления: Апробированы варианты системы связи и управления с применением спутниковой, сотовой и радиосвязи.

Применение спутниковой системы «VSAT DirecWay» показало, что она вполне соответствует требованиям по скорости передачи информации для любой позиции ракетного пункта, но в случае экранировки спутника интенсивными ливневыми и градовыми осадками могут быть перерывы связи. Ограничивает его применение и высокая стоимость трафика.

Испытание реализованной системы сотовой GSM/GPRS связи показало, что зачастую отмечаются случаи перерывов связи ПТК «АСУ-Элия» с некоторыми ПУ, что недопустимо при проведении ПГЗ. Попытки повышения надежности связи путем улучшения качества антенн, повышения высоты антенных мачт и совершенствования программного обеспечения не исключили перерывы связи, так как цифровая связь функционирует на вторичной основе.

Для решения этой проблемы и исключения зависимости от провайдера GSM/GPRS связи были проанализированы возможности современных радиомодемов («DataRadio», «Guardian», «Viper-SC», «Integral», «Racom») и создана своя радиосеть обмена информацией с использованием радиомо-

демов «Racom RipEX». Выбран диапазон частот 160–175 МГц, на котором связь даже в горных и предгорных районах, более надежна, чем в диапазонах 400 или 800 МГц, и может быть удовлетворительной в условиях отсутствия прямой видимости (за счет переотражений).

На рис.2 представлена функциональная схема реализованной в экспериментальном образце «АСУ-Элия» системы связи и управления множеством территориально разнесенных ПУ «Элия-2». Создание такой собственной радиосети имеет следующие преимущества:

- возможность проектирования зоны покрытия с учетом размещения ПУ и «АСУ-Элия» с использованием при необходимости направленных антенн и ретрансляторов;
- высокая оперативность соединения – время установления соединения после запроса у современных радиомодемов составляет десятки миллисекунд;
- автономность системы связи и отсутствие непредвиденных задержек и отключений;
- немедленная адресная доставки информации;
- высокая надежность передачи информации при любой метеорологической (гроза, град, паводок) и общественной ситуации;
- круглосуточная готовность и отказоустойчивость системы связи.

Создание такой радиосети более затратно по сравнению с GSM/GPRS системой связи, но более экономично при эксплуатации (не требует абонентской платы, платы за трафик). Скорость обмена информацией в радиосети составляет 19,2, 9,6 или 4,8 Кбит/с (в зависимости от профиля местности и метеоусловий).

Этого вполне достаточно для обмена информацией в системе «АСУ-Град», так как объем передаваемых пакетов информации не превышает 50 байт. Использование мультиплексной (точка-многоточка) топологии связи, в которой каждый радиомодем функционирует в режимах приема-передачи и ретрансляции обеспечило повышение надежности радиообмена.

Работа радиосети организуется по опросу «АСУ-Элия», который направляет запрос в адрес контроллера удаленного ПУ «Элия-2». Этот запрос передается в эфир и принимается всеми базовыми станциями и находящимися в зоне электромагнитной доступности удаленными ПУ «Элия-2», однако ответ на данный запрос дает только та ПУ, которой этот запрос адресован. Ответ на запрос передается в обратном порядке: ПУ «Элия-2» – базовая станция – «АСУ-Элия». Все базовые станции, входящие в состав «АСУ-Элия» установлены на мачтах высотой 30 м и работают на одной частоте

поочередно. Взаимные помехи исключаются тем, что передача инициируется только по запросу «АСУ-Элия».

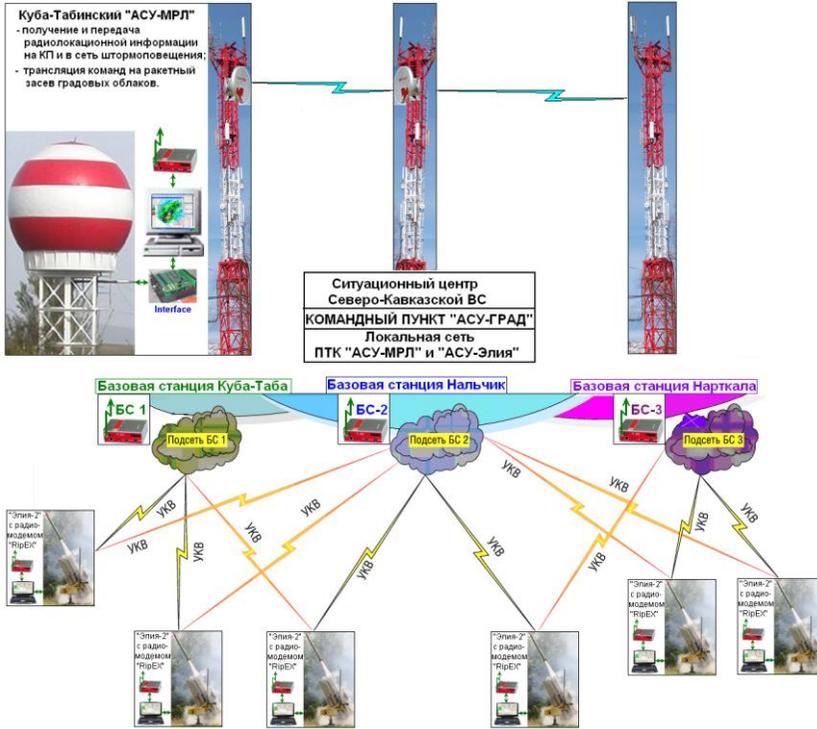


Рис. 2. Схема системы связи и управления действующего образца ПТК «АСУ-Град».

Для исключения «коллизии» данных в радиосети предусмотрены следующие режимы работы:

- **1-й режим:** «АСУ-Элия» посылает запрос «Контроль состояния» на все ПУ в последовательности нарастания их номеров. Контроллер опрашиваемого ПУ «Элия-2» обеспечивает контроль состояния и передачу сообщения объемом не более 20 байт за 0,05 сек. Результаты контроля отображаются на дисплее компьютера «АСУ-Элия». Для исключения "столкновения" сообщений время запроса ПУ разнится на 0,2–0,3 сек. При этом все 28 ПУ опрашиваются за 6-8 сек.
- **2-й режим:** «АСУ-Элия» посылает команду на пуск серии ПГИ на одну ПУ «Элия-2» (объем команды не превышает более 50 байт) и получает сообщение, что команда получена (объем сообщения не более 20 байт).

После это посылает команду (если она есть) на следующую ПУ. Для исключения «столкновения» сообщений передача команд на каждую ПУ разносится на 0,5–1 сек. Через 60 сек после передачи команд «АСУ-Элия» посылает команду «Контроль состояния», по которому контроллеры ПУ формируют и передают сообщения в которых содержится информация о выполнении команды и остатке ПГИ в направляющих.

– **3-й режим:** «АСУ-Элия» посылает команду опроса показаний датчиков температуры, влажности воздуха и атмосферного давления со встроенной в ПУ миниметеостанции. Опрос и получение сообщений осуществляется в последовательности нарастания номеров ПУ с разнесом во времени на 0,5 сек.

Для обеспечения надежности обмена информацией реализован принцип «Облако», обеспечивающий автоматическую ретрансляцию в случаях срыва связи из-за отсутствия прямой видимости между КП и удаленной ПУ. Обмен данными складывается из набора последовательных микроопераций «запрос-ответ»:

- генерация запроса «АСУ-Элия» и ввод в радиомодем;
- установление связи базовой станции с ПУ «Элия-2» и передача запроса;
- обработка запроса в контроллере ПУ «Элия-2» и генерация ответа;
- установление связи между контроллером ПУ и радиомодемом и передача ответа от контроллера ПУ в радиомодем;
- передача ответа от радиомодема в «АСУ-Элия».

По данным натурных испытаний время выполнения этих микроопераций и, следовательно, суммарная задержка обмена данными на радиомодемах «RipEX» составляет около 0,1-0,2 сек, а скорость передачи 19,2 Кбит/с. Таким образом, продолжительность транзакции в радиосети обмена данными на радиомодемах такого типа позволяет обслуживать одной базовой станцией не менее 32 ПУ «Элия-2» в минуту даже при ухудшении условий приема и повторной передаче 100 % сообщений.

4. ПТК «АСУ-Элия» служит для беспроводного управления сетью удаленных ракетных установок «Элия-2». В его состав входит:

- управляющий компьютер типа Pentium IV;
- автоматизированные ракетные ПУ «Элия-2», размещенные на ЗТ;
- аппаратура связи, встроенная в ПУ «Элия-2»;
- специальное программное обеспечение «АСУ-Элия-2».

Компьютер ПТК «АСУ-Элия» работает в составе локальной сети с компьютером ПТК «АСУ-МРЛ», который осуществляет обнаружение градовых и градоопасных облаков, распознавание категорий ОБ и выработку команд на

их засев. Эти команды с компьютера «АСУ-МРЛ» поступают в компьютер «АСУ-Элия», который обеспечивает контроль состояния и управление сетью удаленных ПУ «Элия-2», включая:

- отображение состояния сети ПУ (до 36 шт.) на едином мониторе;
- обмен данными между КП и ПУ в параллельном режиме;
- передачу команд на пуск ПГИ, контроль их выполнения;
- регистрацию даты, времени, количества и координат пуска ПГИ по типам;
- сбор данных автоматических метеостанций, встроенных в ПУ «Элия-2», и получение карт территориального распределения температуры, давления и влажности воздуха при прохождении градовых облаков и фронтальных разделов на фоне карты местности.

Программное обеспечение ПТК «АСУ-Элия» написано в ОС Windows XP и может работать в ОС Windows Vista, а также Windows-7.

На панели управления сетью удаленных ПУ «Элия-2» отображаются:

- номера и наименования РП, на которых установлены управляемые ПУ;
- заводской номер ПУ «Элия-2»;
- состояние режима управления ПУ (автомат, полуавтомат);
- угловое положение ПУ по азимуту и вертикали;
- напряжение аккумуляторов ПУ «Элия-2»: АКБ1 и АКБ2;
- состояние концевых выключателей и ключей пусковых цепей верхнего и нижнего уровней, количество заряженных направляющих;
- идентификационный номер Wireless ID и время контроля;
- IP адрес порта, номер порта, IP адрес шлюза и номер шлюза.

Эта панель позволяет следить за состоянием всех управляемых ПУ.

На рис.3 представлена панель пульта беспроводного дистанционного управления конкретной ПУ «Элия-2». Панель представлена в режиме передачи и контроля выполнения команд на пуск ПГИ, используемого в качестве аварийного. На панели отображаются номер ПУ, состояние ПУ (угловое положение, напряжение аккумуляторов, состояние концевых выключателей и ключей пусковых цепей, количество заряженных направляющих), наличие связи и готовность ПУ к выполнению команд и др.

5. Алгоритм работы ПТК «АСУ-Град» предусматривает:

- выработку команд на засев градовых и градоопасных облаков в ПТК «АСУ-МРЛ»;
- ввод команд на ракетный засев облаков в ПТК «АСУ-Элия», которая управляет наведением ПУ «Элия-2» по заданным азимутам и углам возвышения, пуск серии ПГИ;

- документирование даты, времени выполнения, азимута и углов пуска ракет на сервере ПТК «АСУ-Град».

Программное обеспечение ПТК «АСУ-Град» обеспечивает работу в режимах «Дежурство» и «Воздействие».

В режиме «Дежурство»:

⇒ ПТК «АСУ-МРЛ» автоматически обеспечивает: периодический дежурный обзор пространства, оценку градоопасности облаков, архивирование файлов обзора и при обнаружении ОВ переходит в режим «Воздействие».

⇒ ПТК «АСУ-Элия» автоматически осуществляет:

- радиосвязь с каждым ПВ с заданной периодичностью и опрос по индивидуальному идентификационному коду состояния всех управляемых ПУ «Элия-2»;

- документирование результатов контроля состояния всех ПУ и отображение на панели управления (рис. 3);

- ожидание команд от «АСУ-МРЛ».

- контроллер ПУ «Элия-2» по каждому запросу ПТК «АСУ-Элия»:

- обеспечивает автоматический опрос датчиков углового положения, пусковых цепей и аккумуляторов;

- формирует и передает сообщение о состоянии ПУ;

- переходит в «спящий режим» с минимальным потреблением энергии.

В режиме «Воздействие»:

1. «АСУ-МРЛ» обеспечивает:

- программный обзор пространства с цикличностью $3,3 \pm 0,2$ мин;

- обнаружение и распознавание ОВ;

- выделение объемов засева ОВ разных категорий (объемов, где проходят начальные стадии образования града);

- выбор ПУ «Элия-2», могущих оптимально засеять выделенные объемы;

- выбор режима засева ОВ (массированный, нормальный, экономичный);

- расчет команд на пуск серии ПГИ, содержащих угол возвышения, азимут, шаг по азимуту, количество ПГИ и номера направляющих ПУ. Команда может предусматривать пуск серии ПГИ (от 1 до 18 шт.) в зависимости от масштаба и местоположения ОВ. Шаг по азимуту может быть любой (от 5 до 10 градусов) в зависимости от режима засева (массированный, экономичный, нормальный);

- ввод команды в «АСУ-Элия».

2. «АСУ-Элия» обеспечивает:

- установление связи и передачу команд «АСУ-МРЛ» на требуемую ПУ «Элия-2»;

- контроль наведения ПУ и пуска ПГИ в заданные координаты;

- документирование даты, времени и координат пусков ПГИ и отображение на панели управления (рис. 3);

- переход в режим ожидания следующей команды.

- **контроллер ПУ «Элия-2» по команде ПТК «АСУ-Элия»:**

- обеспечивают автоматическое наведение ПУ на угол возвышения и азимут первого пуска (минимальный азимут в серии) и пуск ПГИ;

- наведение ПУ на второй азимут и пуск ПГИ и т.д. пока не будут выполнены все пуски ПГИ в серии;

- выработка команды «Зарядить», если на ПУ осталось менее 6 ПГИ;

- формирует и передает сообщение о состоянии ПУ;

- переводит систему электропитания в «спящий режим».

В заключение следует отметить, что полевые испытания подтвердили работоспособность системы «АСУ-Град» по заложенным в ней алгоритмам, включая:

- автоматический радиолокационный обзор пространства, обнаружение и распознавания ОБ;

- выработку команд на засев ОБ в «АСУ-МРЛ», их ввод в «АСУ-Элия», которая обеспечивает их передачу на управляемые ПУ;

- обеспечение автоматической связи и обмена информацией между «АСУ-Элия» и ПУ по заданному оператором временному циклу;

- оперативный контроль состояния всех управляемых ПУ «Элия-2»;

- дистанционное беспроводное наведение ПУ «Элия-2» с точностью $\pm 0,5$ градуса;

- пуск серии ПГИ;

- документирование даты, времени и координат пусков ПГИ.

ИЗМЕНЕНИЕ ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТИ ОБЛАКОВ ПРИ АКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ НА ГРАД

М.Т. Абшаев, А.М. Абшаев, А.Х. Аджиев, Ж.М. Геккиева
ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», г. Нальчик,
<abshaev@mail.ru>

Введение

Гроза относится к одному из самых опасных для человека природных явлений. По количеству зарегистрированных смертных случаев только наводнения приводят к большим людским потерям [6]. На грозы существенно влияют географические особенности местности: сильные грозовые центры находятся в горных районах Гималаев, Кордильер, на Северном Кавказе и т.д. Как правило, гроза образуется в мощных кучево-дождевых облаках и связана с ливневым дождём, градом и шквальным усилением ветра.

Весьма актуальным направлением являются активные воздействия на электрическое состояние облаков с целью ослабления и уменьшения продолжительности электрических процессов в них. Известны и продолжают развиваться методы инициирования искусственных молний с помощью длинных электропроводящих нитей, забрасываемых в облако, в частности, с помощью малых ракет, тянущих за собой к основанию облака заземленный электрический провод. Как показали эксперименты, такое воздействие приводит к значимым изменениям электрического поля у земли, но ввиду высокой скорости развития и больших пространственных размеров конвективных облаков эффект воздействия является кратковременным, и носит лишь точечный характер.

Другим возможным направлением искусственного изменения электрического поля в облаке является его засев реагентом кристаллизующего действия [4]. Частицы реагента, являясь активными центрами конденсации облачной влаги, обводняются, замерзают, образуя при этом ледяные кристаллы, и далее растут за счет коагуляции друг с другом и с облачными каплями. В результате фазовых переходов пар-вода-лед выделяется электрический заряд. Учитывая высокую турбулентность и перенос воздушными потоками, область распространения кристаллизующих частиц в кучево-дождевых облаках может составлять десятки кубических километров лишь для одного стандартного противоголового изделия (ПГИ) [0]. При реальном же засеве градовых облаков в течение получаса может выстреливаться до 100 изделий [0]. Соответственно разделение заряда в таких больших объемах спо-

собно приводить к существенной перестройке электрического поля облака, тем самым изменяя характер и частоту грозových разрядов в нем.

Так, было замечено [4], что засев кучево-дождевых облаков в работах по защите сельхозкультур от градобитий приводит к интенсификации молниевых разрядов и уменьшению их мощности.

Целью данной работы является более детальное изучение непреднамеренного изменения грозовой активности градовых облаков при проведении на них активного воздействия в соответствии с российской ракетной технологией противогрозовой защиты [0]. Для этого используется наиболее информативная и высокотехнологичная радиолокационная система измерения параметров облаков «АСУ-МРЛ» [1], европейская система грозопеленгации LS8000 Vaisala, установленная на Северном Кавказе [0], и материалы активных воздействий на градовые процессы Ставропольской военизированной службы Росгидромета.

2. Технология измерений радиолокационных и грозových параметров облаков

2.1. *Автоматизированный метеорологический радиолокационный комплекс (АМРК) «АСУ-МРЛ»* [1] предназначен для целей штормоповещения и управления активными воздействиями на облачные процессы, позволяет получать около 30 карт метеоинформации, измерять более 40 одномерных, двумерных и трехмерных параметров облачных ячеек, строить диаграммы эволюции любых параметров, распознавать явления погоды и категории объектов воздействия, отображать на фоне структуры облаков место внесения реагента, пеленги грозových разрядов по данным сети датчиков LS8000 (рис.1) и рассчитывать их грозových характеристики.

2.2. *Система грозопеленгации Северного Кавказа*, построенная на базе сенсоров четырех LS8000, расположенных близ населенных пунктов Черкесск (КЧР), Кызбурун-3 (КБР), Ставрополь и Зеленокумск (Ставропольский край), с центром сбора и обработки информации в ВГИ (г. Нальчик), предназначена для измерения высокочастотных (VHF) и низкочастотных (LF) характеристик электромагнитных вспышек. Как правило, с VHF вспышками связывают разряды типа облако-облако, в то время как с LF - более энергетически мощные разряды типа облако-земля.

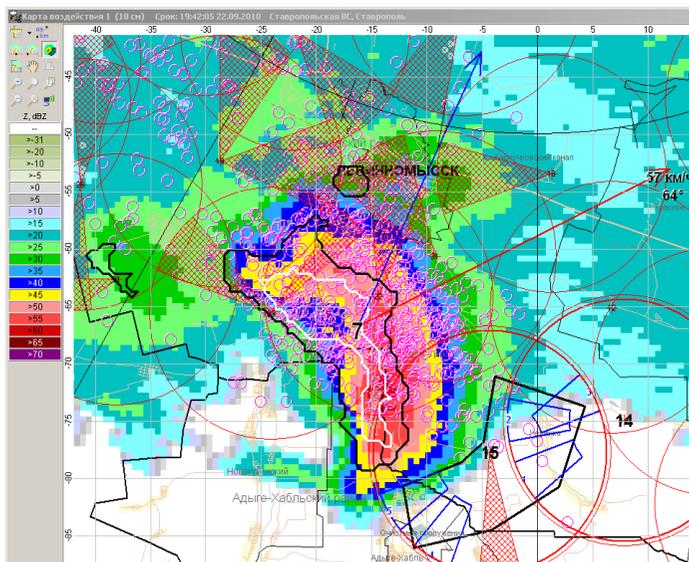


Рис.1. Пример синтезированной карты радиолокационной структуры суперячейкового градового облака 22.09.2010 г. с местом внесения противоградовых изделий (ПГИ) и точками грозовых разрядов. Место внесения троек ракет показано в виде усеченных трапеций, ограничивающих начало и конец трассы эффективного засева. Пеленги грозовых разрядов показаны в виде кружочков (внутри-облачные разряды), крестиков и тире (разряды облако-земля положительной и отрицательной полярности).

В процессе работы комплекс LS8000 регистрирует следующие параметры электромагнитных вспышек:

- дата и время с точностью 100 наносекунд;
- широта и долгота (WGS-84);
- сила и полярность сигнала (тока в канале разряда), в кА;
- количество датчиков, использованных при определении местоположения разряда молнии;
- большая полуось эллипса 50% вероятности и малая полуось эллипса 50% вероятности;
- классификация разрядов на типы облако-земля или внутри-облачный разряд;
- классификация разрядов на положительные и отрицательные;
- позиционная уверенность (χ^2 -квадрат);
- время поднятия сигнала до пикового значения, в мкс;
- время спада сигнала от пикового значения до нуля, в мкс;

– максимальное значение скорости увеличения сигнала (крутизна тока молнии), в кА/мкс.

Согласно данным поставщика, система LS8000 позволяет определять местоположение разряда молнии с точностью ± 300 м; полярность разряда молнии с точностью 100%; значения тока молнии с точностью 10%; время разряда не хуже 12%; классификацию разрядов на типы – облачные и разряды на землю, с точностью близкой к 100%.

2.3. На синтезированные карты структуры облаков, получаемых с помощью «АСУ-МРЛ» каждые 3 мин 40 с, отображались места соответствующих по времени грозовых разрядов и внесенных в облако ПГИ (рис.1). Для отсеечения ложных гроз осуществлена фильтрация разрядов, отмечавшихся за пределами облачного радиозеха с радиолокационной отражаемостью $Z < 5$ dBZ. Места внесения ракет нанесены с упреждением на перемещение облаков.

3. Технология активного воздействия на градовые облака

Российская ракетная технология противоградовой защиты основана на концепции ускорения осадкообразования, приводящей к раннему формированию осадков и вымыванию облачной воды [0] в областях будущего формирования града мощных конвективных облаков. Засев производится в зонах нового роста и включает в себя:

– засев развивающихся потенциально градоопасных облаков *Cu Cong* для предотвращения образования града;

– засев областей нового роста мощных конвективных облаков, представляющих собой также облака *Cu Cong* (фидерные облака), сливающихся по мере роста с основным градовым облаком, с целью подавления выпадения града.

Эффективность такого засева существенно зависит от концентрации кристаллизующего реагента. Для ускорения осадкообразования необходимо создать в засеваемом объеме концентрацию искусственных ледяных кристаллов порядка 10^7 м⁻³ и выше. Это приводит к быстрой агрегации с последующим обзрением и образованием крупы в течение 6–8 минут.

Согласно экспериментальным данным, точечный источник (артиллерийский снаряд) в момент внесения засекает сферическую область радиусом $R \approx 12,5$ м с начальной концентрацией аэрозоля $N_0 \approx 10^{11}$ м⁻³ и размером частиц $r \approx 0,1$ мкм. В случае линейного источника (ракеты) начальный диаметр трубы распространения аэрозоля вдоль траектории составляет $D \approx 5-6$ м, а длина трассы 7-10 км.

4. Анализ радиолокационных и грозовых параметров при активных воздействиях на град

В результате проведенного анализа был обработан обширный материал за 2010-2013 гг. В данном предварительном анализе рассматривается эволюция трех мощных грозоградовых процессов (22.09.2010, 29.05.2012 и 19.07.2012), на которые проведено воздействие с целью предотвращения града Ставропольской и Краснодарской Военизированными службами с помощью ПГИ с AgI.

На рис.2 представлена эволюция мощного суперячейкового градового облака (22.09.2010), из которого по радиолокационным и наземным данным выпадал крупный град. По мере его развития с 18:53 до 19:55 максимальная отражаемость увеличилась от 54 до 66 dBZ (рис.2а). В 18:53 появился и резко стал увеличиваться со временем объем с отражаемостью 55 dBZ, а соответствующее ей интегральное водосодержание градовой компоненты осадков достигло значения $M_{55} \geq 1100$ килотонн, при общем водосодержании облака $M_{15} \geq 1600$ килотонн (рис.2б). Водосодержание вертикального столба (VIL) облака увеличилось за это время с 20 до 70 кг/м². Согласно российской технологии защиты от града [2] облако, как объект воздействия (ОВ), достигло 4 категории. Воздействие на него проводилось с 19:33 до 20:11, внесено 63 ПГИ "Алазань-6" с общим количеством кристаллизующего реагента 39,69 кг и общим выходом около $4,2 \cdot 10^{17}$ активных кристаллизующих частиц. Из-за недостатка ракет в течение всего времени воздействия отмечался недозасев. Только спустя полчаса от начала воздействия VIL резко уменьшилось с 70 до 40 кг/м².

Ход грозовых параметров облака показан на рис.2г-2е, из которых следует:

- с началом воздействия сумма токов отрицательных разрядов типа облако-земля (рис.2г) резко уменьшается от 110 до 10 килоампер/мин;
- сумма токов положительных разрядов, напротив, увеличивается с 30 до 80 килоампер/мин;
- пиковый ток разрядов облако-земля обеих полярностей вначале увеличивается после воздействия, а затем спустя 10-15 минут уменьшается (рис.2д);
- наиболее показательную реакцию на засев кристаллизующим реагентом демонстрирует количество межоблачных разрядов, увеличиваясь от 110 до 800 в минуту, при средней мощности разрядов 20 килоампер. Количество же более энергетически сильных разрядов облако-земля, напротив,

резко уменьшается вплоть до полного исчезновения и далее плавно увеличивается.

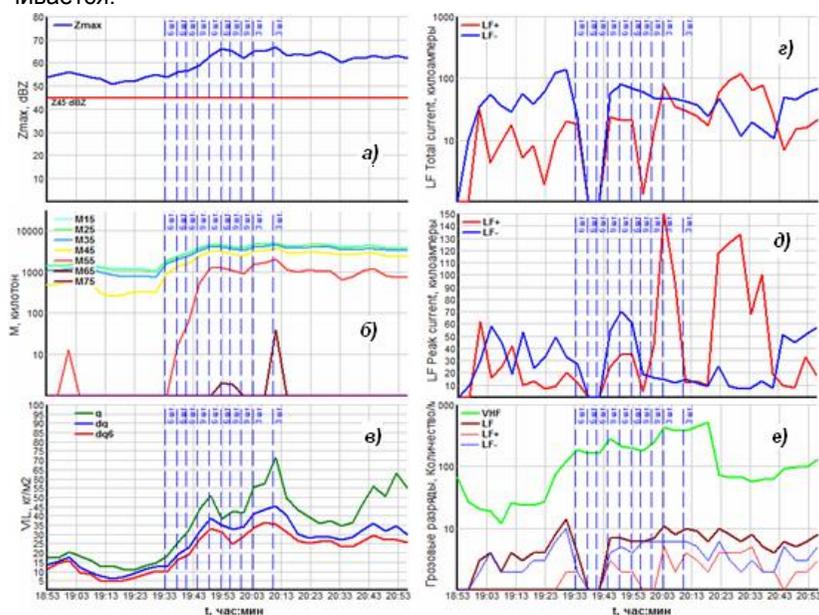


Рис. 2. Эволюция во времени параметров суперячейкового градового облака, наблюдавшегося 22.09.2010 г. в Ставропольском крае, в процессе засева кристаллизующим регентом AgI: **(а)** - максимальная радиолокационная отражаемость (Z , dBZ); **(б)** - суммарное водосодержание объемов, ограниченных изолиниями $Z = 15, 25, 35, 45, 55$ и 65 dBZ (M , килотонн); **(в)** - максимальное значение VIL ($\text{кг}/\text{м}^2$) всей толщи облака (d), слоя выше изотермы 0°C (dq) и слоя выше изотермы -6°C (dq_0); **(г)** - суммарный ток положительных (LF+) и отрицательных (LF-) разрядов облако-земля (килоампер); **(д)** - максимальный ток разрядов облако-земля (килоампер); **(е)** - частота разрядов облако-облако (VHF) и облако-земля (LF) в мин. Моменты внесения и количество ракет "Алазань-6" обозначены вертикальными пунктирными линиями.

Выводы

По предварительным данным получены следующие результаты. Пленки грозовых разрядов относительно редки во фронтальных обновляющихся частях градовых облаков (областях нового роста), куда вносится кристаллизующий реагент в соответствии с технологией противогрозовой защиты. Засев областей нового роста аэрозолем AgI приводит через 3-6 минут к повышению частоты внутриоблачных грозовых разрядов (VHF) и сокращению разрядов «облако-земля» (LF) положительной и отрицательной полярности. Повышение частоты грозовых разрядов наблюдается в областях повышен-

ной отражаемости и на подветренном фланге градового облака. Это, по-видимому, связано с тем, что кристаллизующий реагент, вносимый в области слабых восходящих потоков, по мере стимулирования быстрой электризации облачных частиц за счет фазовых переходов, втягивается в мощный восходящий поток и в градовый очаг, и переносится на подветренный фланг, приводя к интенсификации разрядных процессов в этих областях. По мере засева разряды «облако-земля» практически исчезают, хотя из облака продолжает выпадать град. Грозовые характеристики облака реагируют на АВ быстрее, чем радиолокационные, но также быстро возвращаются в первоначальное состояние, видимо, за счет быстрой регенерации объемного заряда в облаке.

Список литературы

1. Абшаев М.Т., Абшаев А.М., Котелевич А.Ф., Сирота Н.В. Автоматизированная система управления противоградовыми операциями «АСУ-МРЛ»//Тр. научно-прак. конф, посвящ. 40-летию производств. работ по защите сельхозкультур от градобитий. - Нальчик, 2011. - С. 211- 225.
2. Абшаев М.Т., Абшаев А.М., Малкарова А.М., Пометельников В.А. Руководящий документ РД 52.37.731-2010. Организация и проведение противоградовой защиты. - Нальчик, 2010. - 86 с.
3. Абшаев А.М., Абшаев М.Т., Садыхов Я.А. О распространении искусственного аэрозоля в мощных конвективных облаках//Метеорология и гидрология. – 2003. – № 9. – С. 28-35.
4. Кармов М.И., Бейтуганов М.Н. Оценка физической эффективности АВ на конвективные облака по изменению характеристик их электромагнитного излучения//Тр. Всесоюз. конф. по активным воздействиям на гидрометеорологические процессы, г. Нальчик, 1990 г.
5. Машуков Х.Х., Щукин Г.Г., Попов И.Б. Результаты испытаний сверхдлинных электропроводящих нитей в безоблачной атмосфере//Труды международной конференции "Инновационные методы и средства исследований в области физики атмосферы, гидрометеорологии, экологии и изменения климата", Ставрополь, 2013. С. 41 - 43.
6. Science Daily - Human Voltage - What Happens When People And Lightning Converge.
7. Vaisala Thunderstorm Total Lightning Sensor LS8000, technical brochure, www.vaisala.com.

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНЫМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ НА ГРОЗОГРАДОВЫЕ ПРОЦЕССЫ «МЕРКОМ»

**А.В. Капитанников², В.О. Тапасханов¹, А.В. Шаповалов¹,
М.Д. Атабиев¹, М.В. Колосов¹, Х.Х. Чочаев², В.А. Пометельников²,
М.Н. Бейтуганов², П.Е. Вавилов³, В.И. Сокол³, З.М. Атабиев³**

1 - ФГБУ "Высокогорный геофизический институт", г. Нальчик

2 - ФГБУ "Северо-Кавказская ВС", г. Нальчик

3 - ФГБУ "Краснодарская ВС", г. Лабинск

Регион Северного Кавказа отличается большим количеством опасных конвективных процессов, здесь их повторяемость составляет более 22% от всех на территории РФ. Опасные явления погоды (ОЯП) дистанционно обнаруживают с помощью метеорологических радиолокаторов (МРЛ и ДМРЛ) и при точной калибровке дают высокую оправдываемость метеоявлений [1,2,5]. Следует отметить, что ограничения и недостатки радиолокационных метеорологических наблюдений с одного МРЛ снижают эффективность идентификации ОЯП при оперативной работе и могут привести к неправильной интерпретации метеорологической обстановки. Минимизировать недостатки информации с одного МРЛ (ДМРЛ) и расширить возможности использования радиолокационной информации в синоптическом масштабе позволяет радарная метеорологическая сеть [1].

В работе представлено описание аппаратно-программного комплекса (АПК) «МЕРКОМ», который предназначен для решения широкого спектра задач противорадовой защиты, регулирования осадков, штормоповещения с использованием радиолокаторов МРЛ-5. В настоящее время на базе МРЛ-5, оснащенных АПК «МЕРКОМ», и ДМРЛ-С, оснащенных программным обеспечением (ПО) «ГИМЕТ-2010», разворачивается региональная радиолокационная метеорологическая сеть ЮФО и СКФО.

Для решения задач АВ на градовые облака АПК «Мерком» установлены на МРЛ-5 следующих командно-диспетчерских пунктов (КДП) противорадовых служб Росгидромета: Черкесск, Отрадная, Чамлыкская, Попутненский, Новокубанский (Армавир), Западный (Веселый), Псынабо (КБР, Урванский район).

АПК «Мерком» разработан с участием специалистов по АВ военизированных служб и реализует в себе многолетний опыт противорадовых работ,

высококачественное отображение радиолокационной информации, удобство и надежность использования программного обеспечения на практике. Специалистами Северо-Кавказской ВС предложены алгоритмы оперативной калибровки РЛС по осадкам и критерии выбора объектов АВ, которые позволяют существенно сократить расход ракет при АВ.

Преобразование аналогового видео МРЛ-5 в 12-разрядный цифровой код осуществляется с помощью высокотехнологичного быстродействующего контроллера на программируемых ПЛИС (рис.1).

Контроллер управляет включением-выключением МРЛ-5, выполнением программы сканирования пространства, обменом данных с персональным компьютером, на котором осуществляется накопление, анализ, визуализация и архивация радиолокационной метеорологической информации.



Рис.1. Внешний вид контроллера комплекса «Мерком».

Краткие характеристики АПК по обработке радиолокационной информации приведены в таблице.

Таблица. Краткие характеристики АПК по обработке радиолокационной информации

Технические характеристики	Ед. измер	Пределы значений
1	2	3
1. Радиолокационный обзор пространства:		
Максимальная дальность обзора	км	230
Продолжительность цикла обзора МРЛ-5	мин	3,5
Скорость вращения антенны МРЛ-5	об/мин	6±0.5
Число углов обзора в цикле	шт.	17,23

Точность установки антенны по углу места и азимуту	град	±0,2 500
Дискретизация по дальности	м	1.0
Дискретизация по азимуту	гр	переменная
Дискретизация по углу места, переменная	гр	да
Автоматический контроль аппаратуры МРЛ-5		да
Дистанционное включение аппаратуры МРЛ-5		одновременно с двух каналов
Режим автоматического дежурства		
Съем информации		
2. Преобразование радарных сигналов:		
Число разрядов АЦП	шт.	12
Протяженность элементарных ячеек дальности	м	125
Число интервалов дальности	шт.	1000
Контроль шума приемников		автоматич.

Программа вторичной обработки данных радиолокатора МРЛ-5 позволяет выводить на экран горизонтальные и вертикальные разрезы облачности на любом уровне, все стандартные радиолокационные карты, предусмотренные действующими РД [1-2], а также параметры для оценки градоопасности ячеек и трехмерное отображение облаков градовых очагов. На рис.2 приведено главное окно программы «Мерком» с наблюдаемым градовым процессом.

На рис.3 приведен модернизированный КДП «Отрадная» Краснодарской ВС, оснащенный АПК «Мерком».

Обмен информацией между МРЛ и уровнями радиолокационной сети осуществляется с использованием стандартных и унифицированных каналов связи, протоколов, интерфейсов и форматов радиолокационных файлов:

- интерфейсы и протоколы глобального обмена информацией – Интернет;
- арендованные каналы связи различных операторов связи;
- радиоканалы, реализуемые с помощью различных технологий радиосвязи;

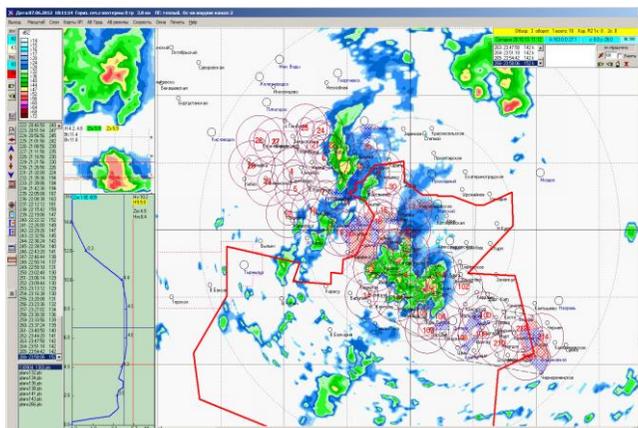


Рис.2. Главное окно программы «Мерком» с наблюдаемым градовым процессом.

- спутниковые каналы связи, различных операторов связи;
- обмен данными с использованием внутреннего формата файлов "Мерком";
- обмен данными с использованием международного формата файлов HDF5;
- обмен данными с использованием международного формата ВМО - BUFR FM-94 [3].



Рис.3. Модернизированный КДП «Отрадная» Краснодарской ВС.

При нажатой кнопке «П» и выделении облака на горизонтальном разрезе с нажатой левой кнопкой мышки выводится на экран таблица параметров (рис. 4) согласно руководству [4] (табл.1, стр.12). Расчет параметров осуществляется по формулам Г.1-Г.40 (стр. 59-70) приложения Г РД. При обнару-

жении в пределах защищаемой территории градовых процессов, оператор визуально вводит контуры площадки.

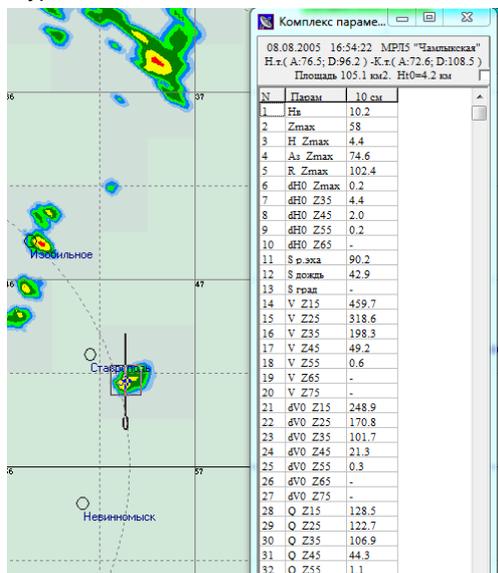


Рис.4. Комплекс параметров для определения категории объектов АВ.

Процедура ввода контура площадки завершается нажатием кнопки «Закончить ввод площадки». После этого площадка передается на «Электронный планшет», где автоматически рассчитываются оптимальные пуски ракет с ближайших пунктов АВ с учетом наличия средств АВ и с учетом запретных секторов.

После того как площадка была передана в автоматизированную систему «Планшет», она сохраняется. С помощью открытия панели правой кнопкой мыши и строки «Список Площ» в диалоговом окне можно выбрать любую площадку из архива.

Программа «Мерком» позволяет анализировать в архивном режиме характеристики наблюдаемого процесса, в частности, руководитель АВ к отчету формирует карту градовых дорожек (рис.5).

Градовое облако может быть отображено в трехмерном виде, и руководитель АВ может в объемном виде оценить навес радиозехо, превышение Z₄₅ над нулевой изотермой и другие характеристики (рис.6).

Модуль «Электронный планшет» является составной частью автоматизированной системы МЕРКОМ и представляет комплекс программ, предназначенный для выработки, отображения, накопления, хранения, передачи

команд на воздействие в работах по модификации погоды наземными средствами доставки реагентов (ракетный способ).

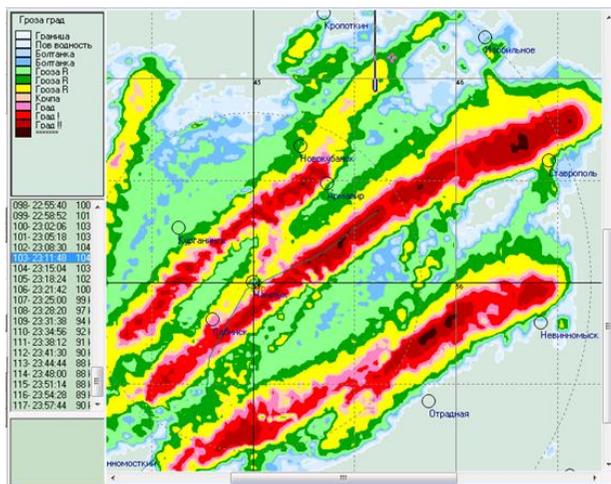


Рис.5. Карта градовых дорожек, построенная в программе «Мерком».

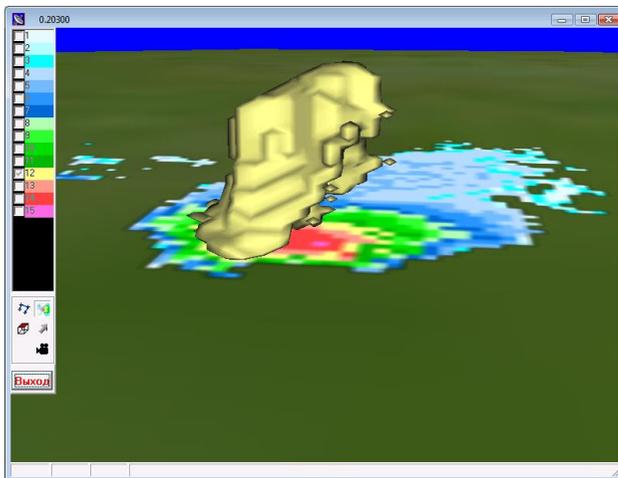


Рис.6. Трехмерное изображение градового облака в программе «Мерком».

Поставляемая пользователю на его рабочее место информация о площадке внесения реагента через систему МЕРКОМ, выработка отображения, накопления, хранения, передачи команд на воздействие (рис.7-8) удовлетворяют требованиям действующего РД.

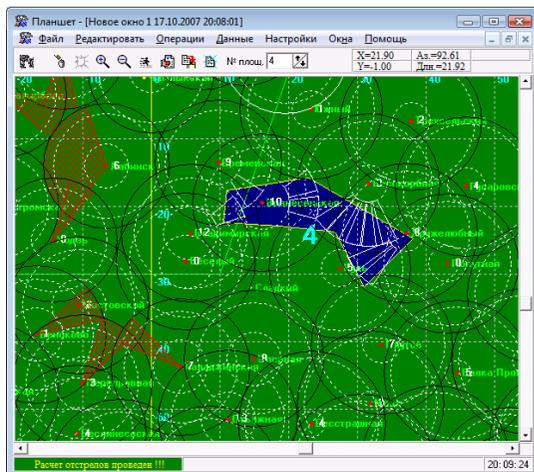


Рис.7. Модуль «Электронный планшет» комплекса «Мерком».

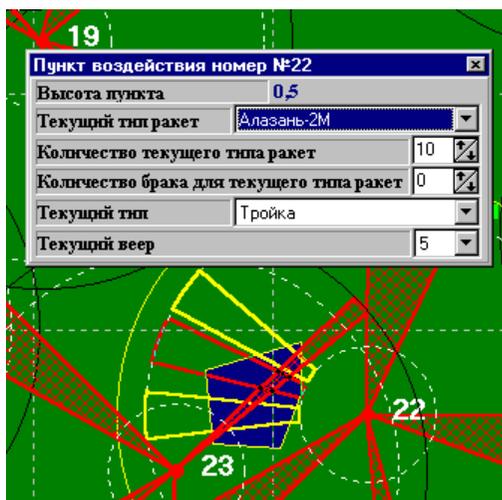


Рис.8. Расчет выстрелов в программе «Электронный планшет» с учетом запретных секторов.

Заключение

Развитие АПК «Мерком» позволило получить следующее:

1. В практику геофизического мониторинга и работ по АВ внедрены новые эффективные методы, алгоритмы и программы обработки радиолокационной метеорологической информации.

2. Обеспечено повышение качества радиолокационного обеспечения производственных работ по АВ и штормоповещению в Южном и Северо-Кавказском федеральных округах РФ.

3. Обеспечен режим функционирования МРЛ-5 в составе радиолокационной метеорологической сети.

4. Обеспечено совместное использование в оперативной работе радиолокационной информации, доступной с сети автоматизированных МРЛ-5 Северо-Кавказской и Краснодарской противоградовых служб.

Список литературы

1. Базлова Т.А. и др. Метеорологические автоматизированные радиолокационные сети. – С-Пб.: Гидрометеиздат, 2002.- 331с.

2. Довиак Р.Дж., Зрнич Д. Доплеровские радиолокаторы и метеорологические наблюдения. - Л.: Гидрометеиздат, 1988. -512 с.

3. Код для передачи данных наблюдений метеорологических радиолокаторов (международная форма FM20-VIII RADOB). - Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 31 с.

4. Руководящий документ РД 52.37.731-2010.

5. РД 52.04.320-91. Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5. - СПб.: Гидрометеиздат, 1993. - 264 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В РАБОТАХ ПО ВОЗДЕЙСТВИЮ НА ОБЛАКА И ТУМАНЫ

**А.А. Бычков, В.П. Корнеев, Б.П. Колосков, А.В. Частухин,
А.М. Петрунин**

АНО «Агентство атмосферных технологий», г. Москва

Введение

Активные воздействия (АВ) на различные формы облачности и туманы в интересах тех или иных отраслей экономики по-прежнему представляют собой одно из востребованных направлений деятельности. В первую очередь, это борьба с градом и работы по искусственному регулированию осадков (ИРО), включающие как работы по искусственному увеличению осадков (ИУО) в интересах гидроэнергетики и сельского хозяйства, борьбы с лесными пожарами, так и работы по искусственному уменьшению осадков с целью

предотвращения или уменьшения количества летних и зимних осадков. Работы по искусственному уменьшению осадков имеют большое практическое значение для коммунальных служб крупных городов, затрачивающих огромные средства на очистку городской территории от снега, его вывоз и утилизацию. В последние годы работы по предотвращению осадков или по их значительному уменьшению приобрели актуальность для создания благоприятных погодных условий при проведении массовых общественно-политических, культурных и спортивных мероприятий, а также для других нужд.

Отдельным направлением являются работы по рассеянию туманов в аэропортах и на автодорогах.

Высокая эффективность Российской технологии АВ достигается выявлением для каждого региона определенной группы облаков, засев которых приводит к положительному эффекту, и применением специально разработанных технических средств воздействия, обеспечивающих введение реагента в определенную часть облака, используя научно-обоснованную методику воздействия.

В основе технологии активных воздействий на облака с целью ИРО лежит сочетание нескольких методов самолетного засева осадкообразующих облачных систем:

- рассеяние слоистообразной облачности и туманов;
- инициирование преждевременного выпадения осадков из облачных систем на наветренной стороне от мишени путем искусственного засева этих систем, направленного на образование «тени» осадков, т. е. на их прекращение или ослабление над заданной территорией;
- интенсивный засев натекающей на заданную территорию осадкообразующей облачности с целью «перезасева» облачных слоев, т.е. создания в них чрезмерно высоких концентраций ледяных кристаллов (зародышей частиц осадков) для снижения осадкообразования;
- воздействие на мощные конвективные и кучево-дождевые облака динамическим способом.

Результаты выполненных за последние 50 лет научно-исследовательских и оперативных проектов по ИУО в Поволжье, Сибири, Белоруссии, Казахстане и Средней Азии показывают, что применение современных технологий искусственного увеличения атмосферных осадков позволяет получать дополнительно до 20-30% от сезонной нормы осадков.

С 1995 г. АНО «Агентство АТТЕХ» выполнено более 60 крупномасштабных работ по улучшению погодных условий (метеозащите) крупных городов (Москва, Ташкент, Астана, Санкт-Петербург, Ростов на Дону). При проведе-

нии работ использовалось до 12 самолетов ВВС и Гражданской авиации типа Ил-18, Ан-12, Ан-26, Ан-30, Ан-32, Ан-72, Ан-28, М-101Т «Гжель» и Су-30, оборудованных на время проведения работ метеорологической аппаратурой и комплексами технических средств для проведения активных воздействий на облака.

Анализ работ по метеозащите мегаполисов, выполненных в России и странах СНГ, показал эффективность технологии уменьшения атмосферных осадков над защищаемой территорией.

В настоящее время активно ведутся работы по модернизации используемых и разработке новых технических средств воздействия с целью повышения экономической эффективности работ по АВ. Достичь максимального снижения стоимости выполнения работ по ИРО без снижения эффективности возможно с привлечением к выполнению работ по АВ самолетов малой авиации. Ввиду отсутствия в настоящее время в РФ парка с необходимым количеством легкомоторных самолетов, а также по причине уменьшения парка используемых самолетов ВВС РФ ввиду их износа и выработки летных ресурсов одним из приоритетных направлений является внедрение в практику АВ беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

До недавнего времени было тяжело представить возможность применения беспилотных систем в сфере АВ ввиду узкой направленности применения БПЛА. Все ранее разрабатываемые беспилотные системы использовались для выполнения военных задач, в большинстве случаев они выполняли полет на больших высотах вне полей облачности в течение большого временного интервала с большой нагрузкой в виде различных вооружений, в следствие чего, беспилотные системы были громоздкими, а их обслуживание в несколько раз превышало стоимость обслуживания самолетов.

Благодаря научно-техническому прогрессу в последние годы на рынке беспилотных систем стали появляться беспилотные комплексы среднего (тактического) и миниатюрного класса, что позволило расширить сферу применения БПЛА. В настоящее время беспилотные комплексы таких классов широко используются не только в военной, но и в гражданской сфере. Так, современные БПЛА позволяют поднять полезную нагрузку весом до 50-100 кг и выполнять полеты до 10-15 часов на удалении до 300 км.

Использование БПЛА для АВ на облака

Использование БПЛА для активных воздействий на облака накладывает на беспилотные комплексы определенные требования:

- возможность длительного нахождения БПЛА в условиях высокой влажности и низких температур при проведении работ в облаках, а также в пограничном слое;
- устойчивость БПЛА к условиям высокой турбулентности;
- наличие на борту БПЛА антиобледенительной системы;
- возможность размещения на борту средств активного воздействия общим весом до 30 кг;
- диапазон высот работы БПЛА должен составлять от 200 м до 6000 метров;
- продолжительность эффективного этапа полета должна составлять не менее 3,5 часов;
- дальность (радиус) действия до 350 км;
- возможность включения в штатную систему управления БПЛА канала для управления средствами воздействия;
- возможность выполнения полетов БПЛА над выбранной территорией и обеспечение требований безопасности при организации и выполнении полетов.

Наряду с использованием БПЛА для проведения АВ представляет интерес использование беспилотных комплексов для измерения микрофизических характеристик облаков. Для этого требуется установка на БПЛА специальной измерительной аппаратуры.

Анализ производимых в РФ беспилотных систем позволяет сделать вывод, что из целого ряда имеющихся комплексов БПЛА можно выделить несколько комплексов, способных выполнять роль носителей средств воздействия на облака и туманы при проведении работ по ИРО. Основные лётно-технические характеристики таких беспилотных комплексов приведены в таблице.

Оценка эффективности применения БПЛА в работах по АВ на облака

С целью оценки возможности выполнения работ по АВ на облака с использованием беспилотных систем было проведено численное моделирование воздействий, выполненных БПЛА и самолётом с использованием самолетных аэрозольных генераторов САГ-26 (рис.1).

Таблица

№ п/п	Наименование БПЛА (год выпуска)	Фото	Летно-технические характеристики БПЛА				
			Максимальная высота полета, м	Дальность полета (радиус зоны обслуживания), км	Продолжительность полета, ч	Масса полезной нагрузки, кг	Скорость полета, км/ч
1	2	3	4	5	6	7	8
1	БПЛА НАРТ (2008)		8000	300	4.7	95	150-450
2	БПЛА ТИП-ЧАК (2006)		3000	70	3	14.7	90-190
3	БПЛА ИР-КУТ-200 (2009)		5000	200	12	50	140-210
4	БПЛА ФОР-ПОСТ (2010)		6100	250	15-18	100	196
5	БПЛА ZALA-421-20 (2011)		3700	70-100	8-10	50	90-220

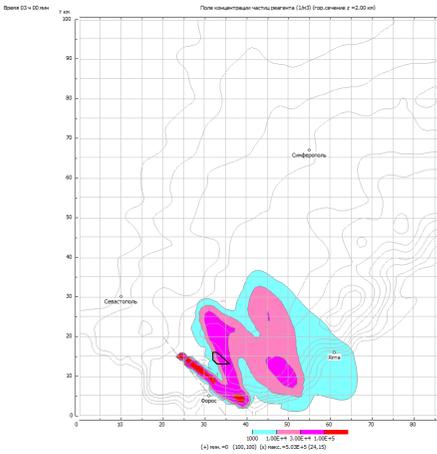


Рис.1. Самолетный аэрозольный генератор САГ-26 (а) и общий вид генераторов, установленных на самолете АН-28 (б).

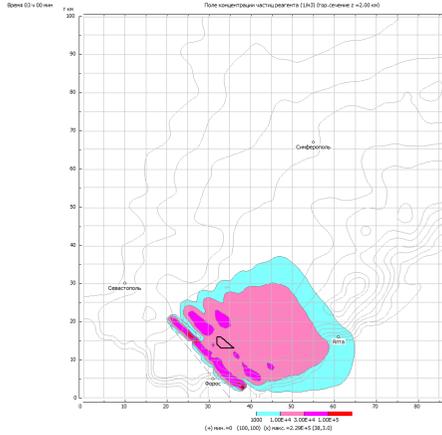
Численное моделирование проводилось с использованием трёхмерной численной модели SeedDisp, позволяющей проводить расчёт переноса реагента при АВ на облака и туманы с помощью самолётных аэрозольных генераторов, пиропатронов, хладореагентов, а также наземных аэрозольных генераторов (НАГ) и генераторов льдообразующих аэрозолей фейерверчного типа (ГЛА).

В модели SeedDisp рассчитывается перенос частиц реагента в заданном поле скорости ветра с учетом рельефа местности для мезомасштабной области размерами по горизонтали от нескольких десятков до нескольких сотен километров и по вертикали, включающей всю тропосферу. Расчет основан на использовании радиозондовых и наземных метеорологических данных. Помимо скорости ветра в модели определяются трехмерные поля температуры, влажности и параметров турбулентности.

На рис.2 приведены примеры результатов численного моделирования концентрации льдообразующих частиц ($1/\text{м}^3$) в горизонтальной плоскости при воздействии самолётными аэрозольными генераторами йодистого серебра, установленными на борту БПЛА и самолета Ан-26. Моделирование воздействий проводилось в рамках подготовки ТЭО по ИУО на территории Крыма. В качестве исходной информации при выполнении моделирования использовались данные радиозондирования и наземных метеорологических наблюдений в г. Симферополь за 21 февраля 2005 г. Воздействия проводились генераторами САГ-26 в течение 60 минут на высоте 2000 м (температура -10°C). Скорость полета БПЛА составляла 120 км/ч, самолёта – 340 км/ч.



а) БПЛА



б) самолет АН-26

Рис.2. Поля концентрации частиц реагента через 60 минут после проведения воздействий БПЛА и самолётом АН-26.

На рис.3 приведены графики эволюции максимальной концентрации частиц реагента и горизонтальных размеров зон с концентрацией частиц выше 10^4 1/м^3 при проведении воздействий с самолета и БПЛА.

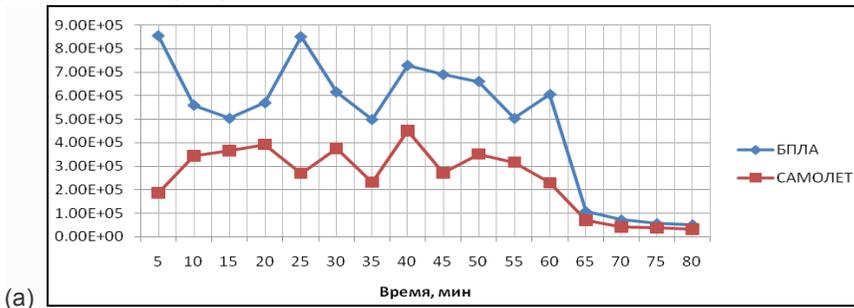




Рис.3. Максимальная концентрация частиц реагента (а) и горизонтальные размеры зон с концентрацией частиц выше 10^4 $1/\text{м}^3$ (б) при воздействии с БПЛА и самолёта.

Из приведенных на рисунке графиков видно, что размер зон с концентрацией частиц реагента (10^4 $\text{част}/\text{м}^3$), достаточной для эффективного проведения АВ, при засеве с самолёта больше размеров зон при засеве с БПЛА. При этом максимальная концентрация частиц реагента при проведении воздействий с БПЛА оказалась в 2-3 раза больше, чем при воздействии с самолёта. Обнаруженные отличия вызваны различием в скоростях летательных аппаратов. Так при одинаковых расходах реагента большие скорости дают более однородное распределение реагента по площади, но меньшие максимальные значения концентрации. Принимая во внимание, что распространение реагента в атмосфере зависит не только от скорости летательного аппарата, но и от скорости переноса облачности, для оценки эффективности того или иного летательного средства требуется проведение численных экспериментов.

Выводы

В результате проведенного обзора производимых в России беспилотных летательных аппаратов тактического типа и анализа их характеристик, а также по результатам численного моделирования можно сделать следующие выводы:

- современные БПЛА Российского производства могут рассматриваться в качестве носителей средств воздействий при проведении работ по АВ с целью ИРО и рассеяния тумана, а также аппаратуры для измерения характеристик облаков и осадков;
- эффективность выполнения работ с применением БПЛА не уступает, а по некоторым показателям и превосходит эффективность работ с использованием самолетов;

- с целью обеспечения возможности использования БПЛА в работах по АВ на облака, туманы, а также для борьбы с градом, летательные аппараты должны удовлетворять требованиям полетов в условиях высокой влажности, низких температур, обледенения и высокой турбулентности;
- для оценки экономической целесообразности и эффективности использования БПЛА в работах по АВ на облака и туманы необходимо провести численное моделирование для различных метеорологических условий с использованием разработанной в «Агентстве АТТЕХ» трёхмерной численной модели SeedDisp.

Следует отметить, что внедрение БПЛА в практику работ по АВ в полной мере возможно только после решения вопросов, связанных с легализацией использования беспилотных комплексов, путем внесения поправок в Воздушный кодекс РФ, а также вопросов обеспечения безопасности их полетов.

МНОГОЦЕЛЕВОЙ БЕСПИЛОТНЫЙ АВИАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС МОНИТОРИНГА И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПОГОДЫ

М.Т. Абшаев¹, А.М. Абшаев², М.А. Анаев³, В.В. Соловьев⁴

^{1,2}ГУ «Высокогорный геофизический институт», г. Нальчик

³Главное управление МЧС России по КБР, г. Нальчик

⁴ООО НПЦ «Антиград-Авиа», г. Москва

1. Введение

1.1. Последние 50 лет происходит ощутимое изменение климата, включая повышение приземной температуры, уменьшение площади и массы полярной шапки льда, уменьшение толщи и деградация горных ледников, повышение уровня мирового океана и изменение режима осадков. В сочетании с изменениями в глобальной циркуляции атмосферы это привело к повышению частоты и интенсивности опасных явлений погоды (град, гроза, шквалы, смерчи, ливневые паводки и сели), изменению их территориального распределения, росту потерь от стихийных явлений погоды (рис.1).

Такие вызовы природы вынуждают принять срочные *меры по адаптации*, которые должны включать развитие методов прогноза, мониторинга, оповещение и защиты от опасных явлений погоды, которые многократно дешевле затрат на ликвидацию последствий стихийных бедствий и должны стать составной частью программы устойчивого развития экономики и обеспечения безопасности населения. Здесь возможны три подхода:

1. предотвращения глобального потепления климата в планетарном масштабе;

2. управление атмосферными процессами синоптического масштаба (атмосферные фронты, тропические и внетропические циклоны, тихоокеанские течения «Эль Ниньо» и «Ла Нинья», оказывающие серьезное влияние на климат и погоду всей планеты;
3. активное воздействие (АВ) на локальные гидрометеорологические процессы.

1.2. *Предотвращение дальнейшего потепления климата* возможно при условиях:

- сокращения выбросов в атмосферу CO_2 и других парниковых газов;
- сокращения притока солнечной радиации на Землю.

Сокращение выбросов парниковых газов относится к политическому решению проблемы на основе международных договоров, «Киотского протокола», который не ратифицировали ряд стран, в том числе США, с наибольшим вкладом в промышленные выбросы.

Для управления радиационным балансом Земли предложены ряд «Geoengineering» проектов, предусматривающих преднамеренное крупномасштабное вмешательство в климатическую систему с целью снижения притока солнечной радиации на Землю с помощью космических и аэрозольных зонтов, сокращения поглощения этой радиации Землей путем регулирования альbedo атмосферы и земной поверхности, извлечения из атмосферы, кристаллизации и хранения CO_2 в недрах земли и на дне океанов и т.д. Это проекты пока находятся на уровне идей, а по реализуемости и требуемым затратам на уровне научной фантастики.

1.3. *Воздействие на крупномасштабные атмосферные процессы.*

Управление крупномасштабными атмосферными процессами, оказывающими влияние на циклогенез и формирование фронтальных разделов, требует крупномасштабного воздействия с целью изменения градиентов температуры, влажности и давления воздуха путем:

1. покрытия некоторой части поверхности океана масляной пленкой, ограничивающей испарение и теплообмен водной поверхности с атмосферой;
2. окраска водной и земной поверхности с целью повышение поглощающей или отражающей способности и изменения альbedo;
3. засев кристаллизующими и гигроскопическими реагентами для формирования просветов в обширных полях перистой и слоистой облачности;
4. стимулирование низкой облачности и туманов за счет мелкодисперсного распыления морской воды и т.д.

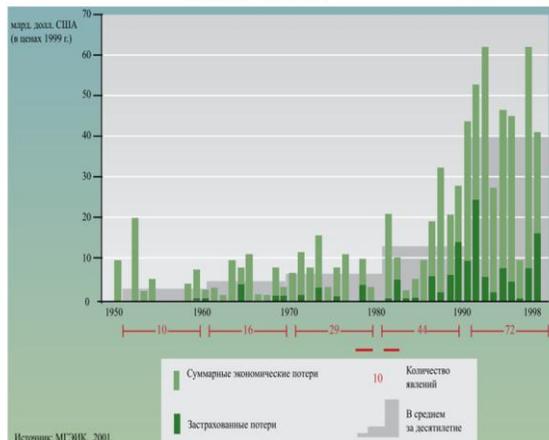
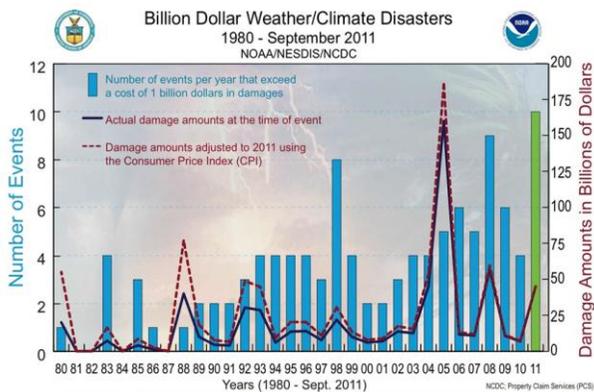


Рис.1. Временной ход частота ОЯ в России (из отчета Росгидромета за 2012 г.), ущерб от них в США и мировые потери от 10 наиболее крупных стихийных бедствий.

Каждый из этих видов АВ требует тщательной проработки на основе теоретического моделирования, оценки масштабов и условий их применения. Их реализация требует политического урегулирования, либо проверки на случай аварии с разливом нефти и т.п. Ощутимых успехов в этой области пока не достигнуто.

1.4. *Наибольших успехов мировая и российская наука достигла в области АВ на локальные облачные процессы.* Энергетика этих процессов (например, градовых облаков) сравнима с энергией ядерного взрыва. Поэтому методы защиты от них базируются на АВ на наиболее уязвимое звено в механизме их формирования с тем, чтобы небольшое физическое, химическое или механическое воздействие могло бы изменить естественный ход физических процессов. Такими уязвимыми звеньями являются:

1. фазовая неустойчивость переохлажденных облаков и туманов;
2. коллоидальная неустойчивость теплых облаков и туманов;
3. конвективная неустойчивость облачной атмосферы.

На основе этих базисных положений разработаны физические принципы и методы предотвращения града, искусственного увеличения осадков, улучшения погодных условий над мегаполисами, рассеяния переохлажденных и отчасти теплых туманов.

В настоящее время согласно регистрам ВМО более 70 стран осуществляют около 50 проектов предотвращения града на площади $\approx 1,2 \cdot 10^5$ км² и около 80 проектов увеличения осадков на площади $\approx 1,8 \cdot 10^5$ км² с использованием авиационных, ракетных, артиллерийских и наземных методов засева облаков льдообразующими и гигроскопическими реагентами [1]. Но потребность в защите от опасных явлений погоды значительно превосходит указанные объемы.

Российская автоматизированная ракетная технология защиты от града [1] позволяет сократить потери от града на 80-90% и применяется в России, странах СНГ, Аргентине, Болгарии с окупаемостью от 5 до 16 раз в зависимости от градоопасности территории и ценности защищаемых культур. Российская технология искусственного увеличения осадков [4] обеспечивает увеличение количества осадков на 10–15%. Она применялась в ряде регионов России, в Иране, на Кубе, Сирии и др. Однако расширение объемов защиты от града и засухи сдерживается высокой себестоимостью ракетных и пилотируемых авиационных технологий.

1.5. *Интенсивное развитие экономики требует поиска новых технологий мониторинга и защиты от опасных явлений погоды, а также техногенных и природных катастроф.* Для этих целей все большее применение находят беспилотные летательные аппараты (БПЛА).

Существует много вариантов *малых и сверхмалых* БПЛА оснащенных фото, видео и тепловизионной аппаратурой для зондирования и мониторинга объектов на земной поверхности:

1. вертолетный вариант «ZALA 421-06» и самолетный вариант «ZALA 421-16»;
2. «Терьер», запускаемый с руки, радиусом действия 20 км;
3. «Комар», запускаемый с катапульты, радиусом действия 300 км;
4. «Колибри», запускаемый с катапульты, радиусом действия 600 км;
5. «Кречет», имеющий радиус действия 300 км при высоте полета 6000-10000 м.

Большинство малогабаритных БПЛА имеют малый вес полезной нагрузки и не приспособлены для полетов в сложных метеорологических условиях. Их можно использовать для решения локальных задач (обследование районов схода снежных лавин и селей, района выпадения града и т.п.), но при этом их запуск необходимо организовать непосредственно в районе обследования, что зачастую неприемлемо.

Более широкое применение находят БПЛА *среднего класса*: «Райан-262» (США), «Скаут» (Израиль), «Дорнье» (Германия), «CL-89» (Канада), «Миракс-100» (Италия). Эти БПЛА имеют стартовую массу от 75 до 255 кг, высоту полета от 3000 до 5000 м, летное время от 1 до 5 часов, массу полезной нагрузки от 15 до 25 кг и более.

Опрос заинтересованных организаций и учреждений, проведенный фирмой «Локхид» (США), выявил 35 областей потенциального применения гражданских БПЛА, из которых в качестве наиболее востребованных были выделены: охрана важных объектов, обнаружение и картографирование очагов пожаров, надзор за рыболовством, патрулирование автострад и трасс трубопроводов, обработка сельскохозяйственных культур химикатами и исследование штормовых зон. Для выполнения этих задач, согласно исследованиям фирмы «Локхид», требуются как крылатые аппараты (длиной 2,4-4,2 м с размахом крыла 2,7-6,7 м и весом 75-455 кг), так и винтокрылые аппараты (диаметр лопасти несущего винта 3,9 м и вес 75 кг).

2. Многоцелевой беспилотный комплекс «НАРТ»

2.1. На основе многолетних исследований, проведенных Высокогорным геофизическим институтом [2], НПЦ «Антиград» и НПЦ «Антиград-Авиа» совместно с рядом НИИ и КБ разрабатывают многоцелевой беспилотный авиационный комплекс «Нарт» [3], предназначенный для мониторинга и оповещения о стихийных явлениях погоды, контроля загрязнения атмосферы, лесных пожаров, состояния посевов, газо- и нефтепроводов. Комплекс

«Нарт» может обеспечить *проведение фундаментальных исследований* микрофизических и термодинамических процессов в грозоградовых облаках, трансформации микроструктуры грозоградовых облаков в результате их засева льдообразующими и кристаллизующими реагентами.

2.2. В состав комплекса «Нарт» входит [3]:

1. автоматизированная радиолокационная система «АСУ-МРЛ», обеспечивающая обнаружение опасных явлений погоды, оповещение и управление операциями по их предотвращению;
2. БЛА «Нарт» многоцелевого применения, оснащенный бортовыми средствами управления полетом, разведки погоды, измерения параметров атмосферы и облаков, а также засева облаков кристаллизующими и гигроскопическими реагентами;
3. катапультное устройство для предстартового контроля и запуска БЛА;
4. наземный пункт управления подготовкой к полету и полетом БЛА.

«АСУ-МРЛ» позволяет оценить метеорологическую обстановку, распознать грозо- и градоопасность облаков и управлять операциями по засеву облаков с целью предотвращения града, ливневых паводков и увеличения осадков.

БЛА «Нарт» включает планер, бортовое радиоэлектронное оборудование (БРЭО), силовую установку (СУ), систему электроснабжения (СЭС), систему посадки (СП) и полезную нагрузку.

Таблица 1. Основные технические характеристики БЛА «Нарт».

Основные технические характеристики	Значения характеристик
Диапазон высот полета	до 8 км
Диапазон скоростей полета	120–450 км/ч
Скорость вертикальная максимальная	18 м/с
Время полета максимальное	50 часов
Дальность полета максимальная	12000 км
Радиус действия радиолинии	до 350 км
Массовые характеристики (возможны различные варианты):	
1. стартовая;	350 – 1100 кг
2. пустого;	315 – 473 кг
3. масса полезной нагрузки	до 500 кг
Объем отсека полезной нагрузки	до 1,0 м ³
Способы старта	с катапульты и по самолетному
Способы посадки	на парашюте и по самолетному
Размер площадки при посадке на парашюте	300 × 300 м
Длина ВПП при взлете «по самолетному»	до 500 м

Планер БЛА (рис.2) имеет модульную конструкцию состоящую из отсеков фиксирующихся между собой с помощью фланцевых и контурных соединений.

БРЭО состоит из бортовой системы управления (БСУ) и системы обмена информацией по радиоканалам (СОИР). Система управления БЛА – инерциальная, с коррекцией по информации от спутниковой навигационной системы. Полет выполняется по программе, введенной в бортовую систему управления перед полетом. Оператор (руководитель полета) с наземного пункта управления (НПУ) может выполнять коррекцию программы полета, управлять бортовым оборудованием БЛА и оборудованием из состава полезной нагрузки путем передачи командно-сигнальной информации по прямому каналу радиолинии «БЛА-НПУ». По обратному каналу радиолинии с борта БЛА на НПУ передается служебная и иная информация.

Силовая установка состоит из двух винтомоторных групп, включающих в себя двигатели внутреннего сгорания с тянущими двухлопастными воздушными винтами и топливную систему. Винтомоторные группы установлены в центральной (не складываемой) части крыла под нижней поверхностью консолей.

Возможны два варианта взлета-посадки: взлет со стартового катапультного устройства и посадка на парашюте (вариант 1) и взлет и посадка «самолетному» (вариант 2).

В варианте 1 система посадки включает в свой состав парашют и пневмогидравлические амортизирующие опоры. В варианте взлета и посадки «самолетному» БЛА имеет трехопорное убирающееся в полете шасси с носовым колесом.

Полезная нагрузка размещается на унифицированной платформе в центральной части фюзеляжа, симметрично относительно центра масс БЛА. Это позволяет размещать в отсеке полезные нагрузки с разными (переменными) массовыми характеристиками (с возможностью их сброса в полете) без влияния на смещение центра масс БЛА.

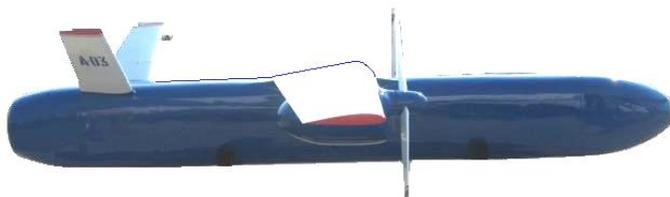




Рис. 2. Внешний вид БЛА.

2.2. В зависимости от назначения БЛА полезная нагрузка может содержать различные малогабаритные измерительные комплексы для мониторинга опасных явлений погоды, измерения параметров атмосферы, микрофизических и термодинамических характеристик облаков, аэровизуального контроля состояния посевов, мониторинга лесных пожаров, техногенных и природных катастроф, газо- и нефтепроводов или бортовые средства воздействия на облачные процессы с целью предотвращения града, искусственного увеличения осадков и т.п.

Для оснащения БЛА средствами измерений параметров облаков и атмосферы могут быть использованы элементы комплексов, разработанных ЦАО и АНО «АТТЕХ» для пилотируемой авиации [5] и обеспечивающих получение в реальном масштабе времени пилотажно-навигационных параметров полета (время, географические координаты, высота и маршрут полета, угол сноса, воздушная и путевая скорость), а также параметров атмосферы и облачности (температура, влажность, жидкокапельная и полная водность, прозрачность).

БЛА, предназначенные для АВ на облачные системы, могут быть оснащены следующими средствами засева облаков:

- сбрасываемые ракетные контейнеры (патент РФ № 2314675);
- бортовой ракетный комплекс (патент РФ № 2130164);
- бортовые генераторы льдообразующих частиц [5];
- кассеты для отстрела пиропатронов ПВ-26 и ПВ-50 [4];

– контейнеры с грубодисперсными порошками гигроскопического реагента или гранулами сухой углекислоты [5] и т.д.

Сбрасываемый ракетный контейнер (рис.3), содержащий 12 малоразмерных ракет массой 150 г, одновременно отстреливаемых на заданной высоте, обеспечивает засев круга диаметром 5–6 км. Каждая ракета (патент СССР № 1566864) содержит 80 г льдообразующего топлива и может генерировать около $3 \cdot 10^{15}$ активных льдообразующих частиц. Корпус контейнера через 5 с после запуска ракет ликвидируется на безопасные осколки. На борту БЛА может быть размещено 25 таких контейнеров, могущих обеспечить воздействие на несколько градоопасных и градовых облаков (включая сверхмощные суперячейковые). Сброс контейнеров осуществляется с уровня вершины облаков по команде НПУ из специальной платформы, размещенной в отсеке полезной нагрузки, имеющем открывающиеся створки и механизм поочередного сброса.

Бортовой ракетный комплекс, обеспечивающий широкозахватный засев градовых и градоопасных облаков, состоит из направляющих труб и авиационного варианта противорадиолокационных ракет «Ас» калибра 57 мм, имеющих радиус действия 10 км, массу 1,22 кг и систему самоликвидации отработавшего корпуса без применения ВВ [4].

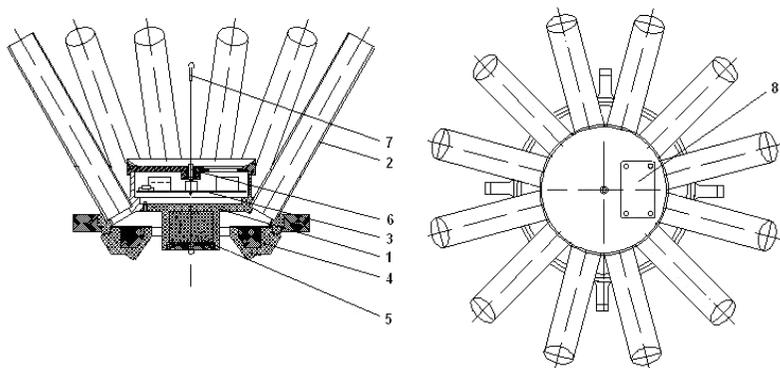


Рис. 3. Сбрасываемый ракетный контейнер: 1 – корпус, 2 – труба направляющая, 3 – плата управления, 4 – пороховой аккумулятор давления, 5 – шашка ВВ, 6 – прерыватель цепи электропитания, 7 – карабин с канатом, 8 – люк для установки элемента электропитания.

Пуск ракет может осуществляться с левого и правого борта под определенным углом к горизонту и к направлению полета, чтобы обеспечить оптимальную траекторию. Это, в сочетании с большим радиусом действия ракет,

позволяет реализовать засев облаков без влета в зоны опасной турбулентности и мощных вертикальных потоков внутри грозоградовых облаков.

Бортовые генераторы льдообразующих частиц, предназначенные для засева слоистообразных и малождящих конвективных облаков с целью искусственного увеличения осадков, представляют собой ракетные двигатели противорадовой ракеты «Ас» [4] без системы самоликвидации. Они могут размещаться под фюзеляжем и на закрылках и поочередно поджигаться по команде с НПУ при влете БЛА в зону засева.

Кассеты «АСО-2И» и «КСП-50» для отстрела пиропатронов «ПВ-26» и «ПВ-50» предназначены для воздействия на конвективные и слоистообразные облака с целью увеличения осадков и их рассеяния. В отсек полезной нагрузки могут быть встроены 4 дистанционно управляемых (с НПУ) кассет «АСО-2И» и 2 кассеты «КП-50».

Контейнеры с грубодисперсными порошками гигроскопического реагента или гранулами сухой углекислоты, также предназначены для работ по рассеянию облаков и увеличения осадков. Однако оснащение БЛА гигроскопическими реагентами, расходуемыми в больших дозах, менее приемлемо из-за ограниченности массы полезной нагрузки БЛА.

БЛА, предназначенные для контроля состояния посевов, лавинных и селевых выносов, обнаружения и картографирования очагов пожаров, патрулирования автострад и трасс трубопроводов могут быть оснащены современными средствами, включая сканирующий радиометр-тепловизор «ПО-ИСК-2М», телевизионную камеру, панорамный аэрофотоаппарат «АП-402М» (для широкозахватного фотографирования земной поверхности с малых и средних высот полёта), спектрозональный аэрофотоаппарат «АС-707» (для фотографирования местности в четырёх зонах спектра); блок регистрации информации и другое оборудование в зависимости от решаемой задачи (рис. 4).



Рис. 4. Приборы для мониторинга земной поверхности, состояния посевов, обнаружения пожаров, обследования лавинных и селевых выносов.

2.3. Катапультное устройство служит для обеспечения предстартового контроля работоспособности всех узлов и блоков БЛА, запуска БЛА с рабо-

тающими двигателями с разгоном на горизонтальной консольной ферме за счет энергии расширения продуктов горения газа в толкателе цилиндрической формы. Консольная ферма имеет две колесные опоры для ручного разворота по азимуту и направляющие опоры для БЛА.

2.4. Наземный пункт управления (НПУ) используют для подготовки полетного задания для БЛА, выполнения предстартовой подготовки и пуска БЛА, контроля за полетом БЛА и работоспособности его бортовых систем с передачей информации по обратному каналу радиолинии «БЛА-НПУ», корректировки полетного задания, управления полетом и бортовыми системами с помощью разовых команд, передаваемых на борт БЛА по прямому радиоканалу, приема, обработки, документирования и архивации получаемой с борта БЛА информации. НПУ разрабатывается на базе существующего пункта управления, входящего в составы современных беспилотных авиационных комплексов, в двух вариантах исполнения: стационарном и мобильном, с размещением в кузове-фургоне К4.5350 на автомобильном шасси КАМАЗ-43114 (43118).

2.5. Способы применения комплекса «Нарт»:

БЛА, оснащенный в зависимости от назначения бортовыми средствами авиамониторинга или предотвращения опасных явлений погоды, размещается на пусковом устройстве катапультного типа, проходит предстартовый контроль функционирования всех систем с помощью автоматизированной системы контроля, в БСУ вводится полетное задание и осуществляется его пуск. Полет выполняется в соответствии с полетным заданием. При необходимости, оператором с наземного пункта управления неисполненная часть полетного задания может корректироваться передачей на борт БЛА по каналу радиолинии.

После выполнения задания БЛА выходит в район посадки, автоматически приземляется с помощью системы посадки и эвакуируется подъемно-транспортным устройством на позицию для послеполетного обслуживания и подготовки к очередному вылету (рис. 5).

При возникновении аварийной ситуации на борту, при которой невозможно продолжение полета, бортовая система управления, согласно логике отработки отказов, выдает сигналы на выход БЛА в отчужденную зону и включение системы посадки.

В случае применения комплекса для выполнения мониторинга природных и техногенных катастроф, состояния посевов, лесных пожаров, увлажнения почвы, газо- и нефтепроводов весь полет может осуществляться по заданной перед стартом программе. В случае применения БЛА для исследования внутриоблачных процессов и активного воздействия на них про-

грамма полета и функционирование средств измерения или засева облаков могут корректироваться после подлета к цели по командам НПУ.

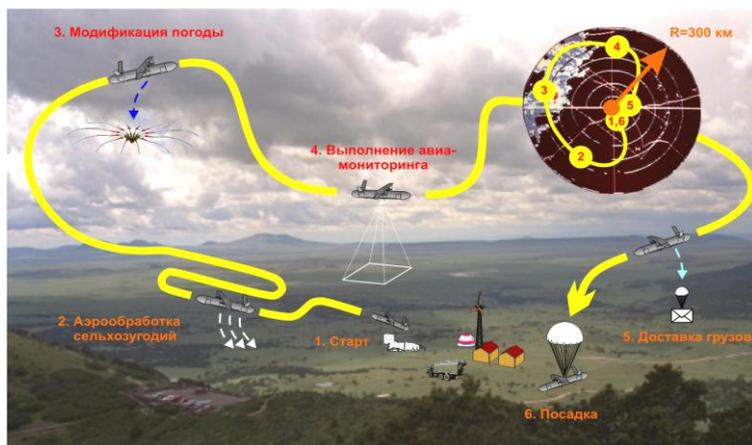


Рис. 5. Схема применения комплекса «Нарт» для различных целей.

Применение комплекса «Нарт» для мониторинга опасных явлений погоды предусматривает оснащение БЛА видеокамерой и бортовым измерительным комплексом, который обеспечивает:

- видеосъемку и передачу на НПУ видеоизображения облаков, связанных с ОЯ, а также земной поверхности с последствиями ОЯ (повреждения от града, ливневые паводки и сели, смывы пахотного слоя, эрозия почвы);
- измерение и передачу на НПУ параметров атмосферы и облаков, в том числе и опасных для полетов пилотируемой авиации.

Применение комплекса «Нарт» для предотвращения града, ливневых паводков и увеличения осадков предусматривает обеспечение постоянной готовности всего комплекса, включая БЛА снаряженных средствами засева облаков, в зависимости от решаемой задачи.

Оценка метеорологической обстановки осуществляется по данным систематического обзора трехмерного пространства с помощью автоматизированного радиолокационного комплекса «АСУ-МРЛ». При обнаружении объектов воздействия (например, градовых или градоопасных облаков) осуществляется предстартовый контроль БЛА, ввод в БСУ программы полета и пуск БЛА по команде НПУ.

Подготовка программы полета осуществляется с учетом решаемой задачи, местоположения и типа объекта воздействия, используемых средств засева. На АРМ руководителя воздействия, входящего в состав «АСУ-МРЛ», формируется карта облачности с площадками засева, на фоне которой отображается маршрут полета и текущее положение БЛА, координаты которого непрерывно поступают по радиоканалу. По командам НПУ обеспечивается наведение БЛА по высоте и направлению полета для оптимального засева облака, в соответствии с применяемой технологией и средствами засева.

Например, для предотвращения града согласно действующей технологии [6], засев областей нового роста градовых и градоопасных облаков может быть реализован путем сброса с вершины фидерных облаков ракетных контейнеров или ракетного обстрела с уровня, обеспечивающего засев слоя облака с температурой минус $(6 \pm 3)^\circ\text{C}$ (рис. 6).

Для искусственного увеличения осадков [5] из конвективных облаков предпочтительно применение пиропатронов «ПВ-26» и «ПВ-50», отстреливаемых с уровня вершины облаков, а в случае слоистообразных облаков – бортовых генераторов льдообразующих частиц.

При подлете БЛА в зону засева с НПУ подаются команды управления средствами засева: сброс ракетных контейнеров в требуемых точках, пуск бортовых ракет, отстрел пиропатронов, либо сброс гранул твердой углекислоты в облачную среду. После завершения засева облаков или расхода средств засева с НПУ дается команда на возврат и посадку БЛА.

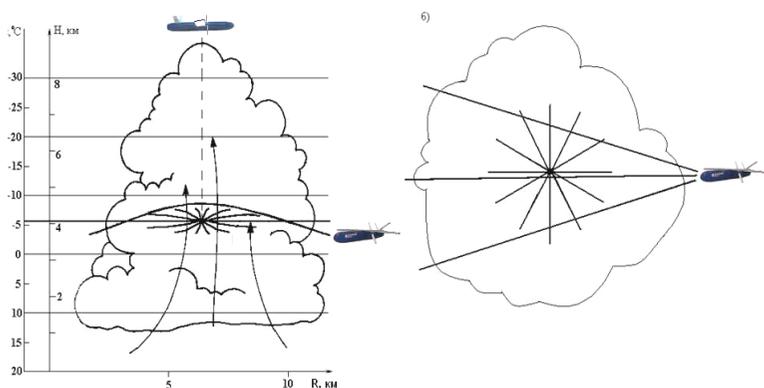


Рис. 6. Схема засева конвективного облака ракетами и сбрасываемыми контейнерами: а) на вертикальном сечении облака, б) на горизонтальном сечении.

Заключение

На базе предлагаемого беспилотного авиационного комплекса «Нарт» может быть создана государственная система мониторинга и защиты от опасных явления погоды, которая включает:

1. *крупномасштабную систему* защиты от градобитий и сопровождающих явлений (интенсивные грозы, ливни, шквалы и смерчи), обладающей преимуществами авиационной (охват больших территорий) и ракетной (высокая эффективность) технологий;
2. *систему искусственного увеличения осадков и рассеяния облачности* более дешевую, чем с применением пилотируемой авиации;
3. *крупномасштабную службу мониторинга земной поверхности* в любое время суток и в сложных метеорологических условиях, опасных для полетов пилотируемой авиации.

При радиусе действия одного комплекса 200 км для покрытия такой системой мониторинга основной территории Российской Федерации с интенсивным агропромышленным производством, нефте- и газопроводами понадобится около 38 комплексов (рис.7).



Рис. 7. Система мониторинга и предотвращения опасных явлений погоды на базе беспилотного авиационного комплекса «Нарт».

Список литературы

1. Абшаев М.Т., Малкарова А.М. Оценка эффективности предотвращения града. – СПб.: Гидрометиздат. 2006. – 280 с.

2. Абшаев М.Т., Байсиев Х-М.Х. Самолетные методы и аппаратура измерения микрофизических и термодинамических характеристик облаков. – Гидрометеорология. Обзорная информация. – Вып.2.– Обнинск, 1988. – 54 с.

3. Абшаев М. Т., Анаев М.А., Соловьев В.В., Шагин С.И. Беспилотный авиационный комплекс для мониторинга и предотвращения опасных явлений погоды//Журнал «Экология и промышленность России, октябрь 2008. – С. 4-8.

4. Абшаев А.М., Абшаев М.Т., Зорин В.А., Кратиров Д.В., Михеев Н.И., Энкин Э.А. Малогабаритный противогорадовый комплекс «Ас-Элия»//См. настоящий сборник.

5. Колосков Б.П., Корнеев В.П., Щукин Г.Г. Методы и средства модификации облаков. – СПб. – 2012. – 341 с.

6. РД 52.33.731-2010. Организация и проведения противогорадовой защиты. – Нальчик: – Изд. «Эльбрус». – 84 с.

МАЛОГАБАРИТНЫЙ ПРОТИВОГРАДОВЫЙ КОМПЛЕКС «АС-ЭЛИЯ»

**А.М. Абшаев¹, М.Т. Абшаев¹, В.А. Зорин², Д.В. Кратиров³, Н.И. Михеев³,
Э.А. Энкин²**

¹ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», г. Нальчик,

[<abshaev@mail.ru>](mailto:abshaev@mail.ru)

²ОАО «Научно-исследовательский институт полимерных материалов», г.

Пермь, [<niipt@pi.ccl.ru>](mailto:niipt@pi.ccl.ru)

³Научно-производственное предприятие «ИРВИС», г. Казань,

[<1@gorgaz.ru>](mailto:1@gorgaz.ru)

Практика применения ранее созданных противогорадовых изделий (ПГИ) и пусковых установок (ПУ) показала [1], что они не в полной мере обеспечивают выполнение физических принципов активного воздействия (АВ) на градовые процессы вследствие следующих причин:

- недостаточный темп засева быстротечных и сверхмощных градовых облаков, связанный с ручным управлением ПУ и малым количеством направляющих в них, неудобной и длительной по времени перезарядкой ПУ в грозовую обстановку;
- недостаточная льдообразующая эффективность ПГИ;

- низкая точность наведения ПУ и низкая точность полета ПГИ, связанная с серьезным влиянием приземного ветра на направление полета;
- большой радиус «мертвой» зоны вокруг пусковой позиции, где засев объектов воздействия (ОВ) не осуществляется и поэтому ракетные пункты воздействия (ПВ) приходится размещать так, чтобы они могли перекрывать «мертвые» зоны друг друга.

В целях устранения этих проблем разработан новый противоградовый комплекс «Ас-Элия», состоящий из малогабаритного ПГИ «Ас» и автоматизированной ПУ «Элия-2» (рис.1).



Рис.1. Автоматизированный противоградовый комплекс «Ас-Элия».

1. Краткие сведения о ПГИ «АС»

ПГИ «Ас» разработано НПП «ИРВИС» (г. Казань) под научным руководством и по техническому заданию НПЦ «Антиград» на основе льдообразующего топлива, созданного в ОАО «НИИПМ» (г. Пермь). Серийное производство корпусных деталей осуществляет НПП «ИРВИС». Изготовление зарядов и сборка ПГИ осуществляется в ОАО «НИИПМ».

ПГИ «Ас» имеет принципиально новую конструкцию с активно-реактивным стартом и маршевым двигателем, работающим на всей траектории полета от момента старта до точки самоликвидации корпуса [3,4]. Отличительной особенностью изделия является применение нового льдообразующего топлива [4,5], что обеспечило реактивную тягу, генерацию кристаллизующего аэрозоля, упрощение конструкции ПГИ, многократное уменьшение их габаритно-массовых характеристик, увеличение массы полезной нагрузки и получение пологих траекторий полета с повышенной протяженностью пути эффективного засева облаков на требуемой высоте и в требуе-

мом слое. Внесение продуктов возгонки кристаллизующего реагента осуществляется через сопло ПГИ. При этом массивное истечение продуктов горения в узкой струе реактивных газов обеспечивает повышение их объемной концентрации, способствует формированию оптимального спектра льдообразующего аэрозоля.

Для сокращения влияния приземного ветра на точность полета предусмотрен стартовый газогенераторный ускоритель, обеспечивающий скорость старта ПГИ около 90 ± 10 м/с. Корпус газогенератора остается в ПУ, что сокращает полетную массу изделия.

Достоинствами ПГИ «Ас» являются:

1. Повышенный в 2-3 раза по сравнению с аналогами выход активных льдообразующих ядер (ЛОЯ) позволит повысить эффективность предотвращения града и сократить расход ПГИ.

2. Повышенный радиус действия и более пологие, чем у аналогов, траектории обеспечивают засев требуемого по технологии ПГЗ [1] слоя облаков с радиусом «мертвой» зоны вокруг пусковой позиции около 1,5 км, тогда как у аналогов («Алазань-6» и «Алазань-9») радиус «мертвой» зоны достигает 4,0–4,5 км. Это позволит сократить требуемое число ракетных пунктов примерно в 1,5 раза и снизить себестоимость противоградовых работ.

3. Дробление пластикового корпуса отработавшего ПГИ на безопасные осколки осуществляется без применения взрывчатых веществ (ВВ) за счет резкого повышения давления в камере сгорания на конечном этапе работы двигателя. Отсутствие ВВ позволяет снизить класс опасности ПГИ, сократить запретные сектора пуска и упростить его транспортировку.

4. Малые габариты и масса ПГИ «Ас» обеспечивают удобство эксплуатации (переноски, зарядки и разрядки ПУ) и снижение транспортных расходов. Его масса в 7,2 раза меньше, чем у ПГИ «Алазань-6», масса реагента в 1,3 раза, а радиус действия в 1,1 раза больше.

5. Складывающееся оперение позволяет увеличить число направляющих ПУ. Пакет направляющих ПУ «Элия-2» для пуска ПГИ «Ас» содержит 36 направляющих. При тех же габаритах пакета направляющих помещается 16 ПГИ «Алазань-6», имеющих не складывающееся оперение, или 20 ПГИ «Алазань-9». Большое число направляющих для пуска ПГИ «Ас» повышает боезапас ПУ, позволяет резко сократить частоту зарядки ПУ во время АВ, а также число ПУ на ракетных пунктах.

6. В конструкции ПГИ предусмотрен цанговый замок с калиброванным усилием срыва, обеспечивающий старт изделия после набора необходимой тяги. Это исключает необходимость рутинных операций по периодической калибровке усилия срыва в каждой направляющей ПУ.

7. Простота зарядки и стопорения ПГИ позволяет сократить время перезарядки ПУ в условиях острого дефицита времени. Для зарядания ПГИ «Ас» требуется протолкнуть в направляющие трубы ПУ «Элия-2» до упора и застопорить сразу 6 ПГИ одной штангой.

8. Применение защитной крышки на пусковых трубах позволяет защитить ПГИ от воздействия дождя и солнца и содержать ПУ в заряженном состоянии – в состоянии постоянной готовности.

9. Высокая стартовая скорость ПГИ «Ас» резко сокращает влияние приземного ветра на точность полета в заданном направлении.

ПГИ «Ас» успешно выдержала межведомственные испытания. Проверка надежности функционирования при предельных и нормальных значениях температуры проведена в ФКП «Приволжский государственный боеприпасный испытательный полигон».

Проверка льдообразующей эффективности ПГИ «Ас», выполнена в аэродинамической трубе ФГБУ «НПО «Тайфун» в январе 2005 г. и в июне 2014 г. по схеме, приведенной на рис.2.

Испытания льдообразующей эффективности полноразмерных ПГИ «Ас», снаряженных льдообразующим топливом ЛТ-125 и ЛТ-126, проведенные в 2005 году в зимних условиях (приблизненных к температурным условиям возгонки реагента в облаках) показали (рис.3), что при скорости обдува 80–100 м/с выход активных ЛОЯ с 1 изделия «Ас» при температуре минус 10°C достигает $4 \cdot 10^{16}$, а при температуре минус 6°C – около $5 \cdot 10^{15}$ шт.

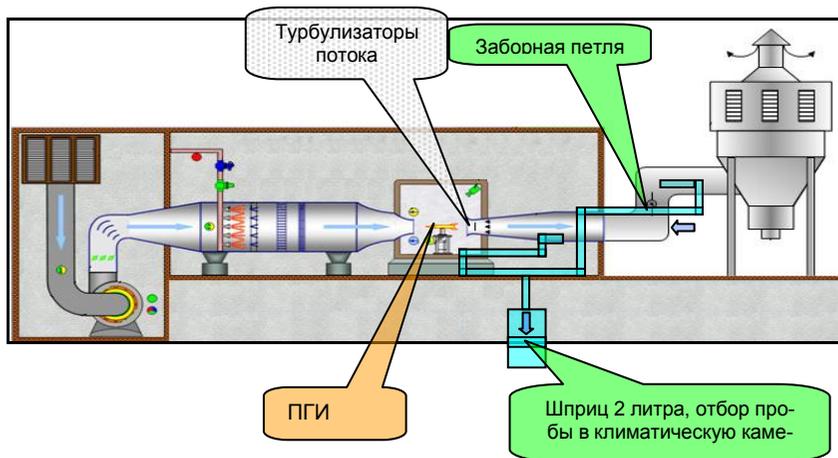


Рис. 2. Схема испытаний льдообразующей эффективности изделия «Ас» в аэродинамической трубе ФГБУ «НПО «Тайфун».

Испытания, проведенные в июне 2014 г., на моделях с уменьшенным в 4 раза зарядом состава ПЛС-2, которым будет снаряжена первая промышленная партия ПГИ «Ас», показали, что выход ЛОЯ с одного изделия при температуре минус 10°C составляет $1,6 \cdot 10^{16}$, а при температуре минус 6°C – около $2,6 \cdot 10^{15}$, что вдвое превышает выход ЛОЯ с ПГИ «Алазань-6».

Примерно в 1,5-2 раза больше выход ЛОЯ у модернизированного (с целью уменьшения температурной зависимости скорости горения) состава ПЛС-2-214, которым будут снаряжаться последующие партии ПГИ «Ас».

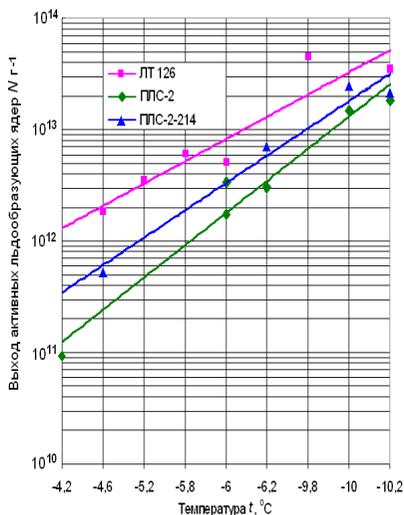


Рис. 3. Выход активных льдообразующих ядер с 1 г льдообразующего твердого топлива по результатам испытаний в аэродинамической трубе НПО «Тайфун»: ЛТ-126 по данным испытаний в январе 2005 г.; ПЛС-2 и ПЛС-2-214, проведенных в 10-11.06.2014

Испытания по дроблению корпуса, проведенные в бронированной песочной камере в ОАО «НИИПМ», показали, что в случае применения шашки ВВ массой 30 г корпус превращается в пыль. Однако по согласованию с ВС Росгидромета было принято решение о дроблении корпуса без применения ВВ. В этом случае, как показано на рис. 4, максимальный осколок имеет массу 130 г, который опускается со скоростью до 20 м/с. Его кинетическая энергия (50 Дж) не превышает кинетическую энергию градины диаметром 5 см.

Заключительные испытания по проверке соответствия ПГИ «Ас» требованиям ТЗ и функционирования при пусках с ПУ «Элия-2» и «Элия-МР» после воздействия дождя, СВЧ облучения и 10-кратного перезарядания, а также проверке удобства эксплуатации проведены на противорадовом по-

лигоне ФГБУ «Северо-Кавказская ВС». Основные характеристики ПГИ «Ас» в сравнении с лучшими аналогами приведены в табл. 1.



Рис. 4. Фрагменты дробления корпуса ПГИ «Ас» без применения ВВ.

Таблица 1. Технические характеристики ПГИ «Ас» в сравнении с лучшими аналогами.

Технические характеристики	Алазань-6	Алазань-9	Лоза	Ас
Калибр, мм	82,5	60	55	57
Длина изделия, мм	1402	1200	910	613
Полетная масса, кг	8,8	4,5	2,8	1,22
Стартовая скорость, м/с	26	50	65	110
Эффективный радиус действия, км	10,5	10,5	7,5	10,7 ± 0,6
Длина пути засева в требуемом слое, км	7,0	6,0	4,5	9,0 ± 0,5
Масса реагента, г	630	400	400	800
Количество AgI, г	26,4	36,0	40	16
Выход льдообразующих частиц:				
1. при температуре минус 10°C	6.6·10 ¹⁵	6.6·10 ¹⁵	1,2·10 ¹⁶	1,6·10 ¹⁶
2. при температуре минус 6°C	2·10 ¹⁵	10 ¹⁵		2,6·10 ¹⁵
Продолжительность засева облаков, с	30 ± 3	40 ± 4	30	47 ± 4
Система обеспечения безопасности	взрывом	взрывом	взрывом	без ВВ
Надежность системы самоликвидации	0,995	0,9995	0,955	0,9995

Для расчета траекторий ПГИ «Ас» разработана математическая модель, которая позволяет исследовать влияние приземной температуры и ветра (бокового, встречного и попутного). Траектории ПГИ приведены на рис.5, из которого следует что радиус действия ПГИ «Ас» варьирует в зависимости от высоты стартовой позиции и высоты засева в пределах $10,7 \pm 0,6$. При этом обеспечиваются пологие траектории с длиной пути засева $9 \pm 0,5$ км, проходящем в 1 км облачном слое и радиусом «мертвой» зоны $1,5 \div 2,0$ км в зависимости от угла пуска.

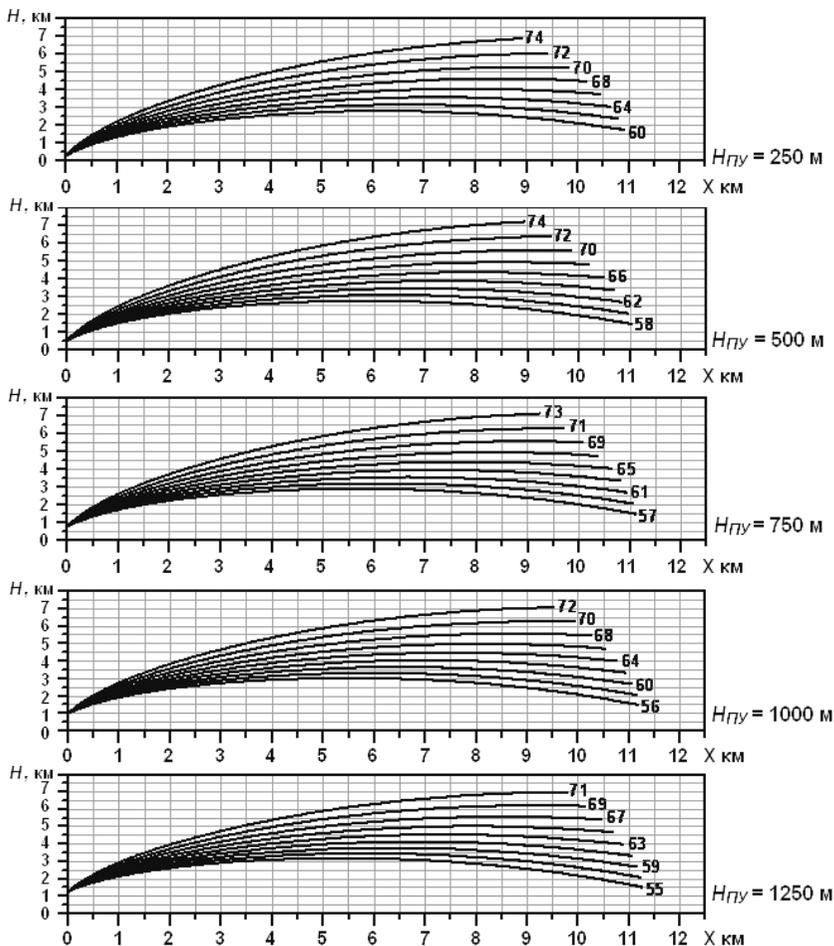


Рис. 5. Траектории ПГИ «Ас» при разных углах пуска с указанной высотой над уровнем моря. $H_{пгУ}$ – высота пуска над уровнем моря. В конце траекторий указаны углы пуска.

2. Краткие сведения о ПУ «Элия-2»

При проведении АВ на сверхмощные крупномасштабные суперячейковые и многоячейковые градовые процессы требуется массивированный засев [1], обеспечиваемый скорострельностью и количеством ПУ на ПВ, количеством направляющих ПУ, оперативностью перезарядки ПУ и оперативностью пуска ПГИ. На практике ПГЗ, зачастую, даже при наличии на каждом ПВ двух ПУ типа 12-ствольных ПУ «ТКБ-040» требуемый темп засева не достигается. Длительное время перезарядки их (6-8 мин) приводит к перерывам в засеве ОВ.

Для обеспечения требований технологии ПГЗ, автоматизации противоградовых стрельб и их документирования создана автоматизированная ПУ «Элия-2», которая может обеспечить высокий темп засева ОВ (пуск 36 ПГИ за 2,5 мин) без перезарядки во время АВ. Разработка и организация серийного производства ПУ «Элия-2» выполнена НПЦ «Антиград» с привлечением ООО «СевкавРентген-Д» (г. Майский) для изготовления механической части ПУ.

ПУ «Элия-2» обеспечивает пуск ПГИ с активно-реактивным стартом (типа «Ас», «Алан-3») и реактивным стартом (типа «Алазань-6», «Алазань-9») в режиме автоматического управления по командам, поступающим по радиомодему дальней связи от компьютера системы «АСУ-Элия», управляющей сетью удаленных ПУ «Элия-2», а также в режиме полуавтоматического управления по командам с пульта дистанционного управления [6].

В обоих режимах контроллер ПУ обеспечивает управление радиомодемами ближней и дальней связи, прием и исполнение команд, поступающих от «АСУ-Элия» и ПДУ по своим каналам связи, включая наведение ПУ по угловым координатам, пуск серии ПГИ (от 1 до 36 шт.), регистрацию даты, времени и координат пуска ПГИ.

Для пуска ПГИ разных типов и калибров предусмотрено три варианта сменных пакетов направляющих. Пакет направляющих для пуска ПГИ «Ас» содержит 36 направляющих (табл. 1), выполненных из тонкостенных алюминиевых труб длиной 1800 мм (рис.1), необходимой для разгона ПГИ в направляющей до 100 м/с.

Наличие в ПУ «Элия-2» встроенных каналов дальней (до 100 км) и ближней (до 0,1 км) связи, электроприводов наведения по азимуту и углу возвышения, а также программируемого контроллера обеспечивает беспроводное управление ПУ, высокий темп засева облаков с исключением ошибок и беготни персонала для наведения ПУ в условиях суровой погоды.

Таблица 2. Технические характеристики ПУ «Элия-2» и ее аналогов.

Параметры ПУ	ТКБ-040	Алан-МЗ	Элия	Элия-МР	Элия-2
Калибр, мм	83	70	57, 61, 83	83	57,61,83
Число направляющих, шт.	12	36	49, 36, 16	12	36,20,16
Габариты, мм:					
1. длина;	2350	2900	2250	2000	1900
2. ширина;	2320	1655	1700	1450	1077
3. высота.	1980	1420	1700	1200	1200
Масса с пультом управления, кг	670	1300	650	340	190±10
Скорость наведения, град/с:	ручное,	10 ± 0,5	10 ± 0,5	ручное	20 ± 2,0
Скорострельность ракет/мин	6	15	12	6	15
Управление	Ручное	Полуавтом.	Полуавтом.	Ручное	Автомат.

Абсолютные цифровые датчики углового положения и система автоматического наведения на Солнце обеспечивают высокую точность горизонтирования, ориентирования ПУ и пуска ПГИ с точностью $\pm 0,5$ градуса, наличие 36 стволов – возможность засева крупномасштабных ОВ, а простота и оперативность зарядки ПУ - удобство эксплуатации.

Система электропитания на базе аккумуляторов и зарядного устройства на солнечной батарее, обеспечивает автономное электропитание ПУ и возможность ее применения в труднодоступных районах, где отсутствует линия электропередачи.

Встроенная мини метеостанция с датчиками давления, температуры и влажности воздуха позволяет исключить температурный разброс траектории засева облаков путем введения соответствующей коррекции. Необходимость этого обусловлена тем, что в дни с градовыми процессами температура воздуха на стартовой позиции может варьировать от 5 до 40°C. С повышением температуры скорость горения зарядов двигателей и пиротехнических составов реагента увеличивается, время горения сокращается. Это приводит к температурному разбросу скорости полета ПГИ, радиуса его действия и высоты траектории. Например, при температуре заряда двигателя, равной 5°C, точка самоликвидации ПГИ «Ас» отмечается на высоте 1,3 км на дальности 11,3 км, а при температуре заряда, равной 50°C – на высоте 6,0 км и дальности 8,4 км. При наиболее часто встречающейся температуре воздуха в дни с градом (25 ± 10)°C высота точки ликвидации ПГИ равна 4,1 ± 0,9 км, а дальность $10 \pm 0,7$ км. Такой температурный разброс характерен всем типам ПГИ.

Малая масса (190 ± 10 кг в зависимости от типа пакета направляющих) и разборность конструкции ПУ «Элия-2» исключает потребность в подъемных механизмах при транспортировке и монтаже ПУ на позиции.

Заключение

1. Применение нового малогабаритного противорадового комплекса «Ас-Элия» позволит:

- выполнить требования технологии ПГЗ по оперативности массивованного засева мощных и крупномасштабных градовых облаков;
- повысить точность засева ОБ за счет снижения влияния приземного ветра и температуры на пусковой позиции, благодаря высокой стартовой скорости ПГИ «Ас» и возможности автоматизированного учета температуры на ПВ;
- сократить запретные сектора и повысить безопасность транспортировки и применения ПГИ «Ас» благодаря отсутствию в ней ВВ;
- сократить число ПВ и ПУ благодаря малому радиусу «мертвой» зоны;
- снизить себестоимость ПГЗ за счет более низкой себестоимости ПГИ «Ас» по сравнению с аналогами.

2. Автоматизированное управление, контроль исполнения и документирование даты, времени и координат пуска ПГИ позволяют реализацию наукоемкой автоматизированной технологии ПГЗ, сокращение численности многочисленного персонала ПВ и себестоимости ПГЗ, расширение площади ПГЗ и экспорта российской технологии ПГЗ.

Список литературы

1. Абшаев М.Т., Абшаев А.М., Малкарова А.М. 2010: Руководящий документ РД 52.37.731-2010. Организация и проведение противорадовой защиты. Нальчик. – 86 с.
2. Абшаев М.Т., Абшаев А.М., Кузнецов Б.К. Автоматизированная противорадовая ракетная пусковая установка / Патент RU № 2267914, 2009.
3. Абшаев М.Т., Байсиев Х.-М.Х., Кузнецов Б.К., Михеев Н.И., Зорин В.А. Противорадовая ракета // Патент RU № 2130164. Бюллетень изобретений № 30, 2002.
4. Абшаев М.Т., Михеев Н.И., Кратиров Д.В., Зорин В.А. Концепция создания нового поколения ракет для АВ на облака. – Изв. РАН. Энергетика. 2005. № 6. С. 114-120.
5. Егорычев С.М., Зорин В.А., Нурзянова Х.Н. особенности компоновки новых пиротехнических составов льдообразующего аэрозоля для средств

АВ на облака // Доклады научно-прак. конф., посв. 40-летию работ по защите от града. – Нальчик, 2011. – С. 262-264.

6. Abshaev M.T., Abshaev A.M., Kuznetsov B.K., ets. New advances in automation of antihail rocket technology // 10th WMO Conf. Weather Mod. – Bali, Indonesia. – 2011.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАЗЕМНЫХ АЭРОЗОЛЬНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ В СЕВЕРО-КАВКАЗСКОЙ ВОЕНИЗИРОВАННОЙ СЛУЖБЕ

А.М. Петрунин, Б.П. Колосков, А.А. Бычков, А.В. Частухин
АНО «Агентство атмосферных технологий», г. Москва

В настоящее время в мировой практике активных воздействий (АВ) на облака с целью регулирования осадков и борьбы с градом широко используются наземные аэрозольные генераторы. Анализ состояния работ в области АВ на гидрометеорологические процессы с земли свидетельствует о том, что с помощью данного метода проводятся работы как по искусственному увеличению осадков, так и по борьбе с градом (Бразилия, Франция и т.д.).

Применение таких генераторов связано с простотой их использования и обслуживания. Кроме того, использование наземных генераторов экономически более целесообразно, чем применение ракетной или самолетной технологии.

Основываясь на результатах исследований в области воздействий на облака с использованием наземных аэрозольных генераторов, в АНО «Агентство АТТЕХ» было разработано несколько типов таких генераторов:

- наземный аэрозольный генератор НАГ-12, в котором используются пироэлементы САГ-26 (рис.1);
- наземный аэрозольный генератор НАГ- 07М, в котором используются пироэлементы АГ-1М (рис.2);
- генератор льдообразующего аэрозоля ГЛА-105 на базе фейерверочного изделия (рис.3).

Основные отличия данных генераторов заключаются в вариантах преодоления льдообразующим аэрозолем приземного слоя. Так, генератор НАГ-12 производит диспергирование аэрозоля на высоте 2-2,5 метра над землей, генератор НАГ-07М при помощи вентилятора и трубы доставляет

аэрозоль на высоту до 5 м, а генератор ГЛА-105 создает аэрозольное облако на высоте 200-220 м.

Ниже приведены основные технические характеристики разработанных генераторов.

Наземный аэрозольный генератор НАГ-12

Основные технические характеристики:

- время работы (по четыре, по два и по одному пироэлементу последовательно), ч., от 2 до 8
- высота постановки аэрозоля над землей, м 2-2,5
- количество пироэлементов, шт. до 128
- система управления опционально-дистанционное или пульт управления
- выход льдообразующего аэрозоля, 1/с (-6°C) $0,6 \times 10^{13}$
- суммарный выход льдообразующего аэрозоля с пироэлемента (-6°C) $1,4 \times 10^{15}$



Рис.1. Наземный аэрозольный генератор НАГ-12 с системой дистанционного управления.

Наземный аэрозольный генератор НАГ-07М

Основные технические характеристики:

- время работы (по два, по одному пироэлементу последовательно), ч до 8
- высота постановки аэрозоля над землей, м 3,5-5
- количество пироэлементов, шт. до 80
- система управления опционально - дистанционное или пульт управления
- выход льдообразующего аэрозоля, 1/с (-6°C) $0,6 \times 10^{13}$

- суммарный выход льдообразующего аэрозоля с пироэлемента (-6⁰С)
 $0,2 \times 10^{15}$

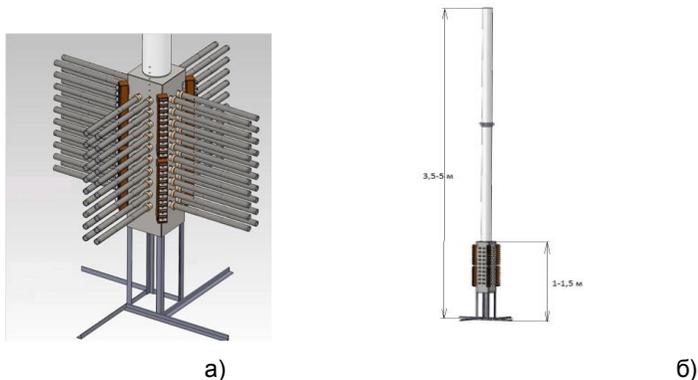


Рис.2. Наземный аэрозольный генератор НАГ-07М с установленными пироэлементами АГ-1М (а), общий вид генератора НАГ-07М без пироэлементов (б).

Генератор льдообразующего аэрозоля ГЛА-105 на базе фейерверочного изделия



Рис.3. Генератор льдообразующего аэрозоля ГЛА-105 в сборе (а) и в разрезе (б), mortar для отстрела генератора ГЛА-105 (в).

Основные технические характеристики

- диаметр, мм 105
- масса, кг 0,8
- масса пиросостава, кг 0,12
- высота постановки аэрозольного облака, м до 220
- количество льдообразующих ядер аэрозоля генератора при температура:

минус

6°C

$2,4 \times 10^{14}$

минус 10°C

$1,1 \times 10^{15}$

Следует отметить, что у каждой технологии доставки реагента в облако, будь то противораковые ракеты и снаряды, самолетные бортовые генераторы и отстреливаемые пиропатроны, наземные аэрозольные генераторы, есть свои преимущества и недостатки.

Несомненным достоинством доставки льдообразующего аэрозоля в облако при помощи наземных генераторов является их простота и относительная дешевизна по сравнению с самолетными и ракетно-артиллерийскими способами. Использование наземных генераторов не требует создания на защищаемой территории сложной инфраструктуры, генераторы могут работать вблизи аэродромов, государственных границ, населенных пунктов.

Результаты численного моделирования в трехмерной нестационарной модели

Следует отметить, что эффективность работы наземных генераторов напрямую зависит от топографии местности, поля ветра в приземном слое и восходящих потоков.

С целью оценки перспектив использования наземных аэрозольных генераторов в области АВ на гидрометеорологические процессы были проведены исследования процесса переноса льдообразующего аэрозоля при работе наземными аэрозольными генераторами НАГ-07М и генераторами фейерверочного типа ГЛА-105 с помощью разработанной в «Агентстве АТТЕХ» трехмерной нестационарной модели для реальной топографии местности и метеорологических условий. Численное моделирование переноса реагента было выполнено для полигона СК ВС. На рис.4 (а,б) показаны рельеф местности и расположение пунктов установки наземных аэрозольных генераторов.

Результаты исследований градовых процессов свидетельствуют о том, что большинство градовых процессов имеет северо-западный и юго-западный перенос. В связи с этим численное моделирование проводилось для этих двух преобладающих переносов.

На рис.5 приведены горизонтальные сечения вертикальной скорости (м/с) на высоте 0,2 км над рельефом при северо-западном (а) и юго-западном (б) переносах 5-6 м/с.

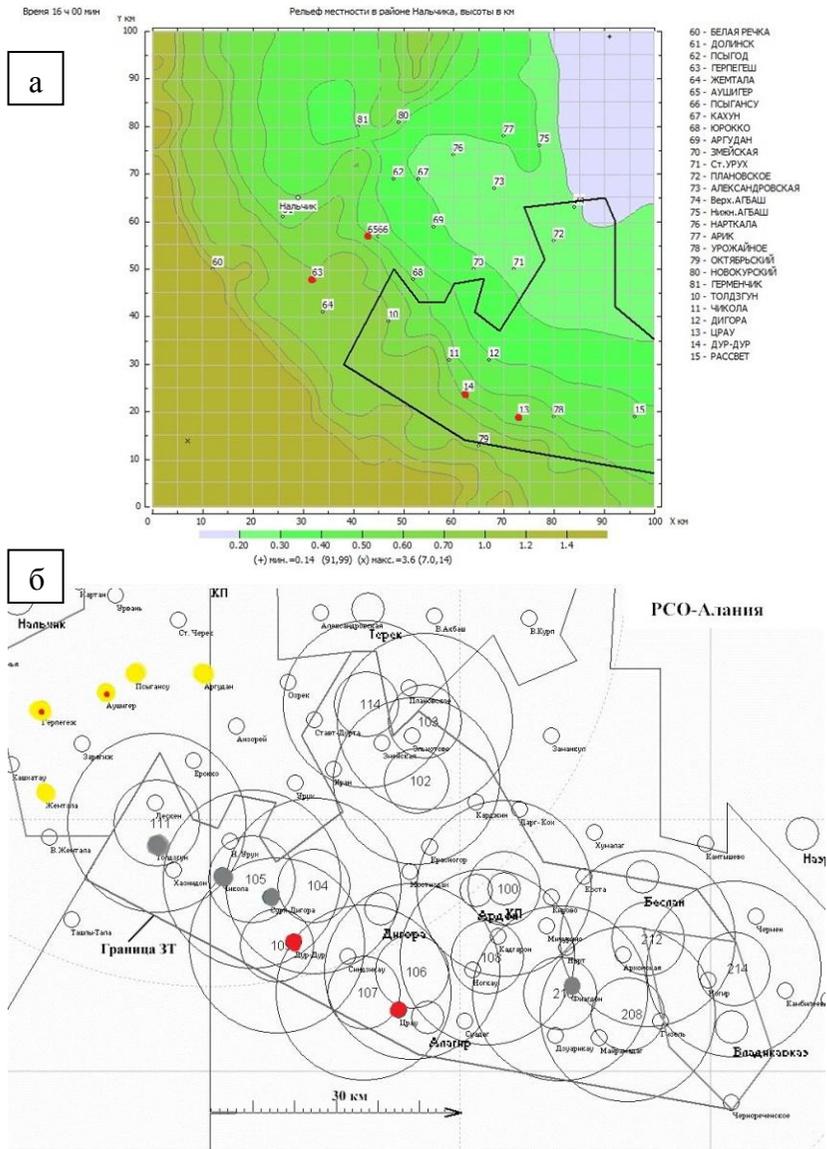


Рис.4. Рельеф местности и полигон СК ВС (а), расположение пунктов воздвештия (б).

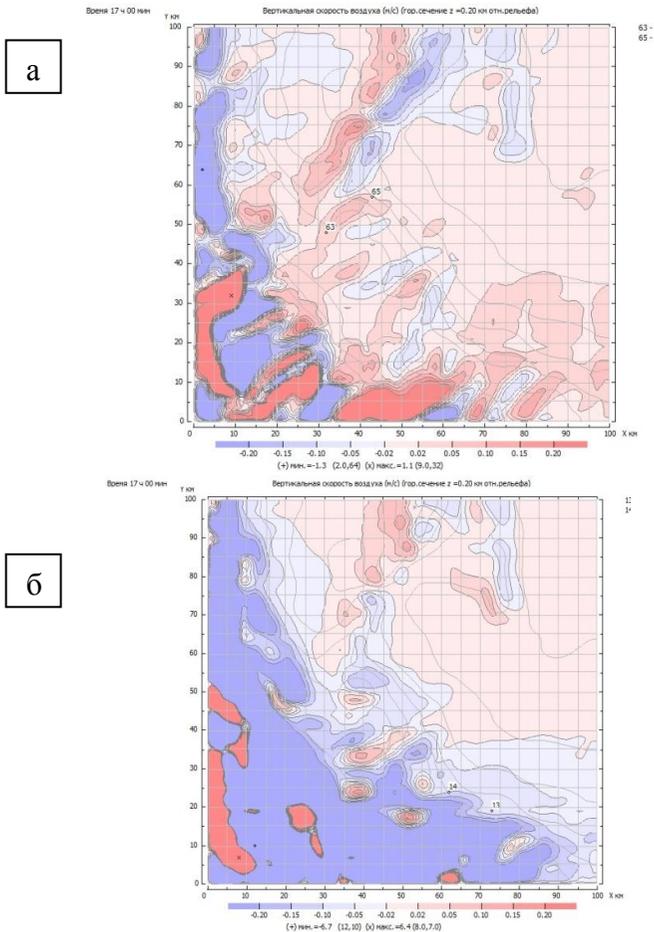


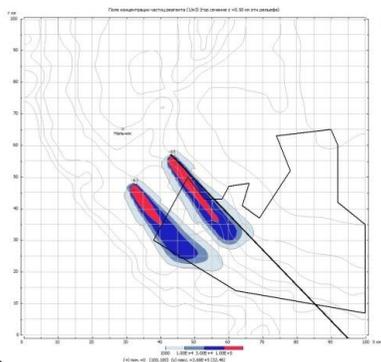
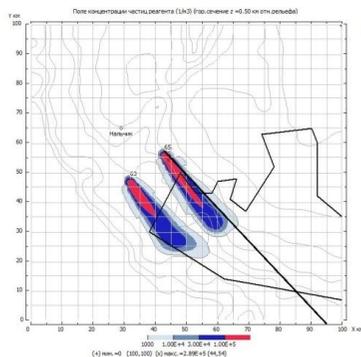
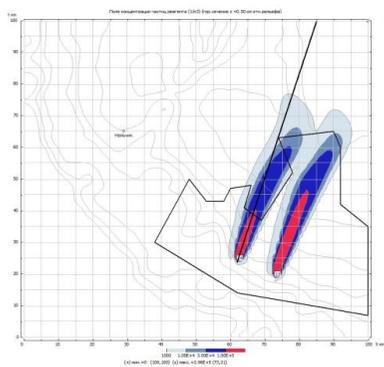
Рис.5. Горизонтальные сечения вертикальной скорости при С-З (а) и Ю-З (б) переносах.

Из приведенных рисунков отчетливо видно, что при юго-западном переносе над южной частью защищаемой территории (ЗТ) преобладают нисходящие потоки, т.е. при работе генераторами при данном переносе нисходящие потоки не дадут льдообразующему аэрозолю в достаточном для эффективного воздействия количестве дойти до нижней границы облачности.

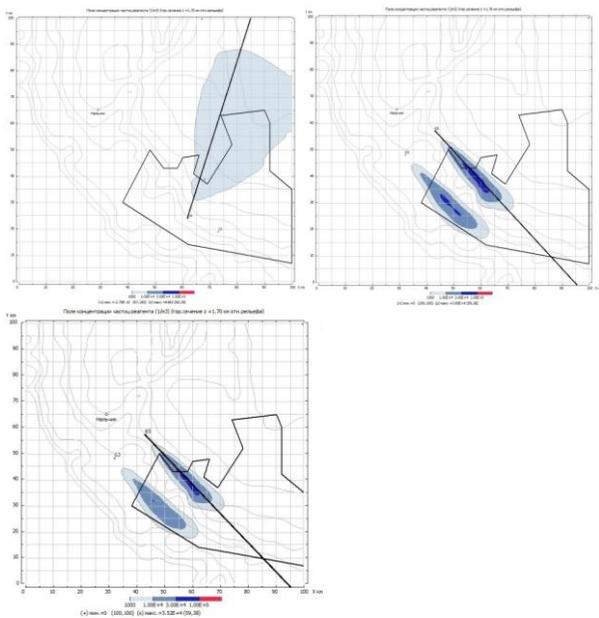
На рис.6 приведены результаты распространения аэрозоля от генераторов ГЛА-105 при юго-западном переносе (а) и генераторов ГЛА-105 и НАГ-07М при северо-западном переносе (б,в), через 1 час после начала работ.

Генераторы ГЛА-105 запускались с 16:00 до 18:00 с 5-минутным интервалом, наземные аэрозольные генераторы НАГ-07М работали с 16:00 до 18:00 непрерывно по 2 пирозлемента.

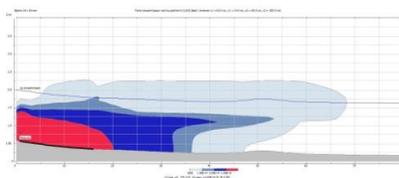
Следует отметить, что режимы работы генераторов выбраны из условия эквивалентности концентрации аэрозольных зон, достигающих уровня конденсации при одинаковых условиях работы.



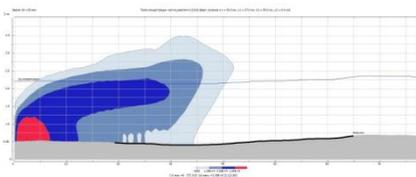
Горизонтальное сечение на высоте 500 м.



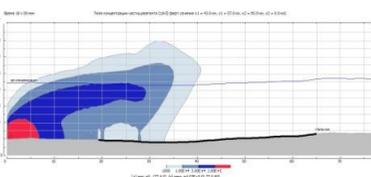
Горизонтальное сечение на высоте 1700 м (уровень конденсации).



а



б



в

Вертикальное сечение.

Рис.6. Горизонтальные (на высоте 500 и 1700 м) и вертикальные сечения концентрации частиц реагента через 1 час после начала воздействий генератором ГЛА-105 при юго-западном переносе (а) и при воздействии генераторами ГЛА-105 и НАГ-07М при северо-западном переносе (б и в, соответственно).

Как показали результаты численного моделирования, для эффективного воздействия на облачность над защищаемой территорией генераторы необ-

ходимо располагать в зависимости от скорости переноса воздушных масс на удалении 30-60 км от ЗТ.

На рис.7 приведены площади зон концентрации частиц реагента на высоте уровня конденсации (1,7 км) с величиной более 10^4 частиц/м³ при северо-западном переносе при различных расходах генераторов. Наблюдение за распространением аэрозольного облака производилось с 16 до 20 часов, т.е. два часа во время воздействий и 2 часа после завершения работ.

Из графиков видно, что площадь зон с концентрацией частиц реагента более 10^4 частиц/м³ на высоте уровня конденсации при работе генераторами льдообразующего аэрозоля ГЛА-105 на 20% больше, чем размеры зон при работе наземными аэрозольными генераторами НАГ-07М. Одновременно стоит отметить, что стоимость работ по проведению воздействий генераторами ГЛА-105 на 20% выше, чем генераторами НАГ-07М, а это означает, что с экономической точки зрения и по эффективности воздействий данные генераторы эквивалентны.

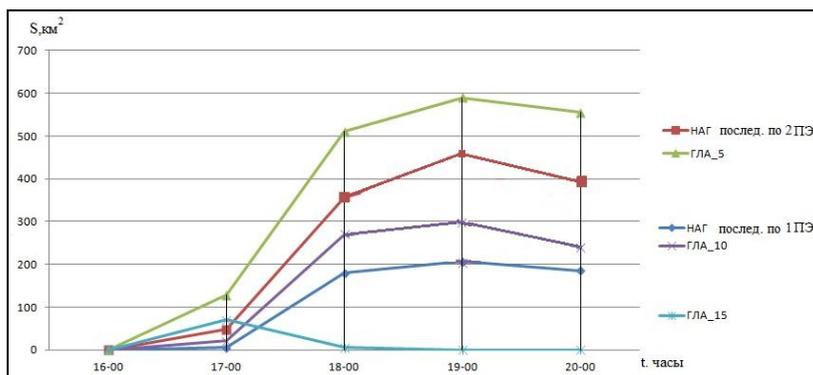


Рис.7. Эффективность работы наземных генераторов в зависимости от задаваемого расхода.

Выводы

1. Численное моделирование переноса льдообразующего аэрозоля при работе наземными аэрозольными генераторами НАГ-07М и ГЛА-105 показало перспективность использования данного метода для воздействий на облака на территории СК ВС.

2. Для достижения над ЗТ зон с концентрацией частиц реагента на высоте уровня конденсации более 10^4 частиц/м³ необходимо устанавливать

генераторы на удалении 30-60 км в зависимости от направления и скорости переноса.

3. Несмотря на то, что стоимость генераторов ГЛА-105 на 20% выше, чем генераторов НАГ-07М, за счет того, что они дают большие размеры зон (на 20%) с концентрацией частиц реагента более 10^4 частиц/м³, использование генераторов ГЛА-105 и НАГ-07М для проведения воздействий с экономической точки зрения и с точки зрения эффективности эквивалентно.

АКТИВНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГРОЗОГРАДОВЫЕ ПРОЦЕССЫ КРИСТАЛЛИЗУЮЩИМ РЕАГЕНТОМ

Х.М. Калов, Р.Х. Калов

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», г. Нальчик

Проблема активного воздействия на атмосферные процессы является одной из наиболее трудных в ряду метеорологических задач и вместе с тем необычайно важной. Особенность воздействия на облака заключается в том, что, во-первых, приходится иметь дело с объемами в десятки и сотни кубических километров и, во-вторых, через границы этих объемов происходит интенсивный обмен массой и энергией с окружающей средой. По этой причине любое прямое энергетическое воздействие требует таких затрат энергии, что о нем можно серьезно говорить лишь применительно к очень локальным, специфическим случаям.

Наши энергетические возможности позволяют пока решать эту проблему путем поиска и использования неустойчивых состояний, когда любое небольшое возмущение реализуется за счет собственной энергии облака. В атмосфере имеют место, по крайней мере, пять типов неустойчивости: 1) неустойчивость фазового состояния водной субстанции; 2) коллоидальная неустойчивость дисперсной системы; 3) конвективная неустойчивость атмосферы; 4) бароклинная (горизонтальная) неустойчивость; 5) динамическая неустойчивость баротропного потока за счет перераспределения кинетической энергии.

Первые два типа неустойчивости можно характеризовать как неустойчивость по отношению к микрофизическим процессам, третий определяется стратификацией атмосферы и характеризует неустойчивость по отношению к мезомасштабным процессам. Эти три типа неустойчивости положены в

основу концепций подавления града, их используют при проведении активных воздействий на грозоградовые процессы.

В течение последних четырех десятилетий во многих странах мира ведутся научно-исследовательские и опытно-производственные работы по предотвращению градобитий. В разных странах оперативные программы борьбы с градом существенно отличаются друг от друга по концепциям и технологиям засева облаков, способам выделения градового очага в облаке, дозировке реагента, методам оценки физической и экономической эффективности противоградовых работ и др.

Концепции борьбы с градобитием

К настоящему времени существуют следующие концепции активного воздействия на градовые процессы:

1. Создание в грозоопасном облаке искусственных зародышей ледяных частиц (концепция конкуренции), конкурирующих с естественными зародышами за переохлажденную жидкокапельную облачную влагу (принцип конкуренции: его называют еще «благоприятной конкуренцией» или «гипотезой конкурирующих градин или зародышей» [18]). Большинство оперативно-производственных работ основано на этой концепции. Как описано в работе [13], принцип воздействия на градовые облака заключается в кристаллизации крупных облачных капель в переохлажденной части зоны аккумуляции, где уже начался рост града. Такое воздействие приводит к образованию в градовом очаге дополнительного числа зародышей града - конкурирующих зародышей, что ограничивает возможность роста града до больших размеров [10,14,15].

2. Раннее вымывание дождем (ускорение осадкообразования) из областей будущего градообразования [1,2], которое стимулируется путем создания льдообразующих частиц с начальной концентрацией 10^{10} - 10^{11} м⁻³, на которых образуются кристаллы с концентрацией, приводящей к их агрегации и последующему обзёрнению облачными каплями. По мнению авторов указанных работ, при этом образуется крупа миллиметровых размеров, которая при своем падении может оказать микрофизическое и динамическое воздействие на облако, например вымывание облачной воды, торможение слабых восходящих потоков и их выхолаживание при таянии крупы ниже изотермы 0 °С.

Однако из-за небольших значений водности в зоне внесения реагента (зона формирования условий для зарождения града) невозможно стимулировать преждевременное выпадение осадков, способных подавлять восходящие потоки и вымывать облачную воду. Кроме того, крупа миллиметровых

размеров, образуемая при внесении кристаллизующего реагента, не будет выпадать из облака, а будет подниматься вверх восходящими потоками, имеющими в этой зоне облака скорость $v_{вп} = 2 \div 5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, либо находиться в подвешенном состоянии. Дело в том, что гравитационная скорость падения крупы миллиметровых размеров $v_k \leq 2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1} \leq v_{вп}$ [11, табл.5.2, рис.73,74].

3. Замораживание переохлажденной облачной воды, основанное на полной кристаллизации всей переохлажденной жидкокапельной фракции. Расчеты показывают, что практическая реализация этой гипотезы потребует нереально большого количества кристаллизующего реагента. Поэтому она не получила применения в оперативно-производственных работах по активным воздействиям на градовые процессы.

4. Понижение траектории движения градин, ухудшающее условия их роста [7]. При реализации этой концепции требуется нереально большой расход гигроскопического реагента.

5. Комбинированный метод воздействия [4], заключающийся в укрупнении капель воздействием гигроскопическими частицами с их последующим замораживанием кристаллизующим реагентом. Для воздействия на градовый процесс средней мощности необходимо использование 3-5 т гигроскопического реагента, что практически невозможно осуществить.

6. Динамическое воздействие [5,6], основанное на создании в развивающемся конвективном облаке импульсов нисходящих потоков облачного воздуха, которые в дальнейшем усиливаются за счет энергии неустойчивости атмосферы и тем самым способствуют разрушению облака. Искусственные, направленные вниз импульсы скорости внутри кучевых облаков создавались пролетом через них реактивных самолетов при кабрировании на больших углах тангажа [7], взрывом и продуктами ликвидации артиллерийских снарядов [5,6], грубодисперсными порошками с различными дисперсностью и удельным весом [8].

Образование и выпадение града в мощных конвективных облаках связано с грозовой активностью. Выявлено, что в зависимости от синоптических ситуаций от 21 до 27% из всех облачных ячеек, переходящих в грозовые состояния, становятся градоопасными. Искусственное уменьшение грозовой активности, напряженности электрического поля различными способами (внесением в облако кристаллизующего реагента, иницированием молний и др.) может явиться принципиально новым методом активного воздействия на градовые процессы. Предлагается использовать параметры грозовой активности для контроля наличия градин в облаке и оценки эффективности противоградовых работ. Для определения параметров грозовой активности в Высокогорном геофизическом институте используются грозопеленгаторы

LS 8000, позволяющие контролировать местоположение, интенсивность и частоту грозовых явлений.

Для наглядности приведем схему вышеуказанных концепций, взятую из работы [18], в виде преобладающих траекторий развития и выпадения града (рис.1). К настоящему времени считается, что только 5 из 6 концепций заслуживают серьезного внимания, так как концепция замораживания переохлажденной облачной воды не используется в опытно-производственных работах из-за необходимости большого расхода реагента. На схеме изображены 4 из 5 остальных концепций, основанных на микрофизических эффектах (концепция динамического воздействия на схеме не приведена).

Траектория движения градин в случае естественного развития грозового облака (1) начинается в центральной части зоны источника зародышей естественного града на температурном уровне ниже -15°C . Зародыши растут и одновременно поднимаются восходящими потоками до тех пор, пока их гравитационная скорость падения не сравняется со скоростью восходящих потоков, после чего начинается процесс выпадения града.

Концепция ускорения осадкообразования проиллюстрирована траекториями, отмеченными черными точками (2). Из большого числа возможных траекторий здесь приведены только две. Эти траектории начинаются ниже по высоте в облаке (выше по температуре), чем начало траектории естественного града (1).

Концепция снижения траектории движения градин предусматривает укрупнение капель для последующего замораживания. Она проиллюстрирована траекторией (3), которая начинается, как и в концепции ускорения осадкообразования, на температурном уровне $-5...-7^{\circ}\text{C}$. Гидрометеоры под воздействием реагентов вырастают до размеров выпадающих осадков вне зоны сильных восходящих потоков и достигают земли (пройдя теплый слой атмосферы ниже нулевой изотермы) в виде дождя.



Рис.1. Схема концепций по борьбе с градом.

1 - 5 – траектории, иллюстрирующие различные концепции: 1 – траектория естественного града; 2 – ускорение осадкообразования; 3 – снижение траектории; 4 – конкуренция; 5 – содействие слиянию; ВП – восходящий поток [18].

Концепции конкуренции и комбинированного метода проиллюстрированы на схеме траекториями (4) и (5). Обе эти траектории начинаются на температурном уровне $-3...-6^{\circ}\text{C}$, где еще нет зародышей градин.

Состояние исследовательских и оперативных программ и проектов по борьбе с градобитием

Оперативно-производственные работы по активным воздействиям на градовые процессы проводились в Болгарии, Германии (проект Розенхайма), Китае, Франции, Греции, России, Словении, Южной Африке (проект Нельспрута), Испании, Северной Дакоте и на западе Канзаса в США и др. [18].

Для внесения реагента в градовые облака используются самолеты (в Австрии, Германии, США) и ракеты (в Болгарии, Македонии, России, Сербии, Словении). В Китае используются как ракеты, так и артиллерийские снаряды, а в Испании, Венгрии и Канаде – наземные генераторы. В Канаде самолеты применяет компания WMI (США) с 1996 г. [10].

Для определения местоположения градового очага и локализации объема засева в различных проектах применяют двухволновые, поляризационные, доплеровские радиолокаторы и радиометры. При наземном способе внесения реагента не используют радиолокационную технику, засев осуществляется в соответствии с прогнозом градовой ситуации. Засев с использованием авиации основан на радиолокационном определении места расположения градового облака, его соответствии критериям засева, визуальной локализации с борта самолета фидерных облаков и поиске области восходящих потоков у их основания с помощью бортовых датчиков.

Национальная греческая программа. Национальная греческая программа по борьбе с градом осуществлялась с 1984 по 1988 г. В 1984-1986 гг. проводились исследовательские работы, а в 1987-1988 гг. – эксперименты по борьбе с градобитиями на площади 2000 км^2 сельскохозяйственных угодий на севере Греции. Концепция воздействия основана на создании конкурирующих зародышей градин. Засев производился с самолетов каждые 4 мин как на вершине облака, так и у основания. Большинство конвективных ячеек быстро распадались. На основе данных с градовых подушек выполнялась статистическая оценка эффективности воздействия. Проект проводился на рандомизированной основе.

Проект по борьбе с градобитиями в Болгарии. Исследовательская программа проводилась Национальным институтом метеорологии и гидрологии в рамках проекта по борьбе с градобитием на экспериментальной базе в Гелеменово в 1968-1994 гг. Изучались структура и морфология градин и их

зародышей с целью выяснения следующих вопросов: в какое время производить засев; в какую часть облака вносить льдообразующий реагент; какая должна быть дозировка реагента. Эффективность противогордовых работ составила 50-80%.

Эксперименты по сокращению градобитий во Франции. В противогордовых экспериментах в Агене (Франция) в 1952-1994 гг. использовались гигроскопические вещества. Концепция воздействия основана на раннем вымывании гидрометеоров дождем, что лишает зону формирования града переохлажденной воды и предотвращает рост концентрации кристаллов на температурном уровне -10°C . Эксперименты проводились на площади $80\,000\text{ км}^2$, на которой были установлены 400 градových подушек на расстоянии 3 км друг от друга, 159 измерительных приборов и 12 автоматических метеостанций. Для сбора информации о грозоградовом облаке использовался 5-сантиметровый радиолокатор. Воздействие проводилось с самолетов. Пакеты с реагентом раскрывались в турбулентном воздушном потоке. Предполагается, что такой засев приводит к снижению средней высоты зон повышенного радиоэха и уменьшению выпадения града на землю. Проведено 48 экспериментов по воздействию на градových ячейки, но результаты не опубликованы. Эффективность работ на защищаемой территории составила 41%.

Программа Розенхайма в Германии. В рамках действующей программы Розенхайма в 1975-1994 гг. проведена статистическая оценка данных, полученных с помощью поляриметрического радиолокатора, о частоте ячеек дождя и града для одноячейковых, многоячейковых и суперячейковых градových процессов. Большинство градобитий связано с многоячейковыми облаками. Одноячейковые облака дают дождь или слабый град. Структура ячейки определялась по радиоэхо и данным доплеровского радиолокатора, а наличие дождя или града – по данным поляризационных измерений и градových подушек. Воздействие проводилось с самолетов, оснащенных генераторами йодистого серебра (AgI) с целью предотвращения града. Наличие эффективности воздействия не обнаружено.

Итало-словенская программа исследований. Итало-словенская программа по предотвращению града, проведенная в 1980-1990-х гг., описана в многочисленных публикациях и доложена на 6-й научной конференции ВМО по воздействиям на природные процессы (Италия, май-июнь 1994г.). Основные задачи в этой программе были следующие:

- измерение и изучение локального выпадения града и дождя;
- сбор и анализ градин;
- изучение образования естественных зародышей градин;

- измерение характеристик облака с оснащенного аппаратурой самолета;
- усовершенствование методов прогноза гроз и града;
- радиолокационно-метеорологическое измерение параметров градовых облаков при помощи мультипараметрового радиолокатора.

Противоградовые работы в Словении не дали положительного результата.

Российский эксперимент по борьбе с градобитием. Российский комплексный градовый эксперимент по борьбе с градобитием был проведен Высогогорным геофизическим институтом на Северном Кавказе с 1983 по 1990 г. Целью эксперимента было изучение грозоградовых процессов для усовершенствования технологии воздействия. В ходе эксперимента были использованы два доплеровских радиолокатора, радиолокаторы с поляризационной решеткой, мультидлинноволновое радиометрическое оборудование и градовые подушки. Засев осуществлялся с помощью ракет и артиллерийских орудий. Лабораторные анализы химических и изотопных соединений, наличие пузырьков воздуха в структуре градин позволили определить изменение состава града и траекторию его движения внутри облаков. Также были изучены процессы роста и таяния градин, находящихся во взвешенном состоянии в потоке воздуха. Статистическая оценка параметров градин на защищаемой и контрольной территориях для 47 случаев градовых процессов показала, что засев сокращает время пребывания градин в облаке в 2–4 раза. Диаметр и кинетическая энергия градин в большинстве случаев уменьшались при активных воздействиях. Эффективность работ по воздействию составила 64%.

Противоградовый проект в провинции Леон в Испании. В 1993 г. после 8 лет подготовительных климатологических исследований в провинции Леон в Испании был начат противоградовый проект. Цель заключалась в сокращении градобитий под влиянием засева и анализе характеристик градин. Планировалось также усовершенствование метода прогнозирования града.

В проекте были использованы сети градовых подушек, станций радиоветрового зондирования и спутниковая станция. Численное моделирование не проводилось. Для микрофизических измерений не использовались ни радиолокатор, ни авиационная техника.

Защищаемая территория составила 7000 км². 10 наземных генераторов были рассредоточены вокруг защищаемой территории с учетом часто наблюдаемых траекторий градовых дорожек. Оценка эффективности воздействия проводилась по данным сети градовых подушек, расположенных через 2 км друг от друга на площади 1000 км².

Со времени начала экспериментов положительный результат не был получен только в 1993 г. Оценка эффективности противоградовых работ показала снижение ущерба на 50%.

Федеральная государственная программа Северной Дакоты в США. Федеральная государственная программа Северной Дакоты в области атмосферных исследований – это совместный проект Коммерческого департамента с Национальным Управлением океана и атмосферы. Концептуальная модель та же, что и в проекте воздействия на облако на западе Канзаса в США. Полевые эксперименты включают в себя воздействие на переохлажденные кучевые облака при помощи самолетов с использованием AgI, AgCl, серошестифтористого газа. Для оперативного получения данных о мезо- и макромасштабной эволюции облака в процессе измерений использовалась максимально оснащенная авиационная техника, которая взаимодействовала с доплеровским радиолокатором. Также проводились исследования содержания естественных аэрозолей в атмосфере, численное моделирование облаков и изучение характеристик новых реагентов в Колорадском государственном университете в лаборатории аэрозолей и моделирования облаков. Первые данные о результатах активного воздействия на градовые облака были получены в 1983 г., подобные попытки были предприняты в 1984, 1987, 1989 и 1993 гг. Планируется получение подкрепленных документально физических измерений распространения реагента в облаках и осадках при активном воздействии. Эффективность борьбы с градом составила 45-50%.

Программа воздействия на атмосферные процессы на западе Канзаса в США. Начиная с 1975 г. данный проект проводится с перерывами. Площадь эксперимента составляет 28 000 км². Концептуальная модель основана главным образом на концепции конкуренции. Засев производится с пяти самолетов. Один самолет засеивает вершину облака, остальные четыре – его основание. Состав используемого реагента: AgI–AgCl–4NaCl. Работы по борьбе с градом показали эффективность 27%, а также малозаметное снижение количества осадков.

Программы по борьбе с градобитием в Китае. В противоградовых программах с 1970 г. используется концепция конкуренции зародышей градин за переохлажденную воду. В качестве льдообразующего реагента применяется AgI, доставляемый в зону засева противоздушными пушками калибром 37 мм и ракетами. Для обнаружения градового очага используются радиолокаторы на длине волны 3 см. В последние годы разработано большое количество новых технологий. При воздействиях на градовые процессы применяют цифровые радиолокаторы, сети градовых подушек, новые типы эффективных реагентов, численное моделирование. Оценка эффективности опера-

тивных проектов подавления града осуществляется методами исторического ряда путем статистического анализа потерь от града до и в период проведения работ по градозащите. Наряду с этим для контроля результатов засева используют радиолокаторы и градовые подушки. Эффективность противоградовых работ составляет 60-70% [3].

Проект Нельспрута по борьбе с градобитием в Южной Африке. Концепция засева основана на принципе конкуренции зародышей градин за переохлажденную воду. Реагент вносился с самолетов в вершинную часть облаков, достигших высоты 7,5 км ($Z = 45$ дБ). Засев продолжался до тех пор, пока высота облака и его радиолокационная отражаемость существенно не уменьшались.

Для определения эффективности борьбы с градом использовался самолет, оборудованный приборами, позволяющими изучать процесс формирования осадков и образования зародышей градин при воздействии льдообразующим реагентом. Проект проводился в 1971 – 1981 гг. и за 10 лет работы по борьбе с градобитием не дал убедительного результата, поэтому был закрыт.

Таким образом, все эксперименты по оперативным программам и проектам, за исключением Национальной греческой программы, проводились на нерандомизированной основе.

Оценка эффективности воздействия на градовые процессы проводится по статистическим данным исторического ряда, данным страховых компаний, инструментальному измерению изменений параметров града в результате засева, ущербу, наносимому градом сельскохозяйственным угодьям.

Оценки показывают, что эффективность работ низкая (менее 50% во Франции, Испании, США), а в некоторых проектах близка к нулю (в Германии, Словении, Южной Африке). И лишь в Болгарии, Китае и России эффективность противоградовых работ достаточно высока (50-80%, 60-70% и 64-80% соответственно [3]).

Реагент засева

Согласно регистру ВМО 1992 г. и по данным экспертов ВМО 1995 г., в абсолютном большинстве проектов подавления града реагентом засева градового облака является йодистое серебро AgI и только в некоторых странах (например, в Болгарии) применяется йодистый свинец PbI_2 , а в США, кроме AgI , используется $AgCl$. Суммарный годовой расход реагентов AgI и PbI_2 во всех проектах составляет около 3500 кг или в среднем 1,4 г на 1 км² защищаемой площади, хотя в разных проектах расход реагента может отличаться на порядок [1].

Для подавления града с использованием кристаллизующего реагента требуется обеспечение необходимой концентрации реагента в течение определенного промежутка времени в заданном объеме градового облака. В зависимости от типа градового облака меняются нормы расхода реагента. В работах [3,10,11] получено, что для эффективного воздействия на слабые облака I-II типов требуется интенсивность воздействия более $0,04 \text{ изд./км}^3$ в минуту. В случае реализации воздействия на градовые облака III типа для получения положительного эффекта требуется 2-кратное увеличение интенсивности воздействия, а при воздействии на мощные суперячейковые градовые облака IV типа интенсивность воздействия должна быть увеличена примерно в 10 раз. Если интенсивность воздействия меньше указанной, то эффект воздействия, как правило, отрицательный. В работе [13] приводится пример безуспешного воздействия, когда на обработку суперячейкового градового процесса было израсходовано 700 ракет «Алазань» в течение 1 ч, и средняя интенсивность воздействия составила около $0,008 \text{ изд./км}^3$ в минуту.

Способы и техника засева

В качестве способов засева градовых облаков в оперативных программах и проектах подавления града используют наземно-генераторный, авиационный, артиллерийский, ракетный, авиационный совместно с наземно-генераторным и ракетно-артиллерийский.

Наземно-генераторный способ засева облаков в приземном слое атмосферы основан на использовании ацетоновых или пиротехнических генераторов аэрозоля AgI с расходом 8 г/ч. Предполагается, что аэрозоль вносится в градовое облако восходящими конвективными потоками. Недостатком этого способа является отсутствие гарантии засева требуемой части градового облака и достаточной концентрации частиц реагента.

Авиационный способ засева восходящего потока на уровне основания облаков с помощью бортовых ацетоновых или пиротехнических генераторов AgI, либо сбрасывания пиротехнических шашек с AgI или гранул CO₂ с уровня вершины фидерных облаков обеспечивает более локальное и целенаправленное воздействие, чем наземно-генераторный способ, но не обеспечивает единовременность засева всего обрабатываемого потенциально градоопасного объема облака.

Артиллерийский способ засева позволяет вводить реагент непосредственно в желаемую область облака с высокой точностью. Противорадовое орудие калибром 100 мм имеет общую массу 26 кг (масса снаряда «Эльбрус-4» составляет 12,25 кг, масса AgI – более 8 кг, масса BB – 1,61 кг), максимальную высоту полета 18 км.

Артиллерийский снаряд без реагента используется также для воздействия на градовые облака динамическим методом. Взрыв снаряда и оседание большого количества мелких осколков в облаке (более 10^4 частиц диаметром 2 мм) инициируют нисходящее движение, разрушающее конвективное грозоградовое облако [5,9].

Ракетный способ внесения кристаллизующего или гигроскопического реагента, применяемый в большинстве оперативных противоградовых программ и проектов, обеспечивает доставку и диспергирование реагента непосредственно в области градообразования, создавая необходимую концентрацию частиц реагента.

Недостатком ракетного способа является трудность его применения в регионах с интенсивным воздушным движением. Ракетный способ засева используется во многих проектах и странах: в трех проектах России, двух проектах Украины, Молдове, Грузии, Азербайджане, Армении, Узбекистане, Таджикистане, Аргентине, Болгарии, Хорватии, Словении, Италии, Сербии, Македонии, Китае (ракетно-артиллерийский). При этом эффективность воздействия изменяется от 0 до 80%, что имеет место и при других способах засева градового облака кристаллизующим реагентом.

В заключение отметим, что концепции активных воздействий, используемые средства воздействия в различных странах и программах сильно отличаются друг от друга. Не существует единого метода оценки эффективности противоградовых работ. В абсолютном большинстве современных технологий подавления града в качестве реагента используется хорошо зарекомендовавший себя кристаллизующий реагент AgI. Но каким бы хорошим ни был реагент, для достижения высокой эффективности противоградовых работ необходимо определить время засева, место внесения и дозировку кристаллизующего реагента. Для определения указанных параметров, помимо микрофизических и температурных, надо знать динамические параметры и турбулентность грозоградовых облаков, подвергаемых активному воздействию.

На основе дистанционных измерений скоростей и направлений воздушных потоков в облаках, коэффициента турбулентности, спектра флуктуации скоростей потоков и с учетом температурных и микрофизических параметров облака нами рекомендуется вносить кристаллизующий реагент в градовое облако на температурный уровень $-11...-20^{\circ}\text{C}$ во фронтальную часть, ограниченную по горизонтали изолиниями радиолокационной отражаемости $\eta_{10}=10^{-9}...10^{-11}\text{ см}^{-1}$ (в зону роста града и зону формирования условий его зарождения и роста). Время внесения реагента соответствует времени формирования крупнокапельной ($d_k=10^3$ мкм) переохлажденной зоны с концен-

трацией капель $N=(5...540) \cdot 10^2 \text{ м}^{-3}$ и водностью $q = 0,04...3,54 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$ что соответствует радиолокационной отражаемости $\eta_{10}=10^{-9}...10^{-11} \text{ см}^2$. В зависимости от параметров градового облака и его реакции на воздействие возможна необходимость повторного засева, пока облако не перейдет в негродоопасное состояние [9].

При водности $q=1...3 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$ концентрация миллиметровых переохлажденных капель составляет $N=(2...6) \cdot 10^3 \text{ м}^{-3}$. Если принять, что выход кристаллов (частиц AgI, получающихся при возгонке 1г AgI) в естественных условиях равен 10^{13} г^{-1} , коэффициент эффективности K , под которым понимается число частиц реагента, необходимое для получения одной замерзшей капли, становящейся зародышем градины, составляет 1:500, то на 1 км^3 засеваемой зоны требуется израсходовать 95–280 г реагента в зависимости от водности [9].

Если в зоне засева скорость вертикальных воздушных потоков большая ($3-10 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$), а коэффициент турбулентности мал ($D < 50...100 \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$) [16], то реагент вынесется из зоны засева, не проявив свои кристаллизующие свойства, а следовательно, ожидаемый эффект не будет получен.

Заключение

Исследования в области физики облаков и борьбы с градом в большинстве стран находятся на низком уровне [18]. Несмотря на наличие правдоподобных концепций, до настоящего времени нет полной теории образования и развития градовых облаков в естественных условиях и при активном воздействии, которая охватывала бы необходимый диапазон процессов: от «элементарных» микрофизических до крупномасштабных атмосферных. Более того, многие процессы в градовых облаках нельзя считать выясненными даже на качественном уровне. Этим объясняется отсутствие научно-обоснованных методов воздействия на градовые процессы, дающих высокую эффективность.

Для усовершенствования существующих и разработки новых методов и средств активных воздействий на градовые процессы, а также для оценки физической и экономической эффективности противоградовых работ необходимо проведение следующих исследований:

1. Исследование механизма образования искусственных зародышей градин. Установлено, что аэрозольные частицы льдообразующих реагентов, внесенных в переохлажденное облако, могут инициировать образование кристаллов льда тремя путями [17]:

а) сублимацией водяного пара на поверхность частицы льдообразующего реагента (непосредственный переход пар-лед);

б) контактной нуклеацией – столкновением льдообразующей частицы реагента с переохлажденной каплей;

в) кристаллизацией переохлажденной капли на льдообразующей частице реагента.

Ни один из этих трех путей не приводит к быстрому образованию зародышей градин [13, табл.6.5]. Образование крупы (конкурирующих зародышей градин диаметром 0,5 мм) на искусственных льдообразующих частицах реагента – достаточно длительный процесс, зависящий от водности и температуры облачной среды. Для образования крупы диаметром 0,5мм при температуре -5...-20°C и водности $1 - 10 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$ требуется 3–15 мин, а для образования градины диаметром 1см – 8-54 мин. Поэтому исследование механизма образования искусственных зародышей градин актуально.

2. Уточнение места и времени внесения льдообразующего реагента и его дозировки с учетом микрофизики (водности, спектра, концентрации) и термодинамики (скорости вертикальных потоков, коэффициента турбулентности, температуры) конвективных облаков.

3. Проведение теоретических, лабораторных и натуральных исследований процессов микрофизического взаимодействия различных реагентов с облачной средой на всех этапах градообразования: от момента введения реагента в облако до формирования и выпадения осадков.

4. Изучение процесса зарождения и роста града в облаках различных типов на естественных и искусственных зародышах градин.

5. Поиск новых эффективных реагентов с высоким выходом кристаллов и высоким температурным порогом срабатывания реагента.

6. Усовершенствование динамического метода воздействия на конвективные облака путем уточнения критериальных значений термодинамических параметров облаков, при которых взрыв и продукты ликвидации противоголового изделий (без реагента) могут стимулировать разрушение конвективных облаков.

7. Разработка единой методологии оценки эффективности (физической и экономической) противоголового работ, основанных на различных проектах и концепциях.

Список литературы

1 Абшаев М.Т. Состояние оперативных программ подавления града в мире//Обозрение прикладной промышленной математики. 1996. Т. 3. Вып. 2. С. 246-260.

2 Абшаев М.Т., Малкарова А.М. Статистическая оценка эффективности противорадовой защиты в Аргентине // Обзорение прикладной промышленной математики. 1995. Т.2. Вып.2. С.204-222.

3 Абшаев М.Т., Малкарова А.М. Оценка эффективности предотвращения града. – СПб.: Гидрометиздат, 2006. – 280 с.

4 Бартишвили Я.Т., Бартишвили Г.С., Гудушаури Ш.А., Ломинадзе В.П. К вопросу одновременного (комбинированного) воздействия на теплую и переохлажденную часть облака с целью предотвращения града//Тр. За-кНИГМИ. 1967. Вып. 2(27). С. 7-22.

5 Бибилашвили Н.Ш., Гораль Г.Г., Калов Х.М., Эмба Я.А. Исследование эффективности разрушения конвективных облаков взрывом и продуктами ликвидации противорадовых снарядов//Тр. ВГИ. 1981. Вып. 47. С. 36-44.

6 Вульфсон Н.И., Левин Л.М. Разрушение развивающихся кучевых облаков с помощью взрывов //Изв. АН СССР. Сер. ФАО. 1972. Т. 8. №2. С.156-166.

7 Вульфсон Н.И., Левин Л.М. Разрушение развивающихся кучевых облаков искусственно созданными нисходящими потоками //Докл. АН СССР. 1968. Т. 181. № 4. С. 855-857.

8 Гайворонский И.И., Зацепина Л.П., Серегин Ю.А. Результаты опытов воздействия на конвективные облака грубодисперсными порошками с различной дисперсностью и различным удельным весом //Тр. ЦАО. 976. Вып.104. С. 49-63.

9 Калов Х.М. «Физическое обоснование, создание и экспериментальные исследования эффективности нового комплекса технических средств и методов активных воздействий на облака и туманы»./Диссертация на соискание ученой степени д.ф.-м.н. Санкт-Петербург, 2002. - 273с.

10 Краусс Т.В., Синькевич А.А., Веремей Н.Е., Довгалюк Ю.А., Степаненко В.Д. Оценка результатов воздействий на кучево-дождевое облако с целью ослабления града в провинции Альберта (Канада) по данным радиолокатора и численного моделирования. //Метеорология и гидрология. 2009. №4. С.39-53.

11 Мейсон Б.Дж. Физика облаков. – Л.: Гидрометеиздат, 1961. –543 с.

12 Разработка эмпирических моделей градовых облаков, включающих особенности строения, динамики развития и характеристик осадков: Отчет о НИР/Руководитель М.Т. Абшаев. Инв. №4422 НТА ВГИ. Нальчик, 1985. – 186с.

13 Сванидзе Г.Г., Бегалишвили Н.А., Бериташвили Б.Ш. Оптимизация сети пунктов воздействия //Обзорение прикладной и промышленной математики. 1996. Т. 3. Вып. 2. С. 204-214.

14 Степаненко В.Д. Радиолокация в метеорологии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1973. – 343с.

15 Сулаквелидзе Г.К. Ливневые осадки и град. – Л.: Гидрометеоиздат, 1967. – 412 с.

16 Схиртладзе Г.И., Юрчак В.С. Измерение коэффициента горизонтальной турбулентной диффузии в кучевых облаках радиолокационным методом //Изв. АН СССР. Сер. ФАО. 1970. Т. 15. № 2. С. 48-50.

17 Хоргуани В.Г. Микрофизика зарождения и роста града. – М.: Гидрометеоиздат, 1984. – 188с.

18 Programme on physics and chemistry of clouds and weather modification research //WMP Report No26. Secretariat of the WMO. Geneva, Switzerland, 1996. 40 pp.

АКТИВНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГРАДОВЫЕ ОБЛАКА НА ТЕРРИТОРИИ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

В.И. Лозовой, И.И. Акимова

*ФГБУ «Ставропольская военизированная служба по активному воздействию на метеорологические и другие геофизические процессы»,
г. Ставрополь*

Исторически сложилась зависимость человека от внешней среды обитания, и особенно от погодных и климатических условий. И эта зависимость становилась тем больше, чем больше развивалось человечество. Важным стало наличие благоприятных погодно - климатических условий, как естественных природных ресурсов, которые создавали необходимые условия для успешного социально-экономического развития.

Проявление неблагоприятных гидрометеорологических условий приводит к значительным материальным потерям в экономике региона или в целом страны. В настоящее время влияние неблагоприятных погодных условий на урожайность культивируемых растений все еще велико. К агрометеорологическим явлениям, опасным для сельского хозяйства, которые могут нанести серьезный ущерб, относится градобитие.

Физико-географические, климатические условия, наблюдаемые в Ставропольском крае, с одной стороны, определяют его специализацию, как района с высокоразвитым сельским хозяйством, где площадь под сельскохозяйственными культурами достигает значительных размеров, а с другой, делают его одним из градоопасных субъектов Российской Федерации. В районах

края наблюдается интенсивное развитие грозоградовых процессов, сопровождающихся ливнями, шквалами и выпадением града. Это, в свою очередь, определяет необходимость ведения противогорадовой защиты, которая осуществляется ФГБУ «Ставропольская военизированная служба по активному воздействию на метеорологические и другие геофизические процессы» (ФГБУ «Ставропольская ВС») в Кочубеевском, Шпаковском, Андроповском, Предгорном и Кировском районах. (рис.1)

В период 2003-2013 гг. на защищаемой территории (ЗТ) Ставропольского края было обработано 4957 потенциально-гродоопасных, гродоопасных, градовых и сверхмощных градовых конвективных ячеек (объектов воздействия (ОВ) I-IV-й категорий), из них 258 относятся к ОВ I категории, 2500 – к ОВ II категории, 1983 – к ОВ III категории и 243 к ОВ IV категории. При этом в среднем за год обрабатывается около 451 ОВ. (табл.1).

Наибольший интерес представляют собой ОВ IV категории - сверхмощные градовые конвективные ячейки. В противогорадовом сезоне 2013 года, в котором коэффициент гродоопасности составил 2,4, было обработано 56 сверхмощных градовых конвективных ячеек, что составляет 9,6% от общего количества объектов воздействия всех категорий, засеянных в указанном году.

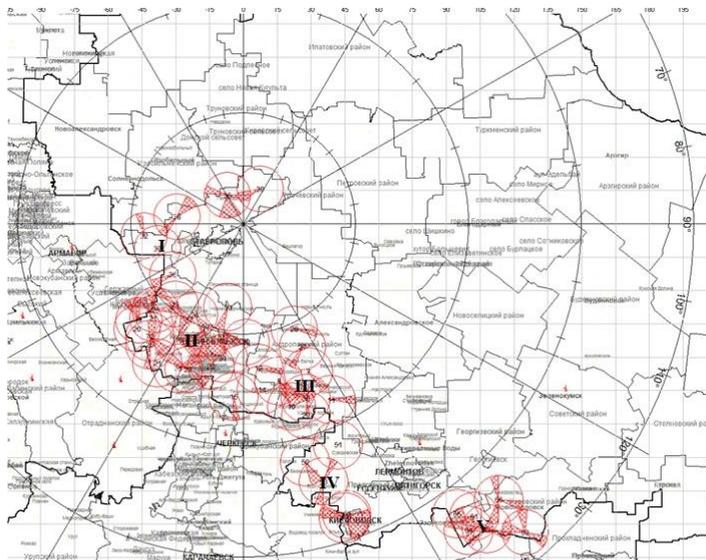


Рис.1. Карта-схема защищаемой территории Ставропольского края. На карте цифрами обозначены: I-Шпаковский район, II-Кочубеевский район, III-Андроповский район, IV-Предгорный район, V-Кировский район.

Таблица 1. Количество обработанных конвективных ячеек ФГБУ «Ставропольская ВС» в 2003-2013 гг.

№	Дата	Количество обработанных ОБ				
		I	II	III	IV	Всего
1	2	3	4	5	6	7
1	2003	6	117	46	11	180
2	2004	4	293	106	14	417
3	2005	1	158	94	5	258
4	2006	-	74	73	19	166
5	2007	-	119	284	40	443
6	2008	-	277	287	51	615
7	2009	-	333	217	22	572
8	2010	-	274	144	7	398
9	2011	147	317	165	7	636
10	2012	83	344	250	11	688
11	2013	17	194	317	56	584
Всего		258	2500	1983	243	4957
Среднее		23,4	227,3	180,3	22	451

При этом на обработку ОБ IV категории было потрачено более 31,5% от общего количества противорадовых изделий. В среднем на обработку одного сверхмощного градового облака в 2013 году было израсходовано 43 изделия, что не превышает средние нормы расхода противорадовых изделий на засев ОБ IV категории.

Высота радиозаха сверхмощных градовых облаков достигала значений 10-14 км, характерных для мощных кучево-дождевых облаков вертикального развития (рис.2).

Следует отметить, что 44,6% ОБ IV категории зародились на ЗТ, а 55,4% - вторглись с прилегающей территории Краснодарского края, Кабардино-Балкарской республики, Карачаево-Черкесской республики, а также с ПТ Ставропольского края.

В случаях вторжения сверхмощных градовых облаков с прилегающих территорий осуществлялся масштабный предварительный засев, при этом, необходимо особенно заметить, преимущественно засеивалась фронтальная часть конвективной ячейки (КЯ) с целью предотвращения проникновения опасных градовых облаков на ЗТ. В результате проведения противорадовых работ подобным способом была отмечена положительная динамика

диссипации мощных ОБ при незначительном расходе противорадиолокационных средств (рис.3), что мы наблюдаем по службе в течение трех лет.

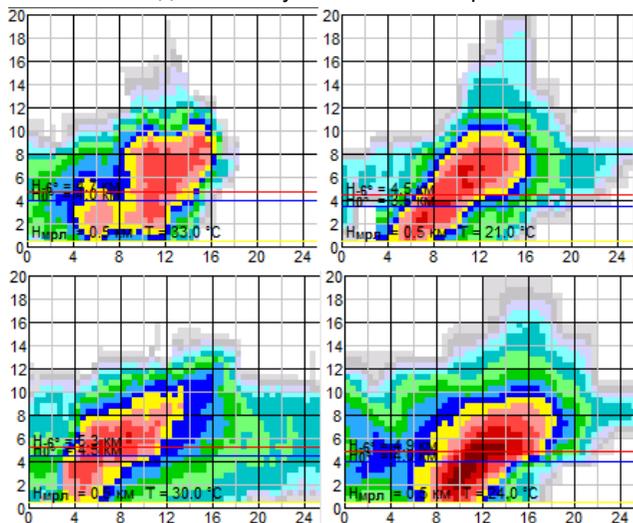


Рис.2. Вертикальные сечения области нависающего радиоэха отдельных ОБ IV категории, засеянных Ставропольской ВС в 2013 году.

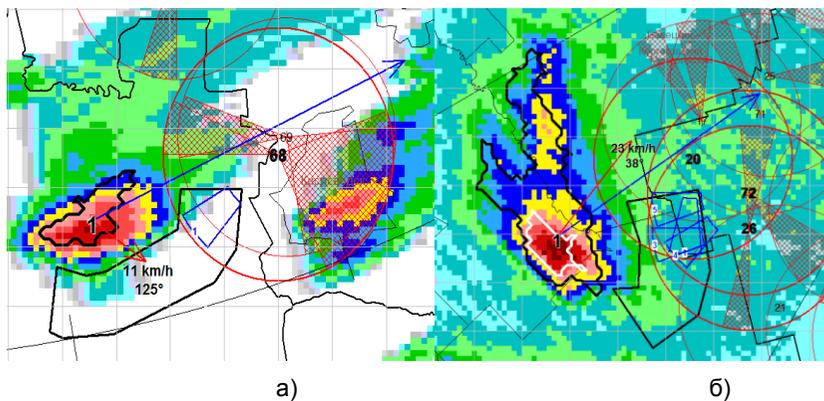


Рис.3. Фрагменты засева ОБ IV категории, вторгающихся с прилегающих территорий: а) Карачаево-Черкесской республики; б) Краснодарского края.

Нередки случаи возникновения целых систем, состоящих из ОБ III и IV категории, которые одновременно по радиолокационным данным давали град и сильный ливень. Радиоэхо отдельных КЯ в таком случае смыкалось,

имелось несколько областей питания и нового роста. Такие системы имели значительную протяженность.

Засев такого «конгломерата» ячеек производился в несколько областей нависающего радиозаха.

В последнее время увеличилось количество засеянных потенциально градоопасных и градоопасных КЯ. Это связано с тем, что воздействие в весеннее время с целью предотвращения града на самых ранних стадиях развития облаков позволяет в большинстве случаев не допустить их перехода из стадии I и II категории в III и VI и тем самым предотвратить выпадение твердых осадков и сократить расход противоградовых изделий. Это крайне важно, т.к. в последнее время противоградовая защита проводится в условиях острой нехватки ПГИ.

Засев ОБ на ранних стадиях позволил снизить средний расход ПГИ с 7 шт. на один ОБ в 2011 до 5,5 шт. в 2013 году. Это в свою очередь привело к экономии 291 изделия. При этом сокращается средний расход изделий на градовые ячейки III категории, так в 2010 году этот показатель составлял 14,2 изделия на один ОБ, а в 2013 снизился до уровня 13,1. Вследствие этого расход изделий был сокращен примерно на 349 изделий.

Дифференцирование объектов воздействия II категории в летний период не только по радиолокационным параметрам, но и по особенностям их структуры, а именно положением зоны повышенной отражаемости относительно изотермы 0°C, позволило сократить количество засеваемых объектов воздействия II категории.

В этот же период количество обрабатываемых ОБ I категории сократилось в 8,6 раза (на 88%), что позволило снизить расход ПГИ примерно на 442 изделия.

В подавляющем большинстве случаев противоградовые мероприятия, направленные на предотвращение выпадения града, сокращение возможного ущерба, уменьшение размера и его интенсивности были успешны. Это подтверждается основными характеристиками противоградовой защиты. Потери сельскохозяйственной продукции сократились в 2 раза по сравнению со средним многолетним показателем до организации защиты. Несмотря на ограничения российской технологии ПГЗ, значительное количество градовых и сверхмощных градовых конвективных ячеек, физическая эффективность, в среднем составляет 96%, а в 2011 году достигла 100%.

Список литературы

1. Бедрицкий А.И. Метеорологические прогнозы как фактор снижения ущерба от явлений погоды [Электронный ресурс] <http://www.dissercat.com>.

2. Методы оценки эффективности активного воздействия на градовые процессы и порядок отчетности о проведении противорадовой защиты. РД 52.37.732-2010. - Нальчик, 2010. – 48 с.
3. Неблагоприятные для сельского хозяйства метеорологические явления. [Электронный ресурс] <http://www.pandia.ru>.
4. Организация и проведение противорадовой защиты. РД52.37.731-2010. - Нальчик, 2010. - 86 с.
5. <http://meteoweb.ru/>

АНАЛИЗ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОТИВОГРАДОВОЙ ЗАЩИТЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР С 2001 ПО 2013 ГОДЫ В ЮЖНОМ И СЕВЕРО-КАВКАЗСКОМ ФЕДЕРАЛЬНЫХ ОКРУГАХ

М.Н. Бейтуганов, Х.Х. Чочаев

*ФГБУ «Северо-Кавказская военизированная служба по активному воздействию на метеорологические и другие геофизические процессы»,
г. Нальчик*

Противорадовые работы в Российской Федерации проводятся в Северо-Кавказском и Южном Федеральных округах (СКФО и ЮФО), являющихся наиболее градоопасными регионами страны. В СКФО защита проводится Северо-Кавказской ВС (СКВС) на территории трех субъектов Российской Федерации: КБР, КЧР и РСО-Алания. В ЮФО противорадовая защита (ПГЗ) осуществляется в Краснодарском и Ставропольском краях соответственно Краснодарской и Ставропольской военизированными службами (КрВС и СтВС). Результаты работ по градозащите трех военизированных служб в период с 2001 по 2013 годы приведены в таблицах 1-3.

Таблица 1

Краснодарская ВС												
Год	Площадь			ОВ					РАСХОД РАКЕТ			Рентабельность
	ЗТ	100 % до ПГЗ	100 % на ЗТ	I	II	III	IV	Все-го	Все-го	На 1 ОВ	На 100000 га	
2001	770000	34800	15000	5	125	160	60	350	5535	16	719	5,2
2002	770000	34800	2767	2	70	170	55	297	6007	20	780	4,9
2003	770000	34800	2814	2	48	145	40	235	4550	19	591	6,5
2004	770000	34800	15244	6	43	170	56	275	5670	21	736	4,8

2005	770000	34800	5013	0	48	194	98	340	5922	17	769	7,6
2006	770000	34800	8315	6	18	158	61	243	4089	17	531	5
2007	830000	34800	1721	2	70	170	55	297	6464	22	779	8,6
2008	880000	34800	3819	5	33	157	38	233	4503	19	512	5,5
2009	880000	34800	20335	6	13	194	43	256	6377	25	725	3,3
2010	880000	34800	12345	7	12	155	82	256	5596	22	636	8,1
2011	880000	34800	7145	4	7	130	60	201	6087	30	692	7,2
2012	880000	34800	17742	10	8	207	58	283	8094	29	920	4,3
2013	880000	34800	13777	2	18	153	48	221	7159	32	814	4,2
Средне:	825384,6	34800	9695	4	39	166,38	58	268	5850	21	708	6
Сумма:			126037	57	513	2163	754	3487	76053			

Таблица 2

Северо-Кавказская ВС												
Год	Площадь			ОВ					ПРАСХОД РАКЕТ			Рентабельность
	ЗТ	100 % до ПГЗ	100 % на ЗТ	I	II	III	IV	Всего	Всего	На 1 ОВ	На 100000 га	
2001	72400	28200	7625	0	55	42	0	97	1609	17	222	7,3
2002	72400	28200	2767	0	71	81	1	153	2001	13	276	5,6
2003	75000	33120	12110	0	40	65	8	113	2314	20	309	9,7
2004	75000	33120	9180	0	80	70	11	161	3072	19	410	9,6
2005	80100	43100	4987	0	40	110	7	157	1983	13	248	11,3
2006	80100	43100	830	0	27	41	1	69	1129	16	141	4,5
2007	80100	41100	1300	0	71	81	0	152	2838	19	354	21
2008	80100	41100	2292	0	60	49	3	112	1797	16	224	9,4
2009	80100	41100	1047	0	102	58	0	160	2142	13	267	7,2
2010	80100	41100	574	1	86	57	1	145	1420	10	177	17,2
2011	80100	41100	1373	2	74	56	1	133	1543	12	193	18,2
2012	80100	41100	1209	0	37	68	4	109	1240	11	155	19,2
2013	80100	41100	880	0	38	47	2	87	1169	13	146	20,2
Средне:	781308	38195	3552	0	60	63,462	3	127	1866	15	240	12
Сумма:			46174	3	781	825	39	1648	24257			

Таблица 3

Ставропольская ВС												
Год	Площадь			ОВ					РАСХОД РАКЕТ			Рентабельность
	ЗТ	100 % до ПГЗ	100 % на ЗТ	I	II	III	IV	Всего	Всего	На 1 ОВ	На 100000 га	
2001	500000	18310	9092	4	50	43	5	102	1584	16	317	9,3
2002	590000	21000	250	2	62	70	12	146	2122	15	360	4,4
2003	590000	21000	576	10	110	45	8	173	2012	12	341	7,9
2004	600000	21250	10	6	290	100	11	407	4572	11	762	10,8
2005	690000	21250	50	0	247	144	7	398	3503	9	508	4,3
2006	680000	21250	2740	0	78	74	21	173	3057	18	450	5,5
2007	680000	21250	518	0	179	235	27	441	5375	12	790	13
2008	740000	21250	333	0	275	289	50	614	6843	11	925	7,1
2009	740000	21250	1335	0	333	217	22	572	6324	11	855	6,6
2010	740000	21250	2257	0	247	144	7	398	4119	10	557	6,6
2011	839000	21250	0	147	317	165	7	636	4668	7	556	4,6
2012	839000	21250	2807	83	344	250	11	688	6850	10	816	5,3
2013	839000	21250	936	17	194	317	56	584	7642	13	911	7,7
Средне:	697462	20985	1608	21	210	161	19	410	4513	12	627	7
Сумма:			20904	269	2726	2093	244	5332	58671			

Материалы по результатам ПГЗ КрВС и СтВС взяты из отчетов Высокогорного геофизического института. Как видно из таблиц, несмотря на определенные успехи по градозащите во всех службах, выражающиеся в рентабельности проводимых работ, все еще происходят градобития, наносящие значительный ущерб. Так, суммарные площади градобитий, приведенные к 100% гибели сельхозкультур на этих площадях, за 13 лет составили: в КрВС – 126037 га, в СКВС – 46174 га, в СтВС – 20904 га, а средние за год площади градобитий соответственно: 9695 га, 3552 га и 1608 га.

При определении рентабельности работ основные расходы по градозащите приходятся на стоимость противорадовых ракет. Количество же ракет, необходимых для обработки одного объекта воздействия (ОВ), по принятому в системе градозащиты руководящему документу (РД) [6] зависит от типа

категории. Например, по РД средний расход ракет на ОВ 1 категории – 8 ракет, 2 категории – 18 ракет, 3 категории – 22 ракеты и 4 категории – 80 ракет. Таким образом, чем меньше расходуется ракет, тем, соответственно, будет больше рентабельность. В этом плане определение категории ОВ является основной задачей. Так как наибольший расход ракет приходится на ОВ четвертой категории, то завышением их количества в КрВС – в среднем 58 и в СтВС – 19, можно объяснить большой расход ракет в этих службах. В части определения степени градоопасности ОВ в СКВС на основе анализа многолетних данных по градозащите [9] разработан метод оценки градоопасности ОВ при достижении значений отражаемости 45 dBZ на высоте $2H_0$ над землей, где H_0 – высота изотермы 0°C . При этом калибровка РЛС производится по жидким осадкам. Умеренный расход ракет и большая рентабельность градозащиты в СКВС объясняется использованием этого метода.

Другим подтверждением завышения категорий в службах является тот факт, что, если имеется ОВ 4 категории, то из него на землю обязательно должен выпадать град на площади несколько тысяч га. Обычно ОВ 4 категории соответствует отражаемость 65 dBZ и больше. Такая отражаемость возможна от частиц града с радиусами 0.5 см, 0.75 см, 1 см и 1.5 см с соответствующими им концентрациями в облаке 39 м^{-3} , 12 м^{-3} , 6 м^{-3} и 2 м^{-3} . Изменения радиусов градин при падении в тёплой части атмосферы приведено на рис. 1.

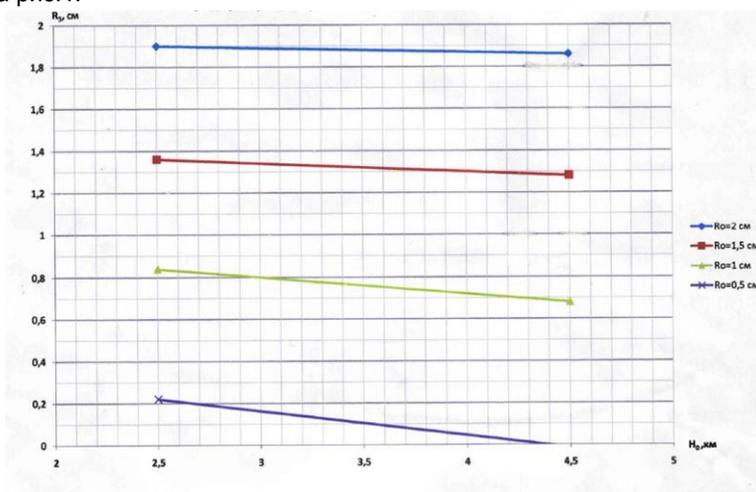


Рис. 1. Зависимость радиуса градины на земле от высоты H_0 . Средняя температура атмосферы взята равной 15°C .

При построении графика использованы экспериментальные данные по таянию градин различных радиусов из [8]. Время таяния при средней температуре $+15^{\circ}\text{C}$ определялось с учетом скорости падения градины по формуле $V = 1.73 \cdot 10^3 d^{1/2}$ см/с. Конечные радиусы градин на земле при их падении с высоты изотермы 0°C равной 3.5 км будут $R_3 = 0.1$ см для $R_0 = 0.5$ см, $R_3 = 0.7$ см для $R_0 = 1$ см, $R_3 = 1.3$ см для $R_0 = 1.5$ см и $R_3 = 1.9$ для $R_0 = 2.0$ см. Как видно из графика, полное таяние градины с $R_0 = 0.5$ см при средней температуре $+15^{\circ}\text{C}$ возможно при ее падении с высоты 4.3 км. Таким образом, при отражаемости ОВ выше 65 dBZ всегда на землю выпадет град. Из этого можно сделать вывод о том, что от многочисленных объектов 4 категории в службах можно ожидать существенно больший ущерб, чем приводимый в таблицах 1 и 3.

Важным аспектом градозащиты является все возрастающая стоимость противоградовых ракет. На 2014 г. ее стоимость составляет более 14 тыс. руб. Учитывая, что субъекты Федерации, на чьих территориях проводится градозащита, должны выделять средства на закупку ракет, существование градозащиты в дотационных субъектах СКФО становится проблематичным.

Например, СКВС, защищающая территории КБР, КЧР и РСО-Алания, по контракту с Министерствами сельского хозяйства этих республик получает в 10 раз меньше, чем предусматривается по РД (1000 ракет на 100 тыс. га). Причем эти средства не выделяются сразу, а 2/3 из этих средств службе приходится получать гораздо позднее через суды. Кроме дороговизны технологии противоградовой защиты внесением реагента в облака ракетным способом, некоторые вопросы реализации этой технологии остаются нерешенными. К ним относятся используемые параметры градоопасности ОВ.

Например, введение в признаки величины водозапаса конвективной ячейки (КЯ) и интегральной водности можно интерпретировать как характеристики зоны аккумуляции по Сулаквелидзе Г.К. [7]. Не до конца выяснены механизмы распространения частиц реагента в облаке и занимаемый ими объем, время роста частиц до размеров осадков и т.д. В новой редакции РД, где излагается физический принцип метода воздействия «ускорения осадкообразования», гипотеза «конкуренции» приведена в последнем среди четырех других пунктов, хотя в фидерных облаках как бы не за что конкурировать, так как водность в них около 0.03 г/м^3 . Фактически в этом методе градозащита отождествляется с преждевременным вызыванием осадков.

Осуществляемое противоградовой ракетой внесение частиц кристаллизующего реагента (ЧКР) предполагает расширение шлейфа из ЧКР. При этом шлейфы от ракет, перекрывая друг друга, обеспечат засев определён-

ной площадки облака. Однако надо учесть ориентацию шлейфа из ЧКР по отношению к ведущему и восходящим потокам воздуха. Так как ЧКР полностью увлекаются восходящими и нисходящими потоками воздуха, которых множество на траекториях полета ракет, о таком перекрытии трудно судить. Если шлейфы будут перпендикулярно ведущему потоку, то они будут переноситься параллельно друг другу. Наличие турбулентности в облаке разнесет ЧКР в соответствии с формулой $L = (4 D t)^{1/2}$, где D – коэффициент турбулентной диффузии, t - время. При $D \approx 100 \text{ м}^2/\text{с}$ для распространения ЧКР на 500 м потребуется 5 мин. Следует отметить также несопоставимость времени, необходимого для роста частиц осадков при влажности в фидерных облаках около 0.03 г/м^3 , с ожидаемым по РД временем реакции ОВ на внесимый реагент.

Важнейшей нерешенной задачей в проблеме градозащиты является все же определение критериев перехода грозовой стадии развития облака в градовую стадию. Достаточно убедительно доказано, что выпадение града в абсолютном большинстве случаев сопровождается грозой [3,5]. К экспериментально установленным фактам, которые надо учесть при изучении этой проблемы, можно отнести то, что:

- только одно из 10 грозовых облаков переходит в градовую стадию развития;
- объем облака, охватываемый одной естественной молнией, имеет поверхность около 20 км^2 . Если считать, что этот объем имеет сферическую форму, то ее диаметр будет равен 2.54 км;
- протяженность внутриоблачных и межоблачных молний составляет $11 \pm 4.7 \text{ км}$, а молний облако-земля – $9.8 \pm 3.6 \text{ км}$;
- экспериментально установлено, что после молниевых разряда через 10-20с происходит многократный рост отражаемости в одних частях облака и быстрое её падение в других его частях (Мур и Воннегут [10]);
- температура облачной среды снижается с -10°C до -40°C под действием ударной волны, порождаемой высокотемпературным каналом молнии. Радиус действия ударной волны по оценкам может составить около 6 м;
- соотношение между межблочными или внутриоблачными молниями и наземными молниями около 5 к 1;
- соотношение наземных молний, нейтрализующих отрицательные заряды к наземным молниям, нейтрализующим положительные заряды 10 к 1;
- выпадение града происходит в основном при положительных молниях.

В настоящей работе предлагаются методы предотвращения града, наземных молний и регулирования осадков инициированием искусственных молний (ИМ). Наземные молнии можно предотвращать, инициируя ИМ меж-

ду верхним положительным Р-зарядом и нижним отрицательным N-зарядом грозового облака. Так как «урожайность» одной молнии, по литературным данным, составляет десятки тонн воды, то, инициируя ИМ, по видимому, можно вызывать осадки. Метод предотвращения града инициированием ИМ обоснован физическими эффектами в грозовых облаках, обуславливаемыми молнией. Атрибут линейной молнии – стримерная зона лидера молнии - характеризуется наличием в ней электростатического поля с напряженностью несколько сотен кВ/м.

Стримерная зона лидера молнии на всем протяжении своего распространения внедряет в пронизываемое ею пространство избыточный объемный заряд, одноименный заряду головки лидера. Концентрация ионов объемного заряда имеет порядок 10^{17} м^{-3} . Обратным ударом молнии этот заряд частично нейтрализуется: для отрицательной молнии нейтрализуется 0,5 часть заряда, а для положительной молнии - 0,2 часть. Объем, занимаемый избыточным объемным зарядом, можно оценить с учетом протяженности стримерной зоны, достигающей 200-300 м. При этом диаметр сечения стримерной зоны составит около 50-80м [1]. Если длина молнии равна $5 \cdot 10^3 \text{ м}$, то объем, занимаемый избыточным зарядом, будет равен $10^7 - 2,5 \cdot 10^8 \text{ м}^3$. Многочисленные ветвления молнии, естественно, увеличат этот объем. Частицы микропримеси атмосферы (ЧМА) осаждают на себя ионы из избыточного заряда. Один механизм зарядки - диффузионный и определяется формулой

$$n = d k t / 2e^2 \cdot \ln (1 + \pi d c N e^2 t / 2 k T),$$

где d - диаметр частицы; k - постоянная Больцмана; t - время зарядки; N - средняя концентрации ионов; c - среднеквадратическая скорость иона; T - температура в градусах Кельвина; e - заряд электрона. Второй механизм зарядки связан с восстановившимся после разряда молнии электростатическим полем E_0 и даётся формулой

$$n_e = 3\epsilon d^2 E_0 / 4 (\epsilon + 2),$$

где ϵ - диэлектрическая проницаемость частиц. В соответствии с приведёнными формулами будут заряжаться облачные частицы и частицы осадков.

К другим значительным эффектам молний можно отнести: деформацию капель в электростатическом поле, возникающем в стримерной зоне, коронные электрические разряды, которые заряжают гидрометеоры, воздействие ударной волны, порождаемой молнией в объеме диаметром около 12 м вокруг молнии по всей ее длине, отмечаемое в работе [4] снижение температуры облачной среды с -10°C до -40°C под действием ударной волны молнии и т.д. Так как изменения сферичности переохлажденной кап-

ли приводит к зарождению в ней кристаллической структуры и ее замерзанию, то в объеме, пронизываемом стримерной зоной, где возникает импульсное поле с напряженностью 300 – 500 кВ/м, деформирующиеся капли замерзают, превращаясь в крупные или капельные зародыши града. Понижение температуры ударной волной, как и деформация капель в ней, способствует также образованию капельных зародышей.

Заряженные ЧМА при характерных для облаков пресыщениях становятся центрами формирования облачных гидрометеоров. Так как по гипотезе «конкуренции» требуется создание искусственных зародышей града, то наибольший интерес представляют ЧМА, способные при своем росте превратиться в зародыши града. Для этого, как показали кристаллографические исследования, необходимо чтобы на ЧМА происходил плоскостной или эпитаксический рост кристаллов льда. Такой рост возникает только на отрицательно заряженных ЧМА. Поэтому, инициируя отрицательные ИМ, внедряющие в пространство отрицательно заряженный избыточный объемный заряд, можно превратить ЧМА в ядра сублимации и кристаллизации при отрицательных температурах в облаке. Это равносильно внесению в облако частиц кристаллизующего реагента, что и делается в методах по предотвращению града.

При положительных молниях, внедряющих в пространство положительные ионы, зарядка ЧМА положительным зарядом приводит к образованию иглоподобных кристалликов, которые обламываются, т.е. не способны к образованию зародышей града. По-видимому, этим и объясняется выпадение града в основном при положительных разрядах молний на землю. Другими словами, отрицательные молнии, способствуя созданию большего количества зародышей града, предотвращают образование крупных градин, а значит, и градобитие.

Теоретическое обоснование и экспериментальное подтверждение возможности инициирования ИМ плазменным образованием, получающимся при подрыве в грозоградовом облаке 100-мм артиллерийских снарядов, изложены в работе [7]. При этом в ряде экспериментов было установлено колоссальное воздействие ИМ на облачные образования, которые проявились, как существенное уменьшение величины и площади их радиолокационной отражаемости.

В связи с переходом в противоградовых работах на ракетный способ доставки реагента на объекты воздействия для инициирования ИМ предложена и опробована противоградовая ракета с токопроводящей поверхностью. Многократное усиление напряжённости внешнего по отношению к ракете поля способствует возникновению от полюса ракеты электрических

разрядов, переходящих в молнию. Так как ракета находится в облаке около 40с, то за это время она может инициировать несколько молний. Образующееся при самоликвидации ракеты плазменное образование также может инициировать ИМ. Пример инициирования ИМ такими ракетами приводится на рис.2 [2].

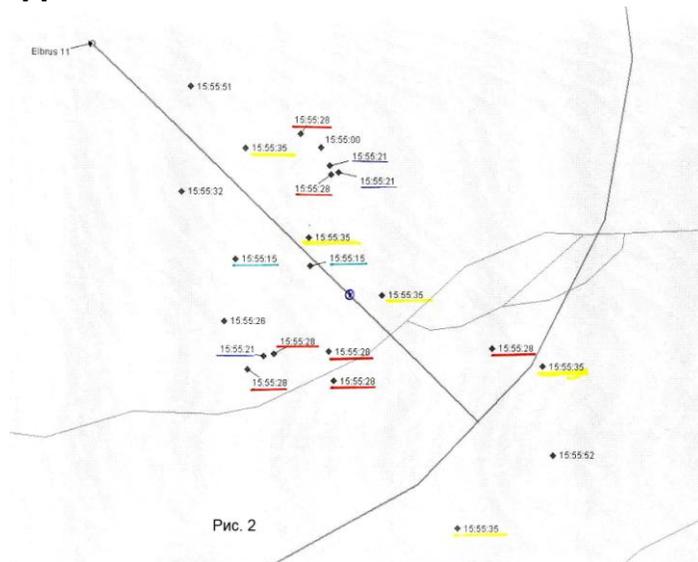


Рис. 2

Рис.2. Искусственные молнии, инициированные двумя ракетами с токопроводящей поверхностью в 15ч. 55мин. 28с. и в 15 ч. 55мин.35с.

Приводимые на рисунке две молнии зафиксированы с помощью грозопеленгатора SL 8000 Высокогорного геофизического института: одна в 15 ч. 55 мин. 28 сек., вторая – в 15 ч. 55мин. 35сек. Протяженность молнии, получающейся при соединении 7 точек ее проявления, в первом случае около 10 км, во втором случае при соединении 5 точек - 6,6 км. Если за радиусы сечений стримерных зон этих молний принять 30 м [1], то объемы пространства, в которые внедряются избыточные объемные заряды, соответственно составят $3 \cdot 10^7 \text{ м}^3$ и $1,8 \cdot 10^7 \text{ м}^3$. При отрицательной молнии в указанных объемах ЧМА зарядятся отрицательным зарядом и при отрицательных температурах в облаке превратятся в льдообразующие ядра, т.е. в зародыши града.

Для проверки применимости предлагаемого метода предотвращения града, необходимо проведение масштабного эксперимента в противоградовых службах Росгидромета с использованием ракет с токопроводящей по-

верхностью. Учитывая, что катастрофические ливни, грозы, ураганы и град порождаются электрически сверхактивными грозоградовыми явлениями, применение метода активного воздействия на эти явления иницированием ИМ можно считать наиболее перспективным. ИМ можно иницировать беспилотниками, мощными лазерами, плазменными образованиями, получающимися при подрыве в облаке взрывчатых веществ и т.д. Однако применение противогорадовых ракет с токопроводящей поверхностью для иницирования ИМ является наиболее перспективным и наиболее простым и дешёвым способом.

Список литературы

1. Бейтуганов М.Н. Иницирование искусственных молний как метод предотвращения града//Изв. КБНЦ РАН. 2013. №1 (51).С. 38-43.
2. Бейтуганов М.Н. Метод предотвращения града иницированием искусственных молний// Сборник научных трудов 5 Российской конференции по атмосферному электричеству. - Владимир, 2003. Т.1. С. 204-207.
3. Бейтуганов М.Н., Березуев Ю.А., Чочаев Х.Х. Иницирование искусственных молний как способ превращения частиц микропримесей атмосферы в ядра конденсации, сублимации и кристаллизации. Инновационные методы и средства исследований в области физики атмосферы, гидрометеорологии, экологии и изменения климата. - Ставрополь, 23-26 сентября 2013г. - С.105-108.
4. Диневич Л.А., Камалов Б.А. Пути оптимизации методов воздействия на осадкообразовательные процессы. Инновационные методы и средства исследований в области физики атмосферы, гидрометеорологии, экологии и изменения климата. - Ставрополь, 23-26 сентября 2013г. - С. 119-125.
5. Женев Р. Град. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. - 106с.
6. Руководящий документ РД 52.37.731-2010. Организация и проведение противогорадовой защиты. – Нальчик: ООО Редакция журнала «Эльбрус». – 2010. - 85с.
7. Сулаквелидзе Г.К., Глушкова Н.И., Федченко Л.М. Прогноз града, гроз и ливневых осадков. - Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 85 с.
8. Хоргуани В.Г. Микрофизика зарождения и роста града. - М. - 1984.- 184с.
9. Чочаев Х.Х. Радиолокационные характеристики конвективных облаков: проблемы измерения и анализа. - Нальчик: Полиграф сервис и Т. - 2009. - 78с.

10. Moore C.B., Vonnegut B., Machado J.A., Survilas H.G. Radar observations of rain gushes overheads Lightning strokes//J.Geophys.Res.1962.V.67. P. 207-220.

О ТЕХНИЧЕСКОЙ ВОЗМОЖНОСТИ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ТРОПИЧЕСКОГО ЦИКЛОНА

П.Н. Манташьян

*Северо-Кавказская государственная
гуманитарно-технологическая академия, г. Черкесск*

Тропические циклоны являются одними из самых разрушительных стихийных бедствий. Гигантский воздушный водоворот, зародившийся над просторами океана, достигает суши, нанося экономический ущерб, исчисляемый десятками миллиардов долларов и приводя к человеческим жертвам, количество которых может исчисляться десятками тысяч.

Крупный тропический циклон обладает энергетикой, сопоставимой с годовыми энергозатратами такой страны, как США, поэтому остановить или отклонить его, когда он набрал силу и движется к побережью, просто нереально, но можно, исходя из принципа «болезнь легче предупредить, чем лечить» попробовать предотвратить возникновение тропического циклона на ранних этапах его зарождения.

Одним из условий возникновения тропического циклона является то, что температура поверхностных вод океана должна быть не ниже 27 градусов Цельсия, поэтому для предотвращения его возникновения необходимо понизить эту температуру.

Автору удалось разработать два устройства для охлаждения поверхностных вод океана защищённых патентами России на изобретения № 2330312 с приоритетом от 13.11.2006 [1] и № 2415450 с приоритетом от 11.11.2009 [2]. Также разработан способ понижения температуры поверхностных вод океана в районе возможного появления тайфуна, защищённый патентом на изобретение № 2407044 с приоритетом от 30.09.2009 [3].

Конструкция и принцип работы запатентованных устройств очень просты. Одно из них, по патенту на изобретение № 2330312, изображено на рис.1. Устройство содержит длинную пластиковую трубу 1, с длиной равной глубине, с которой необходимо поднимать на поверхность воду. В тропических морях на глубинах порядка ста метров температура воды на 10–15° ниже температуры поверхностных вод.

В нижней и верхней части трубы 1 установлены клапаны 2, которые пропускают воду только в одном направлении – вверх. К верхней части трубы 1 прикреплен поплавок 3, а к нижней – груз 4, вес которого рассчитан так, чтобы верхняя часть трубы 1 немного выступала над поверхностью океана. Устройство прикрепляется тросом к морскому дну посредством груза или якоря. Качаясь на волнах, которые в океане бывают практически всегда, устройство будет совершать вертикальные возвратно-поступательные движения, исправно подавая глубинную холодную морскую воду наверх и охлаждая тем самым поверхностную воду океана. Второе устройство по патенту на изобретение № 2415450 является усовершенствованной модификацией первого. Конечно, одно устройство не сможет охладить поверхностные воды океана на большой площади и, тем самым, предотвратить возникновение тропического циклона, таких устройств потребуется много.

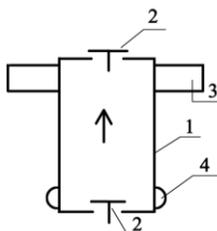


Рис.1. Устройство для охлаждения поверхностных вод океана по патенту на изобретение № 2330312.

Их изготовление и установка могут обойтись в весьма солидную сумму, возможно даже сопоставимую с суммой ущерба от разрушений, причиняемых тропическим циклоном. Положительным качеством такого устройства является то, что для его работы используется энергия волнения самого океана.

Способ понижения температуры поверхностных вод океана в районе возможного появления тайфуна, защищенный патентом на изобретение России № 2407044 заключается в том, что осуществляется температурный мониторинг поверхностных вод океана в районе возможного появления тайфуна, например, путём анализа инфракрасного излучения поверхности океана, сравниваются температурные данные с критической температурой и, в случае приближения к ней, в верхних слоях атмосферы с помощью ракет или самолётов распыляется порошкообразное вещество, например, мелкомолотый мел. Наличие мельчайших частиц мела в атмосфере над районом возможного зарождения тайфуна сыграет роль своеобразного зонтика, который, уменьшая прозрачность атмосферы, воспрепятствует прогреву поверх-

ностных вод океана и, тем самым, исключит возможность возникновения тропического циклона.

Использование мелкомолотого мела для уменьшения прозрачности атмосферы, обусловлено его дешевизной, экологической чистотой и отсутствием токсичности. Распыление порошка мела над акваторией океана и суши не отразится пагубным образом на экосистеме района зарождения тайфуна. Наиболее сложной частью осуществления этого способа является процесс доставки мелкомолотого мела в верхние слои атмосферы. Ещё одним существенным препятствием для претворения в жизнь идей, заложенных в описанных патентах, являются размеры акватории океана, на которой необходимо произвести понижение температуры поверхностных вод - они могут составлять порядка тысячи квадратных километров. Отсюда и высокие материальные затраты подобных мероприятий, которые могут превысить сотни миллионов долларов, но это не много по сравнению с ущербом, наносимым тропическим циклоном.

Соединённые Штаты Америки являются одной из стран, перед которой проблема предотвращения возникновения тропических циклонов стоит со всей остротой. Ежегодно тропические циклоны наносят экономике этой страны ущерб, исчисляемый десятками миллиардов долларов. Ущерб от знаменитого тропического циклона Катрин, пронёсшегося в 2005 году по южному побережью США, составил 82 миллиарда долларов и стоил жизни свыше 1500 человек.

Неудивительно, что именно в этой стране принято решение осуществить на практике предотвращение возникновения тропического циклона, и для этого есть все предпосылки. США, страдающие от тропических циклонов, являются наиболее развитой страной в экономическом и научно-техническом аспектах. Поэтому не случайно, что Билл Гейтс, один из богатейших людей земного шара, взялся за конкретное научно-техническое решение этой проблемы. С этой целью им, совместно с другими лицами, была создана компания, которая взялась за осуществление этого проекта. Информация об этом была опубликована в Интернете в виде статьи, которая приводится ниже без сокращений.

«Каждый год ураганы у берегов Соединенных Штатов Америки уносят десятки жизней, наносят огромный финансовый урон и держат в напряжении все население прибрежных штатов. Для борьбы с возникновением разрушительных ураганов была разработана уникальная технология, авторами которой стали британский ученый Стивен Солтер, экс-директор по технологиям компании Microsoft Натан Пол Мирволд и бывший глава компании Билл Гейтс. Технология предполагает использование

большого количества автомобильных покрышек и гигантских труб из специального материала, которые призваны снизить температуру воды. Дело в том, что циклоны образуются на поверхности океана при температуре воды 26,5 градусов по Цельсию и выше, а если вода холоднее, то этих неприятных явлений вполне можно избежать. В ходе проекта в самых опасных районах океана, которые соседствуют с побережьем США, будет установлено множество таких труб, которые будут поддерживаться на поверхности воды при помощи автомобильных шин. Высота трубы — почти 100 метров. Теплая вода с поверхности океана будет вливаться в трубу и выливаться уже на стометровой глубине, где температура воды гораздо ниже. Таким образом, теплая вода будет уходить на глубину, где станет более холодной, что позволит охладить поверхностные воды и избежать образования циклона. Отметим, что конструкция не требует ничего кроме покрышек и трубы, а всего для достижения желаемого результата планируется разместить от 150 до 450 таких труб. Чтобы трубы не мешали кораблям, они будут оснащены передатчиками и подавать сигнал проходящим кораблям. В настоящее время детальной разработкой проекта занимается компания Intellectual Ventures, обещающая в ближайшем будущем представить результаты своей работы».

В качестве комментария к материалам, изложенным в статье, опубликованной в Интернете, можно добавить, что Билл Гейтс уже довольно давно, по сообщениям средств массовой информации, примерно с 2008 года занимается проблемой предотвращения возникновения тропических циклонов. Первоначальное техническое решение, предложенное им, заключалось в том, что большой корабль оснащается мощными насосами, которые подадут глубинную холодную воду наверх, а тёплую, поверхностную воду закачивают вниз. К тому времени автор настоящей статьи уже обладал патентом на устройство, которое выполняет ту же функцию, но за счёт использования энергии волнения самого океана. Прошло пять лет, и Билл Гейтс вместе со своим окружением, пришёл к конструкции, запатентованной автором, только само устройство поставили с «ног на голову», за счёт применения клапанов, пропускающих воду вниз. Сами ли они пришли к этой идее или ознакомились с изобретениями автора в результате патентного поиска, пока непонятно, поскольку все попытки автора связаться с компанией Intellectual Ventures не увенчались успехом. Остаётся также спорным вопрос о том, что эффективней – подавать холодную воду из глубины на поверхность или тёплую воду с поверхности на глубину. Сам автор считает более эффективным процесс подачи холодной воды с глубины на поверхность. На этот и множество дру-

гих технических вопросов ответы можно будет получить только в результате конкретного воплощения идеи охлаждения поверхностных вод океана.

Наша цивилизация находится на таком этапе своего развития, на котором в исторически короткий промежуток времени возможен её выход на уровень, позволяющий позитивно влиять даже на такие грозные погодные явления, какими являются тропические циклоны.

Автор считает, что необходимо уже сейчас вплотную заниматься механизмами воздействия на природные погодные явления, такие как смерчи и тропические циклоны. Решение этой крайне сложной научно-технической задачи является насущной необходимостью сегодняшнего дня, а её сложность сопоставима со сложностью разработки аппаратуры для космического полёта. Автор считает, что наша страна, обладающая таким огромным научным потенциалом, должна быть в первых рядах и в этой области.

Список литературы

1. Манташьян П.Н. Устройство для охлаждения поверхностных вод океана в процессе его волнения патент России № 2330312 от 13.11.2006.
2. Манташьян П.Н. Устройство для охлаждения поверхностных вод океана в процессе его волнения патент России № 2415450 от 10.11.2009.
3. Манташьян П.Н. Способ понижения температуры поверхностных вод океана в районе возможного появления тайфуна патент России № 2407044 от 30.09.2009.

О ВОССТАНОВЛЕНИИ СЛУЖБЫ БОРЬБЫ С ГРАДОМ В КАХЕТИНСКОМ РЕГИОНЕ ГРУЗИИ

**А.Г. Амиранашвили¹, Н.Я. Глonti¹, У.В. Дзодзуашвили²,
Дж.Д. Ломтадзе², В.А. Чихладзе¹**

¹*Институт геофизики им. Михаила Нодиа Тбилисского государственного университета им. Иванэ Джавахишвили, г. Тбилиси*

²*Научно-производственное объединение «Дельта» Министерства экономики Грузии, г. Тбилиси*

Грузия является одной из градоопасных стран мира. Поэтому проблеме града в нашей стране посвящены многочисленные работы, охватывающие

широкий спектр исследований, начиная от климатологии града (включая долговременные вариации градовых процессов, их связь с антропогенным загрязнением атмосферы и др.) [1,3-14,16,17] и кончая механизмами его образования [16,17] и методами и результатами воздействия на градовые процессы [16-18,24]. Учитывая значительный экономический ущерб, приносимый градобитиями, в Грузии в начале пятидесятих годов прошлого столетия Институтом геофизики Академии наук Грузии были начаты работы по борьбе с градом. Позднее к этим работам подключился Закавказский гидрометеорологический институт (ЗакНИГМИ). В 1967 году для осуществления производственных работ по борьбе с градом на базе Алазанской противогорадовой экспедиции Института геофизики одной из первых в мире была создана Военизированной служба борьбы с градом Министерства сельского хозяйства Грузии. В целом, крупномасштабные опытные, опытно-производственные и оперативные воздействия велись в 1960-1989 годах в районах Кахетии и Южной Грузии на общей площади около 1,2 млн га. Положительный эффект изменялся в интервале 20-95%, со средним значением 75-85%. В отдельных случаях, когда воздействие проводилось на сверхмощные «суперячейковые» облака, эффект оказывался нулевым, т.е. отмечалось сильное градобитие [8,10,14]. Почти во всех работах использовались кристаллизующие реагенты (AgI , PbI_2), в одном районе воздействие велось комбинированным методом (AgI , NaCl). Для доставки реагента в облака в основном использовались ракеты различных типов, реже артиллерийские снаряды, самолет. Рентабельность работ была достаточно высокой (от 1:3 до 1:5) [1,5,8,9,12,17,23].

Практические работы по активным воздействиям на атмосферные процессы в Грузии были прекращены в конце 1989 года. В течение последних лет Институтами геофизики и гидрометеорологии неоднократно ставился вопрос о восстановлении этих работ [8,9]. В настоящее время, на фоне резкого роста стихийных бедствий и экономического ущерба от них, в том числе и от градобитий, всё громче звучат требования тружеников сельского хозяйства о восстановлении работы противогорадовой службы. К этим требованиям с пониманием отнеслось руководство страны. Летом 2013 года, под эгидой научно-технического центра «Дельта» с участием Институты геофизики и гидрометеорологии была создана Государственная комиссия для рассмотрения вопроса возобновления работ по активным воздействиям на опасные явления погоды. Было решено, в первую очередь, восстановить работы по борьбе с градом в Кахетии. В этом направлении уже сделаны определенные практические шаги, связанные, в частности, со структурой будущей службы

борьбы с градом, с подбором оптимальных средств воздействия, их размещения на территории этого региона и др. [10,11].

К моменту прекращения работ площадь защищаемой территории в Кахетии составляла около 800 тысяч гектаров и состояла из четырёх полигонов, каждый из которых имел свой радиолокатор типа МРЛ-5 и обеспечивал работу 20-25 пунктов воздействия. За прошедшее с тех пор время произошло определённое перераспределение как площади, занятой под угодья, так и видов сельхозкультур. Вследствие этого первоначальная площадь защищаемой территории ориентировочно может составить 500 – 600 тысяч гектаров.

Стечение ряда обстоятельств, в том числе прекращение выпуска классики противорадовой службы - двухволнового метеорологического радиолокатора МРЛ-5, дороговизна и сравнительно низкая надёжность прочих двухволновых радаров, а также мировая тенденция постепенного перехода на метеорологические радиолокаторы С-диапазона, поставило в повестку дня приобретение для будущей службы борьбы с градом современного 5-ти сантиметрового метеорологического доплеровского радиолокатора с двойной поляризацией. Преимущество подобных станций – волны с частотой порядка 5.5 ГГц, которые лучше проникают сквозь дождевую завесу, особенно при обложных дождях и обеспечивают наблюдение за облачной средой за ними. Наличие мощной компьютерной базы обеспечит возможность различать град и дождь, обнаруживать осадки со смешанной фазой и оценивать объём дождевых осадков. Длительная безотказная работа и приемлемая стоимость устройства будет обеспечена использованием магнетронной техники. Радиолокационные станции с двойной поляризацией также обеспечивают классификацию осадков путем аналитической обработки обнаруженных радиолокатором форм гидрометеоров и улучшенное разрешение параметров гидрометеоров.

На рис.1 представлена карта предполагаемой защищаемой территории Кахетии с указанием места размещения радиолокатора на горе высотой 1073 м вблизи села Чотори Сигнахского района. Первоначально предусмотрено использование одного метеорологического радиолокатора для отработки методики работы на новой для нас длине волны. Подбор места установки радиолокатора обусловлен как наличием соответствующей инфраструктуры – удобный подъезд, наличие линии электроснабжения, близость населённого пункта, достаточное превышение над населёнными пунктами, так и удобным расположением практически в центре района предполагаемых работ – расстояние до самых удалённых точек защищаемой территории составляет порядка 85 км, при рабочей дальности действия радара порядка

250 км (картина радиовидимости метеорологического радара при минимальном угле места на предполагаемой защищаемой территории представлена на рис.1). Командный пункт в связи с перспективой расширения зоны противорадовых работ будет размещен в г. Тбилиси.

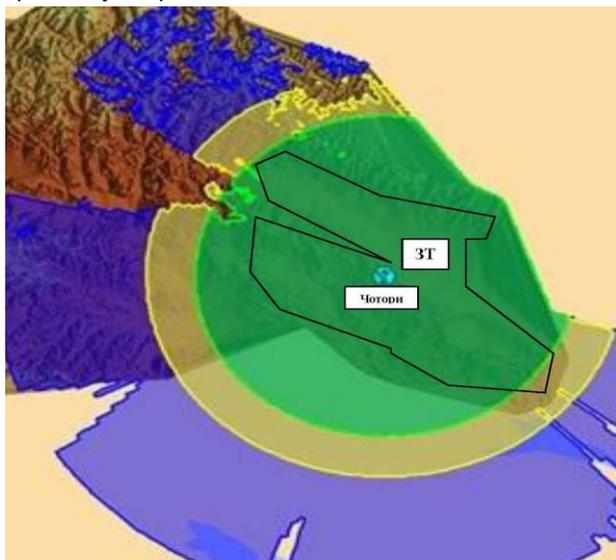


Рис. 1
Месторасположение РЛС, зона ее действия и границы защищаемой территории в Кахетии

Для воздействия на облака предполагается использование различных типов противорадовых ракет, подбор которых проводится в настоящее время. Для их запуска предполагается использование универсальных многоствольных автоматизированных пусковых установок, весь процесс наводки которых как по углу места, так и по азимуту происходит без участия человека за минимальное время по команде с центрального командного пункта (КП). Для возможности использования различного типа ракет, как с использованием транспортировочно-пусковых герметичных контейнеров, обеспечивающих сохранность ракеты в течении регламентированного срока практически в любых условиях, так и без них, как с раскрывающимися стабилизаторами, так и с жестко закреплёнными, пусковые установки будут снабжены быстро-съемными взаимозаменяемыми кассетами. Учитывая тот факт, что ряд современных противорадовых ракет имеет так называемый минометный способ пуска (специальный вышибной заряд придает ракете импульс, благодаря которому она выходит из пусковой установки с определённой стартовой

скоростью, позволяющей уменьшить влияние приземного ветра и тем самым повысить точность ракеты), автоматизированные пусковые установки рассчитаны на повышенные динамические нагрузки. Команда на пуск ракеты также осуществляется с КП по защищенным линиям связи, т.е. человеческий фактор уже не будет причиной задержек с реагированием на команду. Единственная операция с участием человека – перезарядка пусковой установки, естественно с предварительным отключением системы автоматики. Предполагается, что системы связи, охраны периметра, автоматики, наводки установки и запуска ракет будут запитываться от автономной системы питания, основу которой составят солнечные батареи мощностью 300 – 600 ватт с соответствующими преобразователями и аккумуляторами. Фотография одного из вариантов пусковой установки представлена на рис.2.

Естественно, подготовка к началу работ по активному воздействию включает в себя не только подготовку технических средства воздействия, но и проведение ряда работ по теоретическому обоснованию этих работ. Основная часть этих работ будет проведена с участием и под руководством сотрудников Института Геофизики и Гидрометеорологии с привлечением специалистов соответствующих профилей.



Рис. 2
Автоматизированная пусковая установка для противогорадовых изделий

В частности, будут проведены работы по приведению методологии индикации градоопасности облаков различной категории по данным наблюдений радиолокатора 3-х и 10-см диапазонов радиоионизации к 5-см диапазо-

ну (С-диапазону). Будут разработаны численная модель расчета распространения льдообразующего реагента от трасс полета используемых противорадиолокационных изделий в вертикальном турбулентном потоке воздуха, а также опытная методика активного воздействия на градоопасные и градовые облака различной категории по данным наблюдений радиолокатора 5-см диапазона радиоизлучения и имеющихся средств воздействия.

Использование совершенной системы связи позволит создать автоматизированную сеть метеорологических наблюдений на базе пунктов воздействия на градовые процессы, с возможностью приема информации на командном пункте в реальном времени. Данные сети метеорологических наблюдений позволят разработать численные модели конвекции и турбулентного перемешивания в Кахетии для прогнозирования градовых процессов, расчетов распространения реагента в облаках и др. Одним из основных составных элементов системы противорадиолокационных работ мы считаем подготовку предварительной методики определения физического и экономического ущерба от градобитий.

При этом основа основ – это подготовка кадров соответствующих специальностей (радиолокация, воздействие, оценка ущерба, экология и др.) для противорадиолокационной службы. После начала фазы активных работ функции сотрудников указанных Институтов несколько изменятся и основным станет постоянное усовершенствование методологии активного воздействия на градовые процессы на основе анализа результатов практических работ.

Список литературы

1. Амиранашвили А., Амиранашвили В., Блиядзе Т., Нодия А., Чихладзе В., Бахсолиани М., Хуродзе Т. Особенности многолетней изменчивости градобитий в Кахетии//Тр. Ин-та географии им. Вахушти Багратиони АН ГССР. Тбилиси, 2003. ISSN 1512-1224. Т. 21. С. 58-79 (на грузинском языке).

2. Амиранашвили А.Г., Нодия А.Г., Торонджадзе А.Ф., Хуродзе Т.В. Изменчивость числа дней с градом в Грузии в 1941-1990 гг.//Тр. Ин-та геофизики АН Грузии. 2004. ISSN 1512-1135. Т. 58.С. 127-132.

3. 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. Ин-та геофизики АН Грузии. 2004. Т.58. С.133-141.

4. 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//Тр. Ин-та гидрометеорологии. Тбилиси, 2008.- ISSN 1512-0902. Т. 115.С. 427–433.

5. Амиранашвили А.Г. Влияние антропогенного загрязнения атмосферы на изменчивость градовых процессов//Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа. Тбилиси, 2013. - ISSN 1512-1135. Т. 64.С.160-177.

6. 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//Материалы научной конференции, посвященной 80– летию со дня основания Института геофизики. Тбилиси, 2014. ISSN 1512-1135. С. 145-150.

7. Амиранашвили А.Г., Гзиришвили Т.Г. Аэрозоли и ледяные кристаллы в атмосфере.- Тбилиси: «Мецниереба», 1991. - 113 с.

8. Амиранашвили А.Г., Бахсолиани М.Г., Бегалишвили Н.А., Берадзе Н.И., Бериташвили Б.Ш., Рехвишвили Р.Г., Цинцадзе Т.Н., Рухадзе Н.П. О возобновлении работ по регулированию осадков в Восточной Грузии//Тр. Ин-та гидрометеорологии. Тбилиси, 2002. ISSN 1512-0902. Т.108. С. 249-260.

9. Амиранашвили А.Г., Бахсолиани М.Г., Бегалишвили Н.А., Бериташвили Б.Ш., Рехвишвили Р.Г., Цинцадзе Т.Н., Читанава Р.Б. О необходимости возобновления работ по искусственному регулированию атмосферных процессов в Грузии//Тр. Ин-та Гидрометеорологии ГТУ. Тбилиси, 2013. ISSN 1512 – 0902. Т.119. С. 144 - 152.

10. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Чихладзе В.А. Противораговые ракеты типа земля-воздух//Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа. Тбилиси, 2013. ISSN 1512-1135. Т. 64.С. 151–159.

11. Амиранашвили А., Глonti Н., Дзодзуашвили У., Ломтадзе Дж., Чихладзе В. О возобновлении противораговых работ в Грузии//Материалы научной конференции, посвященный 80–летию со дня основания Института геофизики. Тбилиси, 2014. ISSN 1512-1135.С. 208-212.

12. Бартишвили И.Т., Надибаидзе Г.А., Бегалишвили Н.А., Гудушаури Ш.Л. К физическим основам метода ЗаКНИГМИ борьбы с градом//Тр. ЗаКНИГМИ. 1978. Вып.67(73). С.73-82.

13. Воронов Г.С. Некоторые данные исследования града в Алазанской долине // Тр. ЦАО. 1965. Вып.65. С. 37-45.

14. Гагуа В.П. Град. Опасные гидрометеорологические явления на Кавказе. Л.: Гидрометеоиздат, 1971. - С. 121-133.

15. Гигинеишвили В.М. Градобития в Восточной Грузии. - Л.: Гидрометеоиздат, 1960. -123 с.

16. Гигинеишвили В.М., Ломинадзе В.П. Некоторые вопросы организации градовой службы в Алазанской долине//Тр. ЗакНИГМИ. 1964. Вып.16(22). С. 93-97.

17. Град и борьба с ним. Основные результаты работы службы активных воздействий на гидрометеорологические процессы в 1967 – 1989 гг./Тбилиси, 1990. - 15 с. (на грузинском языке).

18. Карцивадзе А.И., Салуквадзе Т.Г., Лапинкас В.А. - Некоторые вопросы методики воздействия на градовые процессы с использованием противоградовой системы «Алазани»//Тр. Ин-та геофизики АН Грузии. 1975. Т. 26. С.13-27.

19. Сулаквелидзе Г.К. Ливневые осадки и град. - Л.: Гидрометеиздат, 1967. - 412 с.

20. Сухишвили Э.В. Град. Климат и климатические ресурсы Грузии. Л.: Гидрометеиздат, 1971.- С. 313-318.

21. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Doreuli R., Khurodze T., Kolesnikov Yu. Some Characteristics of Hail Processes in the Kakheti Region of Georgia//Proc. 13th Int. Conf. on Clouds and Precipitation. - Reno, Nevada, USA, August 14-18, 2000. - vol.2. - pp. 1085-1087.

22. Amiranashvili A.G., Amiranashvili V.A., Nodia A.G., Khurodze T.V., Toronjadze A.F., Bibilashvili T.N. Spatial-Temporary Characteristics of Number of Days with a Hails in the Warm Period of Year in Georgia// Proc. 14th Int. Conf. on Clouds and Precipitation, Bologna, Italy, 18-23 July 2004. pp. 2_2_215.1-2_2_215.2.

23. Amiranashvili A., Nodia A., Khurodze T., Kartvelishvili L., Chumberidze Z., Mkurnalidze I., Chikhradze N. Variability of Number of Hail and Thunderstorm Days in the Regions o Georgia with Active Influence on Atmospheric Processes//Bull. of the Georgian Acad. of Sciences. 172. N3. 2005. pp. 484-486.

24. Amiranashvili A.G., Gzirishvili T.G., Chumberidze 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, 1996. - vol. 1.- pp. 267-270.

25. 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). 2021-2056,DOI:10.1007/s11069-012-0374-3,

<http://www.springerlink.com/content/9311p18582143662/fulltext.pdf>.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДА АКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ГРАДОВЫЕ ПРОЦЕССЫ С УЧЕТОМ МЕСТА ИХ ЗАРОЖДЕНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

К.Х. Кучкарова, Х.А. Имамджанов

Центр Гидрометеорологической Службы при Кабинете Министров
Республики Узбекистан (Узгидромет), г. Ташкент

Для повышения успешности активного воздействия на градовые процессы в Кашкадарьинском вилояте (Шахрисабзском и Китабском районах) проведены исследования места зарождения, закономерности развития, направления и скорости перемещения грозоградовых процессов Шахрисабзской противоградовой службы в период 1978-2012 гг.

За 34 летний период исследованы 563 грозоградовых процесса, на которые проводились активные воздействия. Исследования проводились с помощью метеорологических радиолокаторов МРЛ-5 с использованием радиолокационной системы «Мерком». Анализ материалов исследований показал, что в Кашкадарьинском вилояте грозоградовые процессы преимущественно зарождаются в районах, указанных на рис.1:

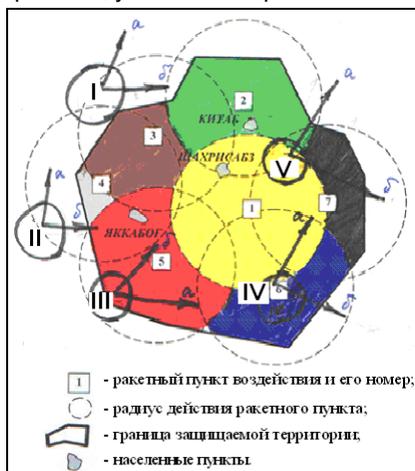


Рис.1. Кашкадарьинская станция мониторинга и управления на ВГМП:

- I, II, III, IV и V – очаги зарождения; а и б – направления перемещения.
- I, северо-западнее защищаемой территории (ЗТ) - предгорья южного склона Зарафшанского хребта; - II, западнее ЗТ – восточнее Чимкурганского водохранилища; - III, юго-западнее ЗТ – в предгорьях северных склонов Яккабагских гор; - IV, на юге ЗТ – в предгорьях северных склонов Яккабагских гор; - V, в центральной части Кашкадарьинской долины – восточнее г. Шахрисабза.

В табл.1 приведено число, повторяемость и направление перемещения грозоградовых процессов, развивающихся в перечисленных 5 очагах. Из нее следует, что наиболее градоопасными являются очаги зарождения III и IV, на долю которых приходится около 60-70% случаев, а наименьшую градоопасность имеет очаг V. Эти закономерности необходимо учитывать при подготовке и проведении противоградовых мероприятий.

Таблица 1. Распределение грозоградовых процессов по очагам их возникновения

Номер очага зарождения грозоградового процесса	Направление перемещения грозоградового процесса	Число грозоградовых процессов		Доля общего числа грозоградовых процессов, %
		случаев	%	
1	а	7	19	1
	б	27	81	5
2	а	25	34	4
	б	49	66	9
3	а	71	57	13
	б	53	43	10
4	а	188	73	33
	б	69	27	12
5	а	49	66	9
	б	25	34	4
Всего		563		100

В целях уточнения критериев засева проведен анализа закономерностей развития 1896 конвективных облаков, из которых в 557 случаях наблюдался град, а в остальных крупы и жидкие осадки. Выявлено, что разделение облаков на две группы - достигающих и не достигающих градовой стадии развития, - можно осуществить по скорости нарастания значения максимальной радиолокационной отражаемости облаков ($V\eta$) (рис.2):

- при $V\eta \geq 1,4 \cdot 10^{-9} \text{ см}^{-1}/\text{мин}$ облако развивается до градовой состояния;
- при $V\eta \leq 1,1 \cdot 10^{-9} \text{ см}^{-1}/\text{мин}$ наблюдается выпадение дождя или крупы.

Область значений $1,1 \cdot 10^{-9} < V\eta < 1,4 \cdot 10^{-9} \text{ см}^{-1}/\text{мин}$ является областью неоднозначности – здесь возможен как град, так дождь и крупы.

При проверке критерия $V\eta$ для условий северной части Ферганской долины по материалам засева облаков в 1987- 1991 и 1993 - 2007 годы было выявлено, что только 27,5% облаков, подвергавшихся воздействию, при достижении $\eta_{10} = 6 \cdot 10^{-9} \text{ см}^{-1}$ имели $V\eta \geq 1,4 \cdot 10^{-9} \text{ см}^{-1}/\text{мин}$ и могли привести к выпадению града.

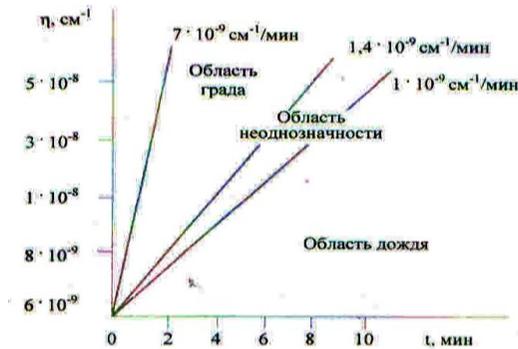


Рис.2. График определения состояния градоопасности кучево-дождевых облаков по скорости роста их отражаемости $V\eta$.

Необходимо отметить, что все случаи выпадения града с ущербом и без ущерба, а также 80% выпадения крупы приходилось на $V\eta \geq 1,4 \cdot 10^9 \text{ см}^{-1}/\text{мин}$. В остальных случаях наблюдался только ливень. Поэтому при выборе объектов воздействия необходим учет критерия $V\eta \geq 1,4 \cdot 10^9 \text{ см}^{-1}/\text{мин}$.

Кроме того, засев объектов воздействия 2-й, 3-й и 4-й категории необходимо начинать при достижении значения отражаемости $\eta_{10} = 6 \cdot 10^9 \text{ см}^{-1}$, которое мы считаем основным показателем, определяющим необходимость проведения воздействия на градовый процесс. Критерием прекращения воздействий на объекты 2-й, 3-й и 4-й категорий является уменьшение значений ΔH_0 до 1 км и меньше.

Наиболее важным положением усовершенствованной схемы воздействия является локализация места засева. В случае упорядоченных, неупорядоченных и суперячейковых градовых процессов предлагается обрабатывать области, находящиеся в восходящем потоке в слое между изотермами $-6^\circ\text{C} \div -12^\circ\text{C}$, вблизи границы с нисходящими потоками, с правой стороны направления движения зоны выпадения града.

Для повышения эффективности воздействия рекомендуется засеивать площадь, ограниченную изолиниями $\eta_{10} = 10^9$ и 10^{10} см^{-1} и лучом, угол которого равен $\beta = 2\alpha$, где α - угол между направлением движения ячейки и направлением навеса радиозеха (рис.3).

В этом случае ракеты попадают на уровень предлагаемой нами площади засева, которая представляется более эффективным местом для активных воздействий.

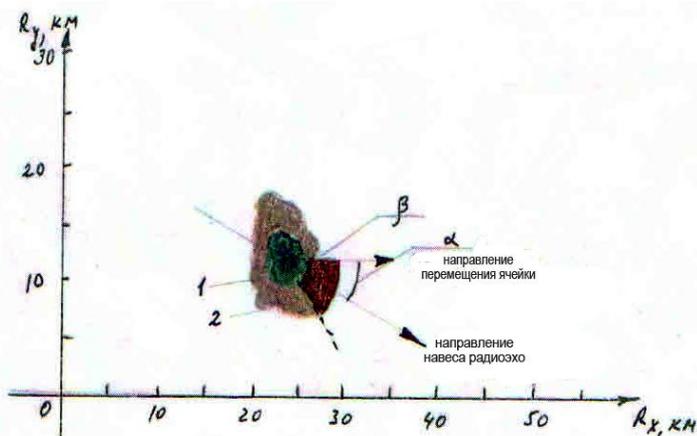


Рис.3. Площадь засева по предлагаемому способу воздействия:
 1 - изолиния $\eta_{10} = 10^{-9} \text{ см}^{-1}$, 2 - изолиния $\eta_{10} = 10^{-10} \text{ см}^{-1}$.

Воздействие осуществляется на высоте, соответствующей температурному порогу действия льдообразующего реагента (-6°C) во фронтальной части грозоградового процесса, согласно существующей технологии. Из этой области внесения реагента ледяные кристаллы могут транспортироваться в зону наиболее вероятного образования и роста града, расположенную выше слоя засева, и ограничивать рост града за счет кристаллизации крупнокапельной фракции и создания дополнительных капельных зародышей града. Турбулентность будет способствовать быстрому распространению реагента, чем создает возможность кристаллизации основной части капель, которые могли привести к образованию крупного града. В данном случае эти капли не могут участвовать в росте града после их кристаллизации.

Заключение

При подготовке и проведении воздействия на градовые процессы в Кашкадарьинском вилояте Республики Узбекистан рекомендуется:

1. Особое внимание обращать на облака, зарождающиеся в наиболее градоопасных очагах III и IV – над предгорьями Яккабагских гор.
2. При выборе объектов воздействия необходимо учесть скорость роста их отражаемости до критериального значения $V\eta \geq 1,4 \cdot 10^{-9} \text{ см}^{-1}/\text{мин}$.
3. Засев объектов воздействия 2-й, 3-й и 4-й категории необходимо начинать при достижении значения отражаемости $\eta_{10} = 6 \cdot 10^{-9} \text{ см}^{-1}$.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПУТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ГРОЗАХ

В.Ю. Андриевская¹, Х.Х. Машуков², Э.А. Рагимов¹

¹ Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского,
г. Санкт-Петербург

² ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», г. Нальчик

Как известно, полеты летательных аппаратов (ЛА) в грозовых облаках запрещены. Но в лётной практике иногда случаются исключительные обстоятельства, когда пролет летательного аппарата через грозовое облако просто необходим, например, для посадки в аэропорту. В таком случае защита самолета представляет сложную и ответственную проблему – слишком тяжелыми могут быть последствия воздействия молнии. У самолета много уязвимых мест. Помимо кабины пилота и топливных баков – это десятки антенн и внешних датчиков, от целостности которых зависит безопасность полета, хотя большинство молний, поражающих летательный аппарат – восходящие и стартуют они в основном от концов фюзеляжа и крыльев, как видно на рисунке, где внешнее электрическое поле максимально усилено [1].

По статистике каждый год фиксируется примерно три случая поражения самолетов молнией, в которые не входят случаи с военными самолетами. К сожалению, современное состояние проблемы атмосферного электричества, в том числе гроз, не намного лучше, чем это было столетие назад.

До сих пор не существует общепринятой теории грозы, а относительно расположения в грозовых облаках опасных зон, даже в соответствующей литературе можно встретить самые противоречивые утверждения.



Поражение самолета молнией.

Для определения степени грозоопасности облаков для ЛА можно использовать, с большой степенью надежности, штатное радиолокационное оборудование аэродромов, включающих в себя РЛС МРЛ-5 и РЛС П-18 метрового диапазона, измерители напряженности электрического поля, широкополосные приемники для регистрации электромагнитного излучения (ЭМИ) от молниевых разрядов

1. Методика проведения наблюдений на МРЛ-5 и П-18.

Для определения параметров грозовых облаков наблюдения на автоматизированном радиолокаторе МРЛ-5 должны проводиться в режиме, обеспечивающем получение объемного файла, т.е. проводятся горизонтальные обзоры пространства с последовательным подъемом антенны радиолокатора на ширину диаграммы направленности антенны. Такой режим обзора МРЛ-5 позволяет провести вертикальный разрез выбранного радиоэха облака в любом азимутальном направлении и получать в этом направлении профиль изменения отражаемости (автоматизированная обработка данных, получаемых МРЛ-5, может осуществляться с помощью систем «Антиград», «Мерком» и др.).

С помощью РЛС МРЛ-5 можно получать следующие данные:

- скорость и направление смещения радиоэха изолированных облаков;
- зоны осадков и положение фронтальных разделов воздушных масс, а также тенденцию их эволюции;
- сверхкраткосрочный прогноз погоды (до 3-х часов) на основе данных, полученных при периодических наблюдениях на МРЛ-5.

Повторные радиолокационные наблюдения должны осуществляться через интервалы времени 10–30 мин в зависимости от скорости роста параметров радиоэха облаков. Такой режим обзора позволяет в дальнейшем провести вертикальный разрез выбранного радиоэха облака в любом азимутальном направлении и получить в этом направлении профиль изменения отражаемости (Z) с высотой (H) в данный и последующие моменты времени, то есть, установить зависимость $\lg Z = \psi(H, t)$.

На основе 2-3-х объемных обзоров, проведенных через 10-30 мин, определяется следующее:

1. Скорость и направление смещения радиоэха облаков относительно точки стояния РЛС. При отсутствии автоматизированного определения скорости и направления смещения радиоэха облаков, сопоставляются координаты центров радиоэха метеообразований, установленных во время первого обзора МРЛ-5 (азимут A^0_1 , дальность R_1) со вторым обзором ($A^0_2; R_2$). Рас-

стояние L , на которое сместилось радиоэхо облака, определяется с помощью выражения:

$$L = (R_1^2 + R_2^2 - 2R_1R_2\cos\Delta A^0)^{1/2}, \text{ где } \Delta A^0 = A_1^0 - A_2^0.$$

Скорость смещения радиоэха метеоцели в этом случае равна $U = L/\Delta t$.

2. Изменение во времени H_{BG} , а также $Ig Z_{\max}$.

3. Структура радиоэха облака (одно-, – или многоячейное).

Такие наблюдения дают возможность установить стадию эволюции облака (рост, стабилизация, диссипация), что позволяет судить о степени грозоопасности облака для летательных аппаратов.

Проведенный анализ фактического состояния погоды и составленный сверхкраткосрочный ее прогноз позволяют определить время включения других РЛС, например, П-18 для определения начала грозовой активности облаков.

РЛС метрового диапазона П-18, способная обнаруживать в облаках ионизированные каналы молний как типа облако-облако, так и облако-земля, начинает наблюдения в том случае, когда по данным РЛС МРЛ-5 высота верхней границы (H_{BG}) радиоэха облаков достигает ≈ 7 км, а отражаемость ($Ig Z_3$) на уровне Z_3 (на высоте выше нулевой изотермы на 2,0-2,5 км) равен ≈ 2 .

При достижении приведенных выше параметров радиоэха облака оно переходит в предгрозовую стадию, которая завершается при обнаружении в облаке первых молниевых разрядов с помощью РЛС_{метр.} или прибора напряженности поля (ПНП). При этом необходимо учитывать, что такое состояние облака кратковременно и длится 10–20 мин и менее, затем облако переходит в своем развитии в грозовую стадию, когда РЛС_{метр.} и ПНП фиксируют в нем молниевые разряды.

Многочисленные наблюдения с помощью МРЛ позволили установить, что когда вершины кучево-дождевых облаков превышают изотерму -22°C – уровень интенсивной кристаллизации капель, такое облако может стать грозовым, то есть, в облаке создаются условия для разделения зарядов и их нейтрализации молниевыми разрядами. Только в 7,4% случаев в наблюдаемых грозах максимальная высота верхней границы облака $H_{BG \max} < H - 22^{\circ}\text{C}$. Среднее значение разности $H_{\max} - H - 22^{\circ}\text{C} = 2,9$ км [?]. Высота радиоэха облака является одним из важных факторов, определяющих его электрическую активность.

В зависимости от H_{BG} облака, грозы считаются слабыми, если $H_{BG} < 7$ км, сильными, если $H_{BG} \geq 10$ км и разрушительными в том случае, если $H_{BG} \geq 15-16$ км.

С помощью косвенного радиолокационного критерия $Y = H_{ВГ} \times \lg Z_3$ в радиусе, не превышающем 150 км, можно отнести облако к грозовому со следующей вероятностью (P)[2]:

- при $Y \geq 25$ – $P \approx 90\%$;

- при $20 < Y < 25$ – $P \approx 75-80\%$;

- при $10 < Y < 20$ – $P \approx 30-70\%$;

- при $Y < 10$ только в 5% случаев облака могут быть грозовыми (это наблюдается на стадии диссипации облака) и в 90% случаев признаются ливневыми.

Известен другой косвенный радиолокационный критерий K распознавания грозовых облаков[3]:

$$K = \frac{H_{ВГ} H_{Z_{макс}} \lg Z_{макс}}{H_0^2},$$

где $H_{ВГ}$ – высота радиозха облака; $H_{Z_{макс}}$ – высота зоны максимальной отражаемости облака; $\lg Z_{макс}$ – логарифм максимальной отражаемости; H_0 – высота нулевой изотермы.

В тех случаях, когда среднее значение K составляет 8,2 и более, облако является молниезактивным, а при $K = 5,0$ разряды прекращаются.

2. Методика определения пассивной (предгрозовой) стадии электроактивных зон облаков.

Началом появления электроактивных зон (ЭАЗ) следует считать возникновение в них организованной электризации. Такими признаками могут быть следующие параметры облака:

1. Температура на верхней границе облака находится в пределах $-15^\circ C < T_{В.Г.} < -22^\circ C$.

2. Радиолокационная отражаемость облака $\lg Z_{об.} > 1,8$.

3. Радиолокационная отражаемость осадков $\lg Z_{ос.} > 1,8$.

4. Мощность облака ($\Delta H = H_{ВГ} - H_{НГ}$) в пределах 4,8 км $< \Delta H < 6,5$ км, где $H_{НГ}$ – нижняя граница облака.

5. Мощность переохлажденной части облака (ΔH_{-}), то есть, выше нулевой изотермы, 2,0 км $< \Delta H_{-} < 3,5$ км.

6. Высота верхней границы облака 5,5 км $< \Delta H < 7,2$ км.

Перечисленные незлектрические параметры облака могут быть установлены по данным температурно-ветрового зондирования атмосферы и по результатам радиолокационных наблюдений.

Приведенные в пп. 1-6 параметры могут быть приняты за начало пассивной стадии зарождения ЭАЗ, то есть за начало предгрозового состояния облака, завершающегося с возникновением в облаке первого молниевых разряда.

Наиболее достоверно рассматриваемая стадия зарождения ЭАЗ определяется во время наземного измерения напряженности электрического поля (E_n) непосредственно под облаком. Здесь признаком возникновения пассивной (предгрозовой) стадии облака является условие, при котором

$$E_{\text{крит.}} > E_n > E_{\text{фон.}}$$

где $E_{\text{крит.}}$ – напряженность поля, при которой в облаке возникают первые молниевые разряды.

Определение активной стадии ЭАЗ, когда в облаках возникают грозовые разряды, можно проводить:

- с помощью вероятностных радиолокационных критериев грозоопасности, устанавливаемых по данным наблюдений РЛС МРЛ-5;
- на основе обнаружения эхо-сигналов молний с помощью РЛС П-18 (метровый диапазон);
- на основе измерения напряженности электрического поля (E_n) под облаком (при $E_n \geq 1-2$ кВ/м следует ожидать возникновения в облаке грозных разрядов);
- при регистрации скачков напряженности электрического поля наземным флюксметром (измеритель напряженности электрического поля ПНП);
- на основе приема электромагнитного излучения, фиксируемого приемными трактами радиоприемников на частотах от 1 до 25 МГц.

При определении грозового состояния облаков с использованием РЛС П-18 осуществляются следующие наблюдения:

- МРЛ-5 проводит объемный обзор пространства и определяет азимут и расстояние до облака, которое по косвенному радиолокационному критерию с некоторой вероятностью можно отнести к грозовому;
- эти данные по каналу связи передаются оператору РЛС П-18, который устанавливает неподвижно антенну РЛС по азимуту облака, обнаруженного МРЛ-5, и на индикаторе типа «А» визуально фиксирует время возникновения молний и ее удаление. Производится непрерывная регистрация радиозеха молний с помощью видеокамеры, установленной перед экранами РЛС П-18 типа ИКО или ИДВ, имеющими яркостную модуляцию сигналов, и при этом наряду с эхо-сигналами молний регистрируются метки дальности и текущего времени. Предусмотрена регистрация с помощью ПВЭМ.

3. Определение грозового состояния облаков на основе регистрации ЭМИ молниевых разрядов.

Применение радиоприемников типа «Волна-К», не имеющих антенн направленного приема радиосигналов, позволяет регистрировать электромагнитное излучение (ЭМИ) грозовых разрядов в диапазоне от 1 МГц до 25 МГц. Приемные тракты приемников «Волна-К» позволяют оценить фоновое излучение молний, которое может служить сигналом для проведения учащенных наблюдений на РЛС МРЛ-5 или П-18 для обнаружения каналов молний.

Известно, что ПНП фиксирует рост $E_{\text{п}} > E_{\text{фона}}$ в том случае, когда кучево-дождевое или грозовое облако приближается к прибору на расстояние $\approx 4-5$ км. Наряду с этим, ПНП способен регистрировать скачки напряженности электрического поля при возникновении вспышек молний на расстоянии до ≈ 40 км. Несмотря на то, что ПНП не имеет направленного приема сигналов, он успешно может быть использован для оценки грозовой обстановки в радиусе до 40 км, а если в этом радиусе МРЛ-5 обнаруживает только одно радиоэхо облака, то и судить о количестве молний, возникающих в этом облаке в заданном интервале времени.

Заключение

Использование вышеперечисленного радиотехнического оборудования по тщательно разработанным и утвержденным методикам, может помочь определить интенсивность грозовых процессов в районе аэродромов, направление и скорость смещения грозовых облаков и позволить снизить риск полета ЛА в грозу в экстремальных ситуациях.

Список литературы

1. Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Физика молнии и молниезащиты. – М.: Физматлит, 2001.- 320 с.
2. Сальман Е.М., Гашина С.Б. Локализация осадков и грозоопасных зон по их радиолокационным характеристикам.//Тр. ГГО. 1967. Вып. 217.
3. Зимин Б.И. Регулирование развития грозовой активности конвективных облаков при воздействии льдообразующими аэрозолями.//Тр. ЦАО. 1978. Вып. 136.

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ И ПОЛЕЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛЬДООБРАЗУЮЩИХ РЕАГЕНТОВ ПРИ АКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ НА ГРОЗОГРАДОВЫЕ ОБЛАКА

Р.Х. Калов

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», г. Нальчик

Опасные последствия воздействия грозовых процессов необходимо учитывать в таких отраслях жизнедеятельности как авиация, средства связи и коммуникации, военные и другие объекты стратегического назначения и т.д. Влияние грозовой деятельности сказывается и в горных районах в связи с их активным освоением: строительством объектов и сооружений хозяйственного и рекреационного назначения. Увеличивается вероятность поражений молниями наземных объектов и летательных аппаратов, повышается опасность воздействия тока молний на линии электропередач, средства связи и коммуникации. Кроме того, грозы часто являются причиной лесных пожаров. Вопросы регулирования и контроля электрического состояния грозовых облаков не получили достаточной практической реализации по причине сложности и недостаточной изученности самого процесса грозы и отсутствия надёжных данных о связи электрического состояния облака со сложным комплексом микрофизических и динамических процессов в нём. В связи с этим, необходимо отметить, что одной из важнейших проблем физики атмосферы является проблема исследования динамики развития, распространения, прогнозирования грозовых процессов и управления электрической активностью облаков.

1. Методы исследования и управления электрическим состоянием облаков

В последние годы исследователями на основе современных представлений о механизмах электризации облаков разрабатываются методы и средства контроля и подавления грозовой активности мощных конвективных облаков. Одним из основных методов управления электрическим состоянием облаков является искусственная кристаллизация облачных частиц, осуществляемая с помощью химических реагентов. Для повышения эффективности воздействия возникает необходимость в разработке оптимальной схемы засева конвективных облаков с учётом характера взаимодействия частиц реагентов с облачной водой и особенностей естественной кристаллизации облачных капель.

Изучению процессов, связанных с естественной и искусственной кристаллизацией капель воды, посвящено большое количество работ. Эти исследования достаточно подробно обобщены в литературе [33, 21, 24, 14, 27, 30 и др. работы]. В настоящее время исследования по искусственной кристаллизации переохлаждённых капель, в основном, ведутся в следующих направлениях:

1. Поиск новых льдообразующих веществ, обладающих высокой активностью, т.е. высоким температурным порогом кристаллизации воды, высоким выходом ледяных кристаллов и малым временем проявления активности.
2. Разработка способов диспергирования с максимальным выходом частиц, обладающих свойствами льдообразующих ядер.
3. Изучение механизма кристаллизующего действия льдообразующих веществ при различных условиях окружающей среды и методах их внесения в переохлаждённое облако.
4. Повышение льдообразующей эффективности известных реагентов, используемых в практике активных воздействий на гидрометеорологические процессы.

В последнее время по всем указанным направлениям достигнуты определенные успехи. Разрабатываются новые реагенты, обладающие льдообразующей способностью, а также способы их диспергирования при искусственном воздействии на облака (сжиганием вещества в пиротехническом составе, подрывом вещества с помощью взрывчатых смесей и др.). Разработаны способы доставки их в переохлаждённое облако (ракетный, артиллерийский, наземно-генераторный) и методы контроля их действия при проведении активных воздействий (АВ) [30, 22, 8, 19, 20]. Разрабатываются методы воздействия на электрические параметры облаков [4, 12, 13, 10, 16]. Продолжаются исследования атмосферно-электрических и грозовых явлений и процессов, как в глобальном масштабе, так и с учетом их региональных особенностей [32, 9, 7, 2].

Широкое распространение в последние годы получило развитие технологий штормового оповещения об опасных явлениях погоды с применением метеорадиолокаторов и систем грозорегистрации. Так, в 2008 г. в ВГИ впервые в России на Северном Кавказе была введена в эксплуатацию грозорегистрационная система LS8000 («Vaisala») [5, 3], предназначенная для регистрации и селекции молниевых разрядов разных типов: облако-земля, внутри- и межоблачных. Аналогичные системы грозопеленгации развернуты в Московской и Ростовской областях. В нескольких регионах РФ действует система грозорегистрации, разработанная в ГГО.

1.1 Методы управления электрическим состоянием облаков

Известно несколько способов электризации облачной среды. Обобщая варианты классификации типов воздействия на электрические процессы в облаках, предлагаемые в литературе [21, 23, 17], можно свести их к двум: воздействия, направленные непосредственно на изменение электрической структуры облаков; воздействия, изменяющие микро- и макрофизические характеристики облаков с целью изменения их электрического состояния.

Электрические процессы являются неотделимой составной частью микро- и макропроцессов в облаках, в связи с чем воздействие с целью изменения электрических характеристик облака должно приводить к изменению его микрофизических и динамических параметров, и наоборот. Таким образом, все типы воздействия на облака сводятся, по сути, к одному и отличаются лишь методикой проведения. Для воздействий с целью изменения непосредственно электрической структуры облаков в настоящее время используются следующие методы:

- изменение объёмного заряда в облаке путем ввода в него ионов;
- увеличение электрических потерь в облаке с целью уменьшения величины напряжённости электрического поля ниже значения, требуемого для инициирования молнии;
- искусственные разряды облаков на землю и между основными зарядами в облаках;
- засев облаков реагентами, влияющими на кристаллизационный потенциал воды.

К воздействиям на микрофизические и динамические характеристики облаков с целью изменения их электрического состояния относятся: разрушение облаков нисходящими воздушными потоками и засев облаков кристаллизующими реагентами.

Вывод о наиболее эффективном и практически приемлемом способе (методе) подавления грозовой активности облаков может быть сделан только по данным экспериментов, при определении наиболее мощного механизма генерации грозового электричества и уточнении закономерностей изменения грозовой активности облаков при их естественном развитии. Электрические силы оказывают существенное влияние на температурный порог кристаллизации и, очевидно, они будут влиять на эффективность льдообразующих реагентов. Исходя из вышесказанного, существенный интерес представляет понимание роли электрических зарядов и полей на льдообразующую эффективность реагента AgI, широко применяемого в практике АВ.

2. Микрофизические характеристики льдообразующего реагента AgI

Эффективность АВ на грозо-градовые облака кристаллизующими реагентами зависит от многих параметров: места и времени внесения, количества реагента на единицу объёма и т.д. В свою очередь эти факторы зависят от термодинамических, динамических, микрофизических и электрических параметров облаков. Учитывая результаты теоретических исследований и экспериментов, проводившихся в ВГИ, основное внимание здесь уделено микрофизическим и электрофизическим характеристикам льдообразующего реагента – AgI и их взаимосвязи.

2.1 Измерение заряда аэрозольных частиц AgI при их термической возгонке

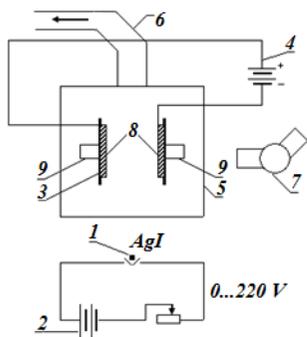
До настоящего времени не существует единой теории, объясняющей механизм действия льдообразующих реагентов и причины проявления у некоторых веществ способности влияния на естественный порог кристаллизации капель. Необходимо определить параметр, который выделяет данное вещество из множества других, подобных ему веществ, как кристаллизующее. В связи с этим, важное значение имеют исследования физических свойств льдообразующих реагентов после их диспергирования. По данным многочисленных исследований, на температурный порог льдообразования оказывают существенное влияние электрические заряды и электрические поля.

В ВГИ были проведены исследования электрофизических свойств частиц льдообразующих реагентов. В частности, было исследовано наличие электрических зарядов на частицах AgI при диспергировании термической возгонкой [18]. Были проведены исследования влияния электрических зарядов и полей на процесс кристаллизации капель воды [28]. О возможности заряжения аэрозольного облака, формируемого в атмосфере взрывом, указывается в работе [11].

Измерение электрических зарядов аэрозольных частиц проводится в лабораторных условиях по их отклонению в электростатическом поле. Йодистое серебро диспергировалось термической возгонкой и под действием тепловой конвекции частицы AgI двигались в поле плоского конденсатора. Схема экспериментальной установки приводится на рис.1.

Льдообразующие вещества (порошок AgI) диспергировались на нихромовой подложке (1), нагреваемой от источника тока (2). В результате термической возгонки частицы AgI, поднимаясь под действием конвекции, попадали в электрическое поле плоского конденсатора (3), к обкладкам которого подавался электрический потенциал до 3 кВ от высоковольтного источника

(4). С целью определения размера частиц и их количества на обкладках конденсатора прикрепляются специальные пластины (подложка) (8) для дальнейшего анализа под электронным микроскопом.



- Обозначения:
1. Порошок AgI на нихромовой подложке.
 2. Источник электрического тока.
 3. Обкладки конденсатора.
 4. Источник тока высокого напряжения (ИВН-6).
 5. Корпус рабочей камеры.
 6. Вытяжная труба.
 7. Электронный микроскоп типа ЭМ-9.
 8. Подложка.
 9. Изоляторы.

Рис. 1. Установка для измерения заряда частиц AgI при термическом диспергировании.

При движении заряженной частицы в электрическом поле имеет место следующее соотношение сил, действующих на нее:

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3, \quad (1)$$

где m – масса частицы AgI ; F_1 – электрические силы; F_2 – сила Стокса; F_3 – сила тяжести. Учитывая, что размер аэрозольных частиц составлял $10^{-3} \approx 1 \mu\text{м}$, и они двигались в электрическом поле со скоростью до 10 см/с , членами F_2 и F_3 в выражении (1) можно пренебречь. Так как сила F_1 действует на частицу перпендикулярно к ее скорости v , можно считать, что вертикальная составляющая скорости движения частицы остается постоянной. Следовательно, время движения t частицы в электрическом поле конденсатора можно определить из соотношения:

$$t = x / v, \quad (2)$$

где x – путь, проходимый в конденсаторе заряженной частицей AgI до осаждения на пластину; t – время движения в электрическом поле; v – вертикальная составляющая скорости движения.

Равномерно ускоренное движение частицы в электрическом поле в горизонтальном направлении происходит в течение времени t . Таким образом:

$$x = \frac{1}{2} at^2, \quad (3)$$

$$a = \frac{F}{m} = \frac{3qE}{4\pi r^3 \rho}, \quad (4)$$

где a – ускорение; q - заряд частицы AgI ; r – её радиус; $\rho = 5,67 \text{ г/см}^3$ - плотность AgI ; E – напряженность электрического поля. Из выражений (2), (3), (4) находим заряд частицы AgI :

$$q = \frac{8\pi r^3 \rho v^2}{3xE} \quad (5)$$

В выражении (5) v , r , x определялись экспериментально. Скорость движения потока частиц составляла от 1 до 10 см/с в зависимости от температуры возгонки.

Исследования при помощи электронного микроскопа ЭМ-9 позволили построить гистограммы дисперсного состава аэрозоля AgI при термической возгонке (точность измерения размера частиц $\pm 10^{-3} \text{ мкм}$). Получено, что средний, среднеквадратичный и среднекубический размеры частиц AgI соответственно равны 0,09 мкм ; 0,12 мкм ; 0,14 мкм .

Эксперименты показали, что частицы AgI при термическом диспергировании заряжаются положительно. Величина заряда пропорциональна квадрату радиуса частицы. В табл.1 приведены значения электрического заряда на частицах AgI различных размеров.

Таблица 1. Зависимость заряда частиц аэрозоля AgI от их размера.

Размер частиц AgI , $\times 10^{-6} \text{ м}$	10^{-2}	$5 \cdot 10^{-2}$	10^{-1}	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,75	1
Заряд, Кл	10^{-18}	$3 \cdot 10^{-18}$	10^{-17}	$3,2 \cdot 10^{-17}$	$3,9 \cdot 10^{-17}$	$1,8 \cdot 10^{-16}$	$3,2 \cdot 10^{-16}$	$4 \cdot 10^{-16}$	10^{-15}	10^{-15}

2.2 Роль ионов и заряженных аэрозолей в зарождении и конденсационном (коагуляционном) росте капель и ледяных частиц

Гиббс [15] показал, что работа, необходимая для образования равновесного зародыша в бесконечной системе, равна 1/3 поверхностной энергии зародыша. В случае гомогенного процесса:

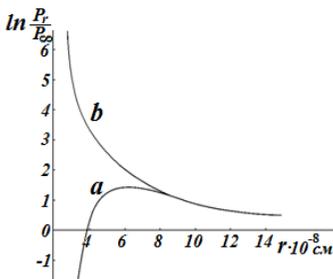
$$W = \frac{1}{3} \sigma A, \quad (6)$$

где σ – поверхностное натяжение воды без учета заряда; A – коэффициент, зависящий от переохлаждения и пересыщения, для которого имеет место следующее соотношение:

$$A \sim T \ln \frac{P_r}{P_\infty}, \quad (7)$$

где P_∞ - давление паров воды над плоской поверхностью; P_r - давление паров воды над каплей радиусом r ; T - температура. Значение $\ln(P_r/P_\infty)$, как функция r для $T=265^\circ\text{K}$ и $\sigma=77 \text{ дин/см}$ приведено на рис. 2. Как видно из рисунка, для незаряженных каплей $\ln(P_r/P_\infty)$ с уменьшением r неограниченно растёт (кривая *б*), а для заряженных каплей $\ln(P_r/P_\infty)$ проходит через максимум при $r=6,5 \cdot 10^{-8} \text{ см}$ (кривая *а*). Пересечение значений $\ln(P_r/P_\infty)$ с осью r означает, что даже в ненасыщенном паре ион окружен молекулами воды. Так, при $\ln(P_r/P_\infty)=-1$ получим $r=3,6 \cdot 10^{-8} \text{ см}$ и $n_i=6$. По Томпсону значение $P_r/P_\infty \approx 4,63$ уже достаточно для образования жизнеспособных водяных капель. Однако в атмосфере, где концентрация ионов доходит до 10^3 см^{-3} , были обнаружены капельки воды при $P_r/P_\infty=4,1$.

Различия указанных величин анализируются с привлечением вероятностных методов исследования, используемых при изучении образования зародышей новой фазы [25].



Обозначения:
a - заряженная капля;
b – незаряженная капля.

Рис. 2. Значение $\ln(P_r/P_\infty)$, как функция r для $T=265^\circ\text{K}$ и $\sigma=77 \text{ дин/см}$.

Исходным состоянием при этом является не единичная молекула воды, а ионы. Число этих первичных агрегатов обозначим через z , а число молекул в них – n . Работа образования зародыша критического размера тогда будет определяться выражением

$$W = \frac{1}{3} \pi \sigma (r_3^2 - r_a^2) - \frac{2}{3} e^2 \left(\frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_3} \right), \quad (8)$$

а скорость образования зародышей определяется выражением

$$\frac{dI}{dt} = z_a \cdot A \cdot \frac{Q}{3n} \sqrt{\frac{4\pi\sigma_3^2}{\pi kT}} \cdot \exp(-W / kT), \quad (9)$$

где I - частота присоединения молекул воды; A - объём новой фазы; r_3 - размер зародыша; r_a - критический размер зародыша; Q - площадь поверхности зародыша.

Если принять $T = 265^\circ\text{K}$, $\sigma = 77 \text{ дин/см}$, $z_0 = 10^3$, $t = 1 \text{ с}$, то получим:

$$\ln I = 16 + \ln z_a - [0.907 \cdot 10^{16} (r_3^2 - r_a^2) - 430 \cdot 10^8 (r_a^{-1} - r_3^{-1})]. \quad (10)$$

Для $z_a = 10^3$ имеет место $P/P_\infty = 3,2$; $r_a = 4,8 \cdot 10^{-8} \text{ см}$; $r_3 = 10,2 \cdot 10^{-8} \text{ см}$ (кривая (а) на рис. 2).

Преимущественное образование капелек воды на отрицательных ионах по сравнению с положительными, при одних и тех же пересыщениях и переохлаждениях, отмечается разными авторами. Френкель [31] выдвинул гипотезу о том, что капли зарождаются в атмосфере преимущественно на отрицательно заряженных частицах с электрокинетическим потенциалом $0,25 \div 3 \text{ В}$. Для униполярно заряженной среды предельный заряд на капле радиусом r будет:

$$q_{np} = 10^{-3} r. \quad (11)$$

В работе [26] показано, что если в жидкость внести положительный заряд, то ее поверхностное натяжение σ_+ будет больше, чем в случае, когда в нее внесен отрицательный заряд, т.е. $\sigma_+ > \sigma_-$, и это имеет место, когда на границе раздела фаз приложена напряженность электрического поля $E > 0$. Необходимо отметить, что эффект изменения поверхностного натяжения и связанное с этим образование зародышей льда в облаках ранее не учитывался, в том числе и в теории Гиббса – Фальмера [29]. Учитывая, что $\sigma_+ > \sigma_H > \sigma_-$, где σ_+ , σ , σ_- – поверхностное натяжение капель воды, заряженных, соответственно, положительно, отрицательно и незаряженных, то величина равновесного зародыша Гиббса – Фальмера [29] на положительно заряженных центрах конденсации (кристаллизации) больше, чем на отрицательно заряженных частицах. Это касается и заряженных аэрозольей, не растворяющихся в воде. Таким образом, вероятность (скорость) образования зародышей новой фазы (воды и льда) на отрицательно заряженных частицах больше, чем на положительно заряженных. Капля воды на отрицательно заряженном центре, обладая меньшей упругостью пара, чем капля того же

размера на положительном центре конденсации, как показано выше, будет расти быстрее.

Из приведенного выше следует, что для создания кристалликов льда в облаках при прочих равных условиях реагент должен работать эффективнее в отрицательно ионизированной среде, т.е. в отрицательно заряженных частях облачной среды.

2.3 Исследование влияния электрических зарядов на льдообразующую эффективность частиц йодистого серебра

Как показано выше, частицы AgI при диспергировании заряжаются положительно, что с точки зрения льдообразования не является оптимальным. В связи с этим, были выполнены эксперименты по исследованию влияния электрического заряда на температурный порог льдообразования на частицах AgI . Схема экспериментальной установки приведена на рис. 3.



Рис. 3. Схема экспериментальной установки для исследования влияния электрического заряда на температурный порог льдообразования на частицах AgI .

Термодиффузионная камера имела два контура охлаждения для поддержания однородной температуры от $+30$ до -30°C на рабочих подложках автономно. Частицы AgI осаждались на специальных подложках, пропитанных электропроводящей смазкой. На охлаждаемую подложку (8) подавался потенциал до 10 кВ . Таким образом, частицы AgI благодаря тому, что они находились в электропроводящей смазке, приобретали положительный или отрицательный заряд в зависимости от подаваемого потенциала, равный $q=c \cdot u$, где c - емкость частиц AgI ; u - потенциал на частицах. Пересыщение определялось по разности температуры между поверхностью фильтра с частицами (10) и стенками (7) микрокамеры холода по следующему соотношению:

$$\Delta S = \frac{e_c(T)}{e_n(T)}, \quad (12)$$

где $e_n(T)$, $e_c(T)$ - упругость водяных паров на подложке и стенке при соответствующих значениях температуры. При этом, температуру на подложке и стенке можно было менять таким образом, чтобы получить пересыщение относительно льда, но недостаточное насыщение относительно воды. Пробы проявлялись при значениях температуры подложки - $6 \pm 20^\circ\text{C}$.

Целью экспериментов было определение влияния знака и величины электрического заряда на эффективность льдообразования на частицах AgI . На рис.4 приводится доля частиц AgI , проявляющих льдообразующую активность при заданной температуре.

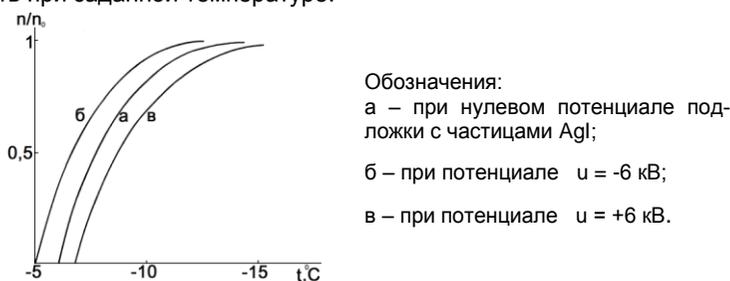


Рис. 4. Доля частиц AgI (n/n_0), проявляющих активность при различных значениях температуры.

Как видно из рис.4, n/n_0 зависит от знака электрического потенциала. Отрицательный потенциал приводит к повышению температурного порога льдообразования на величину $1 \pm 1,5^\circ\text{C}$, а льдообразующая активность повышается на 10...50% при заданной температуре. И наоборот, положительный потенциал способствует ухудшению льдообразующих свойств AgI . Таким образом, для успешной реализации свойств льдообразования частицами AgI их нужно вносить в ту часть облака, где вероятность их заряжения отрицательным зарядом наибольшая.

3 Изменение электрической структуры кучевых облаков при воздействии на них льдообразующим реагентом

В связи с интенсивным развитием АВ на грозоградовые процессы, изучение свойств реагентов при непосредственном их действии в облаках и учет влияния электрических полей при этом приобретает важное значение. В связи с этим, для исследования воздействия реагента на электрическое состояние облака и оценки влияния электрических сил на процесс льдооб-

разования были проанализированы данные, полученные ранее в экспериментах, проводившихся ВГИ [6, 1].

Как показано выше, частицы AgI при диспергировании приобретают положительный заряд. При перезарядке частиц отрицательным зарядом их льдообразующая эффективность возрастает. С учетом этого в работе [18] были проанализированы эксперименты по воздействию на электрическое состояние облаков, проводившиеся в ВГИ в 1980 – 90-х гг., в процессе которых были проведены исследования электрических, метеорологических и радиолокационных параметров облаков в зоне действия изделий «Эльбрус-2», ракет «Облако» и пиропатронов, начиненных реагентом AgI. В опытах использовались 100 мм артиллерийская установка КС-19, установка для пуска ракет «Облако», радиолокаторы МРЛ-2, П-12 и П-15, самолет-лаборатория ИЛ-14 и пиропатроны с реагентом AgI. Изолированное кучевое облако предварительно зондировалось по горизонтали в переохлажденной части с целью установления значения естественного электрического поля. Затем в эту часть облака вносился реагент (200-300г). После этого через 5-10 мин проводилось повторное зондирование. Одновременно проводились синхронные измерения радиоизлучения облаков. Всего было проведено около 100 опытов с участием самолетных измерений. Из них были выбраны 20 случаев воздействия на облака с различными начальными значениями напряженности электрического поля. Основные критерии отбора: наличие в облаках отрицательно и положительно заряженных частей; примерно одинаковые мощности сравниваемых облаков; схожесть распределения температуры и напряженности по высоте облака; одинаковая водность облаков.

Ставилась задача определить особенность действия реагента при внесении в положительно или отрицательно заряженные части облака. В результате были отобраны 12 случаев внесения реагента в отрицательно заряженную часть облака и 8 в положительно заряженную область. На рис.5(а) приведен горизонтальный разрез $E(H)$ по измерениям в 12 облаках. Внесение реагента осуществлялось в отрицательно заряженную часть облака на уровне температуры $-6 \pm 10^\circ\text{C}$.

Как видно из рис.5(а), после воздействия имело место увеличение $E(H)$ через 3 мин (время повторного пролета самолета по обработанной трассе). Это увеличение, связано с разделением зарядов, вызываемым процессом кристаллизации. При замерзании капель они приобретают отрицательный заряд.

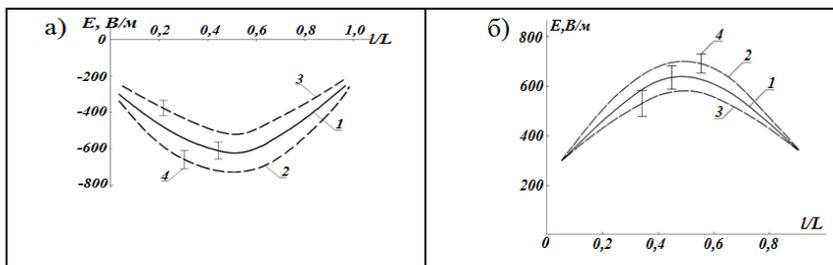


Рис. 5. Горизонтальный разрез напряженности электрического поля в облаках $E(H)$ при внесении реагента в отрицательно заряженную (а) и в положительно заряженную (б) части облака.

Обозначения: 1 – до воздействия; 2 – через 3 мин после воздействия; 3 – через 6 мин после воздействия; 4 – разброс данных; L/L – относительные размеры облака.

Максимальное увеличение $E(H)$ наблюдается в центре облака и составляет 100 В/м. При третьем заходе самолета, через 6 мин после воздействия, регистрировалось уменьшение $E(H)$ примерно на 100 В/м. Это уменьшение связано с тем, что за 6 мин замерзшие капли вырастают до размеров частиц осадков и начинают выпадать из облака.

При воздействии на положительно заряженную часть облака при аналогичных значениях температуры ($-6 \div -10^\circ\text{C}$) и влажности картина изменения $E(H)$ примерно повторялась. Однако увеличение $E(H)$ через 3 мин после воздействия составляло всего $30 \div 50$ В/м, а уменьшение $E(H)$ через 6 мин не превышало 40 В/м от начального значения E . На рис. 5(б) приводятся результаты обобщения 8 случаев внесения реагента в положительно заряженную часть облака.

Выводы

На льдообразующую эффективность частиц AgI влияют внешние электрические параметры. Частицы AgI при диспергировании заряжаются положительным зарядом. Льдообразующая активность частиц AgI зависит от величины и знака электрического потенциала среды. Йодистое серебро более эффективно действует в качестве льдообразующего реагента в отрицательно заряженных частях облака.

На основе анализа данных натуральных экспериментов, проводившихся ВГИ с применением комплекса активно-пассивных радиотехнических средств для исследования грозовых процессов в облаках и самолётных измерений, показано, что внесение AgI в переохлажденные части облаков, заряженные отрицательно, приводит к уменьшению напряженности электрического поля. Напротив, внесение AgI в переохлажденные части облаков с положительным зарядом, приводит к росту напряженности поля, что под-

тверждает ранее обнаруженный в ВГИ факт повышения грозовой активности после засева облаков. Таким образом, для успешной реализации свойств льдообразования частицами AgI при проведении АВ на грозоградовые облака для достижения положительного эффекта реагент следует вносить в отрицательно заряженную часть облака.

Список литературы

1. Аджиев А.Х. Определение интенсивности грозовой деятельности радиотехническими средствами. – Изв. АН СССР. Электричество, 1986, №11. – С.60-62.

2. Аджиев А.Х., Калов Р.Х., Сижажев С.М. Развитие гроз в конвективных облаках // Тр. ВГИ. 2001. Вып. 91. - С.90-99.

3. Аджиев А.Х., Аджиева А.А., Дорина А.Н. Определение параметров молниевых разрядов / //Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Ростов-на-Дону, 2010. – .10-12.

4. Аджиев А.Х., Андриевская В.Ю., Машуков Х.Х. Изменение электрических параметров грозовых облаков искусственным иницированием молниевых разрядов // Сб. трудов VI Российской конф. по атмосферному электричеству. – Н. Новгород, 2007. С. 99 – 100.

5. Аджиев А.Х., Березинский И.Н., Калов Р.Х. и др. Регистрация грозоразрядных процессов с помощью системы грозорегистрации LS 8000 // Материалы 4 Всероссийской научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления» – Таганрог, 2009. С.138 – 139.

6. Аджиев А.Х., Богаченко Е.М. и др. Радиотехнический комплекс для исследования грозовых процессов в облаках // Труды VI Всесоюзного совещания по радиометеорологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – С. 146-148.

7. Аджиев А.Х., Калов Р.Х. Зависимость грозовой активности от орографии и высоты местности // Сб. трудов VI Российской конф. по атмосферному электричеству. – Н. Новгород, 2007.-С.205-207.

8. Аджиев А.Х., Тамазов С.Т. Разделение электрических зарядов при кристаллизации капель воды // Метеорология и гидрология. 1987. №8. С. 57-62.

9. Аджиев А.Х., Куповых Г.В. Атмосферно-электрические явления на Северном Кавказе. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004. – 137 с.

10. Александров Н.Л., Базелян Э.М. и др. Иницирование молнии летательными аппаратами в тропосфере // Сб. трудов VI Российской конф. по атмосферному электричеству. – Н.Новгород. 2007. -С.5-6.

11. Батонин В.В., Бегун Э.Я., Бибилашвили Н.Ш. и др. К вопросу о применении искусственных трассеров в исследованиях локальных атмосферных процессов // Тр. ВГИ. 1971. Вып. 19. - С. 69-82.
12. Бейтуганов М.Н. Метод предотвращения града иницированием искусственных молний // Сб. трудов V Российской конф. по атмосферному электричеству. – Владимир. 2003. – С. 204 – 207.
13. Бейтуганов М.Н., Несмеянов П.А. Исследование возможностей провоцирования электроразрядных явлений плазменными образованиями // .б. трудов VI Российской конференции по атмосферному электричеству. – Н. Новгород, 2007. – С. 145 – 147.
14. Боровикова А.М. и др. Физика облаков. – Л.: Гидрометеоиздат, 1965. 495 с.
15. Гиббс Дж.В. Термодинамические работы. М. 1950. С.288-421.
16. Зекореев Р.Х., Машуков Х.Х. Ракетный радиотелеметрический комплекс для исследований контроля эффективности активных воздействий на электрическое состояние грозоградовых облаков // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Ростов-на-Дону. 2010. – С.43-46.
17. Имянитов И.М. и др. Электричество облаков. – Л.: Гидрометеоиздат, 1971.– 93 с.
18. Калов Р.Х. Исследование влияния электрических зарядов и электрических полей на эффективность льдообразующих реагентов. Дисс. на соискание уч. степени к.ф.-м.н. 2001.-128с.
19. Калов Х.М., Калов Р.Х. О способе активного воздействия на грозоградовые облака кристаллизующим реагентом //Тр. ВГИ. 2001. Вып.91. – С. 3-11.
20. Калов Х.М., Калов Р.Х. О современном состоянии и перспективах научно-исследовательских и оперативно-производственных работ по активным воздействиям на грозо-градовые процессы // Тр. ВГИ. 2002. Вып. 92. – С. 3-18.
21. Качурин Л.Г. Физические основы воздействия на атмосферные процессы. -Л.:Гидрометеоиздат, 1990.-464с.
22. Кочин А.В. Механизм образования электрического заряда в слоисто-дождевых и кучево-дождевых облаках. 1995. №10. С. 35-41.
23. Мучник В.М. Физика грозы. – Л., Гидрометеоиздат, 1974. 351 с.
24. Никандрова В.Я. О взаимодействии переохлаждённых водных капель с твёрдыми частицами // Тр. ГГО. 1956. Вып. 57 (119). С. 12-24.
25. Русанов А.И. Фазовые равновесия и поверхностные явления. – С.-Петербург, 1967, 388 с.

26. Русанов А.И., Кузьмин В.Л. О влиянии электрического поля на поверхностное натяжение полярной жидкости // Коллоидный журнал. 1977. Т.99. Вып.2. С.388-390.

27. Смирнова В.И., Смирнова Ю.Я. Стационарная коагуляция аэрозоля при наличии бидисперсного источника // Тр. ЦАО. 1989. № 174. С.102-110.

28. Тлисов М.И., Балкарова С.Б., Калов Р.Х. Лабораторное моделирование влияния электрического поля на процесс кристаллизации дождевых капель // Сб. трудов 5 Российской конф. по атмосферному электричеству. – Владимир. 2003. Т. 1. С. 226 – 229.

29. Фальмер М. Кинетика образования новой фазы. – М.: Наука, 1986. 204 с.

30. Федченко Л.М. и др. О методах прогноза града // Метеорология и гидрология. 1989. №4. С.43-50.

31. Френкель Я.И. Кинетическая теория жидкостей. М., 1975. 592 с.

32. Щукин Г.Г. и др. Методика и результаты наблюдений за грозами системами пеленгации гроз и МРЛ // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Ростов-на-Дону. 2010. – С. 98-101.

33. Mason B.J., Howorth B.P. Some characteristics of stratiform clouds over New Zealand in relation to their precipitations//Quar. Journ. Roy. Met. Soc. 1952. Vol. 78. P. 226.

РАСЧЕТ ЧИСЛА ДНЕЙ С ГРОЗОЙ НА ОГРАНИЧЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ

А.Х. Аджиев¹, А.А. Аджиева¹, З.М. Князева¹, В.Н. Стасенко²

¹ФГБУ «Высокогорный геофизический институт». г. Нальчик

²НИЦ «Планета», г. Москва

Введение

При обработке результатов метеорологических наблюдений принято регулярно подсчитывать число дней с различными явлениями (дождь, снег, туман, роса и т.д.), а также и число дней с грозой [8]. В большинстве случаев данные о числе дней с различными метеоявлениями представляют собой климатическую характеристику территории [10]. Некоторые из этих характеристик вызывают особый интерес для решения научно-практических задач. К ним относится и число дней с грозой в год. Гроза является одним из наиболее опасных метеорологических явлений. Оперативное определение ее местоположения, интенсивности, направления и скорости перемещения имеет

большое практическое значение для многих отраслей хозяйственной деятельности человека. В частности, для метеообеспечения авиации, молниезащиты энергетических объектов и др. [9].

До сих пор основным источником информации о грозах являются визуально-слуховые наблюдения, которые проводятся на метеорологических станциях, входящих в состав служб штормового оповещения [4]. Днем с грозой считается любой день, в течение которого отмечается хотя бы одна гроза любой продолжительности. Радиус сбора информации о грозах на таких станциях составляет от 10 до 20 км в зависимости от их местоположения и интенсивности грозовых процессов.

Среднее число дней с грозой по месяцам получают путем деления суммарного количества дней с грозой для конкретного месяца за многолетний период на число лет наблюдений. Среднее годовое число дней с грозой получают путем суммирования среднего количества гроз по месяцам. При этом среднее число дней с грозой может быть и меньше единицы. Например, если среднее число дней равно 0,02, то это означает, что в этом месяце за 100 лет было всего два дня с грозой, а если 0,2, то за 10 лет было два дня с грозой.

Данная характеристика является достаточно распространенным климатическим показателем. В отношении грозовых явлений на различных территориях обычно ограничиваются сведениями о числе дней с грозой за год или за месяц, приводя их только для пункта одного наблюдения [6,11]. Лишь в отдельных работах [1,5,7] указывается число дней с грозой для ограниченной (заданной) площади.

Так, Б. И. Дивинская [5] на основе анализа сведений о грозах в районе городов Ленинград и Калинин пришла к выводу, что вероятность появления гроз на ограниченной территории P может быть рассчитана по формуле

$$P = 1 - e^{-x}, \quad (1)$$

где $x = \frac{2T_0 r}{3Nr_0}$; T_0 - число дней с грозой в пункте наблюдения; r - радиус

площади, для которой определяется величина P ; N - число дней в месяце; r_0 - предельное расстояние обнаружения гроз наблюдателем.

По мнению авторов работы [3] число дней с грозой на территории украинского экспериментального метеорологического полигона можно рассчитать по формуле

$$T = 26 + 1gS, \quad (2)$$

где S - площадь, км²; 26 - среднее многолетнее число дней с грозой в пункте Кривой Рог, находящемся в центре полигона.

Приведенные выражения получены на основе наблюдений на метеостанциях визуально-слуховым методом. Поэтому их достоверность требует уточнения.

В настоящее время за рубежом произошел переход от визуально-слуховых наблюдений за грозами к инструментальному мониторингу. В России такая работа только начата. В этой связи актуален поиск критериев перехода от инструментальных данных о грозах к критериям визуально-слухового контроля гроз. В данной работе рассматривается один из возможных подходов к получению уравнения для расчета числа дней с грозой для одного пункта на основе инструментальных наблюдений с использованием грозорегистратора LS8000. Созданная на Северном Кавказе грозопеленгационная сеть на базе грозопеленгатора LS8000 [2] в настоящее время вошла в систему геофизического мониторинга в России. Грозорегистратор характеризуется как высокопродуктивное устройство для регистрации не только климатических характеристик о грозах, но и параметров разрядов молний.

Грозопеленгационной сетью LS8000 представляется возможным за сравнительно небольшой период времени получить основные характеристики и особенности распределения грозо-разрядной деятельности на значительной территории. При этом, некоторые характеристики, например, интенсивность гроз на заданной площади, поражаемость территории молниями и др. можно получить только с помощью инструментальных наблюдений.

Актуальной проблемой является сравнительная оценка взаимосвязи между визуально слуховыми наблюдениями за грозами и инструментальными измерениями. Исходя из этого, в статье выполнен анализ результатов многолетних совместных визуально-слуховых и инструментальных наблюдений за грозовыми процессами на Северном Кавказе. Для такого анализа были использованы данные регистрации числа дней с грозой с использованием грозорегистратора LS8000 и данные метеостанций, расположенных по территории Европейской части России.

Данные и метод

Территория сбора грозоразрядной информации системой LS8000 ограничена периметром 2250 км (рис.1) и составляет около 400000 км². Всего за годы работы система зарегистрировала 961 день с грозовыми процессами, в том числе 250 дней в 2009 г., 215 дней в 2010 г., 133 дня в 2011 г., 138 дней в 2012 г. и 225 дней в 2013 г. Для проведения сравнительного анализа визуально-слуховых и инструментальных наблюдений за грозами были выбраны данные 52 метеостанций, расположенных на территориях Краснодарского края - 32 и Ростовской области - 20. Всего на Северном Кавказе функционируют около 700 метеостанций. В табл. 1-2 представлены используемые для

анализа инструментальные измерения и метеоданные о грозовых явлениях на юге Европейской части России.

Следует отметить, что рассматриваемые территории характеризуют в целом общую картину территориального распределения грозовых явлений на Северном Кавказе. Анализируемые годы являются годами средней грозовой активности. При этом грозовая активность на территории неравномерна. Наибольшее число дней с грозой в году (согласно наблюдениям на метеостанциях) имеет место на юге – 50-70 и наименьшее на севере – 25-30.

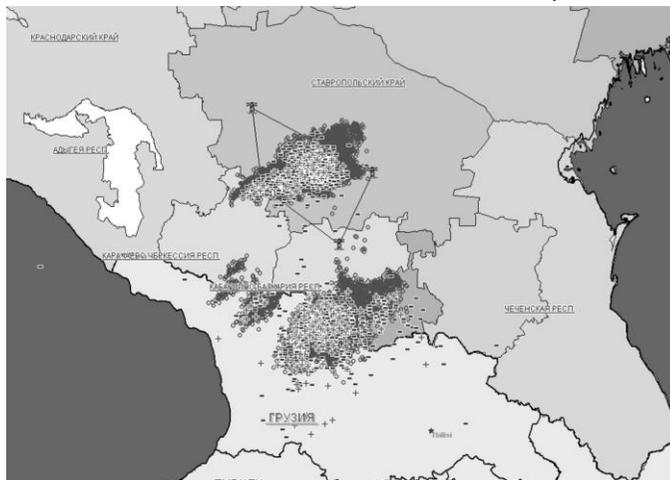


Рис.1. Наложения разрядов молний в сентябре месяце 2009 г. с картосхемой Северного Кавказа. Обозначения: «+» - молнии на землю положительной полярности; «-» - молнии на землю отрицательной полярности; «o» - облачные разряды;  - пункты размещения грозопеленгаторов LS8000 на Северном Кавказе.

Для проведения сравнительного анализа визуально-слуховых и инструментальных наблюдений за грозами нами были пересчитаны данные, полученные на пунктах наблюдений метеостанций в значения грозовых дней на заданной территории. При этом днем с грозой считался день, когда на территории (например, Краснодарского края) хотя бы одной метеостанцией был зафиксирован грозовой процесс. Подобная выборка представлена в табл.3. Из таблицы видно, сколько дней с грозой в месяц за период 2009-2012гг. было зафиксировано на территории Краснодарского края и Ростовской области системой грозорегистрации LS8000 и сколько выявлено на основе визуально-слуховых наблюдений на метеостанциях. Приведенные в табл.3 данные по Краснодарскому краю проиллюстрированы рис.2.

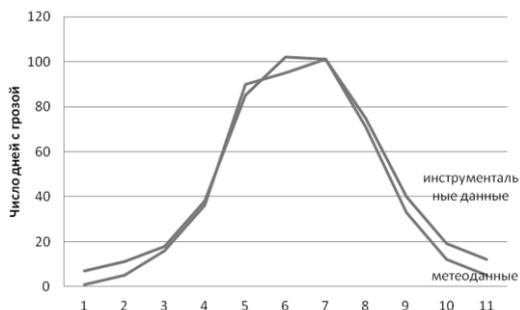


Рис.2. Число дней с грозой по данным грозорегистратора LS8000 и метеостанций Краснодарского края за 2009-2012 годы.

Как видно из рисунка, в целом имеет место удовлетворительное совпадение данных числа дней с грозой в месяц, полученных разными методами. Следует отметить, что количество дней с грозой в год по данным инструментальных регистраций в среднем на 12 превышает аналогичные визуально-слуховые данные за период 2009- 2012гг. Аналогичные сравнения выполнены и для территории Ростовской области.

Сравнение значений числа дней с грозой в год по инструментальным регистрациям и данным метеостанций Ростовской области показывает, что имеет место их значительные расхождения.

Так, если по данным отдельной метеостанции Ростовской области (таблица 2) среднее число дней с грозой в год составляет 25-36 дней, то по данным LS8000 в те же годы зарегистрировано от 72 до 89 дней (табл.1).

Такое различие обусловлено двумя факторами:

- ограниченностью визуально-слухового метода регистрации гроз на метеостанциях;
- развитием грозовых процессов на ограниченных территориях, например, в Ростовской области.

Сведения о среднестатистических значениях числа дней с грозой в год по данным метеостанций и истинное количество дней с грозой на всей территории Ростовской области не совпадают.

Таблица 1. Грозовые дни на территории Юга Европейской части территории России по данным грозорегистратора

го- ды	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
09									X			X		X		X	X		X	X					X						X	X	
Янв.					X	X	X					X		X		X	X		X	X					X						X	X	
Февв.					X	X	X			X		X		X		X	X		X	X					X						X	X	
Март	X	X	X							X		X		X		X	X		X	X		X			X					X	X		
Апр	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Май	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Июнь	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Июль	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Авг.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Сент.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Окт.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Ноя	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Дек	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Среднегодовые значения числа дней с грозой в месяц																																	
10												X		X		X		X	X		X												
Янв.														X		X		X	X		X												
Февв.												X		X		X		X	X		X												
Март							X		X		X		X		X		X	X		X		X				X				X	X		
Апр			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Май			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Июнь	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Июль	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Авг.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Сент.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Окт.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ноя	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Дек	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Среднегодовые значения числа дней с грозой в месяц																																	

Таблица 2. Количество дней с грозой, зарегистрированное метеостанциями Ростовской области

Годы	Месяцы	Метеостанции																			
		Белая Калитва	Боксовая	Большая Жидыковская	Гигант	Зерноград	Зимовини	Кавказская	Каменск Шахтинский	Константиновск	Маргаритово	Магеев Курган	Миллерово	Морозовск	Ремонтное	Ростовна-Дону	Семизаровск	Таганрог	Цимлянск	Чертково	Шахты
2008	IV	1	1	2	1	3	2	1	2	5	1	2	3	3	1	5	1	2	1	2	1
	V	8	8	4	11	10	5	6	3	12	2	5	9	8	6	8	9	12	2	9	7
	VI	5	2	4	17	9	9	4	2	6	10	4	13	6	6	9	11	11	3	6	10
	VII	16	17	12	8	16	9	15	5	9	18	13	16	9	13	15	14	19	9	18	11
	VIII	4	5	7	3	5	2	8	5	4	3	5	3	2	6	4	3	3	2	4	4
IX	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	4	2	1	2	1	1	1	3	3	3	1
Итого за IV-IX 2008		36	34	30	41	43	28	34	15	35	39	28	44	30	31	42	40	50	18	40	33
2009	V	8	4	5	6	7	5	4	2	7	4	2	6	6	1	7	7	7	5	3	6
	VI	2	5	5	3	5	6	5	2	1	1	1	3	6	8	4	4	2	4	5	3
	VII	7	6	7	5	6	1	5	3	6	4	6	7	3	4	6	9	5	7	5	5
	VIII	3	3	5	6	6	4	2	2	5	3	4	2	3	4	6	5	4	3	8	8
	IX	1	1	3	3	5	3	1	2	6	4	5	2	1	3	5	3	8	3	1	4
Итого за IV-IX 2009		21	18	25	23	29	19	16	9	25	16	11	19	23	18	24	26	31	21	19	26
2010	IV	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1
	V	9	10	13	14	11	14	9	9	12	7	5	12	8	13	10	11	10	10	7	9
	VI	4	3	3	5	3	2	6	2	3	3	3	4	4	2	4	6	4	4	1	1
	VII	5	7	7	8	7	5	4	6	6	10	8	8	8	8	10	10	11	8	5	9
	VIII	2	4	1	3	2	2	2	1	3	1	1	2	4	2	3	4	3	3	2	1
IX	1	3	2	3	3	3	3	1	2	3	2	3	1	1	4	1	3	3	2	1	
Итого за IV-IX 2010		21	28	26	33	27	26	25	19	27	25	19	29	25	28	31	31	35	25	21	22
2011	IV	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	V	9	3	6	7	6	5	3	6	6	4	5	7	7	4	9	7	7	4	2	8
	VI	11	7	11	11	11	12	7	7	12	13	10	10	13	10	14	13	14	13	8	15
	VII	8	5	8	6	3	6	5	3	7	2	2	9	8	7	4	7	2	8	7	3
	VIII	6	5	5	4	5	3	6	2	3	4	3	7	7	4	9	3	4	5	5	6
IX	3	2	5	4	5	3	2	1	3	3	3	3	5	5	5	3	3	5	1	4	
Итого за IV-IX 2011		37	23	36	32	30	29	23	19	32	26	23	37	40	30	41	33	30	35	23	36

Таблица 3. Сводная информация о количестве грозных дней в Ростовской области и Краснодарском крае по данным метеостанций и грозорегистратора LS8000

Месяц	Количество дней с грозой на территории Ростовской области							
	2008		2009		2010		2011	
	Мет.	Гроз.	Мет.	Гроз.	Мет.	Гроз.	Мет.	Гроз.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Январь	0	-	0	0	1	0	0	0
Февраль	0	-	0	0	0	0	0	0
Март	3	-	1	2	0	0	0	0
Апрель	9	-	0	3	4	3	2	0
Май	20	-	14	13	26	21	15	16
Июнь	18	-	15	18	14	12	22	23
Июль	17	2	19	20	19	19	18	18
Август	12	14	16	17	9	10	13	10
Сентябрь	8	8	12	12	10	6	14	13
Октябрь	1	4	2	3	1	1	0	0

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ноябрь	0	0	0	1	2	0	0	0
Декабрь	1	0	0	0	0	0	0	0
ВСЕГО	89	28	79	89	86	72	84	80
Месяц	Количество дней с грозой на территории Краснодарского края							
	2009		2010		2011		2012	
	Мет.	Гроз.	Мет.	Гроз.	Мет.	Гроз.	Мет.	Гроз.
Январь	0	3	0	2	0	0	1	2
Февраль	3	5	0	5	2	0	0	1
Март	12	7	2	7	1	3	1	1
Апрель	8	5	8	11	4	8	16	14
Май	21	21	23	16	23	21	23	27
Июнь	22	28	25	25	28	27	20	22
Июль	29	27	25	25	25	28	22	21
Август	16	16	14	18	17	15	24	26
Сентябрь	18	20	15	15	14	14	7	8
Октябрь	5	11	11	7	10	13	7	9
Ноябрь	5	11	4	2	2	4	1	2
Декабрь	1	4	4	3	0	0	0	5
ВСЕГО	140	158	131	136	126	133	122	138

Поскольку мы рассматриваем всю территорию Ростовской области как единое целое, то необходимо учитывать, что грозовые фронты имеют тенденцию к перемещению, и зачастую одно наблюдаемое грозовое событие фиксируется метеостанцией лишь в зоне покрытия этой метеостанции.

С учетом вышеизложенного, подсчет грозовых дней на всей территории Ростовской области по наблюдениям метеостанций осуществлялся следующим образом. Выбирались грозовые дни в каждом месяце, если хотя бы одной из рассматриваемых метеостанций была зафиксирована гроза. В итоге по информации, полученной за период с 01.01.2008 по 30.09.2011, было зафиксировано 338 грозовых дней. Из них в 2008 году было зафиксировано 89 грозовых дней, в 2009 – 79, в 2010 – 86, в 2011 – 84. Сводная информация о количестве грозовых дней по данным метеостанций и грозорегистратора приведены в табл.3.

Сравнительный анализ показывает, что экстремум средних значений параметров грозовой активности в целом по Ростовской области за рассматриваемый период приходится на май – июнь месяцы.

Сравнение показателей из табл.3 показывает хорошее совпадение данных LS8000 и числа дней по Ростовской области по данным всех метеостанций. Различие в их значениях не превышает 10%.

Наибольшее число дней с грозой в году на Северном Кавказе имеет место на юге - до 70 и наименьшее на севере - 25-30. Этот вывод подтверждается как данными метеостанций, так и измерениями грозопеленгационной сети, и свидетельствует о зависимости грозовой активности от широты местности. Поэтому не представляется возможным однозначный переход от грозовой активности в пункте наблюдений (метеостанции) к грозовой активности ограниченной (заданной) территории без учета широтного местоположения территории.

В этой связи корреляцию между площадью территории и среднегодовым числом дней с грозой на этой территории трудно представить в виде одного выражения. Используя данные о числе дней с грозой по регистрациям грозорегистратора LS 8000 за 2009-2013 гг., нами проведен анализ взаимосвязи между площадью и числом грозовых дней в году на заданной территории. Для этой цели рассматриваемая территория была разбита на отдельные участки площадью S_i . Пример такого деления на территории Краснодарского края представлен на рис.3.

Для каждого участка определялись площадь S_i и число дней с грозой по данным инструментальных регистраций и визуально-слуховых наблюдений на метеостанциях, находящихся на данном участке. Общая протяженность границы рассматриваемой территории составляет 1540 км, из них 740 километров проходит вдоль моря. Наибольшая протяженность границ с севера на юг - 327 км и с запада на восток - 360 км.

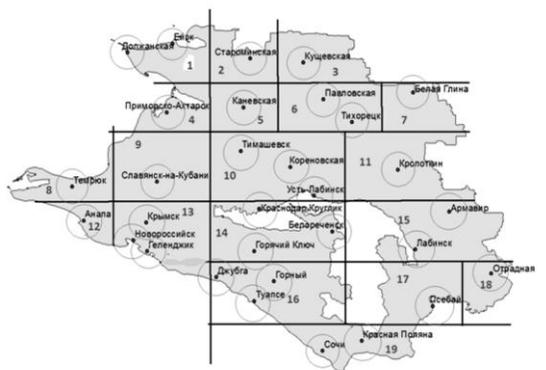


Рис.3. Карта местоположения метеостанций по территории Краснодарского края. Обозначения:
 — схема деления территории Краснодарского края для анализа грозовой активности; цифры 1-19 – номера участков; окружности – радиус действия метеостанций.

Вся территория Краснодарского края занимает площадь 75,5 тысяч квадратных километров. Кружочками показан радиус действия каждой метеостанции (около 20 км).

Велся поиск выражения:

$$T = \varphi(S, \Phi),$$

(3)

где T-число дней с грозой; S- площадь рассматриваемой (ограниченной) территории; Φ - широта местности.

Проводился поиск таких выражений для различных районов Северного Кавказа, в частности, для Краснодарского края, Ростовской области и др. Для территории Ростовской области получено эмпирическое выражение, связывающее площадь территории S и число дней с грозой T в виде:

$$\lg S = -37,9 + 39,5 \lg T - 8,9 (\lg T)^2, \quad (4)$$

$$\text{или } \lg T = 2,22 - \sqrt{0,67 - 0,112 \lg S} \quad (5)$$

В выражениях (4) и (5) не учитывается влияние широты местности Φ на значения S и T. С учетом Φ нами получено выражение:

$$\lg T = 0,85\Phi - 1,18 - \sqrt{0,67 - 0,112 \lg S} \quad (6)$$

где T – число дней с грозой в году; Φ – широта местности в градусах; S – площадь территории в км².

Сравнение результатов инструментальных измерений, осредненных за 4 года (2009-2013 гг.), с расчетами по формуле (6) показало их хорошее сходство (до 95%).

Выражение (3) было получено для Ростовской области и проверено для Краснодарского края, для этого было подсчитано количество дней с грозой в году по данным метеостанций и по данным грозорегистратора LS8000.

Заключение

Проведенное исследование показало, что значения числа дней с грозой, определяемые визуально-слуховым и инструментальным метеоданными, достаточно близки. Разница при определении значения количества грозовых дней в году на Северном Кавказе указанными методами составляет около 10 %. При этом, как правило, грозопеленгационная сеть LS8000, развернутая на Северном Кавказе, регистрирует примерно на 10 грозовых дней больше, чем метеостанции. Это характеризует инструментальные регистрации как более информативный метод мониторинга грозовых явлений.

Выполнен анализ корреляционной взаимосвязи между числом дней с грозой в году и площадью территории. Показано, что между ними прослеживается достаточно хорошая линейная связь. Найдено аналитическое уравнение для расчета числа дней с грозой для ограниченной территории на основе инструментальных наблюдений с использованием грозорегистраторов. Полученное уравнение позволяет осуществлять переход от инструментальных данных о грозах к критериям визуально-слухового контроля гроз.

Список литературы

1. Аджиев А. Х., Богаченко Е.М. Грозы Северного Кавказа – Нальчик: ООО «Полиграфсервис и Т», 2011. – 151 с.
2. Аджиев А.Х., Стасенко В.Н., Тапасханов В.О. Система грозопеленгации на Северном Кавказе // Метеорология и гидрология. 2013. № 1.- С. 5-11.
3. Бабиченко В.Н., Кобзистый П.И. О грозовой деятельности на экспериментальном метеорологическом полигоне // Тр. Укр.НИГМИ. 1969. Вып.82. - С.138-144.
4. Буз А.И. Вероятность обнаружения маломасштабных явлений в зависимости от их размеров и густоты наблюдательной сети // Метеорология и гидрология. 1970. №2. - С.63-70.
5. Дивинская Б.И. К вопросу о методике определения частоты гроз в пункте и на ограниченных площадях // Тр. ГГО. 1964. Вып. 159.С. 79-84.
6. Колоколов В. П. Некоторые особенности разрядной деятельности гроз в средних широтах // Тр. ГГО. 1965. Вып. 177.- С. 13-22.
7. Лебедев А.Н. Вероятность гроз на ограниченных участках территории // Тр. ГГО. 1957. Вып. 74.- С.61-70.
8. PD52.04.614-2000 Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. 2.1 Метеорологические наблюдения на станциях. Вып.3. - С.-Пб.: Гидрометеоиздат, 1985. – 300 с.
9. Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации (НМОГА-73). – Гидрометеоиздат, 1973.-137 с.
10. Справочник по опасным природным явлениям в республиках, краях и областях РФ / Под редакцией К.Ш. Хайрулина. С.-Пб.: Гидрометеоиздат, 1997. – 588 с.
11. Чуваев А.П., Шварц В.Т. Влияние физико-географических условий на формирование гроз в районах Чувашского плато и Мордовской возвышенности // Тр. ГГО. 1977. Вып.389.- С.123-132.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОРОШКООБРАЗНЫХ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОБЛАКА И ТУМАНЫ

А.В. Частухин¹, Н.С. Ким¹, А.М. Петрунин¹, Т.В. Баззаев²,
А.Н. Хижняк²

¹ АНО «Агентство АТТЕХ», г. Москва

² ФГБУ «Центральная аэрологическая обсерватория»,
г. Долгопрудный

Введение

В настоящее время в мировой практике для воздействия на облака и туманы в основном применяются три метода воздействия, основанные на использовании, во-первых, льдообразующих реагентов, во-вторых, гигроскопических реагентов и, в-третьих, порошков тяжелых веществ, при введении которых в облаке создается дополнительный импульс нисходящего потока. Если первый и третий методы воздействия физически хорошо обоснованы, то метод, основанный на использовании гигроскопических реагентов, который применяется для воздействия на теплую облачность, еще требует дальнейшей разработки.

В реальных условиях микроструктура теплой облачности является устойчивой из-за относительно узкого спектра распределения по размерам облачных капель. Одним из методов воздействия на такую устойчивость микроструктуры облака является введение в зону восходящих потоков искусственных ядер конденсации, которые должны привести к формированию капель крупного размера и расширить облачный спектр капель [1,5].

В середине 90-х годов были предприняты попытки создания искусственных ядер конденсации при горении пиротехнических составов, содержащих гигроскопическую соль. Основным недостатком таких пиротехнических [4] составов является то, что при их горении в большом количестве формируются искусственные ядра конденсации радиусом менее 1 мкм. При попадании таких частиц в облако происходит формирование облачных капелек радиусом 3-5 мкм, которые не приводят к желаемому расширению спектра. В ходе дальнейших экспериментальных и теоретических исследований [6], был сделан вывод о том, что определяющую роль в ускорении процесса коагуляции в облаке могут играть только солевые частицы с радиусом более 10 мкм. В дальнейшем это положение было подтверждено теоретически и было показано, что для успешной реализации способа гигроскопического

«засева» вносимые в облако сухие гигроскопические частицы должны иметь размер более 10-20 мкм [2].

Основной принцип воздействия крупными гигроскопическими частицами основан на том факте, что при попадании их в условия насыщения или пересыщения водяного пара на первом этапе происходит их быстрый конденсационный рост, в течение которого на них вырастают крупные капли седиментационного размера (более 30 мкм по диаметру). Однако следует подчеркнуть, что возможность воздействия, при котором в конечном итоге реализуется механизм коагуляционного роста капель, можно осуществить, если в облако сразу вносить частицы коагуляционного размера более 30 мкм по диаметру. При такой схеме воздействия вносимые частицы не обязательно должны обладать хорошими гигроскопическими свойствами, а быть достаточно гидрофильными.

Анализ накопленного к настоящему времени экспериментального и теоретического материала показывает, что наиболее физически обоснованными методами воздействия на облачность являются методы, основанные на введении в облако грубодисперсных аэрозолей с радиусом частиц более 10 мкм для гигроскопических веществ или более 15 мкм для гидрофильных веществ, которые обладают хорошей смачиваемостью поверхности. В первом случае частицы гигроскопических веществ на первом этапе за счет конденсационных процессов приводят к быстрому формированию в облаке крупных капель, способных в дальнейшем коагулировать с мелкими облачными капельками. Во втором случае крупные частицы гидрофильного вещества, обладая заметными седиментационными скоростями, могут сразу служить эффективными центрами коагуляции для облачных частиц.

Несмотря на очевидность таких выводов до настоящего времени не разработаны практические методы воздействия на облака и туманы аэрозолями с указанными дисперсными характеристиками для этих классов веществ. Это связано с тем, что зачастую отсутствуют практически пригодные методы получения таких аэрозолей и не разработаны обоснованные методики воздействия такими аэрозолями.

В настоящей работе приводятся результаты лабораторных исследований эффективности действия грубодисперсных порошков разных классов веществ, которые производятся промышленно: - гидрофильный диатомит марки ФМ-500 с модальным радиусом частиц 24 мкм; - слаборастворимый цемент марки М-500 с радиусом частиц около 10 мкм; - смесь 85% гигроскопического CaCl_2 и 15% диатомита с радиусом частиц около 15 мкм и - смесь 85% гигроскопического NaCl и 15% диатомита с радиусом частиц около 15 мкм. Рассматриваются результаты натурного эксперимента по воздействию с

самолета порошками диатомита и цемента и обсуждаются особенности возможного применения порошкообразных реагентов для воздействия на различные облачные объекты.

2. Результаты экспериментов

Лабораторные эксперименты

Основные результаты лабораторных исследований докладывались нами ранее [6]. На рис.1 приведены характерные данные об эффективности действия порошков разных химических классов веществ.

На рисунке по оси абсцисс отложено время (мин) от начала введения горячего пара в облачную камеру. Начало оси соответствует времени распыления порошка в камере (3 мин). По оси ординат - изменение прозрачности атмосферы внутри камеры в относительных единицах (в вольтах).

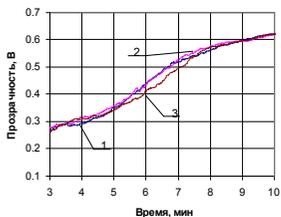
На рис.1а,б кривые 3 соответствуют ходу естественного рассеяния, которое измерялось до и после проведения экспериментов. На рис.1в,г – такой ход описан кривой 2.

На рис.1а приведены данные измерений при введении в модельный туман частиц гидрофильного диатомита не обладающего гигроскопическими свойствами. Как видно из данного рисунка, эффект воздействия, заключающийся в увеличении скорости просветления в тумане слабо выражен даже при изменении дозировки порошка диатомита в 1,5 раза.

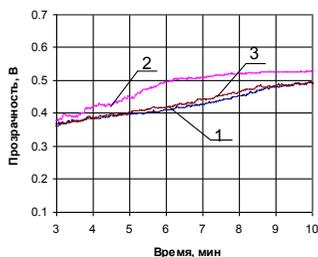
Несколько другой ход кривых наблюдается при воздействии на модельное облако порошком цемента (рис.1б). Как видно из этого рисунка, в условиях нашего эксперимента при распылении цемента эффект ускоренного просветления тумана наблюдается для случая, когда в рабочий объем вводилось 2 г порошка. Такой эффект, по-видимому, можно отнести за счет влияния гигроскопической компоненты, входящей в состав цемента.

На рис.1в,г представлены результаты измерений изменения прозрачности тумана при воздействии на него частицами гигроскопического порошка NaCl и CaCl₂ с модальным радиусом частиц около 30 мкм. Как видно, ускорение процесса просветления начинается уже по истечении примерно 60 с после введения частиц порошков в камеру.

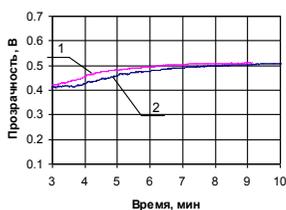
Обычно для порошков этого класса среднее время полного просветления тумана в наших экспериментах составляло около 4-5 минут. Это существенно отличалось от времени для порошков слаборастворимых и гидрофильных веществ.



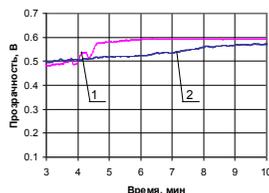
а)



б)



в)



г)

Рис. 1. Изменение оптической прозрачности в модельном облаке при распылении порошков: а - диатомит ФМ-500, 1- 2г, 2- 3г; б – цемента М-500, 1 – 1г, 2 – 2г; в - порошок 85% NaCl + 15% ФМ-500, 1 – 1г; г - порошок 85% CaCl₂+ 15% ФМ-500, 1 – 0,3г.

При этом следует подчеркнуть, эффект просветления тумана в условиях нашего эксперимента более ярко выражен для порошка 85% CaCl₂+15% ФМ-500, чем для порошка 85% NaCl+15% ФМ-500. Это различие объясняется большей гигроскопичностью CaCl₂. Т.е. эта соль обеспечивает на начальном этапе более быстрое конденсационное формирование крупных седиментирующих капель при более быстром процессе испарении мелких капелек тумана. Это естественно приводит к более быстрому просветлению тумана.

Сравнение данных для порошков гигроскопических и гидрофильных веществ показывает, что в условиях проведения экспериментов в облачной камере небольшого объема трудно ожидать результатов, пригодных для оценки возможного вклада коагуляционного механизма роста в формирование частиц осадков.

Натурный эксперимент

С целью проверки возможности применения порошкообразных реагентов веществ, необладающих заметными гигроскопическими свойствами, которые могут формировать частицы осадков только по коагуляционному механизму, нами был поставлен натурный эксперимент при использовании самолетного метода воздействия.

Из-за сложности и высокой стоимости проведения натурных экспериментов при самолетном методе воздействия на облачные процессы исследования велись в процессе подготовки и проведения работ по созданию ясной погоды в районе г. Москва. В этих работах применялся самолет, оборудованный средствами воздействия, включающими устройства для отстрела пиротехнических патронов, содержащих льдообразующий состав, генераторы, работающие на основе хладагентов, и упаковки с цементом или с другими порошками.

Контроль за состоянием облачности и ее динамики во времени непрерывно осуществлялся с помощью радиолокационных комплексов практически на всей территории Московской области. Эти комплексы позволяют получать данные об интенсивности осадков, о верхней и нижней границах облачности.

На начальном этапе эксперимента на основе синоптических данных и данных радиолокационного зондирования выбиралась зона облачности, пригодная для воздействия, по критериям методики, основанной на ускорении процесса осадкообразования. Одновременно в данной облачной системе выбиралась зона с аналогичными параметрами, которую предполагалось использовать в качестве контрольной. По данным наземных наблюдений в день проведения эксперимента на территории Московской области отмечалось наличие кучево-дождевых облаков 6-8 баллов и 9-10 балльной слоисто-дождевой облачности с высотой нижней границы 300-600 м и нулевой изотермой на уровне 1800 м.

При проведении экспериментов для воздействия и контроля были выбраны две зоны с аналогичными облачными параметрами, находящиеся в одной облачной системе. При этом контрольная зона располагалась западнее зоны «засева». Расстояние между ними составляло около 45 км.

Сам процесс воздействия заключался в следующем. По команде руководителя эксперимента самолет, оборудованный средствами воздействия, осуществлял «засев» выбранной зоны облачности по линии, перпендикулярной общему ветровому переносу.

В этих экспериментах для воздействия использовались упаковки с цементом и с двумя типами порошков диатомита. Каждая упаковка содержала

по 25 кг либо цемента, либо порошка диатомита. На каждой линии воздействий, которые располагались примерно 30 км друг от друга, производился сброс 10 упаковок одного и того же порошка. Расстояние между точками сброса упаковок составляло около 3 км. Сброс упаковок осуществлялся над верхней границей облачности. В экспериментах использовался цемент марки М 500 и порошки диатомита марок ФМ 400 с модальным радиусом частиц 28,4 мкм и ФМ 500 с модальным радиусом частиц 50 мкм. В процессе эксперимента прослеживался временной ход изменения интенсивности осадков.

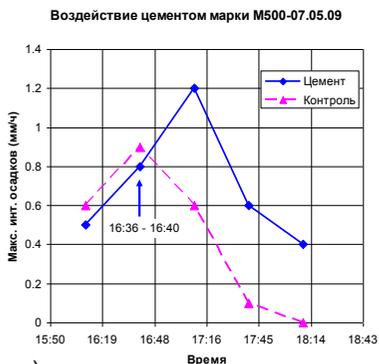
Результаты этого натурального эксперимента представлены на рис.2.

На рисунке по оси абсцисс указано местное время, а по оси ординат – интенсивность осадков (мм/час), измеренная радиолокационным методом. Стрелками на рисунке показано время внесения порошков по линиям засева.

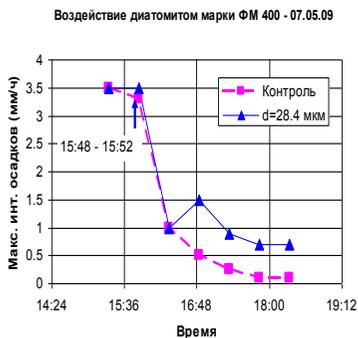
Как видно из графиков рис.2, во всех случаях примерно через 30–40 мин. после сброса 250 кг порошка во всех случаях происходит увеличение интенсивности осадков, которая в дальнейшем достигает максимума, а затем медленно уменьшается. При этом, как показали измерения, высота верхней границы не претерпевает существенных изменений.

Наибольшее изменение интенсивности осадков наблюдается при воздействии порошком цемента. Для порошков диатомита такая тенденция более ярко выражена при засеве диатомитом марки ФМ 500, чем при применении порошка ФМ 400, имеющего меньший модальный размер частиц. Более высокая осадкообразующая способность порошка цемента объясняется наличием гигроскопической компоненты в его составе.

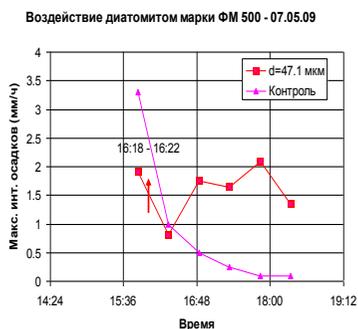
Поскольку ни цемент, ни диатомит не обладают заметными льдообразующими свойствами, то можно предположить, что частицы этих веществ при попадании в облако практически сразу становятся центрами коагуляции для облачных капелек. При этом для частиц порошка цемента на первом этапе времени заметную роль играет процесс конденсационного образования и роста крупных капель. Следует отметить, что различие в скорости осадкообразования можно объяснить существенным различием в объемных плотностях диатомита ($0,6 \text{ г/см}^3$) и цемента ($2,2 \text{ г/см}^3$). Поэтому для попадания частиц диатомита внутрь облака при засеве по верхней границе необходимо дополнительное время. С другой стороны за это время происходит диффузия частиц на большие облачные объемы, чем это имеет место для частиц цемента.



а)



б)



в)

Рис.2. Изменение интенсивности осадков при воздействии: а) цементом марки М 500, б) диатомитом марки ФМ 400, в) диатомитом марки ФМ 500.

Выводы

Полученные результаты лабораторных и натурного экспериментов позволяют сделать некоторые выводы о возможностях применения порошков разных химических классов веществ для воздействия на разные облачные объекты:

1. для реализации только коагуляционного механизма формирования частиц осадков требуется дополнительное время по сравнению с конденсационно-коагуляционным механизмом, реализуемым при внесении в облако частиц гигроскопических и слаборастворимых веществ. По оценкам это время составляет более 20 минут;
2. при воздействии на слоистые облака и туманы следует применять порошки гигроскопических веществ, которые обеспечат на начальном

- этапе времени после введения их в облако быстрое конденсационное формирование капель крупного (седиментирующего) размера;
3. при засеве облаков сверху следует отдать предпочтение порошкам гидрофильных и слаборастворимых веществ;
 4. результаты натурального эксперимента показали, что порошки всех классов веществ можно применять для воздействия как на теплые, так и на переохлажденные облачные среды.

Список литературы

1. Александров Э.Л., Клепикова Н.В. Воздействие искусственными ядрами конденсации на развитие облачного спектра // Тр. ИЭМ. 1975. Вып. 9 (52).- С. 3-15.
2. Владимиров С.А. Численное моделирование воздействия на процесс образования осадков в конвективных облаках с помощью засева гигроскопическими аэрозолями // Метеорология и гидрология. 2005. №1.- С. 58-69.
3. Частухин А.В., Ким Н.С., Корнеев В.П., Петрунин А.М., Баззаев Т.В., Данелян Б.Г., Хижняк А.Н. Лабораторные исследования механизмов действия порошкообразных реагентов перспективных для применения в активных воздействиях на облака и туманы // Изв. ВУЗов. 2014. № 1 (179).- С. 76-79.
4. Bruitjtes R.T. Review of cloud experiments to enhance precipitation and some new prospects//Bulletin of the American Meteorological Society. -1999.- Vol. 80, № 5.- P. 805-820.
5. Cooper W.A., Bruitjtes R.T., Mather G.K. Calculations pertaining to hygroscopic seeding flares//J. Appl. Meteorology.- 1997. -Vol. 36.- P. 1449 -1469.
6. Yin Y., Levin Z., Tzivion S. Seeding convective clouds with hygroscopic flare: Numerical simulation using a cloud model with detailed microphysics//J. Appl. Meteorology. Vol. 39. P. 1460 -1472.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СТАРЕНИЯ ЛЬДОБРАЗУЮЩИХ АЭРОЗОЛЕЙ, СОДЕРЖАЩИХ ЙОДИСТОЕ СЕРЕБРО

**А.Г. Шилин¹, В.Н. Иванов¹, А.В. Савченко¹, А.И. Федоренко¹,
В.А. Шилин²**

¹ФГБУ «Научно – Производственное Объединение «Тайфун», г.Обнинск

²АНО Научно-Исследовательский Центр «Радиофизические Тестовые Технологии» г. Москва

Актуальность проблемы

При использовании в процессах активного воздействия генераторов льдообразующего аэрозоля, расположенных на борту самолета или на земле, до попадания аэрозоля в целевую зону воздействия проходит достаточно большое время (от десятков минут до нескольких часов). За это время льдообразующая активность аэрозоля снижается, иногда на несколько порядков величины, причем величина падения активности зависит как от внешних условий, так и от состава аэрозольных частиц [1]. В настоящий момент эти эффекты не учитываются, и основной характеристикой генераторов является общее количество льдообразующих активных частиц, полученных непосредственно в момент образования аэрозоля. В результате, обычно, одна и та же рецептура или генератор используются в принципиально различных условиях. Цель данной работы состоит в выяснении механизма и особенностей процессов старения аэрозолей на основе AgJ , в результате чего возможна разработка составов и генераторов, ориентированных на различные условия применения.

Инструментальные методы и оборудование

Для генерирования аэрозоля использовались три пиросостава (см. таблицу). Исследованные рецептуры содержат равные количества серебра и рассчитаны так, чтобы содержание AgJ в результирующем аэрозоле было примерно одинаковым. При этом состав аэрозолей по остальным компонентам кардинально различен. В первом случае гигроскопическая часть продуктов горения представлена различными растворимыми соединениями, в том числе образующими ионы J^- , во втором случае в гигроскопической части растворимые соединения йода отсутствуют, в третьем случае гигроскопической части в аэрозоле нет.

Таблица. Рецептуры исследованных пиросоставов.

Содержание компонент	Состав №1	Состав №2	Состав №3
Соединение серебра	AgJ – 8.0%	$AgJO_3$ – 9.64%	$AgJO_3$ – 9.64%
Йодирующая добавка	KJ – 12 % (8.79 % J)	NH_4JO_3 – 35% (21.6% J)	$C_7O_2H_5J$, п-йодобензойная кислота – 18% (8.44% J)
Гигроскопическая добавка	KJ – 12% (совпадает с йодирующей добавкой)	Бор аморфный – 5 %	отсутствует

AgJ в продуктах горения, % *	4.1%	4.2%	4.6%
Растворимые соединения в составе аэрозоля	8.67% (из них 5.65% соединений, содержащих J)	19,05 % (растворимых соединений йода нет)	Гигроскопическая часть отсутствует

* Здесь и далее данные термодинамического расчета с использованием программы [2].

В процессе эксперимента навеска 200 мг пиросоства воспламенялась в обдуваемой камере сжигания с профилированным соплом и разрывной мембраной (рис.1). Расчетное давление продуктов сгорания состава при этом равно 10 атм, что обеспечивает достаточно воспроизводимые условия горения и конденсации аэрозоля для рецептур с разными энергетическими характеристиками.



Рис.1. Устройство лабораторного сжигания пиросоствов.

Устройство для сжигания располагалось в камере объемом 12 м^3 с регулируемой температурой и влажностью. Образованный аэрозоль выдерживался при 20°C в течение 100 минут с периодическим определением льдообразующей активности и спектра размеров частиц. Измерение льдообразующих свойств аэрозоля проводилось при минус 10°C в климатической камере «Feutron 3001-01» с переохлажденным туманом, для измерения спектра аэрозоля использовались спектрометры «Electrostatic Classifier TSI 3080» и «Laser Aerosol Spectrometer (LAS) 3340».

Экспериментальные результаты

Изменение льдообразующей активности со временем при различной влажности для исследуемых составов приведено на графике (рис.2).

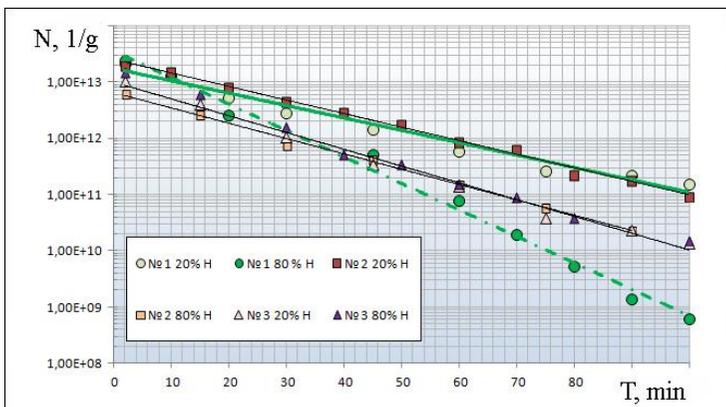


Рис.2. Динамика изменения льдообразующей активности аэрозоля исследованных рецептов со временем при 20 и 80% влажности.

При анализе полученной информации следует иметь в виду, что одновременно с изменением льдообразующих свойств аэрозоля изменяется его спектр. Тем не менее, даже на этой стадии анализа следует отметить одинаковое изменение активности для всех рецептов и условий эксперимента за исключением аэрозоля рецептуры №1 при 80%-й влажности. Изменение спектров аэрозоля в процессе эксперимента показано на рис.3 (приборные данные отмечены красным цветом, результаты интерполяции – черным).

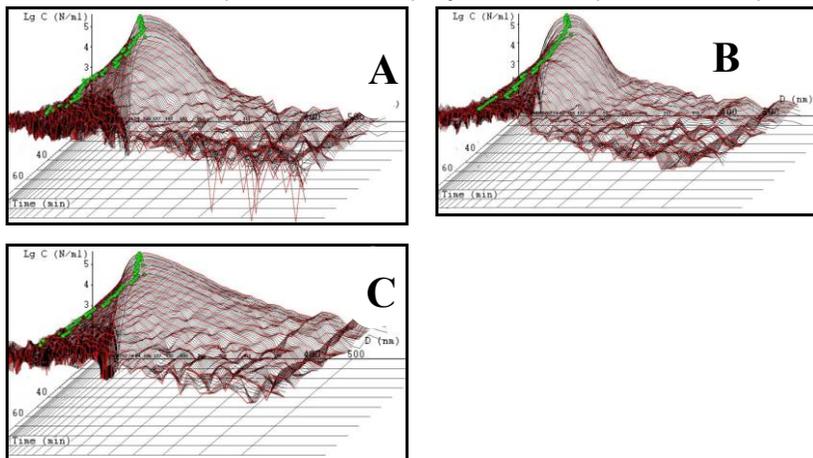


Рис.3. Динамика изменения спектров аэрозоля со временем: А. Рецепт №1; В. Рецепт №2; С. Рецепт №3.

За время эксперимента (100 мин) аэрозоль претерпевает значительные изменения: состав №1 – изменение модальных размеров от 105 нм (при концентрации $2E+5$ частиц/см³) до 124 нм ($7.8E+2$); состав №2 от 91 нм ($1.8E+5$) до 131 нм ($7.4E+2$); состав №3 от 94 нм ($1.5E+5$) до 105 нм ($2.2E+2$). Т.е. в первых двух случаях со временем имеет место укрупнение частиц, в третьем случае форма спектра сохраняется при уменьшении общей концентрации аэрозоля.

При этом для проведения оценки льдообразующих свойств (S) аэрозоля желательно сопоставить изменения льдообразующей активности с изменениями спектра аэрозоля. Согласно ряду теорий, льдообразующие свойства связаны с наличием активных центров [3], число и активность которых пропорциональны площади поверхности частицы.

Для оценки изменения льдообразующей активности, в предположении сферической формы частиц, возможно использовать следующее соотношение:

$$N = \sum_i S \pi \bar{D}_i^2 \Delta N_i, \quad (1)$$

где N – общее число льдообразующих активных ядер, измеренное в единице объема в момент времени t ; S – усредненный коэффициент плотности активных центров, при которой происходит акт нуклеации; \bar{D}_i – средний диаметр аэрозольной частицы в i -ой фракции; ΔN_i – концентрация аэрозоля в i -ой фракции.

Результаты расчета изменения S со временем по соотношению (1) приведены на рис.4.

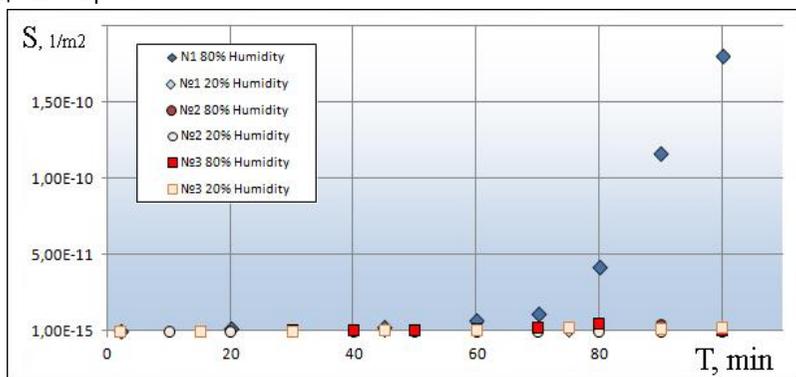


Рис.4. Результаты расчета изменения S со временем.

Из рисунка видно, что для аэрозолей, не содержащих растворимых соединений йода, параметр S не изменяется со временем и постоянен при любых значениях влажности. Иными словами, аэрозольные частицы этого состава старению не подвержены. Исключение составляют аэрозоли с растворимыми соединениями йода, для которых после 60 минут пребывания в среде с 80%-й влажностью S резко увеличивается.

Результаты и обсуждение

Аэрозоль состава №1 содержит йодистый калий – соединение с высокой гигроскопичностью, поглощающее воду при влажности среды более 60%. Если исходить из теорий, связывающих активные центры нуклеации с наличием дефектов структуры кристаллов льдообразующего соединения, устранение дефектов должно приводить к уменьшению числа центров кристаллизации или падению их активности. В свою очередь, существование кристалла с дефектами структуры энергетически менее выгодно по сравнению с кристаллом с правильной кристаллической решеткой.

Соответственно, при наличии возможности перекристаллизации процесс будет идти в направлении образования менее льдообразующее активного кристалла. Возможность реализации этого процесса значительно облегчает наличие в гидратной оболочке частицы ионов J^- (или NH_4^+) вследствие образования растворимых комплексов AgJ_x^{1-x} (или $Ag(NH_3)_2^+$), выполняющих транспортную функцию. Таким образом, при разработке составов, дифференцируя процессы образования льдообразующего аэрозоля и его функционирования в среде, желателен выполнение следующих условий:

- При термоконденсационном способе образования аэрозоля в зоне горения состава необходимо присутствие избыточного йода, который смещает обратимые реакции окисления и разложения AgJ в сторону исходного вещества;
- В составе аэрозольной частицы, при условии ее длительного пребывания в среде с высокой влажностью, ионы J^- должны отсутствовать;
- Дополнительным условием высокой льдообразующей эффективности по механизму «конденсация с последующим замерзанием» является присутствие в составе частицы гигроскопической составляющей [3].

При проектировании пиротехнических средств воздействия задача введения дополнительного йода и обеспечения наличия гигроскопической составляющей может быть решена, например, введением органических соединений, содержащих йод, и веществ с высокой гигроскопичностью, но не содержащих йод и не приводящих в процессе горения к образованию растворимых соединений йода. В случае же жидкостных генераторов, использующих раствор AgJ в горючем, использование в качестве йодирующей добавки

растворимых йодидов является неперенным условием, в противном случае рабочий раствор не может быть получен. При этом наиболее перспективным йодидом может выступать исключительно NH_4I , который при горении может быть окислен до элементарного йода. Однако при его использовании следует учитывать следующее:

1. в определенном режиме горения, контролирующимся соотношением окислителя и восстановителя, температурой пламени и т.д., возможно полное сгорание группы NH_4 и перевод избыточного йода в неионную форму;
2. отклонения от заданного режима будут вести к попаданию йода в ионной форме в состав аэрозольной частицы и быстрой потере льдообразующей активности аэрозоля;
3. в этом случае ситуация будет дополнительно усугубляться наличием в гигроскопической части ионов аммония, также способствующим комплексообразованию соединений серебра по сравнению с нейтральными в этом отношении катионами щелочных металлов.

Список литературы

1. Shilin A.G., Drofa A.S., Ivanov V.N., Savchenko A.V., Shilin V.A. Experimental Studies of Silver Iodide Pyrotechnic Aerosol Ice Forming Efficiency Dynamics//19th International Conference "Nucleation and Atmospheric Aerosols". AIP Conf. Proceeding, New York, 2013, V 1527, p. 945-949.
2. Cruise D. R., Theoretical Computations of Equilibrium Composition. Thermodynamic Properties, and Performance Characteristics of Propellant Systems. NWC TP 6037, Naval Weapons Center, China Lake, CA 93555-6001, 1991.
3. Isono K., Ishizaka Y. On ice nucleating properties of different faces of silver iodide crystals//J.Recher.Atmos., 1986, v.3, N 1-2, p.139-140.
4. Laaksonen A., A Combined Theory of Heterogeneous Nucleation and Adsorption of Vapors on Solid Surfaces. 19th International Conference "Nucleation and Atmospheric Aerosols". AIP Conf. Proceeding, New York, 2013, V 1527, p. 270-273.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШТАТНЫХ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ В СИТУАЦИЯХ, МОДЕЛИРУЮЩИХ ДЛИТЕЛЬНОЕ ХРАНЕНИЕ

А.В. Савченко, А.И. Федоренко, А.Г. Шилин
ФГБУ «НПО «Тайфун», г. Обнинск

Введение

Применение средств активных воздействий (АВ) для защиты сельскохозяйственных угодий и населенных пунктов становится всё более актуальной темой. Однако, в настоящее время периодически имеют место ситуации, когда использование средств АВ оказывается недостаточно эффективным. Например, градовые процессы урагана «Андреас», прошедшего в июле 2013 года в Германии, нанесли материальный ущерб региону от 1,1 млрд. до 1,5 млрд USD (600 миллионов евро) [6]. Величина градин достигала 8 см в диаметре, в результате градового процесса пострадали сельскохозяйственные насаждения, жилые и промышленные здания, техника. В мае того же года, по информации пресс-службы министерства сельского хозяйства Ставропольского края, сильный град, выпавший в регионе, частично или полностью уничтожил более 6,3 тысяч гектаров сельскохозяйственных культур [3,4].

Характерно, что в обоих случаях проводились штатные противорадовые мероприятия, однако, желаемого результата в результате проведения воздействия достигнуто не было. Хотя сложившаяся ситуация может иметь в своей основе различные причины, вопросы старения средств активных воздействий и связанное с этим снижение льдообразующей активности полученных аэрозолей должны быть изучены в первую очередь. Рассматриваемый вопрос актуален еще и потому, что результаты исследования льдообразующей активности различных партий средств АВ на основе штатного состава АД-1, периодически проводимые в ФГБУ «НПО «Тайфун», показывают значительное, иногда превышающее порядок величины, расхождение в измеряемой активности.

Цель проведенной работы состояла в исследовании изменения динамики активности составов в ситуации моделирования длительного хранения.

Методика экспериментов

Отличительной особенностью льдообразующих пиротехнических составов (ЛПС) является высокая гигроскопичность йодирующей добавки, обязательно входящей в их рецептуру. Так, в штатном российском составе АД-1 в качестве таковой добавки используется йодистый калий (12% вес.), в ряде европейских составах – йодистый аммоний (до 15 %), причем в чистом виде

эти соединения начинают поглощать воду при относительной влажности среды 60 и 50 % соответственно. Поглощение влаги может иметь место как в течение производственного цикла, так и в процессе хранения при недостаточно надежной укупорке изделий. Соответственно содержание воды в пиросоствах различных партий может существенно отличаться и доходить до нескольких процентов в зависимости от условий производства и хранения. При этом имеются основания предполагать, что именно наличие гигроскопических веществ, в сочетании с отсутствием контроля влажности, значительно уменьшает срок хранения средств АВ.

Так, если регламентные сроки хранения ряда пиротехнических средств (осветительные средства, дымы, спецсредства и т.д.) составляют 10 и более лет, для ЛПС гарантийный срок хранения редко превышает три года. Например, противораковые ракеты «Алазань-6» хранят в упаковке завода-изготовителя в неотапливаемых хранилищах три года, в том числе в полевых условиях под навесом или на открытой площадке без непосредственного воздействия атмосферных осадков и солнечной радиации - шесть месяцев [5].

В проведенной работе исследовались процессы старения двух составов – штатного состава АД-1 и состава ПБИ-12 (ПолиБутадиеновый Изоцианатный), разработанного в ФГБУ «НПО «Тайфун» (рецептура не приводится ввиду незавершившегося процесса патентования). Основное различие составов заключается в том, что штатный состав АД-1 представляет собой прессованную композицию, обладающую некоторой пористостью, что способствует транспорту воды в структуру пироэлемента, в то время как патентуемый состав изготавливается литьевым методом на основе каучука и соответственно пор не имеет. Более того, изоцианатный компонент каучука способен химически связывать воду, попавшую в рецептуру в процессе производства, таким образом состав ПБИ-12 характеризуется абсолютным отсутствием даже следовых количеств воды.

Наличие воды в составе АД-1 и её количество оценивалось следующим образом. Пиросостав в виде порошка помещался в чашку Петри с высотой слоя 5 мм и выдерживался определенное время в климатической камере с заданной влажностью. Количество поглощенной воды оценивалось по увеличению массы состава за заданное время экспозиции. Далее, из рецептуры формовались шашки, герметично укупоривались и исследовались в условиях, моделирующих длительное хранение.

Для организации экспериментов, связанных с длительным хранением изделий, была разработана программа по моделированию климата для климатической камеры Feutron KPK 200 типа 3423/16 в соответствии с ГОСТ

16350-80 – «Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических цепей» [1] и ГОСТ 15150-69 «Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды» [2].

Поскольку предполагаемым регионом хранения и использования изделий является Северный Кавказ, для моделирования был выбран умеренно тёплый климатический район с мягкой зимой. При моделировании длительного хранения изделий особое внимание уделялось среднесуточной температуре воздуха, среднегодовой влажности и количеству переходов через 0°C в данном климатическом районе. В соответствии с ГОСТ 16350-80 был разработан суточный цикл работы климатической камеры (рис.1), скорость изменения температуры устанавливалась не более 1°C в минуту. Для ускоренных климатических испытаний время удержания значений температуры и количество переходов через ноль за сутки соответствует полугоду хранения в заданных условиях. Исходя из полученных временных интервалов, составлена циклограмма работы климатической камеры, где одному году хранения соответствуют два суточных цикла. Таким образом, для моделирования одного года хранения требовалось двое суток непрерывной работы климатической камеры. Количество произведенных климатических циклов соответствует длительности хранения пиросоставов в течение 10 лет.

При проведении климатических испытаний исследовалось два варианта образцов: таблетки без оболочки весом 0,25 и 0,5 г. - для проведения испытаний льдообразующей активности в микромоделльных генераторах по методике ЦАО и образцы, запрессованные в картонную оболочку диаметром 22 мм, что имитировало шашку активного дыма в патроне ПВ-26.

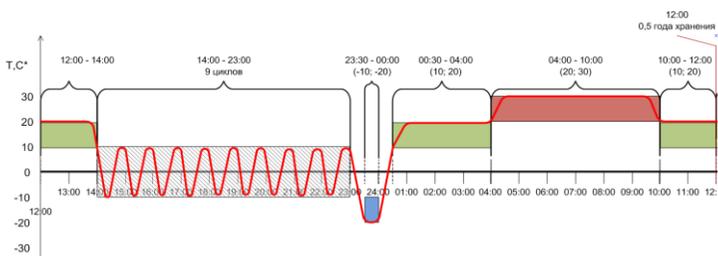


Рис.1. Суточный цикл изменения температуры хранения пиросоставов.

Полученные образцы размещались в герметично закрывающихся стеклянных контейнерах, расположенных в рабочем объеме климатической камеры. Предельный срок климатических испытаний моделировал хранение изделий в течение 10 лет (20 суток режима климатической камеры), при этом через каждые четверо суток (моделирование двух лет хранения), образцы извлекались из камеры, осматривались, фотографировались, исследовалась их льдообразующая активность.

Результаты эксперимента

В результате климатических испытаний были получены зависимости изменения льдообразующей активности со временем для пиросоставов ПБИ-12 и штатного состава АД-1 с различным содержанием воды (0%, 0.8%, 1.5%, 3% и 4% вес.). Льдообразующая активность определялась при трех температурах: - 4 °С, - 7 °С и -10 °С, динамика изменения льдообразующей активности представлена на рисунках 2-4.



Рис.2. Динамика изменения льдообразующей активности пиросоставов при температуре -4°C.



Рис.3. Динамика изменения льдообразующей активности пиросоставов при температуре -7°C.

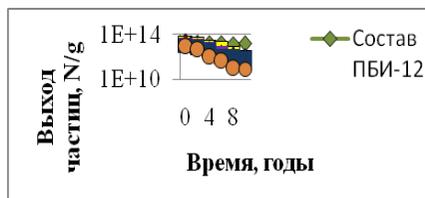


Рис.4. Динамика изменения льдообразующей активности пиросоставов при температуре -10°C.

Из приведенной информации следует, что льдообразующая активность штатного состава в ситуации моделирования длительного хранения значительно уменьшается, причем динамика изменения активности пропорциональна содержанию воды в рецептуре. Максимально зарегистрированное снижение льдообразующей активности за 10 лет хранения составляет два порядка величины и зарегистрировано у состава АД-1 с содержанием воды 4%. Патентуемый состав ПБИ-12 практически не уменьшает свою льдообразующую активность при длительности хранения 10 лет.

Изменения в структуре состава регистрируются и визуально. Так, на рис.5 представлены фотографии шашек состава АД-1, содержащего 4% воды, при моделировании различных сроков хранения. Очевидно, даже после моделирования нескольких лет хранения имеет место нарушение структуры шашки, разложение и перекристаллизация компонентов рецептуры, выход продуктов деструкции на поверхность и постепенное разрушение оболочки пироэлемента. После десяти лет хранения нарушения структуры прогрессируют настолько, что испытание шашки в штатном режиме становится невозможным. В наиболее ответственных случаях, особенно в ситуациях, когда горение состава происходит при повышенном давлении, такие нарушения структуры могут приводить не только к снижению льдообразующей активности продуктов горения, но и к нештатным режимам горения, вплоть до перепада процесса горения во взрыв.



Рис.5. Состав АД-1, 4 % поглощенной воды, 0, 4, 8,10 лет хранения.

В то же время для составов на основе полибутадиенового каучука даже десятилетний срок хранения не приводит ни к каким визуальным изменениям (рис. 6).



Рис. 6. Состав ПБИ-12 0, 4, 8,10 лет хранения.

Заключение

Проведенные эксперименты демонстрируют, что отсутствие учета влияния влаги на всех этапах производства и хранения средств АВ в значительной степени влияет на динамику изменения льдообразующей активности со временем, причем для одной и той же рецептуры активность различных партий может варьироваться до двух порядков величины. По мнению авторов, обнаруженные эффекты могут являться основной или одной из основных причин изменения льдообразующей эффективности средств АВ со временем. При наличии технической возможности следует отдавать предпочтение пиротехническим композициям с высокой гидрофобностью, желателен не содержащих воду даже в следовых количествах. В последнем случае, кроме постоянства рабочих характеристик изделий, возможно значительное увеличение регламентных сроков хранения.

Список литературы

1. ГОСТ 16350-80 – «Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей».
2. ГОСТ 15150-69 «Исполнения для различных климатических районов».
3. В Ставропольском крае сотрудники МЧС восстанавливают села после сильного дождя и града. [Электронный ресурс]. Режим доступа - <http://www.kavkaz-uzel.ru/articles/242594>.
4. Новости Ставропольского края. В двух районах Ставрополя борются с последствиями ливня и града. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://26-news.ru>.
5. Чебоксарское производственное объединения им. В.И. Чапаева. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.chapaev.ru/>.
6. Generalagentur Jens Heitzenröder der SV Sparkassenversicherung. Rodenbach, Germany. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://eu.vocuspr.com>.

НАНОРАЗМЕРНЫЙ КРИСТАЛЛИЗУЮЩИЙ РЕАГЕНТ AgI/SiO₂, ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Е.В. Сосникова¹, Б.Г. Данелян¹

Е.Ф. Воронин², Л.В. Носач², Е.М. Пахлов², В.М. Гунько², В.А. Покровский²

¹ ФГБУ «Центральная аэрологическая обсерватория», г. Долгопрудный

² Институт химии поверхности им. А.А.Чуйко Национальной академии наук Украины, г. Киев

В современной практике активных воздействий на переохлаждённые облачные среды с целью предотвращения выпадения града или перераспределения осадков наиболее широкое применение получили пиротехнические составы и технические средства на их основе. Результаты многолетних исследований льдообразующей активности йодистого серебра и пиросоставов с ним показывают, что активность чистого AgI в составах исчерпана. Повышение эффективности составов возможно лишь за счет активирующих добавок. Во всех высокоактивных составах используется йодистая медь или соли меди.

Помимо работ по улучшению пиротехнических составов, с середины 60-х годов появились исследования, посвященные созданию «синтетических» льдообразующих реагентов. В работе [4] был предложен оригинальный метод повышения эффективности использования дефицитных льдообразующих реагентов – метод левилитов, заключающийся в получении порошков льдообразующих частиц нанесением тонкого слоя активного вещества на поверхность частиц дешевого инертного носителя. Был дан расчетный предельный выход активных частиц, состоящих из сфер кремнезема с мономолекулярной пленкой AgI на их поверхности. Расчет был произведен в предположении плотной гексагональной упаковки молекул AgI в слое. Использование инертного носителя дало бы возможность значительно повысить выход льдообразующих частиц на единицу массы активного вещества. Однако приготовление эффективных левилитов являлось в 60-е годы весьма сложной и технически невыполнимой задачей, а потому никаких экспериментальных подтверждений таким обнадеживающим оценкам не было получено.

В ЦАО в 2013–2014 гг. были испытаны две партии кристаллизующих реагентов на основе наноразмерного кремнезема, созданные по принципу левилитов в Институте химии поверхности им. А.А.Чуйко Национальной академии наук Украины (образцы под № 1–5 - в 2013г. и образцы под № 6–9 в 2014г.). В табл.1 приведены основные характеристики исследованных порошковых реагентов.

Таблица 1. Основные характеристики исследованных реагентов

Номер образца	Шифр синтеза	Состав нанесенного вещества	Насыпная плотность, г/л	Примечание
1	М-333	AgI	79,6	монослой
2	М-335	AgI	206,9	монослой
3	М-336	AgI	91,4	монослой
4	М-332	флороглюцин	60,9	монослой
5	М-334	флороглюцин	110,3	три слоя
6	LN-211	AgI	377	
7	LN-212	AgI	413	
8	LN-213	флороглюцин	267	монослой
9	LN-214	флороглюцин	279	три слоя

При проведении испытаний определялись выход активных частиц в расчете на 1 г. препарата в лабораторной облачной камере при температурах переохлажденного тумана от -3 до -12°C , влагопоглощающая способность препаратов, спектр размеров и форма получающихся частиц. Определение выхода проводилось по стандартной «Лабораторной методике оценки эффективности льдообразующих реагентов и пиротехнических составов в лабораторных условиях» [1].

Аэрозоль получался распылением 10–20 мг порошка препарата из небольшого стаканчика шприцем с последующем внесением (вдуванием) пробы в отдельную аэрозольную камеру объемом 800 литров. После перемешивания и выравнивания концентрации с помощью вентилятора, проба полученного аэрозоля оптимального объема (от 20 до 150 см³ при разных температурах тумана) вводилась в переохлажденный туман в облачную камеру (объем 300 литров). Образовавшиеся ледяные кристаллы регистрировались методом реплик.

В табл.2 приведены обобщенные данные о выходе активных частиц для исследованных кристаллизующих препаратов, содержащих AgI, и чистого йодистого серебра, полученного с помощью двухступенчатого генератора ЦАО [2]. Для сравнения показаны средние выходы активных частиц для штатного пиротехнического состава АД-1, содержащего 8% AgI. Как видно из таблицы, выход активных частиц для реагентов на основе наноразмерного

кремнезема выше отечественного пиросоства АД-1, причем преимущество наноразмерных препаратов особенно велико при пороговой температуре -3°C.

Таблица 2. Температурные зависимости выхода активных частиц от препаратов на основе йодистого серебра и чистого AgI

Температура, °C	AgI		Пиротехнический состав АД-1
	Чистое вещество	Наноразмерный кремнезем	
-12	$(5\div 7)\cdot 10^{14}$	$(5\div 40)\cdot 10^{13}$	$(1\div 2)\cdot 10^{13}$
-10	$(2\div 4)\cdot 10^{14}$	$(2\div 40)\cdot 10^{13}$	10^{13}
-8	$(2\div 3)\cdot 10^{13}$	$(2\div 20)\cdot 10^{13}$	$(5\div 7)\cdot 10^{12}$
-6	$(2\div 4)\cdot 10^{12}$	$(4\div 40)\cdot 10^{12}$	$(2\div 4)\cdot 10^{12}$
-5	$5\cdot 10^{11}$	$(2\div 7)\cdot 10^{12}$	10^{12}
-4	Порог действия	$(2\div 20)\cdot 10^{11}$	$(5\div 7)\cdot 10^{11}$
-3	—	$10^{11}\div 10^{12}$	$(3\div 6)\cdot 10^{10}$

В табл.3 показана температурная зависимость выхода активных частиц для наиболее эффективных из исследуемых препаратов – М-333 и LN-212. Для сравнения даны значения эффективности для штатного пиротехнического состава АД-1, испытанного в ЦАО в 2013г. При температуре переохлажденного тумана -10°C выход активных частиц для наиболее эффективного препарата LN-212 составил $4\cdot 10^{14}$ в расчете на 1г состава, при температуре $-3 \div -5^\circ\text{C}$ – $(1\div 8)\cdot 10^{12}$.

Таблица 3. Температурная зависимость выхода активных частиц для наиболее эффективных препаратов с AgI

Температура, °C	М-333	LN-212	АД-1
-12	$5,50\cdot 10^{13}$	$5,0\cdot 10^{14}$	$1,27\cdot 10^{13}$
-10	$4,60\cdot 10^{13}$	$5,0\cdot 10^{14}$	$1,23\cdot 10^{13}$
-8	$1,53\cdot 10^{13}$	$3,50\cdot 10^{14}$	$7,84\cdot 10^{12}$
-6	$8,0\cdot 10^{12}$	$4,40\cdot 10^{13}$	$2,84\cdot 10^{12}$
-5	$6,0\cdot 10^{12}$	$8,0\cdot 10^{12}$	10^{12}
-4	$1,08\cdot 10^{12}$	$2,80\cdot 10^{12}$	$3,52\cdot 10^{11}$
-3	$9,66\cdot 10^{11}$	10^{12}	$6,0\cdot 10^{10}$

В табл.4 приведены результаты расчета радиусов льдообразующих частиц на основе наноразмерного кремнезема, действующих при температуре -

5°C, а также минимальный радиус активной при температуре -5°C частицы чистого йодистого серебра, по данным работы [3].

Расчет был выполнен по следующей формуле в допущении, что плотность частиц равна плотности SiO_2 : $4 \pi \rho R^3 N / 3 = 1$, где ρ – плотность, N – выход активных частиц.

Таблица 4. Радиусы льдообразующих частиц AgI и препаратов на основе наноразмерного кремнезема, действующих при температуре -5°C

Препарат	AgI	M-333	M-335	M-336	LN-211	LN-212
Радиус, см	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$3,7 \cdot 10^{-5}$	$3,3 \cdot 10^{-5}$	$4,28 \cdot 10^{-5}$	$2,26 \cdot 10^{-5}$

Значения радиусов льдообразующих частиц исследованных образцов оказались близкими к R для чистого AgI. Это свидетельствует о высокой распыляемости исследованных порошковых препаратов (минимальный R для чистого AgI мог быть определен только для аэрозоля, полученного возгонкой) и достаточно полном покрытии частиц нанокремнеземов йодистым серебром.

Препараты с флороглюцином оказались менее активными. При -10°C они обеспечивали выход активных частиц 10^{13} , однако при температуре -5 ÷ -6°C более чем на порядок уступали препаратам с AgI.

На рис.1 представлены результаты исследования влагонасыщающей способности препаратов при температуре -10°C. Испытания по определению влагопоглощающей способности порошков проводились в облачной камере объемом 300 л при температуре тумана -10°C. Масса исследуемых порошков измерялась с помощью электронных весов ВСЛ-60/0,1А с ценой деления 0,01 мг (исходная масса каждого образца порошка была равна 50 мг). При проведении испытаний образец помещался на подложку, взвешивался на электронных весах и устанавливался на дно камеры с предварительно созданным в ней водным туманом. Для создания в облачной камере тумана введение пара из парогенератора производилось в течение 5-7 сек. При такой длительности и мощности парогенератора в 600 Вт начальная водность тумана составляла от 1,5 до 2 г/м³. После выдержки в камере в течение 5 мин, подложка с образцом вынималась, взвешивалась на весах и опять помещалась в камеру с вновь созданным в ней водным туманом.

По оси ординат на графиках отложено отношение текущей массы порошка к первоначальной. Для сравнения на графиках представлены результаты подобных экспериментов для наиболее известных и применяемых в практике активных воздействий гигроскопических веществ – CaCl_2 и NaCl .

Приведены также данные для образцов чистого AgI и SiO₂. Как видно из рисунка, все образцы обладают достаточно высокой влагопоглощающей способностью, сравнимой с гигроскопическими веществами. Поэтому следующей задачей было оценить конденсационную активность препаратов, а именно определить содержание облачных ядер конденсации (ОЯК) в распыляемом аэрозоле и спектр размеров частиц.

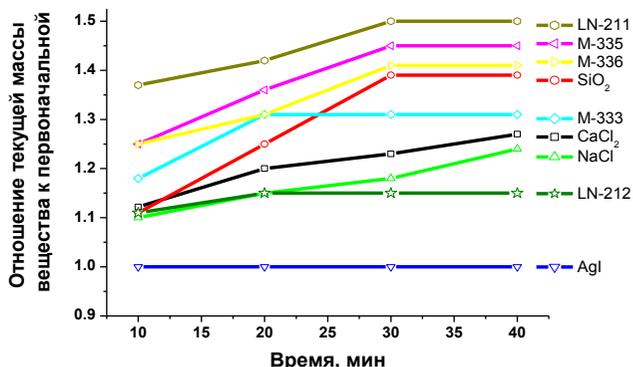


Рис.1. Влагопоглощающая способность кристаллизующих реагентов на основе наноразмерного кремнезема при температуре -10°C .

Аэрозоль получался распылением 10–20 мг порошка из небольшого стаканчика шприцем с последующем внесением (вдуванием) пробы в малую аэрозольную камеру объемом 150 литров, откуда пробы аэрозоля (125 см^3) вводились в аэрозольный резервуар объемом 1000 литров. Из аэрозольного резервуара пробы аэрозоля поступали в измеритель общей концентрации частиц - электрический анализатор TSI-3030 и счетчик облачных ядер конденсации Mee-130.

Результаты определения относительного содержания ОЯК в общем числе ядер и спектры размеров частиц, полученные от препаратов, приведены на рис.2. Измерения повторялись при последовательном изменении пересыщения в интервале от 0,2 до 0,66 % . Как видно из рисунка, все исследованные реагенты при малом, близком к облачному, пересыщении 0,2%, практически не конденсировали на себе водяной пар. При этом наименьшей конденсационной активностью обладали наиболее эффективные в отношении льдообразования препараты M-333 и LN-212.

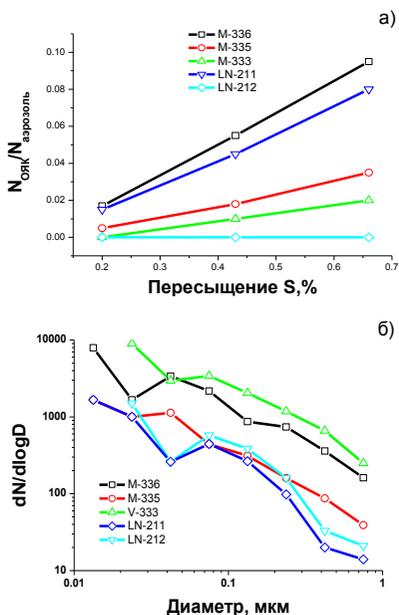


Рис.2. Доля активных ядер конденсации (а) и спектр размеров частиц (б) в аэрозолях, полученных при распылении реагентов на основе наноразмерного кремнезема.

Для препарата М-333 было проведено электронно-микроскопическое исследование получаемых при его распылении частиц. Аэрозоль от этого препарата оказался состоящим из частиц преимущественно округлой формы с минимальным диаметром \sim от 0,1 до 1,0 мкм.

В целом, проведенные исследования кристаллизующих препаратов на основе наноразмерного кремнезема позволили сделать следующие выводы:

1. Все исследованные препараты с AgI обеспечивают выход активных частиц более 10^{13} при $T = -10^{\circ}C$ и $(4 \div 8) \cdot 10^{12}$ при $T = -6^{\circ}C$. Активность препаратов при температуре $-6^{\circ}C$ превышает активность используемого в практике пиротехнического состава АД-1.

2. Наиболее высокую активность при малых переохлаждениях тумана имеет образец LN-212. При $T = -4^{\circ}C$ выход для него составляет $2 \cdot 10^{12}$ на 1 грамм препарата.

3. Полученное близкое совпадение размеров действующих частиц созданных порошковых препаратов и частиц чистого йодистого серебра свидетельствует об эффективности покрытия порошковых частиц йодистым се-

ребром, обеспечившего идентичность действия частиц наноразмерного кремнезема и AgI.

4. Низкая конденсационная способность наиболее активных льдообразующих препаратов делает маловероятной реализацию механизма «конденсация-замерзание» в процессе образования на них ледяных кристаллов. Механизм льдообразования на препаратах наноразмерного кремнезема требует дальнейшего исследования.

Список литературы

1. Методические указания: Методика оценки эффективности льдообразующих реагентов и пиротехнических составов в лабораторных условиях. РД.52.11.639-2002., с.25.

2. Плауде Н.О. Исследование льдообразующих свойств аэрозолей йодистого серебра и йодистого свинца. Тр. ЦАО, 1967, вып.80, с.87.

3. Aksenov M.Ya., Plaude N.O. Critical sizes of ice-forming nuclei. Proc. VIII Int. Conf. on Nucleation. Leningrad, Sept., 1973, pp. 40-43.

4. Bidault G. Un nouveau proced d insemination des nuages par l iodure d argent. Bul. Obs. Puy-de-Dome, №3, 1960.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЬДООБРАЗУЮЩИХ СВОЙСТВ НАНОТРУБОК ОКСИДА ЦИНКА И AgI

В.О. Тапасханов, Б.М. Хучунаев, А. Б. Хучунаев, В. П. Панаэтов
ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», г. Нальчик

В качестве реагента для управления облачными процессами обычно используют химические вещества, обладающие конденсационными и кристаллизационными свойствами. При этом недостаточно изученным остается образование новой фазы в области размеров 1-100 нм. В этой области размеров значение поверхностных явлений сильно возрастает, усиливается взаимодействие частиц друг с другом - это оказывает существенное влияние на фазовые переходы воды в атмосфере в присутствии катализаторов (ядер конденсации и кристаллизации).

Большое значение имеет применение нанотехнологий при разработке новых пиротехнических составов для воздействия на облачные процессы.

Эффективность пиротехнических составов определяется удельным выходом льдообразующих ядер, который зависит от размера и количества час-

тиц после возгонки. Используемые в практике активных воздействий составы имеют эффективность 4-5%. Очевидно, что если после возгонки реагента, льдообразующие частицы будут иметь форму нанотрубок, то при одних и тех же размерах концентрация таких частиц будет больше. Таким образом, одним из путей увеличения льдообразующей активности реагентов является диспергирование льдообразующих частиц в виде нанотрубок. Более того, при диспергировании нанотрубок можно добиться небольшого разброса размера частиц, что также приведет к увеличению активных льдообразующих ядер за счет уменьшения количества частиц, размер которых меньше критического размера.

Нами были исследованы составы с содержанием $\text{AgJ}+$ графит. На рис.1 показан комплекс лабораторной аппаратуры, где производились исследования.



Рис.1. Комплекс лабораторной аппаратуры, где проводился синтез нанотрубок оксида цинка. 1-электронный микроскоп ЭММА-4, 2-оптический микроскоп МБИ-15, 3-вакуумная установка, 4-большая облачная камера, 5- оптический микроскоп modik.

Возгонку проводили в закрытом объеме на графитовой подложке. Ток возгонки составлял 50А, температура подложки измерялась пирометром и достигала 1200°C . Частицы собирались на стеклянные подложки, которые исследовались под оптическим микроскопов МБИ-15. Для исследования под электронным микроскопом пробы осаждали на угольную пленку. На рис.2 показана фотография подложки с нанотрубками AgJ : слева - после осаждения, справа - после выдержки 20 мин. в среде с относительной влажностью 70-90%.

Как видно из рис.2, после выдержки во влажной среде нанотрубки увеличивались в размере за счет конденсированной влаги и становились види-

мыми в оптическом микроскопе. На рис.3. приводится фотография стеклянной подложки после 15 мин. выдержки в облачной камере при влажности 100%.

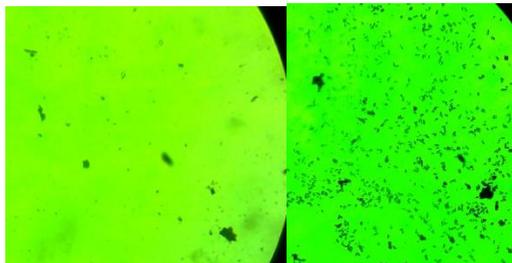


Рис.2. Стеклянная подложка с нанотрубками: слева - после осаждения, справа - после выдержки 20 мин. при влажности 70-90%.

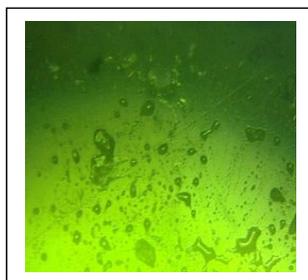


Рис.3. Стеклянная подложка с нанотрубками AgJ после 15 мин. выдержки в облачной камере при влажности 100% .

В настоящее время считается, что наноструктурный оксид цинка является перспективным материалом для нанoeлектроники, и для его получения разработано много различных методов.

Как видно из рис.3, количество конденсированной воды гораздо больше самих нанотрубок. Однако, имеется некоторая особенность эффективного использования конденсационных свойств нанотрубок для воздействия на облачные процессы, которая заключается в том, что нанотрубки необходимо получать в среде, на которую необходимо воздействовать, так как при хранении на них конденсируется влага.

В метеорологии, при активных воздействиях на облачные процессы, по известным причинам предпочтительно использование нанотрубок, полученных методом дугового разряда. Здесь необходимо отметить, как нами было показано в ранних работах [2], что нанотрубки оксида цинка обладают хорошими конденсационными и льдообразующими свойствами. Метод дугового

разряда для получения наночастиц был использован в работе [3], в результате было получено много различных наноматериалов оксида цинка.

Дуговой синтез проводился в вакуумной камере. В кювету из графита толщиной 0,5см, длиной 7-9см и шириной 2см укладывались кусочки цинка размером 0,4х0,4см, туда же насыпался порошок графита, масса которого составляла 8% от массы цинка. Графит служит катализатором роста нанотрубок оксида цинка. Режим дугового разряда. Напряжение - 30-40В, ток- 80-150А, разряд поддерживался от 2 до 5минут. На рис.4 показаны изображения полученных образцов под оптическим микроскопом.

Анализ фотографии показывает, что трубки имеют диаметр 7-10 мкм, пластины - толщину несколько десятков мкм. На микронных трубках имеются множество пушистых шариков.

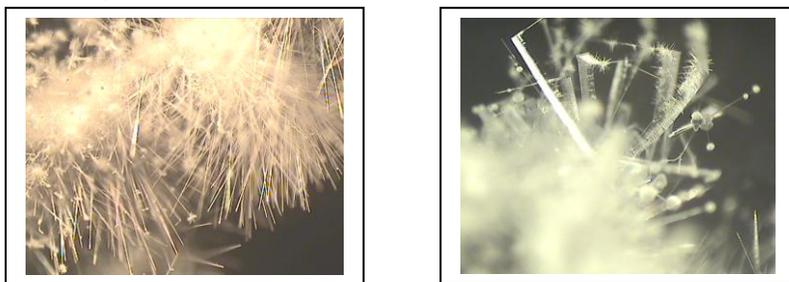


Рис.4. Нанотрубки и пластины оксида цинка под оптическим микроскопом.

На рис.5 (слева) приводится фотография одного из таких шариков под электронным микроскопом, где видно, что шарик состоит из множества нанотрубок диаметром от 20 до 30 нм. Как видно из рис.5, пластины состоят из нанотрубок одинаковой длины, расположенных параллельно друг другу. Нам представляется, что нанотрубки, образованные при дуговом разряде на катализаторе из графита, образуются по общеизвестному механизму «пар-жидкость-кристалл».

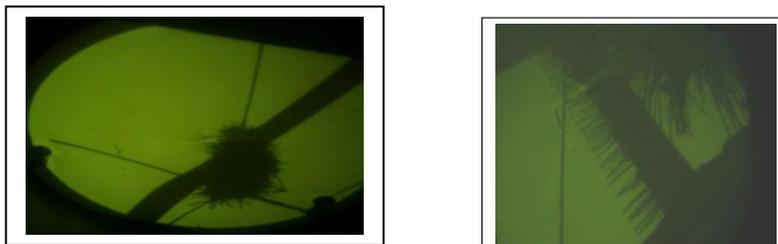


Рис.5. Фотография шарика из нанотрубок (слева) и пластины оксида цинка (справа), полученного дуговым разрядом.

Проведенные предварительные исследования показали, что использование нанотехнологий в метеорологии может дать толчок в понимании начальных механизмов фазовых переходов воды в реальной атмосфере и способствовать разработке более эффективных средств активных воздействий на облачные процессы.

Разработан метод синтеза нанотрубок для целей активных воздействий на облачные процессы.

Список литературы

1. Покропивный В.В., Касумов М.М. Получение и механизм роста наноструктуры из оксида цинка в дуговом разряде//Письма в ЖФТ.- 2007.- Т. 33, Вып.1.- С. 88-94.

2. Хучунаев Б.М., Степанова С.И., Хучунаев А.Б., Панаэтов В.П. Исследование льдообразующих свойств кристаллогидратов и нанотрубок оксида цинка//Доклады Всероссийской конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы, Нальчик, 24-28 октября 2011г. – С. 396 - 402.

К ВОПРОСУ О ВОЗОБНОВЛЕНИИ РАБОТ ПО ИСКУССТВЕННОМУ УВЕЛИЧЕНИЮ ОСАДКОВ НА СЕВЕРНОМ КАВКАЗЕ

Г.Х. Бадахова, Н.А. Кравченко, Ю.К. Лашманов, Р.В. Несудимов
Ставропольский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, г. Ставрополь

Вопрос о возобновлении работ по искусственному увеличению осадков (ИУО) на Северном Кавказе периодически поднимается на разных уровнях: от отдельных сельскохозяйственных предприятий до международных научно-практических конференций. Опыт проведения таких работ на территории Калмыкии, Ростовской области и Ставропольского края, осуществляемых в 80-90-х годах XX века Ставропольским филиалом Высокогорного геофизического института, показал их достаточно высокую физическую и экономическую эффективность. В настоящее время происходит заметное и довольно быстрое изменение климата, поэтому для решения вопроса о целесообразности, возможности и потенциальной эффективности возобновления работ по ИУО в современных климатических условиях был проведен анализ режи-

ма увлажнения и облачных ресурсов Нижнего Поволжья, Нижнего Дона и Северного Кавказа.

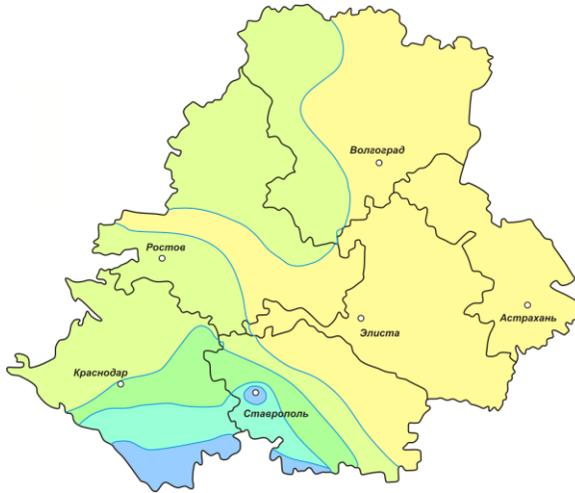
Наиболее распространенным показателем степени увлажнения является гидротермический коэффициент Г.К. Селянинова

$$ГТК = 10 \frac{\sum R}{\sum t},$$

где $\sum t$ – сумма температур за период со среднесуточными температурами выше 10°C; $\sum R$ – сумма осадков за тот же период.

Для 112 пунктов региона по значениям современной климатической нормы месячных сумм осадков и среднемесячных температур были рассчитаны средние многолетние значения ГТК, по которым было проведено районирование Юга России по степени увлажнения в период вегетации. Выяснилось, что большая часть региона нуждается в дополнительных осадках. Особенно засушливыми являются Астраханская область, где ГТК по разным пунктам составляет от 0.28 до 0.45 со средним значением по области 0.34, и Калмыкия, где ГТК варьирует от 0.28 до 0.51, составляя в среднем по территории 0.37. Очень засушливой является также Волгоградская область. Территорию Ростовской области можно характеризовать как засушливую, в восточных районах - очень засушливую. В Краснодарском крае очень засушливой зоны нет, но практически вся северо-восточная половина территории может быть охарактеризована как засушливая. В Ставропольском крае северо-восточная половина территории также представляет собой засушливую и очень засушливую зоны (рис.1).

Оценка возможности успешного возобновления работ по ИУО – вопрос более сложный и многофакторный, требующий детального анализа климатических условий каждого региона. Поэтому в качестве первого шага нами были проанализированы современные климатические условия Ставропольского края как наиболее вероятного района возобновления работ по ИУО. Кроме того, на территории Ставрополя имеются все типы природных зон, встречающихся в потенциальных районах работ по ИУО на Северном Кавказе (рис.2), что позволит полученные характеристики изменения климата с достаточной степенью достоверности экстраполировать на территории других субъектов региона. Оценка основывалась на анализе данных 2001-2013 годов о количестве дней с осадками различной интенсивности, повторяемости ресурсных форм облачности и повторяемости ясного, полужасного и пасмурного состояния неба и их сравнении с базовым периодом до начала работ по ИУО.



– очень засушливая зона,
 – засушливая зона,
 – зона неустойчивого увлажнения,
 – зона достаточного увлажнения,
 – влажная зона

Рис. 1. Районирование Юга России по степени увлажнения.

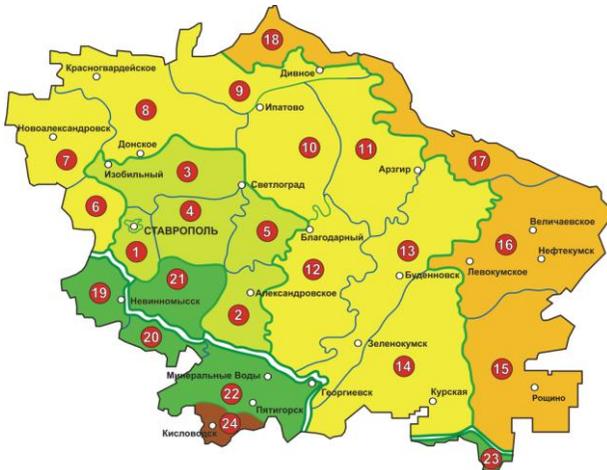


Рис.2. Ландшафтная структура Ставропольского края
 1-5 – Провинция лесостепных ландшафтов; 6-15 – Провинция степных ландшафтов; 16-19 – Провинция полупустынных ландшафтов; 20-23 – Провинция предгорных степных и лесостепных ландшафтов; 24 – Провинция среднегорных ландшафтов лесостепей и остепненных лугов

Анализ режима осадков показал, что в новом веке среднее годовое число дней с осадками составляет около 150 дней в среднем по краю и около 140 дней в засушливой зоне, что значительно превосходит показатель второй половины XX века. Однако анализ изменения условий увлажнения показал, что в крае имеет место следующая тенденция: наиболее засушливые районы становятся еще более засушливыми, а достаточно увлажненные районы – еще более увлажненными. Происходит это потому, что на фоне общего роста температуры воздуха и количества выпадающих осадков в засушливых северо-восточных районах Ставрополья рост температуры превалирует над приростом количества осадков.

В обычный период работ по ИУО (май-июнь) в засушливой зоне отмечается около 20 дней с осадками (в Буденновске – около 30), однако эффективные осадки, способные обеспечить промачивание почвы (это осадки 5 мм и более), выпадают здесь лишь в течение 6-7 дней за два месяца (табл.1). Следует отметить, что дней с измеримым количеством осадков в засушливой зоне стало на 2-4 больше, чем в базовом периоде до начала работ по ИУО [7].

Количество осадков, суммарно выпадающих в мае-июне, в засушливых районах Ставрополья в новом веке практически не изменилось по сравнению с показателями второй половины XX столетия. Однако, если в мае отмечается некоторое увеличение количества осадков, то в июне во всей засушливой зоне количество осадков уменьшилось. Особый интерес представляет район Зеленокумск, где месячные суммы осадков уменьшились на 10 мм (16 %) в мае и на 34 мм (40 %) в июне.

Таблица 1. Среднее число дней с суточным количеством осадков по градациям (май-июнь)

	≥ 0.0 мм	≥ 0.1 мм	≥ 0.5 мм	≥ 1.0 мм	≥ 5.0 мм
Арзгир	20	16	14	13	6
Буденновск	28	20	16	13	6
Дивное	19	18	16	14	6
Зеленокумск	24	18	16	14	6
Красногвардейское	20	19	17	15	7
Рощино	21	16	14	12	6
Светлоград	24	23	19	16	8

Анализ карт суммарных осадков показывает, что, как правило, при прохождении даже достаточно мощных атмосферных фронтов, количество выпадающих осадков заметно уменьшается в направлении с запада на восток (обычно циклонические вторжения происходят на западе края). Даже если при этом на западе края выпадает 10-15 мм осадков, то на востоке либо осадков нет совсем, либо они составляют 2-3 мм (рис.3). При этом поле осадков крайне неоднородное.

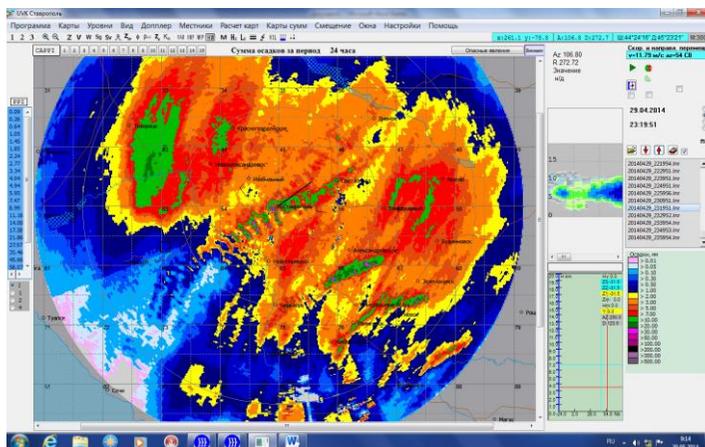


Рис.3. Карта сумм осадков за сутки 29.04.2014 г.

Анализ облачных ресурсов показал, что повторяемость облачных форм, воздействие на которые может в конечном итоге привести к осадкам, хотя и несколько снизилась по сравнению с периодом 1961-2000 гг., но все еще достаточно высока: от 20 до 60 % от общего числа дней с облачностью в мае-июне. При этом наибольшую повторяемость имеют Cu, Cb и Sc, технология воздействия на которые хорошо отработана [6] и стабильно приводит к положительному эффекту (табл.2).

Таблица 2.Повторяемость основных форм облачности в засушливой зоне Ставропольского края

Месяц	Ac	As	Cu	Cb	St	Sc	Ns
Май	44.5	4.7	12.5	18.5	2.0	16.5	1.3
Июнь	42.6	3.4	15.9	23.1	0.4	13.3	1.3

Суммарная повторяемость полаясного и пасмурного неба по нижней облачности составляет от 20 до 40 %, что также позволяет рассчитывать на то, что синоптические условия, пригодные для проведения активных воздействий, будут складываться достаточно часто для получения заметного эффекта от ИУО в течение сезона.

Проведение работ по ИУО на Юге России позволит снизить потери урожая в засушливые годы и увеличить урожайность сельхозкультур в годы средней влагообеспеченности. Увеличение количества осадков на 15-20 % обеспечивает ощутимое увеличение урожайности (например, озимой пшеницы – на 0.9-1.2 ц/га) и, соответственно, валового урожая на территории проведения работ по ИУО, что доказано опытом работ в Ставропольском крае.

Наиболее засушливые районы Северного Кавказа в основном ориентированы на животноводство, наиболее важной проблемой для которого в настоящее время является восстановление поголовья. В деле увеличения поголовья и повышения его продуктивности решающая роль принадлежит кормовой базе, основу которой составляют естественные сенокосы и пастбища, а также сеяные травы и другие кормовые культуры. И в этом плане ИУО может оказаться даже более эффективным, чем для зерновых культур, и самым заметным образом сказаться на состоянии сенокосов и пастбищ. Известно, что влажность воздуха, влажность почвы и температура имеют определяющее значение для линейного роста трав. Даже незначительное изменение одного из этих трех факторов влечет за собой значительные изменения урожайности трав. Так, например, зависимость урожайности сена тимофеевки от суммы осадков вегетационного периода выражается формулой

$$y = 0.05x - 3.2 ; r = 0.66,$$

где y – урожайность (т/га); x – сумма осадков за первые два месяца вегетационного периода. Таким образом, для тимофеевки увеличение составляет 7 ц/га на каждые дополнительные 10 мм осадков. Кроме того, травы очень чутко реагируют на изменение влажности воздуха. При дефиците влажности воздуха более 9 гПа высота клевера не превышает 35 см, а при снижении дефицита влажности до 6 гПа он отрастает до 50 см и более. Похожие зависимости наблюдаются и для других трав [5]. Очевидно, что для трав будет полезен даже т.н. «сухой дождь», когда осадки выпадают из облака, но не достигают поверхности земли, испаряясь в процессе падения в слое жаркого и сухого воздуха. Таким образом, для засушливых животноводческих районов значение 15-20 %-го увеличения осадков, обуславливающего к тому же

повышение влажности воздуха, снижение расходов влаги на транспирацию, уменьшение суммы балластных температур и т.д., трудно переоценить.

В годы проведения работ по ИУО в Ставропольском крае количество осадков, полученных в результате активных воздействий, рассчитывалось методом климатического среднего:

$$h_{i\bar{o}} = \bar{h}_o \Delta X + \frac{\bar{h}_o}{\bar{h}_k} h_k,$$

где первое слагаемое представляет собой количество дополнительных осадков. Здесь $h_{oф}$ и h_k – фактическое количество осадков на опытной (ОТ) и контрольной (КТ) территориях соответственно; \bar{h}_i и \bar{h}_k – климатическая норма осадков на ОТ и КТ соответственно; ΔX – разность отношения осадков к норме на ОТ и КТ.

Уточнение полученных данных осуществлялось на основе регрессионного метода. Полученные уравнения регрессии между осадками на ОТ и КТ имели вид:

- для периода до начала работ по ИУО $h_o = -6 + 0.73h_k$;
- для периода работ по ИУО $h_o = -8 + 0.82h_k$.

За годы проведения работ по ИУО их эффективность в Ставропольском крае составляла от 13 до 20 % [8]. Тот факт, что в настоящее время условия для проведения активных воздействий с целью ИУО не только не ухудшились, но даже несколько улучшились по сравнению с предыдущим периодом [1,2,7], позволяет рассчитывать на достижение более высокой эффективности работ по ИУО. Повышению эффективности будут способствовать также возросшие технические возможности проведения работ по ИУО на Северном Кавказе. Если в 80-90-е годы выбор района работ и объектов воздействия осуществлялся по данным радиолокационных наблюдений расположенного в Ставрополе МРЛ-5, то теперь в дополнение к МРЛ-5 в крае имеются два доплеровских локатора ДМРЛ-С (Ставрополь и Минеральные Воды). Возможности ДМРЛ-С позволяют значительно повысить оперативность и корректность выбора района работ и объектов воздействия, определения категории объектов воздействия, и, следовательно, стратегии воздействия, что, в конечном итоге, позволит повысить эффективность работ по ИУО [3]. Разработанная в ЦАО программа борьбы с засухами может способствовать оптимальному функционированию всей системы активных воздействий.

Возобновление работ по ИУО на Северном Кавказе может иметь еще один положительный аспект. Происходящие изменения климата привели к

тому, что тенденция увеличения повторяемости выходов Каспийского циклона и внутримассового развития грозоградовых процессов в регионе стала более ярко выраженной. Но поскольку градовые процессы в центральных и восточных районах Ставрополя все же достаточно редки и разворачивать здесь наземную сеть противорадовых пунктов воздействия нерентабельно, то хорошим решением вопроса предотвращения градобитий вне нынешнего района работ Ставропольской ВС было бы применение авиационного метода борьбы с градом. Осуществлять этот метод мог бы самолет, задействованный для работ по ИУО. Это позволило бы не только повысить эффективность градозащиты в крае, но и повысить общую рентабельность работ по активным воздействиям на облачные процессы.

Список литературы

1. Бадахова Г.Х., Эмба Я.А. Агроклиматические ресурсы и режим осадков в Ставропольском крае//Тр. СФ ВГИ. -1993.- Вып.1. - С. 20-32.
2. Бадахова Г.Х., Каплан Г.Л., Кравченко Н.А. Вариации и тренды увлажнения степных ландшафтов Ставрополя в вегетационный период. – Москва: «Естественные и технические науки». - 2009. - № 8. – С. 247-252.
3. Бадахова Г.Х., Лашманов Ю.К. Применение новых радиолокационных методов для предупреждения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера//Материалы межд. научной конф. «Инновационные методы и средства исследований в области физики атмосферы, гидрометеорологии, экологии и изменения климата». Ставрополь, 2013.- С. 302-310.
4. Берюлев Г.П., Борисов Ю.А., Данелян Б.Г. Основные принципы построения и оптимального функционирования системы борьбы с засухами в РФ методами искусственного увеличения осадков//Материалы межд. научной конф. «Инновационные методы и средства исследований в области физики атмосферы, гидрометеорологии, экологии и изменения климата». Ставрополь, 2013.- С. 17-20.
5. Гулинова Н.В. Погода и урожай сеяных и луговых трав. Л.: Гидрометеоиздат. – 1982. – 170 с.
6. РД 52.11.637-2002 Методические указания. Проведение работ по искусственному увеличению атмосферных осадков самолетными методами. – М: Гидрометеоиздат.- 2002.
7. Справочник по климату СССР. Вып. 13. Ч. IV. Влажность воздуха, атмосферные осадки, снежный покров. – Л.: Гидрометеоиздат, 1968. - С. 234-236.

8. Экба Я.А., Каплан Л.Г., Закинян Р.Г. Оценка физического эффекта воздействия при искусственном увеличении осадков в Ставропольском крае//Обозрение прикладной и промышленной математики. – 1995. - Т.3. – Вып. 2.- С. 156-165.

ВОЗМОЖНОСТЬ ВЫЗЫВАНИЯ ВЫПАДЕНИЯ СНЕГА ИЗ ИСКУССТВЕННО СОЗДАНЫХ ОБЛАКОВ

Г.И. Мазуров¹, В.И. Акселевич², Р.Е. Торгунаков¹

¹ФГБУ «ГГО им. А.И. Воейкова», г. Санкт-Петербург

²Санкт-Петербургский университет управления и экономики

За последние 20-30 лет увеличились закупки сельскохозяйственной продукции из-за рубежа. В то же время понятно, что без продукции с отечественных полей и урожая на них страна может попасть в экономическую зависимость от других стран, хотя мы имеем большие посевные площади. Неблагоприятными погодными условиями для РФ являются сильные морозы и малоснежные зимы, наблюдающиеся в последние годы в отдельных регионах страны [9].

Известно, что озимые посевы дают больший урожай, чем яровые. При этом они более устойчивы к засухам, так как корневая система в период весеннего таяния снега проникает глубже в почву и укрепляется. Если же озимые вымерзли, то приходится заново перепахивать и вновь производить посадку. Естественно, расходы на посевную увеличиваются вдвое.

Для предупреждения вымерзания озимых необходим снежный покров величиной как минимум 5 см при не очень низких отрицательных температурах [10].

При защите небольших площадей, обработкой которых занимаются индивидуальные предприниматели, от вымерзания можно использовать снежные пушки, так называемые вентиляторные снегогенераторы, предназначенные для использования на открытом воздухе при отрицательных температурах. В состав снегогенератора входят: основание в различных вариантах исполнения (сани, колесное шасси, станина); компрессор; вентилятор; система подачи воды; форсуночный блок (коллектор); блок управления (ручной или система ESGC-AUTO). Характеристики различных типов генераторов приведены в табл.1.

Таблица 1. Номенклатура поставляемых вентиляторных снегогенераторов (снежных пушек) производства компании "Экосистема" и их основные технические характеристики и стоимость

Характеристика	Наименование снегогенератора				
	ESG-305	ESG-310	ESG-330	ESG-360	ESG-390
Производительность по снегу, куб. м/час	5	10	30	60	90
Расход воды, м ³ /час	2,1	4,1	12	24	36
Давление воды, бар	8...16	8...16	8...16	8...16	8...16
Максимальная температура воды, °С	+2	+2	+2	+2	+2
Температура начала кристаллизации, °С	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
Потребляемая мощность, кВт	6	6	6	17	17
Габариты (длина, ширина, высота), см	170x125x165	170x125x165	170x125x165	180x190x210	180x190x210
Масса с компрессорным агрегатом, кг	130	160	195	350	380
Стоимость стандартной комплектации, руб.	285 800	373 600	554 300	698 000	746 900
Рекомендуемая мобильная насосная станция	ПНС 2,1-15	ПНС 4,1-15	ПНС 12-15	ПНС 24-15	ПНС 36-15

Существуют снегогенераторы, собранные на основе базового модуля ST-500, один из которых стоит около 300 т.р. и пригоден для создания снежного покрова на небольших участках, например, на даче или на каком-либо склоне или поле. Уровень шумов около 90 дБ на расстоянии 3м [13]. При таком шуме на даче - это не отдых.

Согласно [12] затраты на 1 га весенних посевов в ценах 2013 года составляют:

- проборонить зябь - 250 руб./га
- предпосевная культивация – 400 руб./га
- затраты на посев с прикатыванием - 600 руб./га
- стоимость семян - 0,25т*15 000 - 3 750 руб./га
- стартовые удобрения 75 кг NPK - 1 350 руб./га
- подкормка аммиачной селитрой 150 кг/га - 1 950 руб./га
- средства защиты растений min - 590 руб./га
- затраты на опрыскиватели (3 раза) - 1 080 руб./га
- оплата пайщикам за землю - 500 руб./га
- 2 раза продисковать с осени зябь - 1 250 руб./га

- затраты на подвоз и вывоз - 320 руб./га

Итого: 13 650 руб./га, включая затраты на ГСМ, запчасти, амортизацию и зарплату тракториста из расчета 15 тыс. рублей в месяц.

Если разделить 285 тыс. на 13650, то получим: 21 год. Таким образом, только на 21-й год стабильной работы снегогенератора его деятельность окажется рентабельной. Можно пойти другим путем, например, создать пункты по прокату подобных генераторов, типа бывших колхозных МТС. В этом случае их эксплуатация будет более интенсивной, и они окупятся быстрее.

Можно вызвать искусственный снег на площадях в тысячи кв.км другим способом. Для этого необходимо или стимулировать выпадение снега из приближающихся облаков внесением специальных реагентов, или создать низкие облака также с помощью реагента (желательно под инверсией, где слабый ветер). Выпадение снега может быть стимулировано за счет выпадения кристаллов из вышележащих облаков.

В настоящее время существуют различные способы воздействия на условия погоды в локальном масштабе (например, до 100x100 км) с целью изменить их в заказанном (удобном) потребителем направлении. Они включают широкий спектр вопросов в области воздействия на облака и туманы, в том числе по их рассеиванию и созданию, а также по вызыванию и предотвращению дождя [4,5,7] при определенных аэросиноптических и метеорологических условиях (метастабильное состояние [8] и отрицательные температуры воздуха).

В учебниках В.И. Воробьева [1] и А.С. Зверева [3] приводится рисунок 1, из которого видно, в каких случаях следует поучиться у природы. Например известно, что в холодное полугодие иногда зона слабых обложных осадков расширяется за счет выпадения ледяных кристаллов из вышележащих облаков в нижележащие слоистообразные или слоистые.

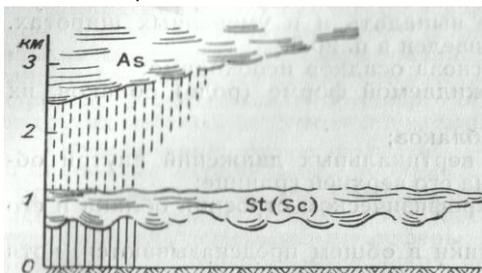


Рис.1. Выпадение слабых осадков зимой из системы нижележащих слоистых или слоисто-кучевых (St-Sc) облаков при наличии полос падения ледяных кристаллов из вышележащих высокослоистых облаков (As) [1,3].

Действуя подобным образом, можно вызвать слабый снегопад перед заданным районом, создав искусственные St-Sc по способу В.А. Зайцева и др. (рис.2) [2]. Для этого самолет выполняет полеты галсами с разворотами на 180° , выбрасывая через выхлопные газы воду, на расстояниях, указанных на рис.2, и на удалении от заданного района с учетом скорости ведущего потока на высоте полета (1000-1500 м) и времени, когда требуется начало снегопада.

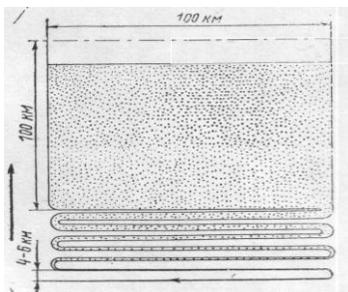


Рис.2. Схема движения самолета-оператора при создании поля искусственной облачности [2].

Если вышележащих облаков нет, то их можно заменить сбрасыванием специальных реагентов из другого летящего выше самолета.

Реагенты, сбрасываемые с самолета, заменяют природные высококучевые и плотные перистые облака. В зависимости от стадии развития нижележащих облаков можно вызвать осадки раньше, выбрасывая заранее определенную норму реагента. Главное, чтобы температуры воздуха были бы у земли и на высотах ниже 0°C [2].

Еще один момент связан с вероятностью оттепелей и заморозков после них. За зиму по средним многолетним данным [11] на ЕТС отмечается 8-9 периодов оттепели, в Западной Сибири и Приморье 5-6, а в Восточной Сибири всего 3 таких периода. Так что эффективность и безотказность работы снегогенератора будут зависеть от географического положения и климатических особенностей местности.

Для предотвращения вымораживания озимых на больших территориях возможно использование авиации путем создания облаков нижнего яруса по способу [2] и вызывания выпадения снега из них или из приближающихся естественных облаков

Заключение

Таким образом, если осуществлять метеозащиту с помощью воздействия с целью образования снежного покрова, то на покрытие территории

площади в 10000 км² (100x100 км) нужно 3-5 самолетов и затраты составят 75-125 млн. руб.

Согласно [12] затраты на 1 га весенних посевов составляют 13650 рублей в ценах на март 2013 года. Тогда для засева площади в 10000 км² потребуется 10000x100x13650 = 13650 млн. руб.

Для ЕТС, учитывая 8 оттепельных периодов, получим затраты для защиты территории величиной 10000 кв.км примерно 800 млн.руб. Тогда расходы уменьшатся примерно в 17 раз. Это тоже достаточно большой экономический эффект.

Список литературы

1. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. - Л.: Гидрометеиздат, 1991. - 616 с.
- 2.Зайцев В.А., Кудрявцев Б.П., Ледохович А.А. Возможности и пути создания полей искусственных облаков.//Метеорология и гидрология. – 1977. - №7. - С. 3-17.
- 3.Зверев А.С. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат, 1968. - 774 с.
- 4.Качурин Л.Г. Физические основы воздействия на атмосферные процессы. Л.: Гидрометеиздат, 1990. - 464с.
- 5.Козлов В.Н., Мазуров Г.И., Акселевич В.И. Искусственное регулирование зимних ливневых осадков над городами. //Тр. ГГО. – 2012. - № 565. – С.241-249.
- 6.Козлов В.Н., Мазуров Г.И., Акселевич В.И. Оценка экономической эффективности искусственного регулирования зимних ливневых осадков над мегаполисом на примере Санкт-Петербурга. // Тезисы Всероссийской конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы. 24-28 октября 2011. - Нальчик,. - С.144-146.
- 7.Колосков Б.П., Корнеев В.П., Щукин Г.Г. Методы и средства модификации облаков, осадков и туманов. - СПб.: РГГМУ, 2012. - 342 с.
- 8.Матвеев Л.Т. Физика атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 2000. – 778 с.
- 9.Российский гидрометеорологический энциклопедический словарь, т.1. - СПб.: Летний Сад, 2008. - 335 с.
- 10.Справочник агронома по сельскохозяйственной метеорологии.- Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 528 с.
- 11.Хайруллин К.Ш. Оттепели на территории СССР. - Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 88 с.
12. <http://www.zol.ru/review/show.php?data=91355>.
13. <http://www.eco-snow.ru/index.php?page=sn3>.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ОБЛАКОВ В АЭРОДИНАМИЧЕСКОМ СПУТНОМ СЛЕДЕ

Г.И. Мазуров¹, В.И. Акселевич², В.П. Белогуб³

¹ФГБУ «ГГО им. А.И. Воейкова», г. Санкт-Петербург

²Санкт-Петербургский университет управления и экономики

³ФБУ ЦЛАТИ по Северо-Западному Федеральному округу

Введение

Известно, что при движении материального тела в жидкой или газообразной среде за ним возникает возмущение, которое в воздухе формируется в виде аэродинамического спутного следа (АСС). Нами была предпринята попытка определения размеров и формы такого следа за морскими судами (МС) и вертолетами. Для этого использовались данные проведенных экспедиций в морские порты Балтийска и Севастополя и полевых экспериментов в районе Воронежа. Они описаны в [5,9,10].

Из этих экспериментов нас интересуют максимальные размеры АСС, возникающих за МС и вертолетами. Размеры АСС за самолетами достаточно хорошо изучены, и создание искусственной облачности в спутном следе самолета запатентовано В.А. Зайцевым и др. в 1966 году [1]. Способы создания искусственных облачных образований и туманов за МС и вертолетами с использованием известных реагентов запатентованы в изобретениях Г.И. Мазурова и др. [6-8].

В данной статье на основании полученных результатов о размерах АСС за МС и вертолетами [5,9,10] произведена теоретическая оценка возможности создания искусственных облаков в спутном следе этих аппаратов-постановщиков с использованием в качестве реагента морской воды, диспергированной до мельчайших частиц [2,3].

1. Методика исследования

Негигроскопический реагент, использованный в натуральных экспериментах, можно заменить морской водой, диспергированной до капель с размерами частиц с диаметром 5-300 мкм, с применением современных струйных форсунок типа Turbotac. [13]. Эти форсунки можно использовать для заполнения АСС водным аэрозолем. Преимуществом этого типа форсунок является то, что они распыляют воду до мельчайших капель и отпадает необходимость испарять ее в выхлопных газах реактивных самолетов, как это делается в изобретении Зайцева и др. [1].

Произведем расчет дополнительно необходимой абсолютной влажности Δa (г/м^3) для увлажнения до полного насыщения 1 м^3 АСС (при фиксированных значениях температуры и относительной влажности воздуха) по формуле

$$(1)$$

заимствованной из [11], где e - парциальное давление водяного пара при температуре воздуха t , а Δa рассчитывается как разность давления насыщения водяного пара E и e . Эти величины определяются по Психрометрическим таблицам [12] в гПа; $\alpha = 1/273 = 0,00366$ - объемный коэффициент расширения газа.

Используя размеры АСС за МС можно рассчитать необходимое количество морской воды Q (в тоннах) для доведения объема V следа до состояния насыщения при различной относительной влажности воздуха (75-98%) и разных температурах воздуха (от 0 до 20°C) по формуле $Q = \Delta a * V$.

Для определения объема V следа за МС используем фотоснимок (рис.1), на котором виден полуконус, поскольку нижняя часть АСС срезается поверхностью воды.

Выполненные натурные эксперименты по визуализации АСС за МС над водной поверхностью позволили определить пространственные характеристики воздушного следа. При благоприятных гидрометеорологических условиях и движении МС строго против ветра на скоростях 20-30 узлов размеры АСС могут достигать 2000 м в длину и формироваться в виде полуконуса (нижняя часть лежащего горизонтально конуса срезана водной поверхностью) с диаметром около 320 м в конце следа [4].

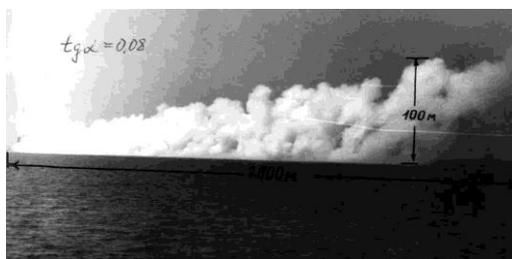


Рис.1. Размеры АСС, визуализированного негигроскопичным реагентом в одном из натурных экспериментов, за МС, двигающимся строго против ветра на скорости 20-30 узлов.

На рис.1 показана горизонтальная протяженность следа за МС, визуализированная аэрозолем, имеющимся на МС. При использовании морской во-

ды протяженность создаваемого облака может быть увеличена, поскольку запасы воды не ограничены. Естественно при увеличении объема облака воды потребуется больше.

Для определения объема АСС возьмем значения высоты следа, угла наклона, протяженности следа и радиуса конуса. По длине следа h и диаметру круга $2r$ объем правильного конуса вычисляется по формуле:

$$V = \pi r^2 h / 3 \quad (2)$$

Тогда объем полуконуса АСС для МС составит $0,5 V$.

2. Результаты теоретических расчетов

В связи с неточностями в определении размеров АСС на фото (рис. 1) рассмотрим два варианта расчета размера АСС за МС по формуле (2):

1-й: если $r = 100$ м и $\text{tg } a = 0.08$, ($h=1250$), то $V = 3.14 \cdot 100^2 \cdot 1250 / 6 = 2.5 \cdot 10^5 \text{ м}^3$

2-й: если $h = 2600$ м, $r=208$ м и $V = 2600 \cdot 208^2 \cdot 3.14 / 6 = 5.9 \cdot 10^6 \text{ м}^3$

Результаты расчета Δa представлены в табл.1. Они подходят для наполнения 1 м^3 АСС и для МС и для вертолета. Значения относительной влажности более 75% для МС приняты потому, что работы по созданию искусственной облачности следует производить в утренние часы, а в это время ее значения не могут быть менее 75% над водной поверхностью.

Таблица 1. Расчет необходимого дополнительного увлажнения 1 м^3 в граммах АСС для достижения полного насыщения воздуха водяным паром при различной относительной влажности воздуха и положительных температурах.

	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	0.98
0	1.2	1.0	0.7	0.5	0.3	0.1
5	1.7	1.4	1.0	0.7	0.3	0.1
10	2.4	1.9	1.4	0.9	0.5	0.2
15	3.4	2.5	2.0	1.3	0.6	0.3
20	4.6	3.5	2.6	1.7	0.9	0.4

В табл.2 и 3 приведены потребные массы воды, необходимые соответственно для первого и второго вариантов размера АСС.

Таблица 2. Необходимое количество воды Q в тоннах для насыщения объема $2.5 \cdot 10^5 \text{ м}^3$

	75 %	80 %	85 %	90 %	95 %	98 %
0	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	0.0

5	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0
10	0.7	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1
15	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2	0.1
20	1.4	1.1	0.8	0.5	0.3	0.1

В дальнейшем, если создавать подобные облака над водной поверхностью с наветренной стороны обслуживаемого района, то они могут быть перенесены на него воздушным потоком и дать, хотя бы слабый дождь.

Таблица 3. Необходимое количество Q в тоннах для насыщения объема $5.9 \times 10^6 \text{ м}^3$

	75 %	80 %	85 %	90 %	95 %	98 %
0	7.1	5.9	4.1	3.0	1.8	0.6
5	10.0	8.3	5.9	4.1	1.8	0.6
10	14.2	11.2	8.3	5.3	3.0	1.2
15	20.1	14.8	11.8	7.7	3.5	1.8
20	27.1	20.7	15.3	10.0	5.3	2.4

Анализ данных табл.1,2 и 3 показывает, что приведенные в них значения резко возрастают при температурах воздуха более 15°C и его влажности менее 80%.

Рассчитаем потребное количество воды Q для достижения насыщения АСС за вертолетом. Для начала произведем расчет объема его АСС, используя размеры АСС, снятые с рис.2, и формулу (2):

$$3,14 \cdot 130^2 \cdot 450 / 3 = 7959900 \text{ м}^3$$

На рис.2 показан АСС за вертолетом. Очевидно, что след имеет форму конуса.

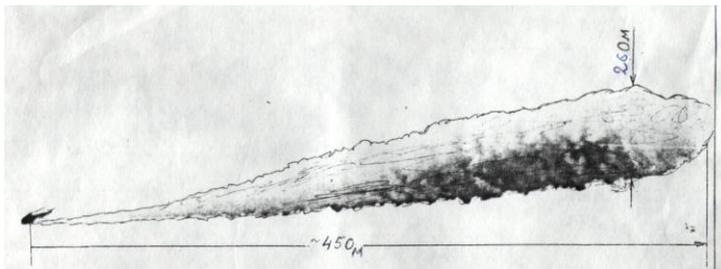


Рис.2. Размеры АСС, визуализированного негигроскопичным реагентом, за вертолетом, летящим со скоростью около 180км/ч.

Будем считать след в форме правильного конуса с площадью круга радиусом 130м в основании. Используя данные табл.1, произведем расчет массы воды Q (тонны) в следе, и получим данные о количестве воды, необходимой для дополнительного увлажнения (при фиксированных значениях температуры и относительной влажности воздуха). Она изменяется от 9.5×10^6 г (9,5 т) и $0,8 \times 10^6$ (0,8 т) при $t = 0^\circ\text{C}$ и до $36,8 \times 10^6$ г и $2,9 \times 10^6$ г, при $t = 200\text{C}$ (табл.4).

Таблица 4. Необходимое количество воды Q в тоннах для насыщения АСС за объема $8.0 \times 10^6 \text{ м}^3$ за вертолетом.

	75 %	80 %	85 %	90 %	95 %	98 %
0	9.5	8.0	5.6	4.0	2.4	0.8
5	13.6	11.2	8.0	5.6	2.4	0.8
10	19.2	15.2	11.2	7.2	4.0	1.6
15	27.2	20.0	16.0	10.4	4.8	2.4
20	36.8	28.0	20.8	13.6	7.2	3.2

Принятые для расчета значения относительной влажности более 75% оправданы, так как создание искусственной облачности следует производить в утренние часы под инверсией, где ее значения не должны быть меньше. Однако облачность за вертолетом можно создавать и при отрицательных температурах. В этих случаях расход воды для дополнительного увлажнения будет меньше, чем при 0°C .

Однако возникают трудности с набором морской воды на вертолет, но зато ее можно доставить подальше от береговой черты на расстояние более 700км. Современные вертолеты типа Ми-26 могут взять на борт около 20 т воды.

Заключение

В целом, ориентировочные расчеты показывают, что для создания искусственной облачности в АСС за МС и вертолетом требуются совершенно различные объемы морской воды. Так, они очень велики при температурах 20°C и 15°C и относительной влажности 75% и 80%, но зато малы при относительной влажности более 95%. Из анализа данных табл.1-4 видно, что приведенные в них значения соответственно Δa и Q уменьшаются в 10-12 раз при увеличении относительной влажности воздуха от 75% до 98 %.

Другой вопрос связан с тем, насколько справятся современные струйные форсунки типа Turbotac [13] с измельчением таких количеств воды до капель с размером от 5 до 300мкм. Морская вода является более

экологически чистым реагентом, чем другие существующие. Дело в том, что её соленость при взаимодействии с влагой атмосферы уменьшается при влажности 75% в 4 раза, а при влажностях 80,90,95 соответственно в 5,10,20 раз.

Список литературы

1. Зайцев В.А., Кудрявцев Б.П., Ледохович А.А. Возможности и пути создания полей искусственных облаков.// Метеорология и гидрология. 1977. №7. С. 3-17.

2. Козлов В., Емельянова Н., Коршун Н. Искусственное регулирование осадков. Saarbruken: Lambert. 2013. 362 с.

3. Колосков Б.П., Корнеев В.П., Щукин Г.Г. Методы и средства модификации облаков, осадков и туманов.- СПб.: РГГМУ, 2012. 342 с.

4. Мазуров Г.И. Основные результаты численных, лабораторных и натурных экспериментов по созданию искусственных облачных образований. // Метеоспектр. № 4. С. 55-72.

5. Мазуров Г.И., Акселевич В.И., Биденко С.И. Облачные мезонеоднородности и возможности управления их эволюцией в целях создания локальных благоприятных условий погоды.- СПб.: "Технолит", 2013. 191 с.

6. Мазуров Г.И., Дубрович Н.А. Способ образования искусственного тумана. А/с № 1614152 с приоритетом от 25.04.1988. 3 с.

7. Мазуров Г.И., Кузнецов Ю.М. Способ образования искусственного тумана над водной поверхностью. А/с № 1827751. Приоритетом от 22.05. 1990. 3 с.

8. Мазуров Г.И., Матвеев Л.Т. Способ образования искусственных облаков. А/с № 1812652 с приоритетом от 10.10.1992. 3 с.

9. Мазуров Г.И., Нестерук В.Н. Метеорологические условия и полеты вертолетов.- Спб., Гидрометеиздат, 1992. 256 с.

10. Мазуров Г.И., Нестерук В.Н. Физико-метеорологические условия образования облачных следов за вертолетами. // Тр. ГМЦ. - Л.: Гидрометеиздат. 1982. Вып. 247. С. 66-78

11. Матвеев Л.Т. Физика атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 2000. 778 с.

12. Психрометрические таблицы.- Л.: Гидрометеиздат, 1981. 271 с.

13. //www.turbosonic.com/products/nozzles/turbotac.

УЧЕТ ФОРМИРОВАНИЯ ВОЗМОЖНЫХ ОРОГРАФИЧЕСКИХ ОСАДКОВ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ И ОЦЕНКЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ОПЫТОВ ПО УВЕЛИЧЕНИЮ ОСАДКОВ

С.Г. Филиппов

*Научно-исследовательский гидрометеорологический институт
(НИГМИ) Узгидромета, г. Ташкент*

Осадки относятся к числу наиболее изменчивых во времени и пространстве метеорологических величин. Ни у кого не вызывает сомнения, что на распределение осадков огромное влияние оказывает рельеф местности, который к вертикальным движениям внутри облачных масс добавляет вертикальные движения за счет орографии. Эти направленные вверх вертикальные движения являются важнейшим фактором, определяющим образование облаков и поддерживающим их существование. На расчетах вертикальных потоков построены многочисленные прогностические схемы. При этом, несмотря на особую диагностическую и прогностическую ценность данных о вертикальных движениях, количественных сведений о вертикальных потоках очень мало. В преобладающей части облачных систем значения w - вертикальной скорости не превышают 1–10 см/с, а непосредственные измерения столь малых скоростей внутри облачных систем остаются за пределами инструментальных возможностей.

Для Среднеазиатского региона, обладающего достаточным количеством облачных ресурсов, большой территорией, занятой горами (≈ 490 тыс. км²), на которой выпадает порядка 470 мм осадков, часть из которых является орографическими, т.е. в большой мере вызваны вертикальными движениями, возникающими за счет орографии, целесообразно увеличение осадков за счет использования их орографической составляющей (рис.1). Следовательно, насущной необходимостью становится цель смоделировать возникновение и развитие орографических осадков. Моделировать орографические осадки довольно непростая задача, связанная с необходимостью учёта многих факторов: высоты подъёма воздуха, конденсации и выпадения сконденсировавшей влаги. Для фактического рельефа вертикальную составляющую потока перпендикулярно препятствию определяем из уравнения

$$w_{op} = u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y},$$

где $\frac{\partial h}{\partial y}$ и $\frac{\partial h}{\partial x}$ - величины пространственных наклонов гор.

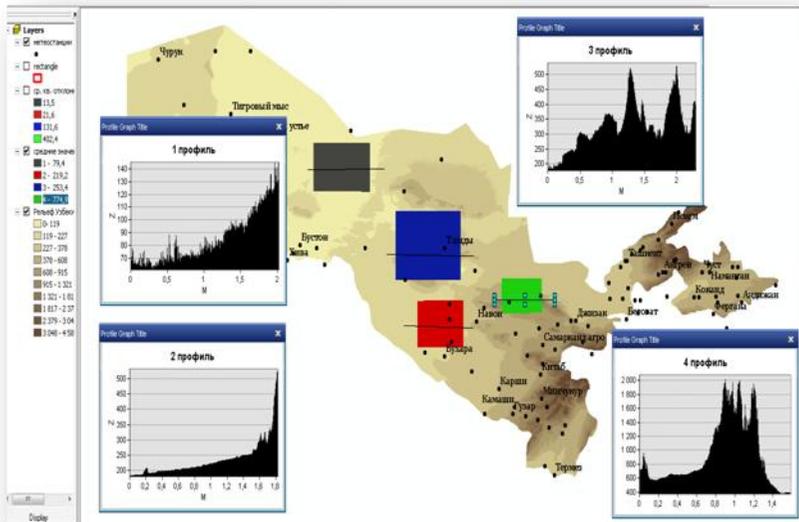


Рис. 1. Профили рельефа в зонах расчета. Направление с запада на восток.

Несмотря на то, что структура формулы очень проста, вычислить по ней значение, близкое к действительному и необходимому для расчёта различных элементов погоды, очень сложно. Для этого нужно иметь цифровую карту местности, пересчитанную в узлы регулярной сетки. Такая цифровая модель поверхности (ЦМП) была построена с помощью ГИС-технологий. Были рассчитаны вертикальные токи, связанные орографией по методу Зализняка [1]. Эти расчёты были проведены на цифровой модели рельефа и для направлений воздушных потоков, дающих основной вклад в долю осадков на территории Узбекистана. Расчёты показали, что для отдельных районов вертикальная скорость, связанная с орографией, может достигать 5–6см/с (рис.2). Оценка облачного слоя, в котором движется воздушная частица, с учётом трения составила ~ 750 м.

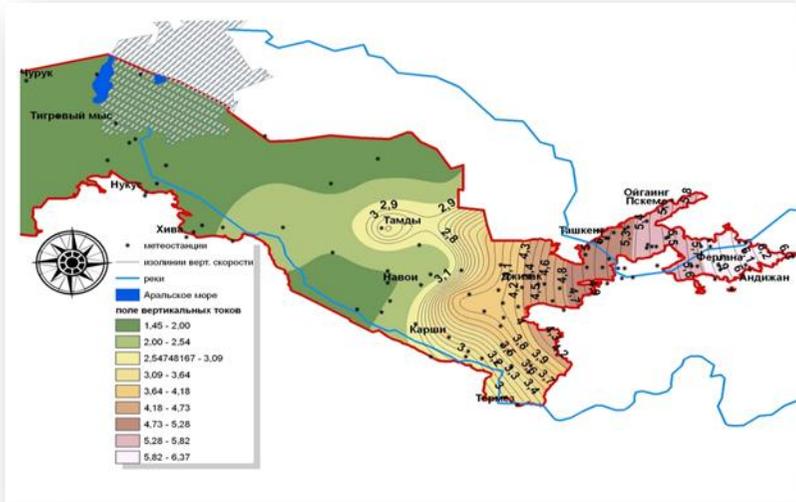


Рис.2.Вертикальные токи при западных направлениях воздушных течений.

Рассчитаем рост капли в этом слое по формуле $r_m = \sqrt{2\varepsilon Dt}$, где D - коэффициент диффузии водяного пара в воздухе; t -время существования капли в облаке. Если предположить скорость восходящего потока w_e постоянной, то время нахождения облачной капли в слое облака, определяем по формуле $t = \frac{H}{w_e - w_k}$, а из неё получаем формулу для роста капель радиусом r_m с высотой:

$$r_m = \sqrt{2 \frac{\varepsilon}{w} DH},$$

где ε - абсолютное пресыщение.

Величина λ для не очень мощного облака, которое нами взято для расчета, практически не зависит от скорости восходящего потока. Поэтому

$\varepsilon^* \frac{D}{w} \approx \lambda$ - постоянная величина и согласно [2] ≈ 10 -11см.

$$r_m = \sqrt{2\lambda H} \approx 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ см} = 12 \text{ мк}. \text{ Для осадков это недостаточно.}$$

Но, применив методы активного воздействия, этот резерв влаги можно получить в виде осадков. Расчеты, проведенные нами, совпадают с экспериментально установленными размерами капель, полученных Зайцевым В.А.[3] еще в 1948г., Мазиным и Хргианом [4].

Таблица 1. Рост с высотой радиуса капель, дающих максимум водности летних облаков по Зайцеву В.А.

Высота над основанием облака, м	1100	2200	4400	6600	8800	11000
r_m , мк	55,5	99,0	99,5	99,5	111,5	114,5

Наблюдения на полигоне ОАВ в Шахрисабзе показали, что толщина облачности, наблюдаемой над полигоном, в среднем для обложных осадков составляет от 2 до 3,5 км и, следовательно, величина капли вырастет в соответствующее число раз. Расчет орографически обусловленной вертикальной составляющей скорости (рис.3 и рис.4) показал, что полигон, расположенный в Кашкадарьинской области возле г. Шахрисабза, попадает в зону, где w имеет значение от 3 до 4 см/с. Для юго-западных направлений воздушных потоков местность, где расположен осадкомерный полигон, представляет из себя открытую для этих потоков горную долину треугольной формы (рис.3) со всеми свойственными такой долине особенностями воздушных течений и не однородностью поля осадков. На рис.4 показано привязка поля осадков к рельефу данной местности.

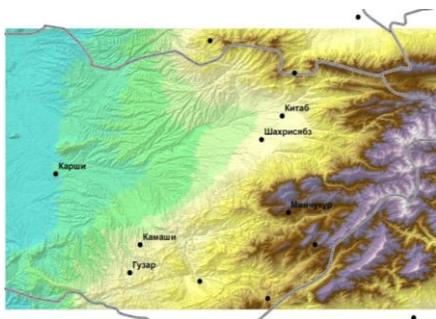


Рис.3. Область рельефа, где расположен полигон.

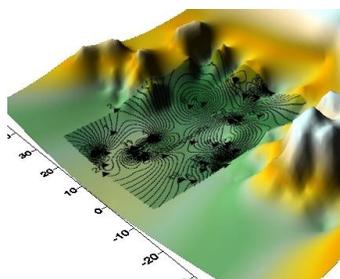


Рис.4. Привязка поля осадков к рельефу местности методами ГИС.

На рис.5 показаны поля осадков, полученные с помощью осадкомерной сети, которые методами ГИС анализа наложены на рельеф. Отчетливо видно усиление осадков в потоках, попадающих в зону орографических вертикальных токов. Для сравнения были проведены анализы поля осадков с осадкомерной сети и поля осадков полученного на МРЛ.

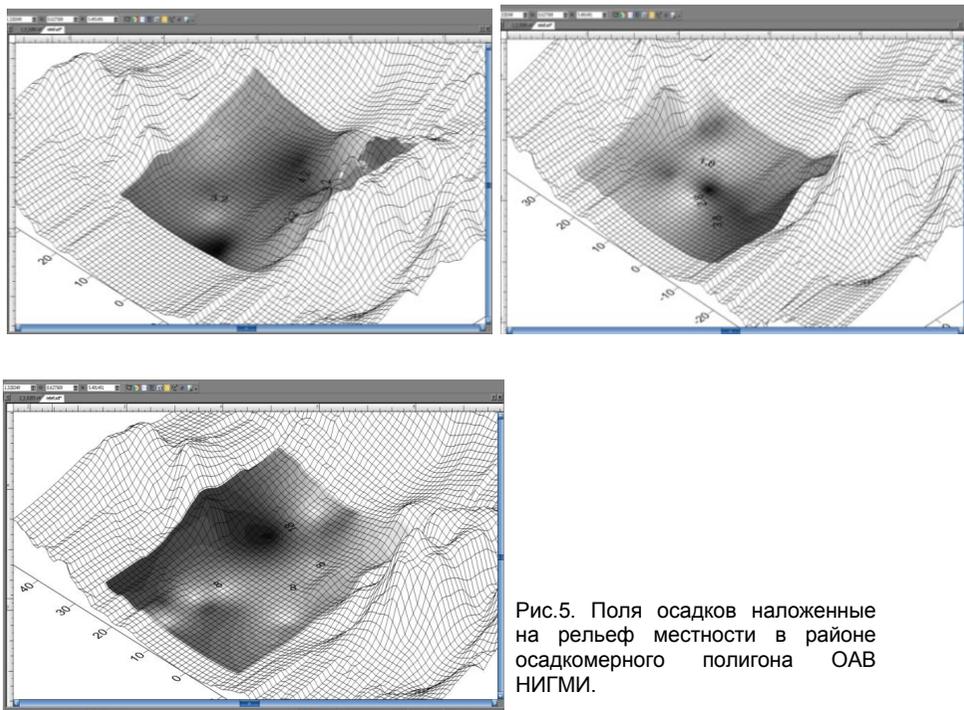


Рис.5. Поля осадков наложенные на рельеф местности в районе осадкомерного полигона ОАВ НИГМИ.

Как видим, эти изображения совпадают, несмотря на то, что осадкомерное поле является более интегрированным, в то время как поле осадков, полученное на МРЛ, является более детализированным.

Анализ литературных данных, показывает, что для фронтальных облачных систем, которые удалены от фронта на несколько сотен километров, наиболее характерны значения w от 10^{-1} – 10 см/с. Чаще всего в разных участках облаков N_s , A_s , дающих осадки, значения w колеблется в диапазоне от 1–5 до 15-20 см/с [5].

При $w = 0,1$ м/с из облака может выпасть 0,4 мм осадков, при $w = 1$ м/с - 3,7 мм, при $w = 5$ м/с - 11,3 мм. Доля сконденсированной влаги, выпадаю-

щей в виде осадков, колеблется от 0,7 для облака с вертикальными движениями порядка $w = 0,5$ м/с до 6 для облака с $w = 3$ м/с.

Общая продолжительность осадков (вне связи с их интенсивностью) для облаков с малой скоростью развития может продолжаться свыше полутора часов.

Полученные расчеты сопоставлялись с климатическими данными по осадкам. Для сравнения брались многолетние данные для зимних, весенних как наиболее многоводных и летних месяцев. Расчеты показали, что поле вертикальных движений, рассчитанное для направлений, наиболее часто отмечаемых для Среднеазиатского региона и вносящих наибольший вклад в осадки этого региона, хорошо коррелирует с полем осадков. Наибольшее количество осадков выпадает в высокогорных областях, здесь же отмечают максимальные значения вертикальных движений.

Таким образом, полученные расчеты, как нам представляется, правильно отражают основные черты орографических осадков, они не противоречат экспериментальным данным, полученным на полигоне ОАВ. Исходя из сделанных расчётов и приведенных графиков, доля орографических осадков, по нашим оценкам, достигает десятой части от общего количества выпавших осадков, и это может служить весомым добавком к пополнению влагозапаса региона.

Список литературы

1.Зализняк Е. Л. Расчет орографических вертикальных движений воздуха в центральных и южных районах Красноярского края//Тр. Гидрометцентра.-1972.- Вып.91.- С.110-115.

2.Шишкин Н. С. Облака, осадки и грозное электричество.- Л.: Гидрометеоиздат, 1964.-400с.

3.Зайцев В.А. Размеры и распределение капель в кучевых облаках//Тр. ГГО.- 1948. -Вып.13.

4.О б л а к а и облачная атмосфера//Справочник. Под ред. д-ра физ.-мат. наук Мазина И.П. и д-ра геогр. наук Хргиана А.Х.

5.Юсупов Ю. И Использование изэнтропического анализа в оперативном краткосрочном прогнозе погоды, 2012.- Метеорология и гидрология.- 2012.- № 1.

6.Мазин И.П., Хргиан А. Х. Облака и облачная атмосфера Справочник для специалиста.- Л.: Гидрометеоиздат, 1989 г.

РАССЕЯНИЕ ТЕПЛЫХ ТУМАНОВ МИКРОВЗРЫВАМИ ТЕПЛОВЫХ ЗАРЯДОВ

М.К. Жекамухов¹, Х.М. Калов², Р.Х. Калов²

¹ - Кабардино-Балкарский государственный университет
им. Х.М. Бербекова, г. Нальчик

² - ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», г. Нальчик

Введение

Многие виды человеческой деятельности связаны с необходимостью рассеяния туманов, например, для увеличения метеорологической дальности видимости в аэропортах, морских пристанях, горнолыжных трассах, для повышения эффективности применения авиационных оптико-электронных и тепловизионных систем наведения, отличающихся повышенной чувствительностью к метеорологическим условиям и др.

Для рассеяния переохлажденных облачных образований используются традиционные реагенты, такие как кристаллизующие реагенты, хладореагенты. Переохлажденные туманы и низкие слоистые облака (НСО) составляют всего 5% от их общего количества, остальные 95% составляют теплые туманы и НСО. Наибольшую сложность представляет рассеяние теплых туманов и НСО. Для рассеяния последних используются тепловые методы, основанные на повышении температуры облачной среды.

В Высокогорном геофизическом институте (ВГИ) разработаны тепловой метод и технические средства для их рассеяния [2]. Повышение температуры тумана осуществляется микровзрывами специальных устройств, при срабатывании которых происходит выделение энергии и образование ударных волн.

Для испытания метода и средств воздействия в ВГИ проведены натурные эксперименты, в которых использованы высококалорийные вещества – горючие композиции в двух режимах их сжигания: в режиме детонации с образованием воздушных волн сжатия, распространяющихся в облачной среде со скоростями $450+600 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ и в режиме горения, при котором происходит мощное тепловое излучение (10^4 ккал при сгорании 1 кг вещества).

При распространении ударных волн в облачной среде происходит скачкообразное повышение давления и температуры на фронте волны [1,3].

В данной статье приводятся результаты расчетов трансформации спектра облачных капель в ударной волне и испарения капель в поле теплового излучения. В качестве технического средства воздействия в работе исполь-

зуются тепловые заряды, снаряжённые высококалорийными веществами с добавлением карбида кальция.

1. Трансформация спектра облачных капель в ударной волне.

Уравнение, описывающее трансформацию спектра облачных капель в ударной волне, имеет вид:

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial r}(rf) = 0, \quad (1)$$

где $f(r,t)$ – функция распределения капель по размерам; $\dot{r} = \frac{dr}{dt}$ определяется формулой

$$\dot{r} = \frac{D\rho_n(T_0)\beta Lq^{1/3}}{\rho_k\rho_0C_pR_nT_0^2R} \cdot \frac{1}{r}$$

Общее решение уравнения (1) имеет вид:

$$f(r,t) = r\psi(r^2 + at), \quad (2)$$

где $a = \frac{2D\rho_n(T_0)\beta Lq^{1/3}}{\rho_k\rho_0C_pR_nT_0^2R}$, ψ – произвольная функция от r и t .

Вид функции ψ устанавливается исходя из начального условия $f(r,t) = f_0(r)$, где $f_0(r)$ – функция распределения облачных капель в невозмущенной облачной среде. Из равенства (2) при этом получаем

$$\psi(Z) = \frac{f_0(\sqrt{Z})}{\sqrt{Z}},$$

где Z – произвольный параметр, а само решение $f(r,t)$ принимает вид:

$$f(r,t) = r \frac{f_0(\sqrt{r^2 + at})}{\sqrt{r^2 + at}}. \quad (3)$$

Испарение облачных капель происходит лишь на протяжении времени сжатия $t=t_+$. При этом произведение at_+ можно представить в виде

$$at_+ = b \left(\frac{q}{R} \right)^{1/2}, \quad (4)$$

$$\text{где } b = \frac{2\rho_n(T_0)LД(\alpha\beta)}{R_n T_0^2 \rho_k \rho_0 C_p}.$$

Таким образом, после прохождения ударной волны спектр облачных капель на расстоянии R от центра взрыва принимает вид:

$$f(r, t_+) = r \frac{f_0 \left(\sqrt{r^2 + b \left(\frac{q}{R} \right)^{1/2}} \right)}{\sqrt{r^2 + b \left(\frac{q}{R} \right)^{1/2}}}. \quad (5)$$

Для иллюстрации характера трансформации спектра облачных капель в ударной волне на различных расстояниях от центра взрыва примем, что $f_0(r)$ представляет собой распределение Хргиана-Мазина

$$f_0(r) = Ar^2 e^{-\frac{2r}{r_m}},$$

где r_m - модальный радиус облачных капель; $A = \frac{4N}{r_m^3}$, N - число ка-

пель всех размеров в единице объема. При этом из формулы (5) имеем

$$f(r, t_+) = Ar \sqrt{r^2 + b \left(\frac{q}{R} \right)^{1/2}} \exp \left[-\frac{2 \sqrt{r^2 + b \left(\frac{q}{R} \right)^{1/2}}}{r_m} \right].$$

Отсюда получаем

$$\frac{f(r, t_+)}{Ar_m^2} = x \sqrt{x^2 + \frac{b}{r_m^2} \left(\frac{q}{R} \right)^{1/2}} \exp \left[-2 \sqrt{x^2 + \frac{b}{r_m^2} \left(\frac{q}{R} \right)^{1/2}} \right]. \quad (6)$$

В этой формуле r_m выражено в мкм, $x = r/r_m$.

При приведенных выше значениях параметров, фигурирующих в (4), параметр $b = 2,236$. При взрыве заряда на поверхности грунта параметр b увеличивается в $\sqrt{2}$ раз, т.е. $b=3,162$, а при взрыве заряда на некоторой высоте h над поверхностью земли b умножается на 4, т.е. $b=8,944$.

На рис. 1 показана трансформация спектра облачных капель на расстояниях $R = 50$ и 100 м от центра взрыва при $q = 10$ кг и $r_m = 1$ мкм; верхний ряд рисунков относится к взрыву в облаке, средний ряд – к взрыву на поверхности грунта (в густом тумане) и нижний – к взрыву над поверхностью земли ($h = 1 \dots 2$ м).

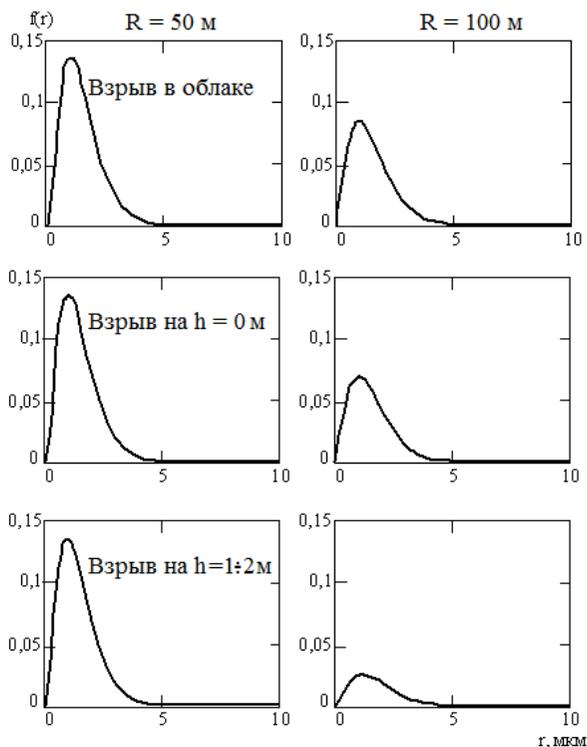


Рис. 1. Трансформация спектра $f(r)$ облачных капель на расстояниях 50 и 100 м от центра взрыва. Верхний ряд рисунков относится к случаю взрыва в облаке, средний ряд – на поверхности земли, нижний ряд – на высоте нескольких метров от поверхности земли.

Как видно из рисунка, наибольший эффект получается в случае взрыва над поверхностью земли. При этом существенное уменьшение водности

облака (тумана) и образование просвета в облачной среде возможно в радиусе до 100 м и более.

2. Испарение капель в поле излучения взрывных газов

Эффект воздействия взрыва на облачную среду существенно может быть усилен путем добавления к заряду определенного количества таких веществ, которые не окисляются (не соединяются с кислородом) в процессе детонации. Перемешивание таких веществ с воздухом вызывает интенсивное догорание взрывных газов и к дополнительному выделению тепловой энергии. При определенных условиях такой процесс может привести к существенному увеличению радиуса R_k шарообразного объема, занимаемого взрывными газами (до 10...15 м), и к повышению температуры до 2500°C и более. При таких температурах и объемах раскаленная газовая масса излучает как абсолютно черное тело, т.е. энергия, излучаемая единичной поверхностью газового шара, определяется формулой $W = \delta T^4$, где T – абсолютная температура поверхности взрывных газов; δ – постоянная Стефана-Больцмана. При температурах $2000\text{--}3000^{\circ}\text{K}$ почти вся энергия излучения приходится на видимые и инфракрасные лучи, для которых холодный воздух является совершенно прозрачным. Мощность излучения, падающего на каплю радиуса r , находящуюся на расстоянии R от центра взрыва, равна

$W \left(\frac{R_k}{R} \right)^2 \pi r^2$. Если обозначить через χ долю этой энергии, которая по-

глощается каплей, то уравнение, описывающее испарение капли, может быть записано в виде

$$L \frac{dm}{dt} = W \left(\frac{R}{R_k} \right)^2 \pi r^2 \chi, \quad (7)$$

где m – масса капли.

Коэффициент χ , вообще говоря, зависит от радиуса капли, но мы, к сожалению, не располагаем данными о характере этой зависимости. Поэтому, для упрощения дальнейших расчетов будем считать его постоянным. При этом, интегрируя уравнение (7), получаем

$$r = r_0 - \frac{\chi W}{4 \rho_k L} \left(\frac{R_k}{R} \right)^2 t. \quad (8)$$

Отсюда для времени полного испарения капли получаем формулу

$$\tau = \frac{4\rho_k r_0 L}{\chi W} \left(\frac{R}{R_k} \right)^2. \quad (9)$$

Обычно интенсивное излучение нагретого газового шара происходит в течение времени t_1 порядка двух-трех секунд. Тогда, подставляя в формулу (9) вместо τ время t_1 , найдем

$$R = R_k \left(\frac{\chi \delta T^4 t_1}{4\rho_k L r_0} \right)^{1/2}. \quad (10)$$

Формула (10) определяет радиус шара R , внутри которого все облачные капли с радиусами $r \leq r_0$ полностью испаряются под воздействием падающего излучения.

Если для оценочных целей примем $\chi = 0,1$; $t_1 = 2$ с, то подставляя в (10) значения $\delta = 5,67 \cdot 10^{-5} \frac{\text{эрг}}{\text{см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{град}^4}$; $L = 600 \text{ кал/г} = 2,5 \cdot 10^{10} \text{ эрг/г}$; $T = 2800^\circ\text{K}$; $r_0 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ см}$ получаем: $R = 5,9R_k$, т.е. при $R_k = 10 \text{ м}$ $R \cong 60 \text{ м}$.

Далее, из формулы (8) следует, что при $\chi = \text{const}$ скорость испарения капель в поле излучения является постоянной для всех размеров капель:

$$\dot{r} = -\frac{\chi W}{4\rho_k L} \left(\frac{R_k}{R} \right)^2.$$

При этом общее решение уравнения (1) имеет вид:

$$f(r, t) = \psi(r - \dot{r}t).$$

Смысл этого решения заключается в том, что вдоль характеристик уравнения (1)

$$r + \frac{\chi W}{4\rho_k L} \left(\frac{R_k}{R} \right)^2 t = C_1,$$

где C_1 – произвольная постоянная; график функции $t_0(r)$ переносится справа налево без искажения.

На рис.2 схематически показаны кривые $f(r, t)$ в различные моменты времени: первоначальный график $f_0(r)$ перемещается справа налево без искажения своего профиля, вдоль оси t .

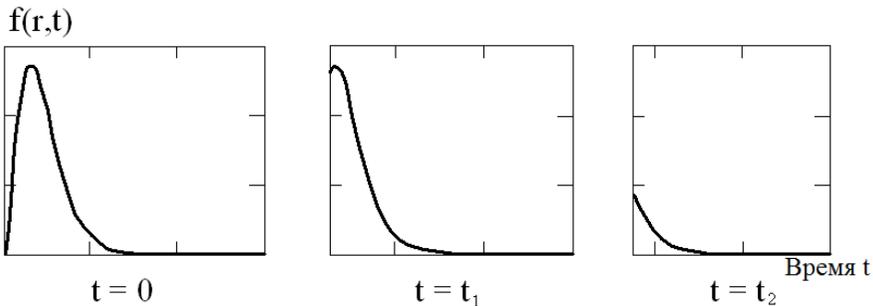


Рис.2. Схематическое изображение трансформации спектра облачных капель в зоне излучения взрывных газов.

Из приведенных выше расчетов следует, что при взрыве заряда в слоистом облаке можно получить зону просветления с радиусами 100 и более метров в зависимости от величины водности облака.

В заключение отметим, что при взрыве теплового заряда возникает облако расширяющихся взрывных газов, тепловое излучение которого способствует испарению капель облачного образования и созданию зоны просветления в тумане радиусом до 100 и более метров при величине заряда $q = 10$ кг.

Список литературы

1. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. – М.: Наука, 1966. – 687 с.
2. Калов Х.М., Калов Р.Х. Физические основы, методы и средства активных воздействий на грозоградовые облака и туманы. – Нальчик: Изд. М. и В. Котляровых (ООО «Полиграфсервис и Т») 2010. – 220 с.
3. Покровский Г.И. Взрыв. – М.: Недра, 1967. – 411 с.

Секция 3. Прогноз опасных гидрометеорологических явлений. Оценка эффективности активных воздействий. Экологические и климатологические аспекты опасных конвективных явлений погоды.

ГИДРОДИНАМИКО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ СИЛЬНЫХ И ОПАСНЫХ ОСАДКОВ И ВЕТРА И ВЫЗЫВАЕМЫХ ИМИ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ – СМЕРЧЕЙ, СЕЛЕЙ И ОПОЛЗНЕЙ ПО ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

Э.В. Переходцева

ФГБУ «Гидрометцентр России», г. Москва

Введение

Территория Северного Кавказа является очень сложным в климатическом и географическом отношении регионом, в котором повторяемость сильных и опасных осадков, порой вызывающих наводнения, сели и оползни, а также сильного ветра и смерчей на побережье и акватории Черного моря значительно выше, чем в других регионах России. Для данного региона в течение многих лет разрабатывались и использовались графические и расчетные методы краткосрочного и сверхкраткосрочного прогноза ливней, града и шквалов, вошедшие в Руководство по краткосрочным прогнозам погоды (авторы – Сулаквелидзе Г.К., Федченко Л.М., Гораль Г.Г., Глушкова Н.И., Лапчева В.Ф. и др.). Однако эти методы в значительной степени субъективны, зависят от точности предварительного анализа фронтогенеза и циклогенеза. Гидродинамические модели прогноза погоды пока дают очень невысокую предупрежденность (4%-15%) и сильного ветра, и сильных осадков [2]. В 1985г. в Гидрометцентре России с целью объективизации прогноза шквалов был разработан объективный физико-статистический метод прогноза шквалов и ветра со скоростью 20м/с и более для территории Европейской части России (ЕТР) [8,9]. Этот метод был рекомендован ЦМКП от 21 октября 1987г. к внедрению в трех УГМС на ЕТР и на Украине ввиду его преимуществ над используемыми методами при его технологичности. Метод неоднократно излагался в лекциях на курсах повышения квалификации (г. Лучино, Московская область).

С целью полной автоматизации методов прогноза шквалов, максимального ветра со скоростью $V > 19\text{ м/с}$ и опасного ветра с $V > 24\text{ м/с}$ нами были разработаны гидродинамико-статистические методы прогноза шквалов и опасного ветра, включая смерчи, с использованием выходных прогностических полей полусферной модели (автор Беркович Л.В.). Для прогноза силь-

ных ливней также были разработаны соответствующие методы, которые впоследствии успешно прошли испытания, в том числе и в Северо-Кавказском УГМС. В течение более 10 лет до 2006 года прогнозы шквалов и ливней передавались по центральным каналам связи (ЦКС) в пять УГМС европейской части России [4,5,6].

За последние годы с введением в эксплуатацию региональной модели (автор Лосев В.М. [7]), имеющей горизонтальное разрешение 75x75км, были разработаны новые методы гидродинамико-статистического прогноза, приспособленные к прогностическим полям региональной модели. Была проведена авторская и независимая верификация этих методов, которые в настоящее время рассчитываются в оперативной системе АСОИИ Гидрометцентра России два раза в сутки с заблаговременностью 12-48ч и выкладываются на FTP-сервер Гидрометцентра РФ для использования синоптиками всех УГМС ЕТР и Республики Беларусь.

Физико-статистический метод прогноза летних шквалов со скоростью $V>19\text{м/с}$

При разработке объективного физико-статистического метода прогноза шквалов и ветра со скоростью $V>19\text{м/с}$ использовались статистические методы распознавания метеорологических ситуаций (интерпретируемых как вектора $\mathbf{X}(A)=(x_1(A), x_2(A), \dots, x_n(A))$, способствующих возникновению этого явления (A), и ситуаций $\mathbf{X}(B)=(x_1(B), x_2(B), \dots, x_n(B))$, соответствующих отсутствию шквалов, т.е. наличию явления B. Использование байесовского подхода к распознаванию этих явлений и построению дискриминантной функции $U(\mathbf{X})$ разделения на обучающей выборке этих множеств векторов (этих метеоситуаций) описано в [1,8].

В [8] описан алгоритм сжатия пространства потенциальных предикторов размерности $N=26$ без значительной потери информации (эмпирико-статистический метод), чтобы избежать полного перебора всех групп предикторов и исследования их информативности ($2^{26}-1$ сочетаний). Эмпирико-статистический метод предполагает приведение средней выборочной матрицы ковариации \mathbf{R} перестановкой строк и столбцов к диагональному блочному виду, когда вне блоков парные коэффициенты r_{ij} менее выбранного порога связности r_0 , а внутри блоков $r_{ij} > r_0$. В вектор-предсказатель, таким образом, отбираются наиболее информативные отдельные предикторы и предикторы – представители от диагональных блоков. Информативность предикторов оценивалась по критериям информативности – расстоянию Махаланобиса [1,8], критерию минимальной энтропии Вапника-Червоненкиса H_{\min} [3,8]. Из табл.1 видно, что вошедшие в вектор-

предсказатель предикторы достаточно информативны по обоим критериям. Вектор-предсказатель выбран из расчета лучших оценок разделения на обучающей и независимой выборках. Перечень потенциальных предикторов представлен в табл.1.

Таблица 1. Значения расстояния Махаланобиса и минимальной энтропии для 26 потенциальных предикторов.

№№	Обозначение	Расстояние Махаланобиса	Минимальная энтропия	M (A)	M (B)
1	V_{850}	0.570	0.623	11.1	7.94
2	V_{700}	1.33	0.558	14.0	8.98
3	V_{500}	0.300	0.600	17.1	12.0
4	$V_{850}+V_{700}+V_{500}$	1.14	0.561	47.5	32.8
5	ΔH	0.382	0.625	583.0	503.0
6	δh	0.053	0.655	281.0	256.0
7	$H_{\text{конд.}}$	0.003	0.662	828.0	837.0
8	H_{-10}	0.571	0.608	547.0	580.0
9	H_0	0.746	0.588	669.0	715.0
10	D_{700}	0.003	0.653	5.51	5.8
11	D_{500}	0.002	0.667	8.15	8.4
12	$D_{700}+D_{500}$	0.011	0.668	13.7	14.2
13	$(T'-T)_{700}$	0.072	0.648	3.54	3.01
14	$(T'-T)_{500}$	0.626	0.610	5.30	2.91
15	$\Sigma(T'-T)_i$	0.093	0.622	8.89	5.93
16	$T_{\text{конв.}}$	0.41	0.624	-50.3	-40.6
17	$(T'-T)_{\text{max}}$	0.475	0.627	6.93	4.88
18	$H_{(T'-T)_{\text{max}}}$	0.625	0.584	6.06	5.43
19	dT/dn_3	0.841	0.594	8.89	5.39
20	фронт	0.38	0.594	2.97	4.43
21	ΔP_3	0.13	0.65	3.97	0.24
22	T_3	0.847	0.572	27.8	23.8
23	Td_3	0.978	0.58	15.4	11.6
24	dT/dn_{850}	0.464	0.624	4.69	2.94
25	ΔH_{850}	0.001	0.661	1.18	0.850
26	ΔT_{850}	0.005	0.656	-4.6	-0.73

Выбранный наиболее информативный вектор-предсказатель, состоящий из шести параметров атмосферы, имеет вид:

$$(V_{700}, H_0, (T'-T)_{500}, dt/dn_3, T_3, Td_3),$$

(1)

где V_{700} – значение средней скорости ветра на уровне 700 гПа, м/с; H_0 – уровень изотермы 0°C, гПа; $(T'-T)_{500}$ – разность между значением кривой стратификации на уровне 500гПа и значением влажной адиабаты на уровне

500гПа, °С; dt/dn_3 –максимальная разность между температурой на фронте на уровне земли в радиусе 250 км от пункта прогноза, °С; T_3 – значение максимальной температуры на уровне земли, °С; Td_3 – значение максимальной температуры точки росы на уровне земли, °С.

Дискриминантная функция $U(X)$ диагноза и прогноза была построена в зависимости от значений (фактических или прогностических) входящих в нее указанных предикторов. Испытания, как было упомянуто во **Введении**, показали преимущество этого метода.

Гидродинамико-статистические методы прогноза сильных шквалов, опасного ветра и сильных летних осадков на территории ЕТР

В связи с внедрением в Гидрометцентре России первой оперативной полусферной неадиабатической модели краткосрочного прогноза погоды по полным уравнениям (автор Беркович Л.В.) появилась возможность полной автоматизации статистического прогноза шквалов, опасного ветра и сильных летних осадков двух градаций. Отбор информативного вектора-предсказателя для каждого явления из нового, более широкого множества предикторов и построение новых дискриминантных функций $F_i(X)$, $i=1, \dots, 4$ проводился теми же методами, что и ранее [8]. В табл.2 представлены обозначения и названия предикторов, которые прогнозируются полусферной моделью. На новых обучающих выборках представленных предикторов (значений полей объективного анализа) для двух классов наличия явлений сильного и опасного ветра был выбран вектор-предсказатель:

$$X=(H_{1000}, T_3, Td_3, V_{700}, V_{500} - V_{700}, lw, \nabla T_3, T_{300}) \quad (2).$$

Таблица 2. Перечень потенциальных предикторов для разработки гидродинамико-статистических моделей прогноза шквалов, опасного ветра и сильных и опасных осадков для ЕТР

	Обозначение	Параметры атмосферы
1	P	Давление на уровне моря.
2–6	$H_{1000}, H_{850}, H_{700}, H_{500}, H_{300}$	Геопотенциал на уровне 1000, 850, 700, 500, 300 гПа
7	T_3	Температура у поверхности земли
8–12	$T_{925}, T_{850}, T_{700}, T_{500}, T_{300}$	Температура на уровне 925, 850, 700, 500, 300 гПа
13	Td_3	Температура точки росы у поверхности земли
14–18	$D_{925}, D_{850}, D_{700}, D_{500},$	Дефицит точки росы на уровне 925, 850, 700

	D_{300}	, 500 ,300 гПа
19–28	U_{925} и V_{925} , U_{850} и V_{850} , U_{700} и V_{700} , U_{500} и V_{500} , U_{300} и V_{300} ,	Горизонтальная и вертикальная компоненты скорости ветра на уровне 925, 850, 700, 500, 300 гПа
29	W	Значение упорядоченных вертикальных движений
30	I_w	Значение индекса неустойчивости Вайтинга
31	$U_{850}-U_{925}$	Разность горизонтальных компонент на уровнях 850 и 925 гПа
32	$V_{850}-V_{925}$	Разность вертикальных компонент на уровнях 850 и 925 гПа
33	$U_{500}-U_{700}$	Разность горизонтальных компонент на уровнях 500 и 700 гПа
34	$V_{500}-V_{700}$	Разность вертикальных компонент на уровнях 500 и 700 гПа
35–37	$ \nabla T_3 $, $ \nabla T_{925} $, $ \nabla T_{850} $	Модуль горизонтального градиента температуры у поверхности земли, на уровне 925, 850 гПа
38	ΔP_3	Лапласиан давления у поверхности земли

Гидродинамико-статистический метод прогноза шквалов и ветра с $V > 19$ м/сек (в соответствии с концепцией «совершенного прогноза») после проведения независимых испытаний в пяти УГМС (включая УкрУГМС), был рекомендован ЦМКП к использованию в синоптической практике [4] и регулярно передавался в УГМС по ЦКС до 2006 года включительно (табл.3).

Таблица 3.Оценки успешности гидродинамико-статистического метода прогноза скорости ветра не менее 20 м/с по регионам Европейской территории России.

УГМС	Заблаговременность, ч	N	$F_{\text{общ}}$	$F_{\text{я}}$	$F_{\text{б я}}$	$P_{\text{я}}$	$P_{\text{б я}}$	T
Северо-Западное	12	1110	92	25	99	76	92	0,69
	24	1007	89	21	99	80	89	0,69
Центрально-Черноземное	12	160	91	24	99	80	92	0,72
	24	158	91	22	99	80	91	0,71
Верхне-	12	955	90	22	98	55	91	0,46

Волжское	24	995	90	14	98	48	91	0,39
Северо-Кавказское (равнинная и предгорная территории)	12	405	78	24	96	78	77	0,55
	24	400	78	21	97	79	77	0,56

Обозначения здесь известные [4,5], а Т – критерий успешности Пирси-Обухова: $T = 1-a-b$, где а – ошибка прогноза «пропуска цели»; b – ошибка «ложной тревоги». Для территории Сев.-КавУГМС предупреденность явления $Pя = 78\%-79\%$ и $T = 0,55-0,56$ выше, чем при синоптическом прогнозе.

Гидродинамико-статистический метод прогноза смерчей и порывов ветра с $V > 24$ м/с с заблаговременностью 12–24 ч также был рекомендован Техническими советами тех же УГМС к использованию в синоптической практике как вспомогательный и основной расчетный [14].

Дискриминантные функции для прогноза сильного ветра первого и второго класса были получены для выбранного вектора-предсказателя (2) и рассчитывались в узлах сетки 150x150км:

- для первого класса (для $V > 19$ м/с) $F_1(\mathbf{X}) = \sum a_i x_i + c_1, i=1, \dots, k, k < n; k=8,$
- для второго класса ($V > 24$ м/с) $F_2(\mathbf{X}) = \sum b_i x_i + c_2, i=1, \dots, k, k < n, k=8. \quad (3)$

По их значениям рассчитывались в тех же узлах и вероятности прогноза (в процентах):

- $P_1(\mathbf{X}) = 100 / (1 + \text{EXP}(-F_1(\mathbf{X})))$ для первого класса,
- $P_2(\mathbf{X}) = 100 / (1 + \text{EXP}(-F_2(\mathbf{X})))$ для второго класса. (4)

Для каждого класса для перехода к категорическому прогнозу были эмпирически найдены пороговые вероятности $P_{\text{пор}}$ и проведена оценка прогнозов по квадратам 300x300км.

Для летних осадков двух классов (количеством $Q > 14$ мм/12 ч и $Q > 49$ мм/12 ч) были получены теми же методами на соответствующих архивных данных новые вектора-предсказатели и дискриминантные функции $F_3(\mathbf{X})$ и $F_4(\mathbf{X})$ [10]. В узлах той же сетки рассчитывались $F_3(\mathbf{X})$ и $F_4(\mathbf{X})$ в зависимости от новых векторов-предсказателей и вероятности прогноза осадков двух градаций $P_3(\mathbf{X})$ и $P_4(\mathbf{X})$, выражаемые формулами, аналогичными (3). В табл. 4 представлены результаты испытаний прогноза дневных сильных осадков $Q > 14$ мм/12ч для территории Северного Кавказа [5,6].

Таблица 4. Оценка успешности гидродинамико-статистического метода прогноза дневных осадков $Q > 14$ мм/12 ч по территории Сев.-КавУГМС.

УГМС	Заблаговременность, ч	N	F	F _я	F _{б_я}	П _я	П _{б_я}	T
Северо-Кавказское	12	405	72	65	83	87	58	0,45
	24	54	85	60	91	60	91	0,51
(уточненный вариант)	24	54	89	67	97	91	88	0,79

По этим двум функциям $F_3(\mathbf{X})$ и $F_4(\mathbf{X})$ очень успешно, в частности, давались прогнозы сильных и опасных осадков на Северном Кавказе в июне 2002 года, приведших к сильному наводнению.

Адаптация гидродинамико-статистического прогноза летнего максимального ветра и сильных летних осадков двух градаций к выходным данным региональной модели для территории Северного Кавказа

С введением в оперативную практику Гидрометцентра России региональной модели была проведена адаптация гидродинамико-статистических методов прогноза шквалов, смерчей и опасного ветра, а также сильных и опасных осадков к прогностическим полям региональной модели с учетом систематических ошибок модели. По рассчитываемым в узлах сетки 75x75км вероятностям прогноза и эмпирически найденным новым пороговым вероятностям для явлений каждого класса выделялись прогнозируемые области сильного ветра первого и второго классов и осадков двух градаций соответственно (при $P > P_{\text{пор}}$, где $P_{\text{пор}}$ – пороговая вероятность). В [11] приводятся примеры успешного прогноза явлений по Северному Кавказу, а в [12] оценки прогноза опасного ветра по ЦФО и ЕТР за 2010-2011годы (Табл.3 в [12]), наиболее успешные, вследствие чего метод был рекомендован ЦМКП в качестве вспомогательного к синоптическому.

На побережье и акватории Черного моря области прогноза опасного ветра часто являются смерчеопасными ситуациями. Практически все смерчи на море и у побережья были нами предсказаны. В качестве примера приводим рис.1 - прогноза опасного ветра на 4 сентября 2013 года, когда в районе Туапсе образовалась серия смерчей. На рисунке, выполненным графическим пакетом ИЗОГРАФ, прогнозируемая (с $P > P_{\text{пор}}$) небольшая область опасного ветра с $V > 24$ м/с ограничена изолинией $P = 64\%$ (пороговая вероятность), которая захватывает акваторию и побережье Черного моря, и внутри области $64\% < P < 76\%$. Эта область включает как раз Туапсе и Сочи. Прогноз

ветра с $V > 19$ м/с на этот день охватывает также эту область и чуть шире. Прогноз с заблаговременностью 24-36ч близок к данному. В докладе приводятся дополнительные примеры.

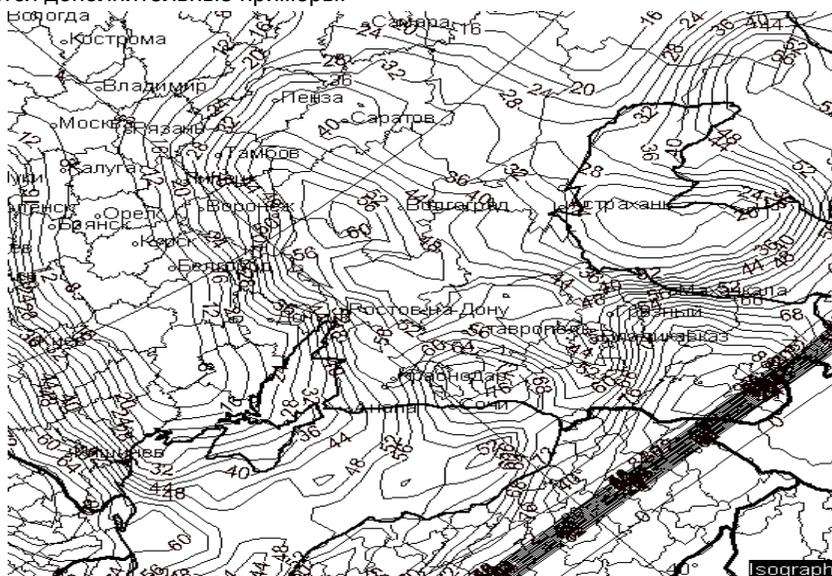


Рис.1. Прогноз опасного ветра и смерчей с $V > 24$ м/с на текущий день 4 09.2013г. Область прогноза ограничена изолинией вероятности $P=64\%$.

В 2012-2013гг в лаборатории испытаний Гидрометцентра РФ по станциям ЕТР проводились испытания нового гидродинамико-статистического метода прогноза дневных осадков строго количеством $Q > 14$ мм/12час заблаговременностью 12ч и 36ч и их сравнение с модельными осадками [13]. Оценки метода существенно превышают оценки прогнозов даже мезомасштабных моделей COSMO и WRF. Метод был рекомендован ЦМКП как вспомогательный, хотя его оценки выше синоптического прогноза по ЦФО. Дополнительно по Северному Кавказу и Южному ФО за лето 2013 года была проведена оценка прогноза осадков количеством $Q > 14$ мм/12час по 72 станциям. Предупрежденность явлений составила $Pя = 78\%$ из 208 случаев, отсутствия – Пот = 60%, в то время как все модели давали практически отсутствия явлений, т.е. $Pя < 10\%$, а Пот = 98%.

Прогнозы сильных полусуточных осадков, даваемые несколько дней подряд, дают высокую вероятность возникновения наводнения сначала на малых реках, а затем и на Кубани, Терек и Подкумке, как это случилось в октябре 2010 года [11,16,17]. В селеопасных районах продолжительные про-

гнозы сильных осадков позволяют прогнозировать сход селей и оползней. О прогнозе этих катастрофических явлений изложено в [15,16]. Подобные примеры также приводятся в докладе.

Заключение

Разработанные гидродинамико-статистические модели прогноза сильного летнего ветра и сильных летних осадков оказались устойчивы относительно использования выходных прогностических полей двух разных гидродинамических моделей (полусферной и региональной) для территории Северного Кавказа и предоставляют для этой территории новую дополнительную для синоптика прогностическую информацию. Они могут быть полезны при прогнозе катастрофических явлений - смерчей, наводнений, селей и оползней. Оперативный прогноз до двух суток с последующим уточнением позволяет заблаговременно принять меры с целью предупреждения значительных экономических потерь.

Список литературы

1. Андерсон Т. Введение в многомерный статистический анализ. – М. Физматгиз, 1963. – 500 с.
2. Багров А.Н. Сравнительная оценка успешности прогнозов сильных летних осадков с помощью моделей атмосферы различного масштаба. Информационный сборник. – 2014.- № 41. - С. 63-73.
3. Вапник В.Н. Восстановление зависимостей по эмпирическим данным. – М.: Наука, 1979. – 448 с.
4. Веселова Г.К., Гайфутдинова Р.Г., Гостева И.П., Дурова Т.В. Результаты испытания автоматизированного метода прогноза дневных максимальных скоростей ветра (не менее 20 м/с), связанных с активной конвекцией, заблаговременностью 12 и 24 ч.//Информационный сборник. – 1995. –№ 23. - С.7–12.
5. Веселова Г.К, Переходцева Э.В. Результаты испытания автоматизированного метода прогноза летних осадков с выделением областей с количеством осадков 15 мм и более на текущий день по европейской части России//Информационный сборник. – 1994. –№ 22. - С. 31–36.
6. Веселова Г.К, Краснобаева И.А. . Результаты испытания автоматизированного метода прогноза летних дневных осадков количеством 15 мм и более с заблаговременностью 24ч (автор Э.В. Переходцева)// Информационный сборник. – 1997. – № 24. - С. 32–38.
7. Лосев В.М. Региональная гидродинамическая модель прогноза Гидрометцентра России//В сборнике «80 лет Гидрометцентру России». – М.: Триада ЛТД, 2010. – С. 36–58.

8. Переходцева Э.В. Прогноз шквалов статистическими методами классификации на основании диагностических и прогностических синхронных связей//Тр. Гидрометцентра СССР. – 1985. – Вып. 271. – С. 37–60.
9. Переходцева Э.В. Объективный физико-статистический метод прогноза шквалов (20м/с и более) на текущий день для европейской территории//Методические указания. – Москва: 1992.-10 с.
10. Переходцева Э.В. О методе прогноза факта ливневых осадков на территории Восточно-Европейской равнины по данным полусферной модели//Тр. Гидрометцентра СССР. -1993. – Вып. 326. – с. 92-98.
11. Переходцева Э.В. О гидродинамико-статистическом прогнозе до двух суток явлений сильного ветра и сильных осадков для территории Северного Кавказа//Тр.Гидрометцентра России. -2012. –Вып. 347. -С.113-125.
12. Переходцева Э.В. Гидродинамико-статистический метод прогноза шквалов и очень сильного ветра в градации опасных явлений в летний период с заблаговременностью 12-36ч по выходным данным региональной модели для Европейской территории России//Информационный сборник. – 2013. – № 40. - С. 170-181.
13. Переходцева Э.В. Гидродинамико-статистический метод прогноза сильных летних осадков по ЕТР на основе выходных данных региональной модели Гидрометцентра России//Информационный сборник. – 2014. – № 41. - С.74-89.
14. .Perekhodtseva E.V. Hydrodynamic-statistical model of the forecast to 36h ahead of dangerous convective phenomena –squalls, tornadoes and rainfalls //Research activities in atmospheric and oceanic modeling. – 2002. – Rep. 32, part 2. – P. 221–223.
15. Perekhodtseva E.V. Hydrodynamic-statistical forecast of dangerous precipitation and incurred landslides and mudflows at the territory of Caucasian mountains// XVI Assembly of EGU. Nice, April 2004. Abstract.
16. Perekhodtseva E.V. The hydrodynamic-statistical model of the forecast of the catastrophic phenomena like squalls, tornadoes, floods, landslides and mudflows. International conference “Analysis and Singularity”/ Moscow, Russia. August 21-25, 2007.
17. The forecast of the floods at the territory of North Caucasus based on the operative hydrodynamic-statistical forecast of heavy precipitation. Symposium “Deciphering river flood change”. Vienna, 3-5.09.2012. Abstract.

О МЕТОДОЛОГИИ И МЕТОДАХ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПАСНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ НА ОС- НОВЕ «ЦИФРОВОЙ АТМОСФЕРЫ»

А.Х. Кагермазов

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», г. Нальчик

Продолжающийся рост неустойчивости климатической системы Земли вследствие глобального потепления сопровождается угрожающим увеличением частоты погодных катаклизмов. В то же время интенсивное развитие вычислительных средств, информационных технологий (Интернет) и, как следствие, оперативная доступность результатов прогнозирования параметров атмосферы на основе глобальных моделей создали условия для появления нового инструмента исследования, определяемого нами термином **«цифровая атмосфера»**.

Цифровая атмосфера это численное (виртуальное) представление атмосферы Земли по всем измеряемым и рассчитываемым параметрам, представленным в узлах (точках) регулярной многослойной сетки ее гидротермодинамической модели, охватывающее весь земной шар, в результате объективного анализа и предвычисления будущих состояний.

Обладая принципиально новой информационной базой, цифровая атмосфера открывает ранее недоступные возможности по разработке новых методов и методологии исследования опасных метеорологических процессов и явлений, а также их прогноза.

В настоящее время (с 2009г.) в Гидрометцентре России на базе численной статистической интерпретации выходных данных гидродинамических моделей атмосферы (статистика MOS, Model Output Statistics) реализованы методы среднесрочного прогноза средней за декаду температуры воздуха и ее аномалии, а также экстремальной температуры воздуха по дням для территории России. Такой подход позволил улучшить их качество на 20-40% [1]. Для исследования и прогноза опасных метеорологических процессов и явлений (Алексеева А.А.) используется концепция PP (Perfect Prognoses) - «идеального» прогноза на основе региональной модели Гидрометцентра России (Лосев В.М). Как отмечают авторы, результаты испытаний предлагаемого подхода показали, что методы альтернативного прогноза ливней и шквалов в градации опасных явлений для рассматриваемой территории, имеют практическую значимость. Однако оправдываемость прогнозов опасных явлений низкая, поэтому первой стратегической целью нашей гидроме-

теорологической службы остается «обеспечение своевременного предупреждения об опасных гидрометеорологических явлениях».

В оперативных прогностических подразделениях для прогноза опасных явлений и элементов погоды (град, гроза, шквал и др.) по-прежнему основным остается синоптико-статистический метод, качество которого в большой степени зависит от квалификации и опыта синоптика. Метеорологическое обеспечение различных отраслей экономики и жизнедеятельности людей нуждается в разработке новых объективизированных компьютерных прогнозов, «подключения» синоптика к «Цифровой атмосфере».

Глобальная модель атмосферы высокого пространственного разрешения GFS NCEP (Global Forecast System National Centers for Environmental Prediction) – основа цифровой атмосферы

В данной работе преследовалась цель - показать работоспособность физико-статистических методов прогноза града, разработанных в рамках предлагаемой методологии исследования опасных метеорологических процессов и явлений на основе «цифровой атмосферы».

Достижение поставленной цели складывается из следующих этапов:

1. Изучение сведений об опасных метеорологических процессах и явлениях (динамика, критерии, география, ущерб), накопление данных.
2. Разработка алгоритмов и комплекса программ расчета большого числа (40) параметров атмосферы и облаков, обуславливающих возникновение и развитие опасных метеорологических процессов и явлений, позволяющих создавать архив этих параметров как на основе фактических данных (радиозонд), так и по выходным данным глобальных моделей.
3. Оценка информативности параметров атмосферы и облаков и определение наиболее оптимального комплекса для прогноза града.
4. Использование наряду с традиционными источниками новых данных (глобальная модель GFS, Global Forecast Systems) и выявления физико-статистических закономерностей возникновения и развития опасных метеорологических процессов и явлений:
 - формулирование физико-статистических правил, исходя из концепции «идеального» PP - прогноза;
 - статистическая интерпретация выходных данных глобальной модели атмосферы GFS согласно концепции MOS для получения соответствующих статистических схем.

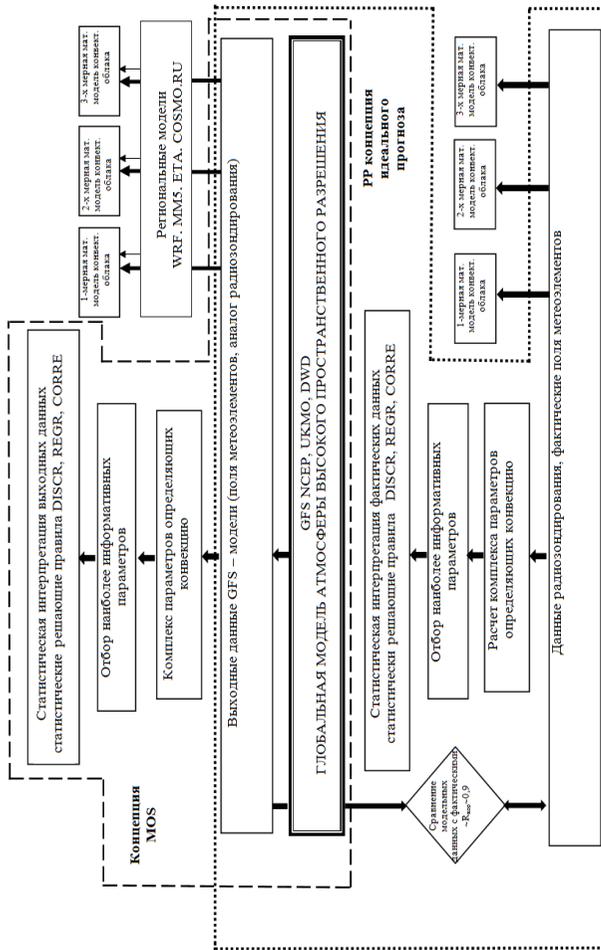
В основе решения перечисленных задач лежат последние достижения методов математического моделирования как общей циркуляции атмосферы Земли (Глобальная модель атмосферы высокого пространственного разре-

шения GFS NCEP), так и математического моделирования мезомасштабных процессов в атмосфере, вплоть до отдельного конвективного облака. Для установления характерных особенностей рассматриваемых процессов и явлений используются методы аэрологического и синоптического анализа. В условиях недостаточности детерминированных знаний о процессах и явлениях привлекаются физико-статистические и вероятностные методы исследования. Информативный комплекс минимально коррелирующих параметров, ответственных за возникновение и развитие мощной конвекции, определяется на основе системного анализа в соответствии с классификацией методов выбора признаков в пространстве измерений (коэффициент бисериальной корреляции) и в преобразованном пространстве (метод Карунена-Лоэвэ).

Оперативная информационная база (цифровая атмосфера), на которую мы опирались при разработке рассматриваемого подхода, формируется не только в результате объективного анализа, но и посредством решения нестационарных трехмерных уравнений гидротермодинамики для всей атмосферы Земли и параметризации множества атмосферных процессов. Компьютерная реализация таких моделей требует применения нетривиальных вычислительных алгоритмов и самых высокопроизводительных вычислительных ресурсов. Только достижения последних нескольких лет в информационных технологиях (широкополосный интернет) позволили нам задействовать оперативно необходимую информацию в достаточном объеме.

Таким образом, используя новую информацию (выходные данные Глобальной модели высокого пространственного разрешения GFS NCEP), на основе изучения физико-статистических закономерностей возникновения опасных метеорологических процессов и явлений разработаны новые методология и методы исследования и прогноза опасных метеорологических процессов и явлений. Разработанный подход хорошо иллюстрируется схемой на рис.1, на которой концепции «идеального» PP-прогноза и прогноза по выходным данным Глобальной модели атмосферы (MOS) очерчены точечной и пунктирными линиями соответственно. Кроме того, на схеме (в правой части) приведены способы расчета моделей конвективных облаков разной размерности с использованием как начальных данных по фактическим измерениям (радиозонд), так и новая идея использовать для этого выходные данные Глобальной модели. В этом случае начальные условия можно задавать в значительно более детализированном виде, что означает существенный прогресс в разработке численных моделей конвективных облаков, постижении механизмов формирования их макро-и микроструктурных характеристик.

Рис.1 ЦИФРОВАЯ АТМОСФЕРА: СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И МЕТОДОЛОГИИ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПАСНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ



Концепция PP (Perfect Prognoses) предполагает получение устойчивых оценок диагностических связей между рассматриваемыми элементами или явлениями погоды и значениями ряда характеристик атмосферы, определяемыми по **фактическим** данным на архивном материале. Выявленные диагностические соотношения (в данном случае в виде дискриминантной функции) переносятся на связи между опасным явлением (град) и прогностическими переменными, являющиеся выходной продукцией глобальной модели атмосферы (T254 NCEP).

Концепция MOS (Model Output Statistics) предполагает получение устойчивых оценок связей между рассматриваемыми элементами или опасными явлениями погоды и значениями ряда характеристик атмосферы, определяемыми по выходным (**прогноznым**) данным Глобальной модели атмосферы (GFS) на архивном материале. Выявленные соотношения (в данном случае в виде дискриминантной функции) переносятся на связи между опасным явлением (град) и прогностическими переменными, являющимися выходной продукцией той же глобальной модели атмосферы (T254 NCEP). Используемый для подтверждения работоспособности предлагаемой методологии исследования опасных метеорологических процессов и явлений физико-статистический метод прогноза града был разработан по материалам фактических наблюдений за последние несколько десятков лет по Северо-Кавказскому региону [2-5].

В основу метода положен [3] алгоритм расчета параметров атмосферы и облаков, обуславливающих возникновение, развитие и интенсивность градовых процессов, который является обобщением схем расчета параметров, применяемых в существующих методах прогноза конвекции и связанных с нею опасных явлений погоды, в том числе и града.

Таким образом, для реализации новой методологии не доставало выходной продукции практически любой гидродинамической модели, рассчитывающей необходимые для прогноза конвективных явлений параметры атмосферы. Такая информация стала доступна благодаря интенсивному развитию в последние годы информационных технологий (интернет).

В настоящей работе используется выходная продукция Глобальной Системы Прогнозов (GFS NCEP) для расчета предикторов, используемых в прогнозе града [6].

Основные свои черты модель GFS приобрела в начале 90-х годов после обобщающих работ авторов [7-9].

Глобальная модель атмосферы высокого пространственного разрешения (T254) имеет дискретность по времени 3 часа для заблаговременности

0-180 часов и 12 часов для заблаговременности 180-384 часа. Время счета прогнозных данных на одни сутки составляет 12 минут.

В последнем варианте модели расчеты проводятся на гауссовой сетке размерностью (768x384), что приблизительно соответствует горизонтальному разрешению 0,5° широтно-долготной сетки. По вертикали толща атмосферы (от поверхности земли до высоты изобарической поверхности 0,27гПа) разделена на 64 слоя, к серединам которых предписаны основные счетные Sigma – уровни.

Координатная сетка по вертикали неоднородна: имеет место сгущение в нижних слоях, где 1,5 км пограничный слой атмосферы описывают 15 счетных уровней и 24 уровня выше 100 гПа.

Процессы, учитываемые в модели, представлены на рис.2.



Рис.2. Схема учета процессов в глобальной модели атмосферы.

Основные характеристики атмосферы (давление, температура, влажность, ветер), представленные на рис.2 выделенными прямоугольниками, рассчитываются на основе учета множества известных в настоящее время процессов в атмосфере и моделирования их взаимодействия.

Часть выходной продукции модели, необходимая для использования в методе прогноза града (аналог радиозонда), включает в себя прогнозиче-

ские поля (с заблаговременностью 18-24 часа) следующих метеорологических элементов:

- геопотенциальных высот (Н, дам) изобарических поверхностей 1000, 975, 950, 925, 900, 850, 800, 750, 700, 650, 600, 550, 500, 450, 40, 350, 300, 250, 200, 150, 100, 50 и 10 гПа.

Соответствующие этим изобарическим поверхностям значения следующих параметров:

- температуры воздуха (t , °C);
- относительной влажности воздуха (F , %);
- зональной и меридиональной составляющей скорости ветра (W , м/с);
- аналога упорядоченной вертикальной скорости подъема (опускания) воздуха (V_{700} , гПа/12ч).

Выходная продукция выпускается в оперативном режиме по исходным срокам 00.00, 06, 12, и 18 ВСВ (обновляется через каждые 6 часов).

На основе такого подхода по разработанному автором алгоритму [3] проводились расчеты параметров атмосферы и конвективных облаков и составлялись прогнозы града (в соответствии РР концепцией) для сезонов 2004-2009гг [2].

Для прогностических целей использовалась дискриминантная функция по 6-ти наиболее информативным параметрам:

$$L = F(V_{700}, \Delta t_m, \Delta t_1, \sum_{земля}^{500} q, \sum_{850}^{500} \tau, D_j) ,$$

где V_{700} - упорядоченные вертикальные движения воздуха на уровне 700 гПа; Δt_m - максимальная разность температур облака и окружающего воздуха; Δt_1 - вертикальный градиент температуры в атмосфере в двухкилометро-

вом слое выше уровня конденсации; $\sum_{\text{цãèëÿ}}^{500} q$ - суммарная удельная влажность

воздуха в пятикилометровом слое от земли; D_j – индекс неустойчивости

Джорджа; $\sum_{850}^{500} \tau$ - суммарный дефицит точки росы в слое 850-500 гПа.

Для оценки успешности способа прогноза града по материалам за период 2005-2009 гг. использовались данные наблюдений наземной сети в районе радиусом до 150-200 км от пункта с координатами 44.35 с.ш. и 43.20 в.д. (территории Центрального Предкавказья). Прогноз считался оправдавшимся в тех случаях, когда град наблюдался на поверхности земли.

Результаты оценки представлены в таблице сопряженности (табл.1).

Таблица 1. Таблица сопряженности успешности прогнозов.

Прогноз	Наблюдалось		Сумма
	град	не град	
град	46 (n ₁₁)	7 (n ₁₂)	53 (n ₁₀)
не град	36 (n ₂₁)	71 (n ₂₂)	107 (n ₂₀)
сумма	82 (n ₀₁)	78 (n ₀₂)	160 (n ₀₀)

Здесь n₁₁ - число оправдавшихся прогнозов с формулировкой «град»; n₁₂ - число неоправдавшихся прогнозов с формулировкой «град», n₂₁ - число неоправдавшихся прогнозов с формулировкой «не град»; n₂₂ - число оправдавшихся прогнозов с формулировкой «не град»; n₁₀ = n₁₁ + n₁₂ - число всех оцениваемых прогнозов с формулировкой «град»; n₂₀ = n₂₁ + n₂₂ - число всех оцениваемых прогнозов с формулировкой «не град»; n₀₁ = n₁₁ + n₂₁ - число всех оцениваемых случаев с градом; n₀₂ = n₁₂ + n₂₂ - число всех оцениваемых случаев без града; n₀₀ = n₁₀ + n₂₀ = n₀₁ + n₀₂ - число всех оцениваемых случаев.

Общая оправдываемость прогноза $P_{\text{общ}} = (n_{11} + n_{22}) / n_{00} \cdot 100 = 117 / 160 \cdot 100 = 73\%$. Предупрежденность наличия явления $P_{\text{ня}}^* = (n_{11} / n_{01}) \cdot 100 = 46 / 82 \cdot 100 = 56\%$. Дополнительными показателями для оценки прогнозов градусовой опасности являются: оправдываемость прогноза наличия явления $P_{\text{ня}} = (n_{11} / n_{10}) \cdot 100$, $P_{\text{ня}} = (46 / 53) \cdot 100 = 87\%$; оправдываемость отсутствия явления $P_{\text{оя}} = (n_{22} / n_{20}) \cdot 100$, $P_{\text{оя}} = (71 / 107) \cdot 100 = 66,4\%$; предупрежденность отсутствия явления $P_{\text{оя}}^* = (n_{22} / n_{02}) \cdot 100$, $P_{\text{оя}}^* = (71 / 78) \cdot 100 = 91\%$. Критерий качества прогнозов Пирси – Обухова $T = (n_{11} / n_{01}) - (n_{12} / n_{02}) = (n_{22} / n_{02}) - (n_{21} / n_{01})$, $T = 0,45 \sim 0,47$. Критерий надежности по Н.А. Багрову $H = (U - U_0) / (1 - U_0) \sim 0,5$, где $U_0 = (m_1 + m_2) / n_{00} = 0,47$, $U = (n_{11} + n_{22}) / n_{00} = 0,73$, $m_1 = n_{10} \cdot n_{01} / n_{00} = 27,2$, $m_2 = n_{20} \cdot n_{02} / n_{00} = 48,2$. Ошибка риска метода (явление не прогнозировалось, но наблюдалось): $\alpha = n_{21} / n_{01} = 0,4$. Ошибка страховки метода (явление прогнозировалось, но не наблюдалось): $\beta = n_{12} / n_{02} = 0,1$; критерий точности по А.М. Обухову: $Q = (1 - \alpha - \beta) \sim 0,5$.

Для накопленных случаев по усовершенствованному алгоритму и программе расчета комплекса предикторов, применяемых в методах прогноза опасных конвективных явлений, но уже по выходным данным Глобальной модели (поля стратификации температуры, влажности, ветра), была реали-

зована концепция MOS для оценки опасных явлений (град, ливень). Применение концепции MOS в региональном прогнозе стало возможным не так давно, поэтому наблюдений недостаточно для получения статистических схем высокого качества.

Итоговые результаты оценки метода прогноза града, основанного на выходных данных Глобальной Системы Прогнозов, в сравнении с традиционными подходами представлены в табл. 2.

Таблица 2. СВЕДЕНИЯ

об успешности способов прогноза града по территории по РД 52.27.284-91 «Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и геогеофизических прогнозов» с использованием данных радиозондирования АЭ Минеральные Воды за 03 часа за 2005-2007 г.г. и авторской проверки метода прогноза с использованием выходных данных глобальной модели (T254 NCEP)

Метод прогноза	ОЦЕНКИ										
	основные			дополнительные							
	Общ. оценка Р, %	Продвину- тая оценка Р, %	Действ. денность град. Р, %	Сравне- ние с градом Р, %	Сравне- ние с градом Р, %	Сравне- ние с градом Р, %	Предупреж- денность без града Р, %	Критерий качества Плюс: Оборуд. Т	Критерий надеж- ности или Безопас- ности Н	Ошиб- ка риска метода α	Ошиб- ка страхов- ки метода β
Симптомный	77,1	67,5	41,5	91,8	79,2	0,47	0,38	0,21	0,33	0,21	0,46
Инерционный	69,1	47,5	28,8	86,0	73,8	0,20	0,16	0,26	0,64	0,26	0,20
ГМЦ (Глушковой)	74,4	57,5	36,5	89,4	78,1	0,36	0,28	0,22	0,43	0,22	0,35
ГМЦ автоматизированный	74,4	27,5	28,2	84,2	84,7	0,13	0,10	0,15	0,73	0,15	0,12
Дискриминантная функция (Фонд)	71,3	77,5	36,0	93,4	89,9	0,48	0,33	0,30	0,23	0,30	0,47
Дискриминантная функция по выходным данным модели (GFS NCEP) 2005-2006. PP-концепция	73	56	87	66,4	91	0,46	0,5	0,4	0,4	0,1	0,5
Дискриминантная функция по выходным данным модели (GFS NCEP) 2005-2011. Концепция MOS	77	67	60	85	81	0,48	0,46	0,3	0,3	0,19	0,48

Они свидетельствуют о том, что методы, предложенные на основе новой методологии, не уступают по качеству используемым ранее методам, а по ряду критериев качества превосходят ранее разработанные методики. К тому же эти методы технологичны и легко могут быть применены в оперативной практике.

Заключение

По результатам проведенных расчетов и анализа успешности методов оценки и прогноза опасных явлений можно сделать вывод, что предлагаемая методология исследования опасных метеорологических процессов и явлений на основе «цифровой атмосферы», позволяет разрабатывать эти методы на уровне предложенных ранее или превышающих их качество.

Показано также, что использование выходных данных современных глобальных моделей атмосферы для прогноза опасных явлений погоды (на примере града) вполне оправдано и имеет хорошие перспективы. Связано это еще и с тем, что в настоящее время традиционные источники получения исходной информации для прогноза града в нашей стране значительно ухудшились (количество станций аэрологического радиозондирования атмосферы уменьшилось, а на остающихся станциях радиозондирование проводится один или два раза в сутки), что затрудняет выработку качественных прогнозов.

Анализ неоправдавшихся прогнозов показывает, что большую их часть составляют дни с развитием интенсивной конвекции, сопровождающейся ливнями и грозами, что свидетельствует о дополнительных трудностях, возникающих при дифференциации прогнозов конвективных явлений (при тесной их взаимосвязи).

Список литературы

1. Васильев П.П., Васильева Е.Л., Горлач И.А. Среднесрочный прогноз температуры воздуха и результаты его испытания. // Информационный сборник. Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов. Под ред. канд. геогр. наук Г.К. Веселовой. ГМЦ РФ. 2010. № 37. - С. 3-15.

2. Кагермазов А.Х. Прогноз града по выходным данным глобальной модели атмосферы (T254 NCEP) // Метеорология и гидрология. 2012. № 3. – С. 28–34.

3. Кагермазов А.Х., Сиротенко Л.А. Результаты апробации программных модулей расчета метеопараметров и компьютерного прогноза града по данным аэрологического зондирования на Северном Кавказе. // Изв. Высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Физика атмосферы. Естественные науки. Спецвыпуск. 2010. – С. 49–53.

4. Федченко Л.М., Кагермазов А.Х. Использование статистических методов для прогноза градовых процессов и их характеристик // Метеорология и гидрология. 1988. № 4. С. 41–50.

5. Федченко Л.М., Кагермазов А.Х. Оценка возможности разделения типов погоды (град не град) с помощью дискриминантных функций. // Тр. ВГИ. 1987. Вып. 67. С. 51–57.

6. <http://www.emc.ncep.noaa.gov/>

7. Kalnay E., Kanamitsu M., and Baker W.E., Global numerical weather prediction at the National Meteorological Center. // Bull. Amer. Meteor. Soc. 1990. Vol.71. P. 1410–1428.

8. Kanamitsu, M., Description of the NMC global data assimilation and forecast system.// Wea. and Forecasting. 1989. Vol. 4. P. 335–342.

9. Kanamitsu, M., Alpert J.C., Campana K.A., Caplan P.M., Deaven D.G., Iredell M., Katz B., Pan H.-L., Sela J., and White G.H., Recent changes implemented into the global forecast system at NMC. // Wea. and Forecasting. 1991. Vol. 6. P. 425–435.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПАСНЫХ КОНВЕКТИВНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПОГОДЫ В РАЙОНЕ КОСМОДРОМА «ВОСТОЧНЫЙ»

О.И. Золотухина¹, О.В. Петухова², А.А. Громницкая²

¹ Филиал ФГУП «ЦЭНКИ» - «КЦ «Южный», г. Байконур

² Томский государственный университет, Геолого-географический факультет, Кафедра метеорологии и климатологии, г. Томск

Строительство будущей космической гавани России на Дальнем Востоке в Амурской области идет полным ходом. Первый пуск ракеты-носителя планируется на 2015 год.

Справка: космодром «Восточный» - один из самых масштабных проектов России. В ноябре 2007 года был подписан Указ Президента России о создании космодрома в Амурской области. С 2008 по 2010 гг. проводились изыскательские и подготовительные работы. Первый камень в строительство

«Восточного» заложен в августе 2010 года. Первый пуск ракеты-носителя планируется на 2015 год. Первый запуск пилотируемого космического корабля с «Восточного» - в 2018 году.

В связи с масштабным строительством космодрома очень важно создать базу данных о характеристиках атмосферы в дни с опасными конвективными явлениями погоды и провести исследования в этой области для более надежного и совершенного прогнозирования метеорологической обстановки, форм и способов метеорологического и аэрологического обеспечения запусков РКН [6].

Для характеристики опасных конвективных явлений погоды послужили данные о случаях с грозами, ливнями и градом, представленные на сервере Института космических исследований РАН «Погода России» [1]. Для исследования были взяты ближайшие к космодрому метеорологические станции в Амурской области (Благовещенск, Шимановск, Свободный) и станции, расположенные на территории Китая (Хума, Хэйхэ) (табл.1). Для большинства метеорологических станций России и Китая характерен одинаковый период наблюдения 2000–2013 гг., за исключением станции Благовещенск – ей соответствует период 1998–2009 гг. [3,4].

Таблица 1. Характеристика используемых метеорологических станций

Регион	Название станции	Период наблюдения	Высота над уровнем моря	Географические координаты
Россия	Благовещенск	1998–2009	132 м	50° 16' с.ш. 127° 30' в.д.
	Шимановск	2000–2013	281 м	51° 59' с.ш. 127° 39' в.д.
	Свободный	2000–2013	179 м	51° 26' с.ш. 128° 07' в.д.
Китай	Хума	2000–2013	179 м	51° 43' с.ш. 126° 39' в.д.
	Хэйхэ	2000–2013	166 м	50° 15' с.ш. 127° 27' в.д.

Данные о случаях с грозами, ливнями и градом систематизировались за летний период (июнь-август), анализировалась информация о дате и времени наблюдения того или иного явления, связанного с конвективной облачностью. Полученные результаты о случаях с грозами и ливнями систематизировались в таблицы (табл.2).

Таблица 2. Среднее количество случаев с опасными конвективными явлениями погоды на территории России и Китая

Регион	Название станции	Период наблюдения, годы	Среднее количество случаев	
			Гроза	Ливень
Россия	Благовещенск	1998–2009	13	56
	Шимановск	2000–2013	14	26
	Свободный	2000–2013	12	26
Китай	Хума	2000–2013	20	70
	Хэйхэ	2000–2013	17	68

Анализируя табл.2, о среднем количестве случаев с опасными явлениями, связанными с развитием конвекции на территории России, можно выделить станцию Шимановск, для которой характерно максимальное количество случаев с грозами – 14, и станцию Благовещенск, которой соответствует максимальное значение количество случаев с ливнями – 56. Среднее количество случаев с градом на представленных станциях в год - не более 2 раз.

На основании информации о случаях с опасными конвективными явлениями на метеорологических станциях Шимановск и Благовещенск были систематизированы и проанализированы данные радиозондирования на аэрологической станции Благовещенск за период 2000-2012 гг. в 00 и 12 часов ВСВ (всемирное скоординированное время) (табл.3,4).

Для рассматриваемых случаев проанализированы значения ряда индексов [4,5], характеризующих конвекцию в атмосфере:

- LIFT – объединяет влажность и вертикальный градиент в одном индексе, оценивает степень стабильности, которая измеряется разностью между температурами поднимающейся частицы и окружающей среды на уровне 500 гПа, °C;
- SWEAT – оценивает потенциал (вероятность) неблагоприятных явлений погоды, объединяя несколько параметров в одном индексе: слой наибольшего влагосодержания (точка росы на уровне 850 гПа), нестабильность (TOTL), скорость ветра на уровне 850 и 500 гПа, адвекцию теплого воздуха;
- KIND – характеризует температурно-влажностное состояние атмосферы в слое 850-700 гПа, °C;

- TOTL – комплексная характеристика статической стабильности и влажности на уровне 850 гПа, °С;
- CAPE – конвективная потенциальная энергия атмосферы, Дж/кг;
- LFCT – уровень свободной конвекции, гПа.

Таблица 3. Значения индексов для аэрологической станции Благовещенск по данным метеорологической станции Шимановск, при грозах за 00 и 12 ч ВСВ

Гроза	00 ВСВ				12 ВСВ			
	среднее	max	min	σ	среднее	max	min	σ
LIFT	-0,3	7,8	-8,9	2,8	-1,6	8,6	-8,9	2,9
SWEAT	155,9	369,6	27,2	73,1	211,2	466,4	66,3	92,2
KIND	29,1	37,7	12,3	5,1	31,8	43,2	17,7	4,9
TOTL	47,1	53,5	39,2	3,5	49,0	59,0	42,4	3,6
CAPE	370,4	3353,3	0,0	602,9	635,7	3502,5	0,0	809,6
LFCT	757,9	943,7	607,4	78,6	741,	906,4	533,9	80,8

Таблица 4. Значения индексов неустойчивости для аэрологической станции Благовещенск по данным метеорологической станции Шимановск, при ливнях за 00 и 12 ч ВСВ.

Ливни	00 ВСВ				12 ВСВ			
	среднее	max	min	σ	среднее	max	min	σ
LIFT	2,0	11,5	-4,6	3,2	0,9	14,3	-8,8	3,9
SWEAT	164,0	363,9	31,3	72,7	178,6	466,4	28,6	80,1
KIND	28,2	38,0	5,9	6,3	32,4	330,5	-5,3	34,2
TOTL	45,5	54,1	34,6	4,3	45,5	57,8	1,8	6,7
CAPE	117,1	1338,4	0,0	220,2	379,6	3502,5	-299,8	624,2
LFCT	803,0	959,4	597,9	90,3	798,8	940,6	500,9	90,1

Выводы

1. Максимальное количество гроз (174) зафиксировано на станции Шимановск, расположенной в 40 км от космодрома «Восточный», что говорит о более детальном исследовании данной станции в дальнейшем.

2. Максимальное количество случаев с ливнями отмечалось на двух метеорологических станциях Китая – Хума и Хэйхэ, расположенных соответственно в 98 и 175 км от космодрома «Восточный».

3. Особенно информативными для диагноза опасных конвективных явлений погоды оказались индексы: LIFT, TOTL и CAPE, их значения примерно совпадают со значениями, характерными для ОЯ, наблюдаемых в рассматриваемых широтах.

4. Полученные характеристики опасных конвективных явлений погоды в районе космодрома «Восточный» будут использоваться для метеорологического и аэрологического обеспечения запусков РКН.

Список литературы

1. Институт космических исследований РАН «Погода России» [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://meteo.infospace.ru>

2. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Части 1-6. Многолетние данные. Хабаровский край и Амурская область. Вып. 25. – С.-Пб.: Гидрометеиздат, 1992. - 559 с.

3. Справочник по климату СССР. Хабаровский край и Амурская область. Вып. 25. Часть III. Ветер.- Л.: Гидрометеиздат, 1967. - 318 с.

4. Andersson, T. A. M. J. C. N. S.: Thermodynamic indices for forecasting thunderstorms in southern Sweden. // Meteorol. Mag. – 1989. - № 116. - P. 141-146.

5. Johns R.H., Doswell C.A.: Severe local storms forecasting.//Wea. Forecasting. – 1992. -P. 558-615.

6. Umansky S.M.: Launch Vehicles/Launch Sites. 2003. Restart. М.Р. 56-60.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТ ЗАРОЖДЕНИЯ ГРАДА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОГО КAVKAZA

В.С. Инюхин, С.А. Куцев, К.Б. Лиев

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», г. Нальчик

Одним из наиболее опасных стихийных бедствий является градобитие, которое приносит большой ущерб народному хозяйству страны. Град в основном выпадает на территории Северного Кавказа, но нередко случается в центральных районах России и в Сибири. На Северном Кавказе наиболее

интенсивным градобитиям подвержены районы Краснодарского и Ставропольского краев, КБР и РСО-Алании.

Территория наблюдений за облаками, находящаяся в радиусе обзора радиолокационной станции ВГИ, включает КБР, юго-восток Ставропольского края и западные районы РСО-Алании. Условия атмосферной циркуляции здесь формируются под воздействием общепланетарных процессов и местных факторов, обусловленных орографическими особенностями данного региона. Расположение района в сложных физико-географических условиях, близость бассейна Черного моря, лежащего на пути западных вторжений, определяют пониженную температуру и повышенное увлажнение, которые способствуют активизации конвективных процессов в теплый период года. В это время отмечается повышенная повторяемость западных вторжений. К числу региональных особенностей следует отнести: частный орографический циклогенез в районе Теберды и Северной Осетии, выход южных циклонов со Средиземного моря. Повышенная градоопасность территории объясняется также близостью Главного Кавказского хребта, задерживающего продвижение атмосферных фронтов [1,3,14,16].

Многолетние радиолокационные наблюдения за мощной конвективной облачностью на НИП ВГИ показали, что за сезон в районе проведения радиолокационных исследований наблюдалось в среднем около 30 дней с градом.

До настоящего времени климатологические проблемы районирования территорий по градоопасности мало разработаны. Имеется лишь несколько работ второй половины прошлого века, где рассмотрены вопросы, связанные с градобитиями на различных территориях бывшего СССР. В работе [13] исследуется град, выпадающий на территории СССР. В [8] приводится карта вероятности выпадения града на Северном Кавказе, в [4] исследуются климатические характеристики града на Украине, в [17] приводятся предварительные результаты исследования распределения града на поверхности Земли. В работах [11,12] проводится районирование территории Кабардино-Балкарской и Северо-Осетинской АССР по градоопасности. В основу такого районирования были положены: повторяемость числа случаев повреждений сельскохозяйственных культур по отдельным месяцам и по годам, а также максимальное число случаев повреждений, частота повреждений отдельных сельскохозяйственных культур по отдельным районам и колхозам, средние и общие величины поврежденных градобитием площадей [12]. Несколько позднее вышли работы, основанные на радиолокационных данных, в которых выявлялись закономерности перемещения градовых процессов различных типов на Северном Кавказе и строились карты-схемы траекторий пере-

мещения отдельных градовых ячеек [5,6], а также исследовались структура и эволюция градовых процессов в Азербайджане [15] и Узбекистане [2].

Анализ этих работ показывает, что повторяемость того или иного типа градовых процессов в значительной мере определяется аэросиноптическими условиями каждого конкретного региона. Кроме того, для каждого региона характерны свои специфические особенности формирования и развития градовых провесов различных типов, которые и определяют климатологию града, общую картину градоопасности района, распределение ущерба от градобитий и, как следствие, стратегию активных воздействий и проведения научно-исследовательских работ.

Данные, приведенные в этой работе, получены с помощью радиолокатора на научно-исследовательском полигоне ВГИ. В результате радиолокационных исследований в 2007-2013 гг. накоплен обширный материал, на основании которого выявлена некоторая статистика проявления динамических [9] и микрофизических [10] характеристик градовых облаков. Эти наблюдения также позволили выявить некоторые закономерности появления, так называемого, первого радиоэха градовых облаков.

Известно, что облако появляется на экране радиолокатора в виде первого радиоэха. Затем оно растет, изменяясь во времени и пространстве, превращаясь в мощное градовое облако. Интерес к первому радиоэху облаков не случаен, так как весьма заманчиво по первым признакам облака спрогнозировать дальнейшую ситуацию, определить сценарий неблагоприятного развития событий.

В настоящее время активно развивается новое направление - ситуационный подход к прогнозу опасных природных явлений. В свете этого подхода создаются специальные (ситуационные) комнаты, залы или центры, для анализа быстро изменяющейся обстановки. При этом используются методы ситуационного моделирования для прогнозирования событий. В результате активного развития этого направления существенно расширился класс ситуационных систем и появилась новая терминология. Возникли такие понятия, как ситуационный центр (СЦ) и ситуационное моделирование (СМ). Одним из этапов разработки СМ развития опасных природных явлений является проведение районирования территории по степени градоопасности.

В связи с этим целью данной работы является проведение районирования региона по местам зарождения градовых облаков (первого радиоэха) и анализ особенностей выявленных областей преимущественного зарождения градовых облаков.

На рис.1 представлена радиолокационная картинка (вертикальный разрез ячейки), характеризующая начальную стадию изменения реального гра-

дового облака (3 августа 2013 года). Показаны первые семь минут «жизни» градового облака (переход его из стадии первого радиозеха в более зрелые стадии).

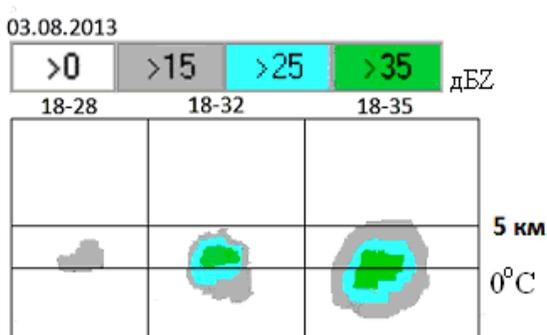


Рис.1. Развитие первого радиозеха.

В этот день в 18²⁶ с помощью радиолокатора было обнаружено первое радиозехо градового облака, расположенное выше нулевой изотермы и состоящее из одного радиолокационного контура - 15-25 дБЗ.

Именно такие первые проявления градовых облаков рассмотрены далее с целью выявления их статистических характеристик. Образование первого радиозеха градовых облаков чаще всего происходит выше нулевой изотермы (65-70% случаев). Это подтверждается данными, представленными на рис.2., где показана повторяемость высоты верхней границы первого радиозеха.

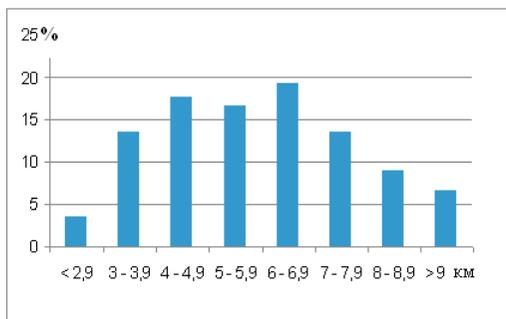


Рис. 2. Повторяемость высоты верхней границы первого радиозеха.

Из рисунка видно, что почти в 80 % случаев верхняя граница первого радиоэха находится выше 4,0 км. В летние месяцы высота нулевой изотермы колеблется в пределах от 3,0 до 4,0 км.

Для зарождения града должны сочетаться одновременно несколько факторов. Развитию грозоградовых процессов способствует большая влажность в нижнем слое тропосферы, достаточный перегрев у земли, резкие температурные перепады по высотам, а также особенности рельефа, обуславливающие развитие орографических вертикальных движений. Поэтому научный интерес представляет время суток, в которое наиболее часто зарождаются градовые облака. Из диаграммы видно, что чаще всего это бывает с 14 до 19 часов, причем в 65 % случаев первое радиоэхо облаков появляется в дневное время до 17 часов (рис.3).

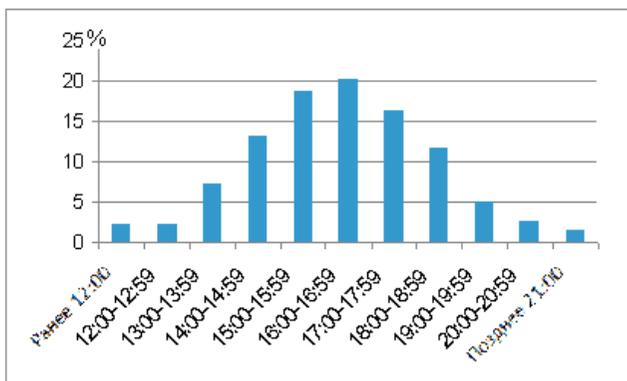


Рис. 3. Время зарождения первого радиоэха.

На увеличение или уменьшение числа случаев выпадения града большое влияние оказывают не только высота места, возвышенности и горы, но и их расположение относительно воздушных потоков. В предгорных и горных районах орографический эффект усиливается, так как развитие восходящих движений перед препятствием создает динамический импульс для развития конвективной облачности.

При исследовании траекторий перемещений грозоградовых процессов нами были выбраны порядка 250 градовых ячеек, полученных с 2011 по 2013 г., первое радиоэхо которых было нанесено на карту КБР, разбитую на таксоны размером 10x10 км. Для выявления рельефных характеристик каждый таксон был раскрашен по цвету в зависимости от высоты местности (рис.4). Шкала высот колеблется в интервале 200 ÷ 4000 м. Эта карта ис-

пользовалась для сопоставления первого радиоэха конвективных ячеек с высотой места их появления.

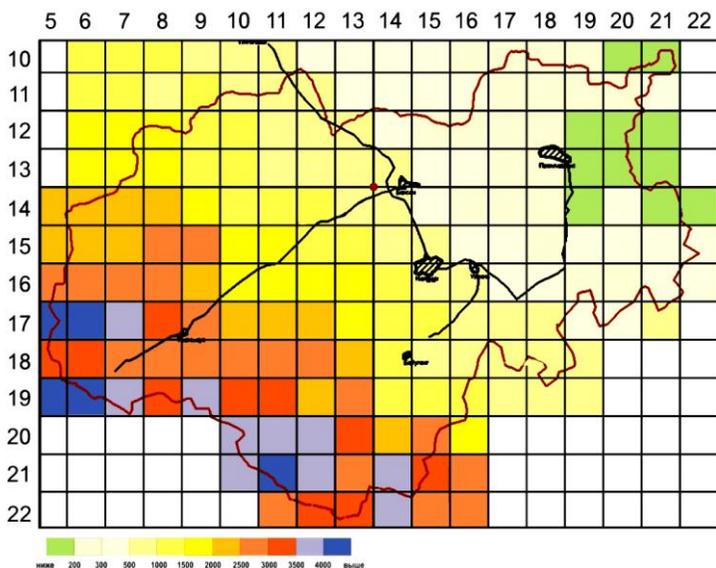


Рис.4. Карта высот КБР.

Таким образом, была построена гистограмма распределения грозоградных процессов по высотам, представленная на рис.5.

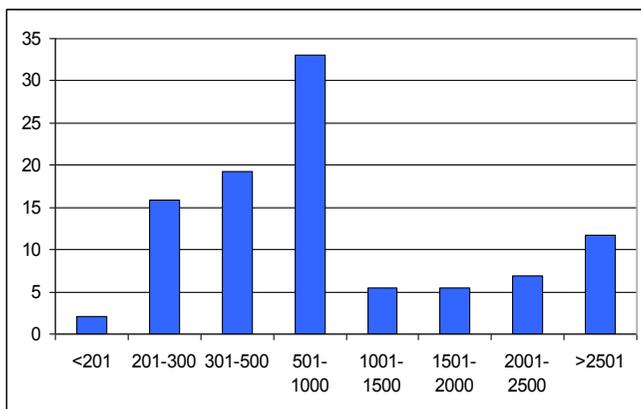


Рис. 5. Высота местности зарождения первого радиоэха.

Анализ рис.5 показывает, что с ростом высоты места растет вероятность зарождения градовых облаков. Это происходит до уровня 1000 м. Далее наблюдается падение вероятности появления первого радиоэха для высот 1000-1500 м. А для высот от 1500 до 2500 и выше снова наблюдается небольшой рост вероятности. Большая часть (почти 70%) всех градовых облаков зарождаются над территорией с высотой до 1000 м над уровнем моря.

Процессы, приводящие к зарождению градовых облаков в том или ином месте региона, изучены еще недостаточно. В частности до настоящего времени вопросам районирования территории по зарождению градовых облаков уделено недостаточно внимания. Лишь иногда отмечается, что наиболее мощные градовые процессы зарождаются над горными массивами в верховьях рек Кубань и Малка севернее Эльбруса [1,3,5,6,14].

По данным радиолокационных наблюдений нами была построена карта количества появлений первого радиоэха градовых облаков. Данные были усреднены за летние месяцы 2011-2013 гг.

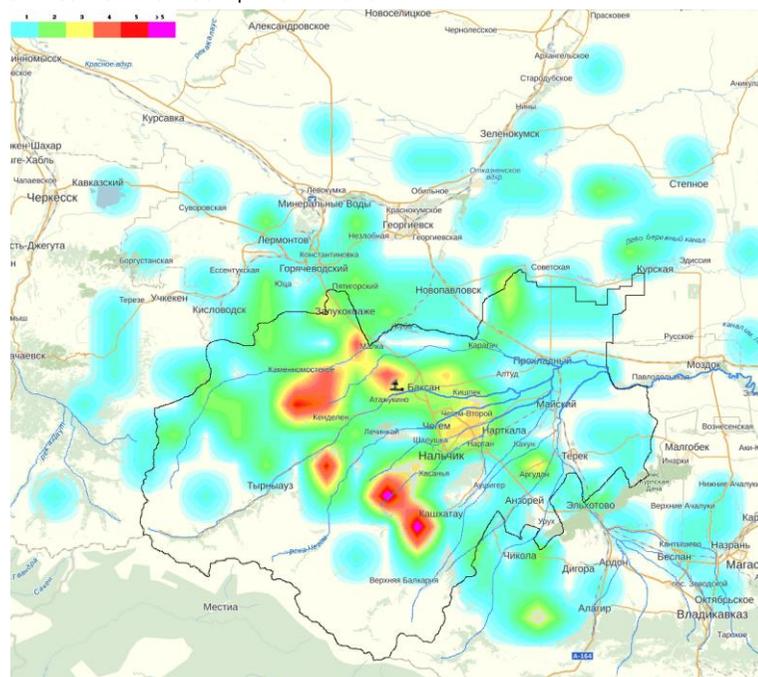


Рис. 6. Карта района появления первого радиоэха градовых облаков.

Как следует из рис.6, основное количество зарождений градовых облаков локализовано вокруг г. Нальчик, что создает повышенную опасность градобитий и самому городу, и окрестным селам.

На рисунке можно наблюдать 6 ярко выраженных областей (выделено желтым и красным цветом), объединяющих большое количество (4 и более) случаев зарождения градовых облаков, 5 из них на территории КБР, 1 на территории РСО–Алания. Как видно из рисунка, области 3 и 5 расположены на высоте до 500 м, остальные из них находятся на высотах более 500 м над уровнем моря.

Область № 1 расположена в междуречье р. Малка и р.Баксан, в районе сел Каменномостское, Сармаково, Малка, Атажукино и Кенделен.

Область № 2 расположена в междуречье р. Баксан и р.Чегем в районе сел Былым, Безык, Хушто–Сырт и Нижний Чегем.

Область № 3 расположена севернее г. Нальчик, в междуречье р. Чегем и р.Урвань в районе сел Шалушка, городов Чегем и Нарткала.

Область № 4 расположена южнее г. Нальчик, в междуречье р. Чегем и р. Черек, в районе сел Белая Речка, Хасанья, Кашхатау, Карасу и Бабугент.

Область № 5 расположена в междуречье р. Черек и р. Терек юго-западнее г. Терек, сел Аргудан и Старый Черек.

Область № 6 расположена юго-западнее г. Алагир в междуречье р. Терек и р. Черек.

Анализ показывает, что в этих областях зарождается более 60% всех градовых облаков. Остальные места зарождения градовых облаков более или менее равномерно распределены по всей площади наблюдений.

Градовые облака под действием ветра перемещаются из областей их зарождения, отклоняясь от ведущего потока в ту или иную сторону. Основные статистические данные о скорости и направлении перемещения градовых облаков для данного региона, полученные при помощи радиолокационных измерений, приводятся в [5,6,9].

Для каждой из рассмотренных областей зарождения градовых облаков были получены преимущественные направления их перемещения, которые сведены в таблицу.

Таблица. Преимущественные направления перемещения градовых облаков из областей их зарождения

Область	Направление перемещения градовых облаков в % от всех направлений.							
	С	С-В	В	Ю-В	Ю	Ю-З	З	С-З
1	4%	-	4%	8%	-	16%	32%	36%
2	-	-	-	-	14%	43%	14%	29%
3	7%	-	19%	-	7%	13%	27%	27%

4	10%	-	-	5%	10%	43%	14%	18%
5	-	-	67%	-	-	33%	-	-
6	-	-	-	-	33%	67%	-	-

Таким образом, проведенные исследования позволяют на основании знаний основных областей зарождения градовых облаков и их преимущественных направлений перемещения разработать комплекс сценариев развития ситуации.

Исследования первого радиозеха градовых облаков показали, что:

1. Образование первого радиозеха градовых облаков чаще всего происходит выше нулевой изотермы (65-70% случаев), почти в 80% случаев верхняя граница первого радиозеха находится выше 4,0 км.

2. В 65 % случаев первое радиозехо облаков появляется в дневное время до 17 часов.

3. Большая часть (почти 70%) всех градовых облаков зарождается над территорией с высотой до 1000 м над уровнем моря. Причем, с ростом высоты места до уровня 1000 м растет вероятность зарождения градовых облаков. Далее с ростом высоты наблюдается падение вероятности появления первого радиозеха до 1500 м. Для высот от 1500 до 2500 и выше снова наблюдается небольшой рост вероятности.

4. Основное количество зарождений градовых облаков локализовано вокруг г. Нальчик, что создает повышенную опасность градобитий и самому городу и окрестным селам.

5. В результате исследований были выделены 6 областей, объединяющих большое количество (4 и более) случаев зарождения градовых облаков, 5 из них на территории КБР, 1 на территории РСО–Алания. Области 3 и 5 расположены на высоте до 500 м, остальные находятся на высотах более 500 м над уровнем моря.

Список литературы

1. Абшаев М.Т., Буранова И.А, Малкарова А.М. О климатологии града на Северном Кавказе // Труды 6-й конференции КБНЦ РАН. – Нальчик. 2006. С.5-12.

2. Абшаев М.Т., Имамджанов Х.А. Строение и эволюция мультячейковых штормов в Ферганской долине. //Тр. ВГИ. 1976. Вып.33. С.100-114.

3. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций Южного федерального округа России.- М.: Изд-во «Дизайн, Информация, Картография», 2007. 386 с.

4. Бабиченко В. Н., Розова В. С. Климатическая характеристика града

на Украине. – Л.: Гидрометеоиздат, 1964.

5. Барекова М.В., Газаева З.А., Макитов В.С. Характерные траектории суперячейковых градовых процессов на Северном Кавказе //Тр. ВГИ. 1999. Вып. 90. С.80-95.

6. Газаева З.А., Макитов В.С. Распределение траекторий перемещения многоячейковых градовых процессов на Северном Кавказе //Тр. ВГИ. 1991. Вып. 80. С.93-99.

7. Гигинейшвили В.М. Градобития в Восточной Грузии. – М.: Гидрометеоиздат, 1960.

8. Завертнев М. П., Хаджиев М. А. К вопросу о повторяемости градобитий на Северном Кавказе. // Тр. ВГИ. 1966. Вып. 5.

9. Инюхин В.С., Малкаров А.С., Чередник Е.А. Динамические характеристики градовых ячеек // Доклады Всероссийской конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы. Нальчик, 2011. С.199-206.

10. Инюхин В.С. Повторяемость некоторых микрофизических параметров града в сезонах 2009-2010 гг. на территории КБР.//Доклады Всероссийской конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы. Нальчик, 2011. С.192-198.

11. Кортава И. Н. Град и повреждения, наносимые им сельскохозяйственным культурам в разные периоды вегетации на территориях Кабардино-Балкарской и Северо-Осетинской АССР. //Тр. ВГИ. 1969. Вып. 14.С. 254-266.

12. Кортава И. Н. Районирование территории КБАССР по градоопасности. //Тр. ВГИ. 1972. Вып. 20. С. 22-29.

13. Пастух В. П., Сохрина Р. Ф. Град на территории СССР //Тр. ГГО. 1957. Вып. 74.

14. Разумов В.В. и др. Опасные природные процессы юга Европейской части России.– М.: Изд-во «Дизайн, Информация, Картография». 2008. 388 с.

15. Сафаров С.Г. Особенности структуры и динамика развития градовых облаков в центральной части Закавказья. //Тр. ВГИ. 1991. Вып.80. С.74-93.

16. Федченко Л.М., Гораль Г.Г., Беленцова В.А., Мальбахова. Н.М. Опасные конвективные явления и их прогноз в условиях сложного рельефа. – М.: Гидрометеоиздат, 1991. 425 с.

17. Чеповская О. И. Предварительные результаты исследования распределения града на поверхности Земли.// Тр. ВГИ. 1966. Вып. 3(5).

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТ ВЫПАДЕНИЯ ГРАДА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

В.С. Инюхин, С.А. Куцев, К.Б. Лиев

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», г. Нальчик

Северный Кавказ является одним из наиболее градоопасных районов Российской Федерации. Сложность орографии, высокая температура подстилающей поверхности, а также большое влагосодержание воздушных масс, приходящих с бассейна Черного моря, обуславливают развитие интенсивных градовых процессов. В ряде регионов происходят катастрофические градобития, почти полностью уничтожающие посевы сельскохозяйственных культур и приносящие огромный материальный ущерб населению.

Целью данной работы было районирование территории центральной части Северного Кавказа по местам выпадения града.

Нами были рассмотрены работы, проведенные ранее в этой области, и проанализированы результаты полученных работ [2,6,7,9]. Недостатком предыдущих исследований является использование в качестве материалов наблюдений за градом данных метеорологических станций и постов, а они не показывают пространственного распределения градовых осадков. Для метеорологического анализа использовались станции, расположенные до высоты 1000 м над уровнем моря, что не дает нам полной картины градоопасности региона. В связи с глобальным изменением климата данные, полученные в прошлые годы, потеряли актуальность.

Только применение радиолокатора в метеорологии позволило получить качественно новую информацию об осадках – общую картину их пространственного распределения на большой площади при большом пространственном и временном разрешении. Все полученные нами данные основываются только на радиолокационной информации. Как показано во многих работах, например [1,3-5,8], сравнение радиолокационных данных с наземными измерениями показывает, что применение радиолокатора может давать вполне удовлетворительный для практики результат.

Для исследования использовался автоматизированный метеорологический радиолокационный комплекс (АМРК) «МетеоХ», расположенный на научно-исследовательском полигоне ВГИ «Кызбурун». Основа комплекса - двухволновый метеорологический радиолокатор МРЛ-5.

Исследования проводились в летний период с 2011 по 2013 годы. Анализ данных показал, что в среднем за три года на июнь приходится 46% градобитий, на июль - 36% и на август -18%. Интерес также представляет время суток, в которое наиболее часто выпадает град. Выпадение града происходит преимущественно в послеполуденные и вечерние часы - с 13 до 24 ч., на указанное время приходится 97,5% случаев выпадения града, на ночные часы - 2,5%, а в первую половину дня, с 7 до 13 часов, выпадение града не отмечалось.

По радиолокационным данным нами были построены карты распределения случаев выпадения града в зоне наблюдений. Ниже приводятся усредненные по трем летним месяцам случаи выпадения града по каждому из трех лет (рис.1,2,3) и обобщенная карта за три года (рис.4).

В сезоне 2011 года с июня по август наблюдалось 17 дней с градом, наличие двух градовых процессов в ночное время и отсутствие суперячейковых процессов. Внутримассовые градовые процессы реализовались в 4 случаях, на фронте окклюзии – в 2-х, в 3-х случаях оказывал влияние южный циклон и в 2-х - холодный фронт с севера.

Развитие грозоградовых процессов в течение всех рассматриваемых сезонов было обусловлено взаимодействием холодных влажных полярных масс воздуха с тропическими, образованием частных циклонов и обострением фронтальных разделов, при наличии струйных течений меридионального направления.

На рис.1 представлено распределение зон выпадения градовых осадков за сезон 2011г. Как видно из рисунка, в 2011 году град выпадал преимущественно двумя параллельными главному Кавказскому хребту полосами. Первая – на севере в Ставропольском крае от района г. Зеленокумск до Ростовановского водохранилища на границе с КБР. Вторая, более мощная, – на юге, от района Минеральных Вод до селений Дур-Дур и Карман (РСО-Алания). Эта полоса проходит через населенные пункты: Пятигорск, Залукокоаже, Малка, Баксан, Чегем, Шалушка, Нальчик, Хасанья, Аушигер, Кашхатау, Чикола, Алагир, и, как будет видно из рисунков 2 и 3, она и в последующие годы определяет места частых градобитий.

Больше всего случаев выпадения града было в предгорных зонах Зольского, Баксанского, Чегемского, Черекского районов, а также на территории г. Нальчик. В равнинной части республики в 2011 году града почти не наблюдалось.

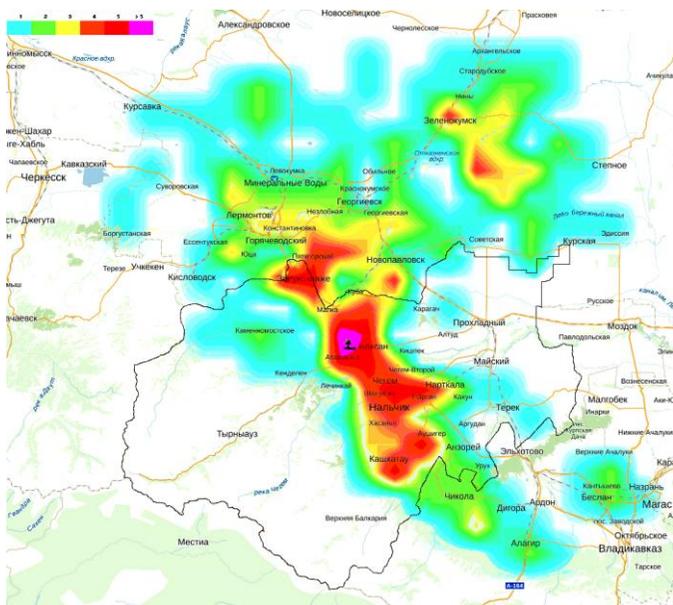


Рис.1. Распределение мест выпадения града в летнем сезоне 2011г.

За период с июня по август 2012 года по району наблюдений отмечено 16 дней с градом. Подавляющее количество градовых процессов обуславливалось вторжениями холодных воздушных масс с северо-запада и запада (14 случаев), с севера и северо-востока (5 случаев). Внутримассовые процессы реализовались в пяти случаях, на фронте окклюзии – в трех, в семи оказывал влияние южный циклон.

На рис.2 приводятся данные о зонах выпадения града за данный период. На рис.2 можно заметить, что в 2012 году чаще всего град выпадал в Баксанском, Урванском, Лескенском районах и в предгорной части Чегемского муниципального района. Анализ показал, что в Прохладненском и Терском районах, как и в 2011 году, градобитий почти не наблюдалось.

В сезоне 2013 года в районе наблюдений отмечен 21 день с градом. 2013 год по общему количеству дней с градом, ливнями и грозами аналогичен 2012 году. Отличием является отсутствие дней с градом в апреле, наличие трех градовых процессов в ночное время, с 6 на 7 мая, с 1 на 2 июля и с 15 на 16 сентября в РСО-Алании, наличие интенсивного градового процесса в сентябре (15 сентября), развитие 2 градовых процессов четвертой категории.

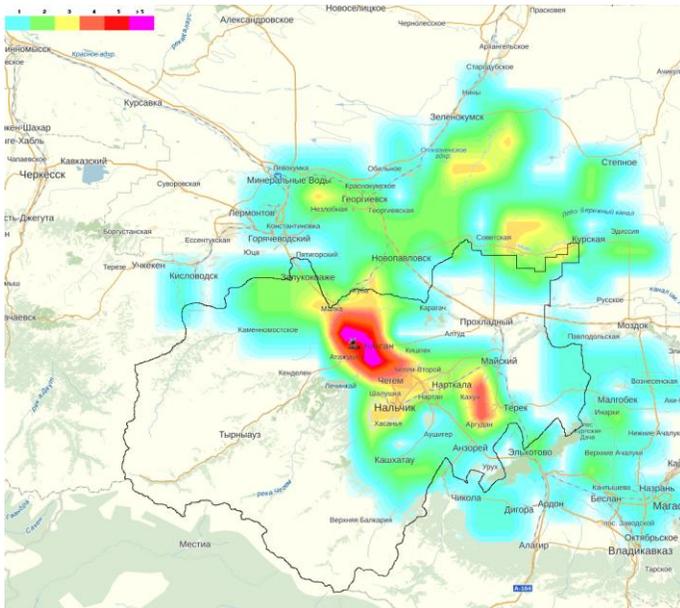


Рис.2. Распределение зон выпадения града в 2012г.

Подавляющее количество градовых процессов обуславливалось вторжениями холодных воздушных масс с северо-запада и запада (8 случаев), с севера и северо-востока (3 случая). Внутримассовые процессы реализовались в 10 случаях, на фронте окклюзии – в 2-х, в 8 случаях оказывал влияние южный циклон.

На рис.3 представлено распределение зон выпадения градовых осадков за сезон 2013г.

Из рис.3 видно, что в 2013 году распределение зон выпадения града сильно отличается от предыдущих годов. С мая по август наибольшая часть зон выпадения града прихлась на Зольский, Баксанский, Урванский и Прохладненский районы, а также на Кировский район Ставропольского края, Дигорский район РСО-Алании.

Среднее значение повторяемости зон выпадения града по всем трем годам представлено на рисунке 4. Из него следует, что площадь территории КБР, на которой град выпадает 3 и более раз за сезон, занимает около 1325 км², что составляет 18,6% от общей площади земель сельскохозяйственного значения. Очень градоопасным является Зольский район, особенно его северная часть [6].

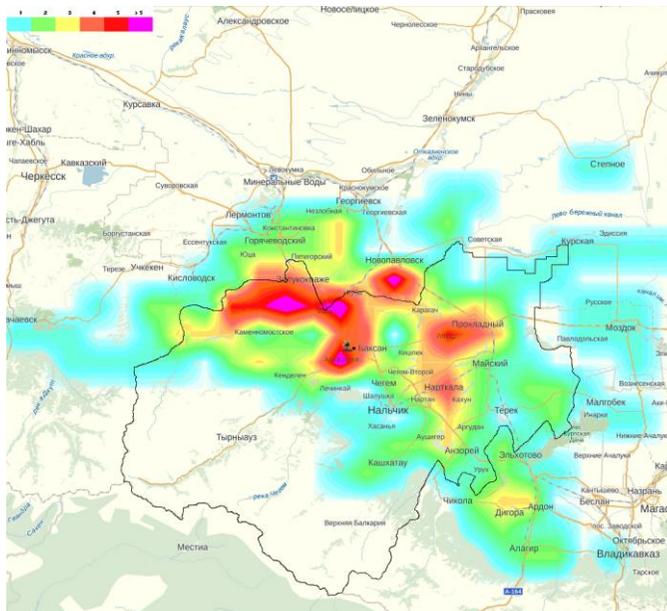


Рис.3. Распределение зон выпадения града в 2013г.

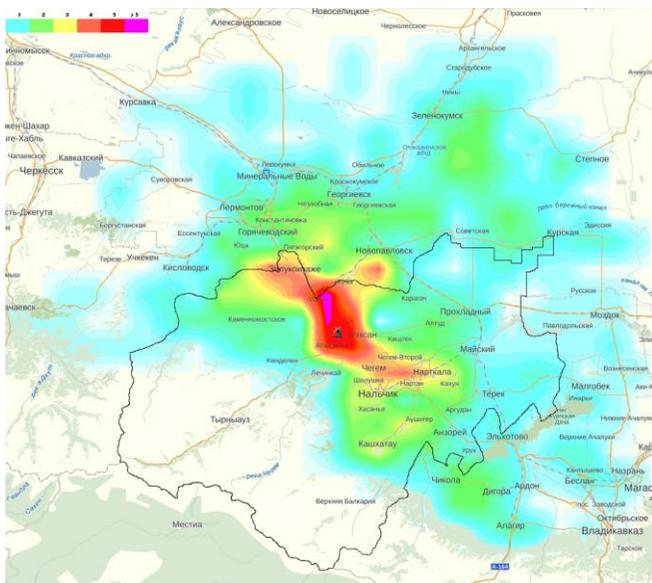


Рис. 4. Распределение зон выпадения града среднее за период с 2011 по 2013г.

Таким образом, среднесезонное количество выпадений града убывает с северо-запада на юго-восток. Повышенная градоопасность северо-западного района связана с вторжениями неустойчивых воздушных масс с запада и частным циклогенезом в районе Теберды. Подавляющее количество грозоградовых процессов обуславливалось вторжениями холодных воздушных масс с северо-запада и запада и с севера, но, развивались и внутримассовые процессы. При внутримассовых процессах преимущественным местом зарождения градовых облаков служат наветренные склоны хребтов, а над равниной - долины рек, зоны приземной конвергенции. В этих же местах происходит усиление облачных зон фронтального происхождения.

Основной причиной развития интенсивных грозоградовых процессов является активизация южных циклонов, циклонов средних широт и связанных с ними фронтальных разделов в результате меридиональной адвекции холодных влажных полярных масс воздуха в тропосфере, при наличии струйных течений, а в приземном слое - с максимальным прогревом воздуха до 30-35°C.

В заключение следует отметить, что в период с 2011 по 2013гг. наибольшее количество градобитий в зоне исследования наблюдается в предгорной и горной частях, с центром в Баксанском и Зольском районах. Окончательные выводы по рассматриваемому вопросу пока сделать нельзя, из-за неполноты данных и недостаточного количества фактического материала. Хотя следует отметить, что средние значения, приведенные на рисунке 4, полученные в наших исследованиях, хорошо согласуются с данными приведенными рядом авторов [6,9]. Дополняя проделанную работу новыми данными и данными полученными ранее можно более точно определить локализацию выпадения града, что позволит нам дать рекомендации для противоградовых служб и сельскому хозяйству.

Список литературы

1. Абшаев М. Т., Бибилашвили Н. Ш. Радиолокационный метод определения спектра и концентрации градин в конвективных облаках.//Тр. ВГИ. - 1966. - Вып. 3(5).- С.154-163.
2. Завертнев М. П., Хаджиев М. А. К вопросу о повторяемости градобитий на Северном Кавказе//Тр. ВГИ. – 1966. - Вып. 5.
3. Инюхин В.С., Болгов Ю.В., Хучунаев Б. М. Радиолокационные и наземные измерения параметров града//Тр. ВГИ. - Вып. 94.- С. 98-111.
4. Инюхин В.С., Лиев К.Б., Малкаров А.Я., Суслов В.В. К вопросу о точ-

ности радиолокационных измерений суммарных осадков//Известия КБНЦ РАН.- 2011, №3.- С. 36-44.

5. Инюхин В.С., Макитов В.С., Суслов В.В. Возможности использования сети автоматических метеостанций для измерения осадков при проведении радиолокационных наблюдений//Доклады Всероссийской конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы.- Нальчик, 2011. – С. 219-232.

6. Кортава И. Н. Районирование территории КБАССР по градоопасности //Тр. ВГИ. – 1972. - Вып. 20.- С. 22-29.

7. Кортава И. Н. Град и повреждения, наносимые им сельскохозяйственным культурам в разные периоды вегетации на территориях Кабардино-Балкарской и Северо-Осетинской АССР//Тр. ВГИ. – 1969. - Вып. 14.- С. 254-266.

8. Метеорологические автоматизированные радиолокационные сети.- Гидрометеоиздат, 2002.

9. Чеповская О. И. Предварительные результаты исследования распределения града на поверхности Земли//Тр. ВГИ. – 1966. - Вып. 3(5).

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНТЕНСИВНОГО ГРАДОВОГО ПРОЦЕССА, РАЗВИВАВШЕГОСЯ НАД ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТЬЮ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА 07.06.2012. ЧАСТЬ I. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ И АЭРОСИНОПТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ КОНВЕКТИВНОЙ ОБЛАЧНОСТИ

М.В. Бареева, В.С. Инюхин, В.С. Макитов

*ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», г. Нальчик,
inuhin51@mail.ru*

Введение

Радиолокационные методы являются наиболее эффективным средством исследования микрофизических и динамических процессов, протекающих в грозоградовых облаках. С одной стороны, это связано с определенными ограничениями, а иногда и невозможностью использования прямых самолетных методов. С другой стороны, анализ полей радиолокационной отражаемости конвективной облачности позволяет исследовать опасные

природные явления большого масштаба в реальном времени. В последние годы дополнительные преимущества такого подхода предоставляет использование автоматизированных компьютерных систем сбора, обработки и анализа радиолокационной информации [1,7,10]. Реализованные в таких системах алгоритмы расчета параметров микроструктуры облаков и осадков, площади выпадения града, объема градового очага, потока кинетической энергии и суммарной кинетической энергии выпадающего града позволяют более детально исследовать основные закономерности зарождения и роста града, выявить особенности структуры и динамики развития градовых облаков.

С другой стороны, известно [4], что градовые процессы, обладающие одинаковой пространственной структурой, формируются при практически одинаковых аэросиноптических условиях. Учитывая это, сопоставительный анализ данных температурно-ветрового зондирования атмосферы, синоптической и спутниковой информации как фоновых данных при проведении радиолокационных исследований, приобретает важное значение. Именно поэтому системное архивирование радиолокационной информации совместно с аэросиноптическими и термодинамическими характеристиками атмосферы с целью формирования специализированных баз данных по градовым процессам каждого конкретного региона, позволит создать ряд ситуационных моделей развития опасных конвективных явлений. Все это может в значительной степени улучшить оперативный прогноз типа градового процесса и выработку правильной стратегии активного воздействия.

В связи с этим, в первой части данной работы представлен комплексный анализ термодинамических и аэросиноптических условий, способствовавших развитию интенсивного градового процесса над центральной частью Северного Кавказа 07 июня 2012 года, а во второй части работы дан комплексный анализ результатов радиолокационных исследований.

Аэросиноптические и термодинамические условия формирования и развития градового процесса 07.06.2012

Анализ синоптической ситуации и прогноз развития градового процесса 07.06.2012 проводился согласно принципам, изложенным в [5], когда развитие и интенсивность градового процесса определяется не только мезомасштабными термодинамическими и циркуляционными характеристиками рассматриваемого региона, но и факторами макромасштабной циркуляции в средней и верхней тропосфере, к которым следует отнести характер макромасштабной циркуляции, глубину и направленность макроложбины, интенсивность развитых в ней циклонов, с которыми связаны «градоопасные зо-

ны» – области наиболее интенсивной адвекции холодного воздуха над регионом прогноза.

В последние годы преобладающим типом макромасштабной циркуляции в средней тропосфере является зональный тип W или тип Wc с нарушением зональности. Он характеризуется преобладанием неглубоких (до 1,5 тыс. км) широких макроложбин, быстро перемещающихся вдоль широтных кругов и отсутствием Арктического минимума (центра низкого давления) в приполярной области. Струйное течение при этом располагается значительно севернее района Кавказа.

В рассматриваемом случае (5-7 июня 2012 г.) характер макромасштабной циркуляции в средней тропосфере (АТ 500гПа) представлял собой зональный тип Wc с нарушением зональности и был определен по характерной для данного месяца изогипсе 560гПа [4]. Арктический центр низкого давления [5,6] находился в районе моря Лаптевых ($t_{ц} = -24^{\circ}\text{C}$, $n=4$), но макроложбина, распространившаяся к югу и способствовавшая развитию градового процесса, возникла благодаря многоцентровой циклонической депрессии, сформировавшейся над Скандинавией ($t_{ц} = -24^{\circ}\text{C}$, $n = 3$). Такой характер макромасштабной циркуляции приводит, как правило, к развитию локальных грозоградовых процессов средней интенсивности (рис. 1).

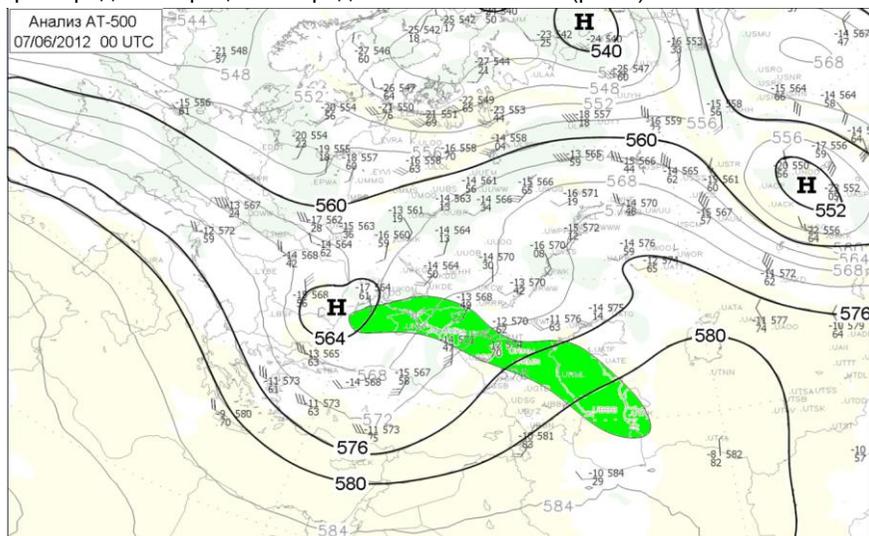


Рис.1. Характер макромасштабной циркуляции в средней тропосфере (АТ 500гПа) 07.06.2012 г. Зеленым цветом выделена «грозоопасная зона».

Постепенное расширение макроложбины к 07.06.2012 и смещение ее к востоку обеспечивало заток холодного воздуха в регион и формирование благоприятных условий для развития глубокой конвекции. Область наиболее интенсивной адвекции холодного воздуха – «градоопасная зона» – сформировалась благодаря наличию частного циклона и связанного с ним очага холода над западом Черного моря с температурой в центре -17°C [2]. «Градоопасная зона» располагалась вдоль гор и имела значительную протяженность (рис.1). Интенсивность адвекции в системе «градоопасной зоны» в средней тропосфере, согласно [3,4], составляла

$$F_1 = -0,471 \cdot 10^{-5} \text{ град} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-1} / 100\text{км} \text{ (05.06.2012),}$$

$$F_2 = -0,272 \cdot 10^{-5} \text{ град} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-1} / 100\text{км} \text{ (06.06.2012),}$$

$F_3 = -0,426 \cdot 10^{-5} \text{ град} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-1} / 100\text{км}$ (07.06.2012), что также указывает на развитие градового процесса средней интенсивности.

У поверхности земли процесс развивался в малоградиентном поле пониженного давления, обусловленном ложбиной с юга, в системе которой возникают частные циклоны: один над восточным побережьем Черного моря, перемещающийся затем к северу и занимающий обширную территорию, другой – над восточными районами Северного Кавказа. Циклонические образования существуют в течение всего дня и подпитываются углубляющимся циклоном с юга. Положение частных циклонов определило области локализации развивающихся конвективных процессов. Для подтверждения этой гипотезы нами было построено поле приземной температуры смоченного термометра на кольцевой карте региона за 03 ч грвч. 07.06.2012 и выявлены приземные линии потенциальной неустойчивости, локализирующие области предполагаемого развития градовых процессов [9]. По сути, выделяемые области градиента температуры смоченного термометра $\Delta t_{\text{см}}/\Delta x$ являются областями наибольших энергетических контрастов между участками воздушной массы и приводят к локальному усилению конвективного (градового) процесса, увеличению его интенсивности. Пороговым значением градиента $\Delta t_{\text{см}}/\Delta x$ в выделенных областях, при котором наблюдается развитие градового процесса, является $\Delta t_{\text{см}}/\Delta x = 2^{\circ}\text{C}/100 \text{ км}$. Чем выше значение градиента $\Delta t_{\text{см}}/\Delta x$, тем выше интенсивность развивающегося процесса. В рассматриваемом случае градиенты температуры смоченного термометра $\Delta t_{\text{см}}/\Delta x$ в выделенных областях достигали $4,8^{\circ}\text{C}/100 \text{ км}$; $2,4^{\circ}\text{C}/100 \text{ км}$ и $8,6^{\circ}\text{C}/100 \text{ км}$. Как показал анализ радиолокационной информации, выделенные области

приземных градиентов температуры смоченного термометра в целом совпадали с областями усиления развивавшихся градовых ячеек.

Анализ термодинамического состояния воздушных масс в исследуемые дни проводился на основе данных температурно-ветрового зондирования тропосферы, выполненного на метеостанции Минеральные Воды. Термодинамические условия развития градового процесса 07.06.2012 являются наиболее благоприятными для процессов высокой интенсивности. Как видно из рис.2, значение полной энергии неустойчивости атмосферы 07.06.2012 достигло 2542 Дж/кг, что обычно характерно для интенсивных градовых процессов. Следует особо отметить наличие небольшого слоя инверсии температуры на уровне 700 гПа. Такой инверсионный слой приводит к определенному торможению в развитии конвекции на ранней стадии и играет роль своеобразного форсажа при дальнейшем прогреве подстилающей поверхности. После прорыва этого задерживающего слоя конвекция получает дополнительный динамический импульс, вследствие чего максимальные скорости восходящих потоков в градовых облаках существенно превышают расчетные значения. Именно этим зачастую объясняется рост крупного града в облаках, где по расчетам прогнозировался град среднего размера. Прогноз типа градового процесса для данного дня по соотношению «полная энергия неустойчивости – сдвиг ветра» показывает, что наиболее вероятным в этот день выглядит развитие многоячейкового градового процесса. Причем точка, соответствующая данному процессу на врезке рис.2, находится практически на границе с областью процессов так называемого переходного типа. Отдельные ячейки таких процессов имеют стадию квазистационарности, характерную для суперячейковых градовых облаков. Как показали радиолокационные наблюдения, наиболее интенсивные градовые ячейки процесса 07.06.2012 действительно были достаточно долгоживущими и имели в своем развитии хорошо выраженную стадию квазистационарности. Приведенный на нижней врезке рис.2 график показывает, что градовый процесс 07.06.2012 относится к процессам средней или высокой интенсивности, вероятность процесса слабой интенсивности существенно ниже.

Представленный выше анализ данных радиозондирования атмосферы базируется на основе так называемого метода частицы – одного из наиболее простых методов оперативного анализа конвекции.

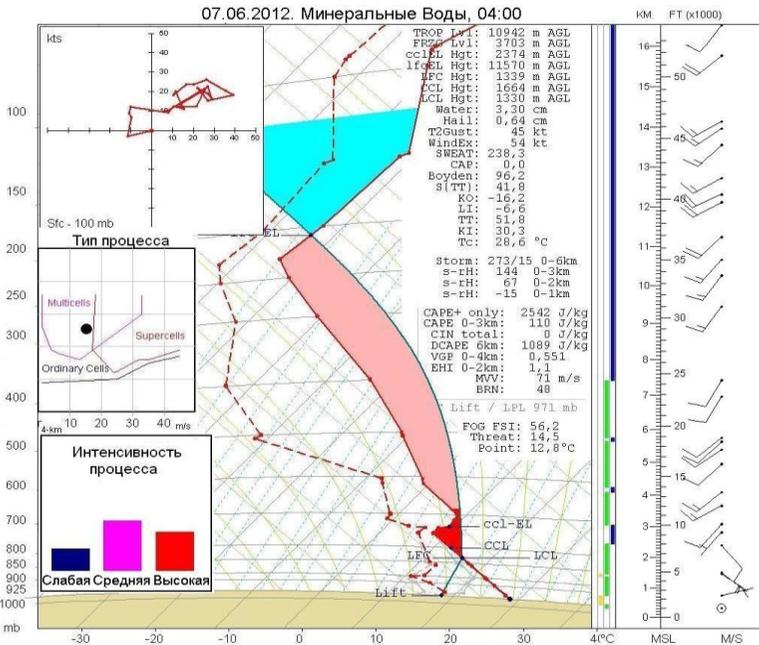


Рис.2. Результаты температурно-ветрового зондирования тропосферы за 04:00 07.06.2012, выполненного на метеостанции Минеральные Воды. Максимальные значения приземной температуры и температуры точки росы скорректированы по данным автоматической метеостанции, расположенной в Нальчике.

На рис.3 приводятся результаты расчета основных термодинамических параметров градового облака в рамках струйной модели конвекции, разработанной в [6]. Используется полутримерная стационарная численная модель конвективного облака, входными параметрами для которой служат данные температурно-ветрового радиозондирования атмосферы. Расчет проводился с использованием результатов радиозондирования в пункте Минеральные Воды с коррекцией максимальных приземных значений температуры и влажности воздуха по данным автоматической метеостанции, установленной в Нальчике.

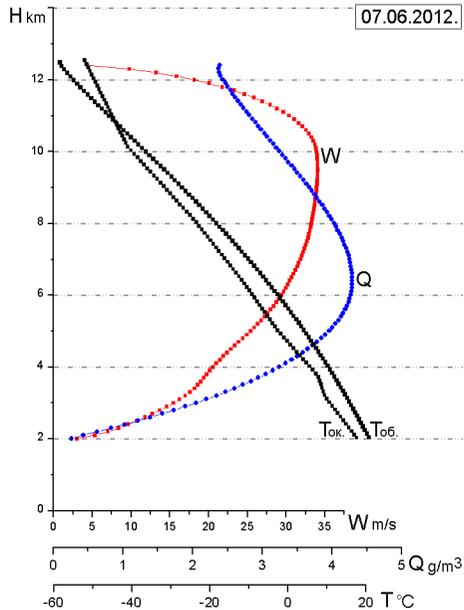


Рис.3. Результаты расчета основных термодинамических параметров градового облака 07.06.2012 в рамках струйной модели облачной конвекции. Приводятся высотные распределения скорости вертикальных потоков W , водности Q и температуры в облаке $T_{об}$ и окружающей атмосфере $T_{ок}$.

Приведенные на рис.3 кривые в значительной степени соответствуют распределению полной энергии неустойчивости атмосферы, показанному на рис.2. Максимальный перегрев в модельном облаке составил $6,45\text{ }^{\circ}\text{C}$ на высоте $5,2\text{ км}$. Максимальная скорость восходящих потоков в облаке достигала $34,1\text{ м/с}$ на высоте $9,5\text{ км}$ при температуре в облаке $-30,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Очевидно, что такое расположение уровня максимальной вертикальной скорости в облаке способствует росту крупного града. Кроме того, наличие характерного плато в распределении скорости восходящего потока на высотах от $6,5$ до 10 км , расположенного непосредственно над максимумом жидкокапельной водности ($6,5\text{ км}$), свидетельствует об оптимальных условиях для роста крупного града в этот день.

Заключение

1. Факторами, способствующими развитию интенсивного градового процесса 07.06.2012, послужило наличие в средней тропосфере (АТ 500) Арктического центра низкого давления и макроложбины, распространявшейся к югу, а также достаточно интенсивная адвекция холодного воздуха в ре-

($F_3 = -0,426 \cdot 10^{-5} \text{ град} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-1} / 100 \text{ км}$, 07.06.2014).

2. Области локализации градового процесса явились области приземного градиента температуры смоченного термометра, величина градиента в которых превышала $2^\circ\text{C}/100 \text{ км}$: $4,8^\circ\text{C}/100 \text{ км}$ и $8,6^\circ\text{C}/100 \text{ км}$. Выделенные области приземной потенциальной неустойчивости совпадали с областями усиления развивающихся градовых ячеек.

3. Рассчитанные на основе струйной модели облачной конвекции термодинамические условия развития градового процесса 07.06.2012 г. являются наиболее благоприятными для процессов высокой интенсивности, что подтверждено фактическими характеристиками градового процесса, развивавшегося 07.06.2012, которые представлены во второй части данной работы.

Список литературы

1. Абшаев М.Т., Атабиев М.Д., Инюхин В.С., Капитанников А.В., Тапасханов В.О. Алгоритмы автоматизированного радиолокационного измерения полей микрофизических характеристик градовых осадков //Тр. ВГИ. 1990. Вып.77. С.86-106.
2. Бареева М.В. Влияние факторов макро- и мезомасштабной циркуляции на интенсивность градовых процессов в регионе Кавказа. //Тр. ГМЦ. 1990. Вып. 308. С.101-108.
3. Бареева М.В. Результаты статистического анализа взаимосвязи параметров высотных градоопасных зон с интенсивностью градовых процессов. //Тр. VIII научно-техн. конф. мол. ученых ВГИ.- Нальчик, 1989. Деп. в ВИНТИ 29.09.89, №6064-В89.
4. Бареева М.В., Газаева З.А., Макитов В.С. Характерные траектории суперячеековых градовых процессов на Северном Кавказе //Тр. ВГИ. 1999. Вып. 90. С.80-95.
5. Гораль Г.Г., Бареева М.В. Кинематика высотных циклонов и интенсивность градовых процессов в регионе Кавказа.//Тр. ВГИ. 1989. Вып.74. С.124-132.
6. Жекамухов М.К., Жакамихов Х.М. Некоторые результаты численного моделирования процессов градообразования в облаках при естественном их развитии и искусственном воздействии //Тр. ВГИ. 1983. Вып. 48. С. 13-29.
7. Инюхин В.С., Суслов В.В. Алгоритмы автоматизированного распознавания и анализа радиоэха облаков //Тр. ВГИ. 2010. Вып. 96. С. 89-100.

8. Руководство по долгосрочным прогнозам погоды на 3-10 дней. Л.: Гидрометеиздат, 1966.- 351 с.

9. Федченко Л.М., Гораль Г.Г., Беленцова В.А., Мальбахова.Н.М. Опасные конвективные явления и их прогноз в условиях сложного рельефа. – М.: Гидрометеиздат, 1995. – 424 с.

10. Dixon, Michael, and Gerry Wiener. TITAN: Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis, and Nowcasting - A Radar-based Methodology //J. Atmos. and Oceanic Technol. 1993. Vol. 10. N 6. P. 785-797.

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНТЕНСИВНОГО ГРАДОВОГО ПРОЦЕССА, РАЗВИВАВШЕГОСЯ НАД ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТЬЮ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА 07.06.2012. ЧАСТЬ II. РАДИОЛОКАЦИОННАЯ СТРУКТУРА И ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ГРАДОВЫХ ЯЧЕЕК

М.В. Барекова, В.С. Инюхин, В.С. Макитов

*ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», г. Нальчик,
inuhin51@mail.ru*

Особенности формирования, развития и перемещения градовых ячеек

Непрерывные многочасовые радиолокационные исследования градового процесса 07.06.2012 проводились с использованием двухволнового ($\lambda_1=3,2\text{см}$, $\lambda_2=10\text{см}$) метеорологического радара МРЛ-5, оснащенного автоматизированной компьютерной системой сбора, обработки и анализа радиолокационной информации [1,5].

Градовый процесс 07.06.2012 характеризовался наличием большого числа конвективных ячеек, последовательным формированием отдельных крупномасштабных комплексов ячеек на большой территории, охватывающей практически всю центральную часть Северного Кавказа. Такие процессы обычно относят к так называемым процессам переходного типа, когда отдельные, наиболее интенсивные градовые ячейки, имеют стадию квазистационарности, характерную для суперячейковых градовых облаков.

Первое радиозэхо градового процесса 07.06.2012 было зарегистрировано в 12:12 в верховьях р. Малка. Для градовых процессов центральной части Северного Кавказа такое расположение первого радиозэха является наибо-

лее повторяющимся вне зависимости от типа процесса и направления перемещения отдельных градовых ячеек. Более детально эти вопросы рассмотрены в работах [2,3,8]. В 12:25 было зарегистрировано первое радиоэхо комплекса конвективных ячеек, развивавшихся в средней части Баксанского ущелья. К 12:46 этот комплекс представлял собой полосу конвективных ячеек, ориентированную с севера на юг. Интенсивно развиваясь и сменяя друг друга, ячейки этого комплекса достигли грозовой стадии. В отдельных ячейках индицировались крупа и мелкий град. К 13:45 одна из ячеек комплекса становится доминантной (в дальнейшем ячейка 1). В это же время в горах, в междуречье Кубани и Малки, формируется новый комплекс грозовых ячеек. Общая картина развития конвективной облачности, зарегистрированная радаром в 13:45, показана на рис.1. Там же приводится серия последовательных вертикальных разрезов ячейки 1. На рис.1 также, как и на всех последующих рисунках, поля радиолокационной отражаемости приводятся без области 0-15dBZ. При анализе многоячеековых процессов большого масштаба это позволяет более наглядно отобразить ячейковую структуру облачных массивов и сократить размеры самих рисунков.

К 14:47 ячейка 1 достигла грозовой стадии. В 14:55 в ней индицируется град размером 1,5-2,0 см. К 15:22 ячейка 1 практически полностью диссипировала. К этому времени процесс развития новых ячеек постепенно приобретает упорядоченный характер. Активируется юго-восточная периферия облачного массива. Так в 15:40 юго-западнее Нальчика было зарегистрировано первое радиоэхо новой конвективной ячейки (в дальнейшем ячейка 2).

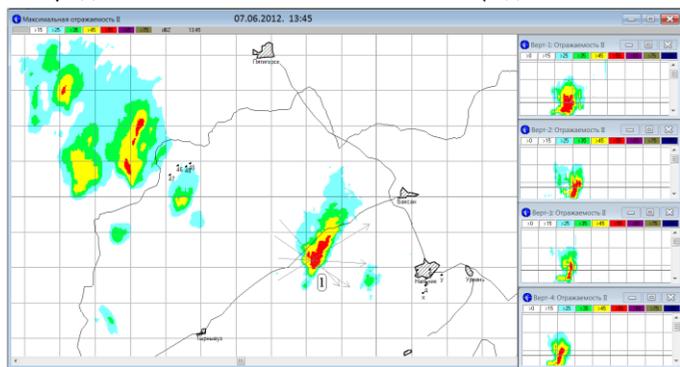


Рис.1. Общая картина развития конвективной облачности, зарегистрированная радаром в 13:45. Справа приводится серия вертикальных разрезов ячейки 1 (направления разрезов показаны стрелками).

Смещаясь на северо-восток и интенсивно развиваясь, к 16:11 эта ячейка достигла грозовой стадии. В 16:40 в ячейке 2 индицировался крупный град с

d_{\max} = 4-5см. По наземным данным в это время отмечалось выпадение града в западных пригородах Нальчика. В 15:54 юго-восточнее Нальчика регистрируется первое радиоэхо новой конвективной ячейки (в дальнейшем ячейка 3). Эта ячейка, также, как и все предыдущие, смещалась на северо-восток. В 16:54 ячейка 3 достигла градовой стадии. В 16:28 юго-западнее Нальчика регистрируется первое радиоэхо новой конвективной ячейки (в дальнейшем ячейка 4), которая полностью повторяет эволюцию ячейки 2, двигаясь практически по той же самой траектории. К 16:44 исследуемый облачный массив представлял собой две параллельные полосы конвективных ячеек, ориентированных с северо-запада на юго-восток. При этом, наиболее интенсивные ячейки составляли восточную полосу, а развивающиеся - западную. Кроме того, с 16:37 начинается формирование нового комплекса конвективных ячеек северо-восточнее г. Прохладный, за пределами Кабардино-Балкарии. Находясь на расстоянии около 60км от рассматриваемых ячеек, этот комплекс в течение нескольких часов развивается, не взаимодействуя с ними. На рис.2 приводится общая картина развития конвективной облачности, зарегистрированная радаром в 16:44. Справа на врезке рисунка показаны вертикальные разрезы ячейки 2.

К 16:54 ячейка 4 достигла градовой стадии. Как было отмечено выше, траектория этой ячейки полностью повторяет траекторию ячейки 2. По интенсивности ячейка 4 незначительно уступает своей предшественнице, тем не менее после ее прохождения также отмечалась устойчивая полоса выпадения града в районе западных и северо-западных пригородов Нальчика.

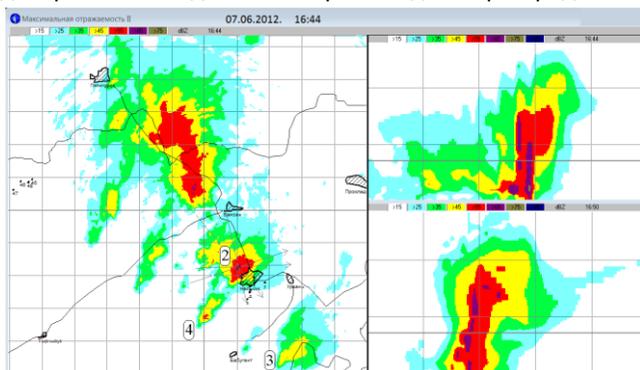


Рис.2. Общая картина развития конвективной облачности, зарегистрированная радаром в 16:44. Справа приводятся вертикальные разрезы ячейки 2 в плоскости максимальных значений радиолокационной отражаемости.

Примерно в то же время достигла градовой стадии и ячейка 3, развивавшаяся в районе границы между Кабардино-Балкарией и Северной Осеей.

тией. В 17:09 юго-восточнее ячейки 3 регистрируется первое радиоэхо новой конвективной ячейки (в дальнейшем ячейка 5). В 16:50 градовой стадии достигают северные ячейки комплекса, расположенного северо-восточнее г. Прохладный. К 17:09 град индицируется уже во всех ячейках этого комплекса. Именно с этого времени развитие ячеек основной полосы, ориентированной с северо-запада на юго-восток, начинает замедляться и к 17:38 прекращается вообще. Исключение составляет только ячейка 5, расположенная на южной периферии этой полосы. Эта ячейка находится на ранней стадии своего развития, но уже к 17:20 в ней индицируется град.

Примерно в это же время интенсивно развиваются ячейки нового комплекса, расположенного северо-восточнее г. Прохладный, на территории Ставропольского края. Они значительно превосходят по площади все ранее развивавшиеся ячейки. Град в них индицируется примерно с 16:50. В 17:36 южная ячейка этого комплекса (в дальнейшем ячейка 6) становится доминирующей, ее радиолокационная структура приобретает вид типичного суперячейкового градowego облака. На рис.3 приводится общая картина развития конвективной облачности, зарегистрированная радаром в 17:36. К этому времени своего максимального развития достигают ячейки 5 и 6. Активность остальных ячеек несколько снижается. Справа на рис.3 приводится серия вертикальных разрезов ячеек 5 (снизу) и 6 (сверху).

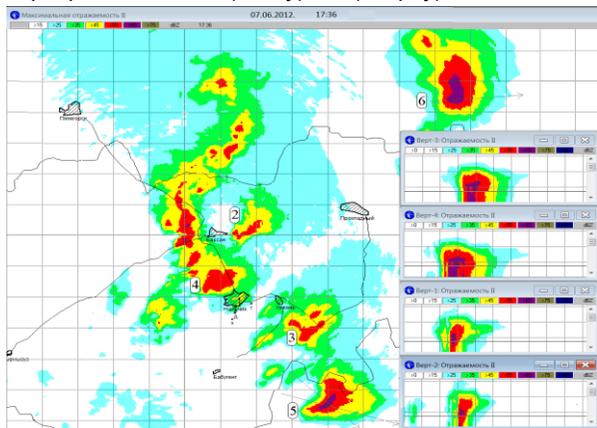


Рис.3. Общая картина развития конвективной облачности, зарегистрированная радаром в 17:36. Справа приводится серия вертикальных разрезов ячеек 5 (снизу) и 6 (сверху).

К 18:00 развитие ячеек северной части исследуемого облачного массива практически прекращается. Выпадение града продолжается только из самой южной ячейки комплекса (ячейки 5), движущейся с юго-запада на северо-

восток в районе границы между Кабардино-Балкарией и Северной Осетией. К 18:15 эта ячейка несколько ослабевает, продолжая тем не менее находиться в градовой стадии. К этому времени активность южной части комплекса выражается в формировании и развитии новых конвективных ячеек южнее и юго-восточнее ячейки 5. Примерно те же процессы происходят и в комплексе, расположенном северо-восточнее г. Прохладный. Ячейка 6 ослабевает и теряет свое доминирующее положение. Радиолокационная структура комплекса приобретает вид неупорядоченного многоячейкового процесса. В большинстве ячеек индицируются интенсивный ливень и крупа.

На рис.4 приводится общая картина конвективной облачности, зарегистрированная радаром в 19:51. К этому времени в облачном массиве отмечаются только две активные ячейки. Ячейка 8 находится на стадии диссипации. Все радиолокационные параметры ячейки падают, зона повышенной отражаемости распадается на несколько локальных максимумов, отмечается выпадение дождей на большой площади. Ячейка 9 достигает стадии максимального развития. В облаке индицируется град с максимальным размером $d_{\max} = 1,5 - 2,0$ см. При этом общая интенсивность процесса падает. Резко замедляется, а затем и полностью прекращается процесс формирования новых ячеек. Фактически ячейки 8 и 9 являются последними градовыми ячейками, развивавшимися в этот день. Учитывая то, что первые градовые ячейки были зарегистрированы северо-западнее Нальчика, в междуречье Кубани и Малки, а последние юго-восточнее, на территории Северной Осетии-Алании, можно сделать вывод о том, что процесс градообразования в этот день распространялся с северо-запада на юго-восток, хотя отдельные градовые ячейки перемещались в основном с юго-запада на северо-восток.

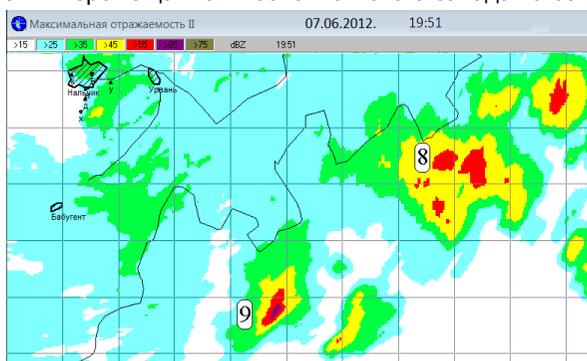


Рис.4. Общая картина развития конвективной облачности, зарегистрированная радаром в 19:51.

Таким образом, градовый процесс 07.06.2012 года характеризовался большим количеством конвективных ячеек, зарождение, формирование и развитие которых проходило без строгой организации и упорядоченности. Несмотря на это, градовый процесс 07.06.2012 года скорее относится к процессам переходного типа, чем к неупорядоченным многоячейковым процессам, поскольку наиболее интенсивные градовые ячейки имели стадию квазистационарности, характерную для суперячейковых облаков. Формирование и развитие отдельных градовых ячеек проходило в нескольких крупномасштабных кластерах, расположенных на территории Кабардино-Балкарии, Ставропольского края и Северной Осетии. Процесс градообразования в этот день распространялся с северо-запада на юго-восток, хотя отдельные градовые ячейки, сменяя друг друга, перемещались в основном с юго-запада на северо-восток. Общая продолжительность радиолокационных наблюдений в этот день составила около 12 часов – с 12:07 до 23:59.

Радиолокационные измерения параметров микроструктуры градовых облаков

Определение микрофизических параметров градовых облаков проводилось двухволновым радиолокационным методом, реализованным на автоматизированном комплексе MeteoX [1]. При этом расчет величин радиолокационной отражаемости града для двух длин волн выполнялся исходя из известного соотношения для радиолокационной отражаемости:

$$\eta_{\lambda_{1,2}} = 10^{-6} \int_{r_{min}}^{r_{max}} \sigma_{zp}(h, r, \lambda) n_{zp}(r) dr, \quad (1)$$

где $\eta_{\lambda_{1,2}}$ - радиолокационная отражаемость для $\lambda_1 = 3,2\text{см}$, $\lambda_2 = 10\text{см}$; $\sigma_{zp}(h, r, \lambda)$ - поперечное сечение обратного рассеяния града, зависящее от r – радиуса градины, λ - длины волны и h – толщины пленки воды на поверхности града; $n_{zp}(r)$ - функция распределения градин по размерам.

В качестве функции распределения градин по размерам используется гамма-распределение:

$$n(r) = N \frac{b^{\mu+1}}{\Gamma(\mu+1)} \frac{r^\mu}{\bar{r}^{\mu+1}} e^{-b \frac{r}{\bar{r}}}, \quad (2)$$

где $b = \sqrt{(\mu + 1)(\mu + 2)(\mu + 3)}$; μ – параметр формы кривой распределения; \bar{r}_3 – среднекубический радиус градин.

Из соотношений (1) и (2) видно, что отражаемость зависит от многих характеристик, однако результаты расчетов и их сопоставления с экспериментальными данными показали, что радиолокационная отражаемость града в основном определяется его размером (d_3) и концентрацией (N). Для случая двух длин волн имеет место система уравнений, связывающих радиолокационную отражаемость со среднекубическим диаметром и концентрацией града в облаке (при параметризации остальных характеристик):

$$\begin{aligned} \eta_{3.2} &= A_1 N d_3^{\alpha_1}, \\ \eta_{10} &= A_2 N d_3^{\alpha_2}. \end{aligned} \quad (3)$$

Известно, что существенное влияние на величину отражаемости оказывает также и толщина поверхностной пленки воды на градинах. Причем коэффициенты в расчетных соотношениях (3) для растущего и тающего града будут различаться. Другими словами, для каждого термодинамического режима роста и таяния града будет иметь место свой набор величин A_1 , A_2 и α_1 , α_2 .

Расчет основных микрофизических характеристик выполнен на примере градовой ячейки 2, траектория перемещения которой проходила западнее Нальчика. Именно с этой ячейкой было связано выпадение наиболее крупного града.

На рис.5 приведена траектория перемещения градовой ячейки 2, представленная в виде последовательных горизонтальных сечений от момента регистрации первого радиоэха до полной диссипации ячейки. Как видно из рисунка, первое радиоэхо ячейки 2 было зарегистрировано в 15:40 юго-западнее Нальчика. Интенсивно развиваясь, облако перемещается на северо-восток со скоростью около 25 км/час. Максимальные радиолокационные параметры ячейки 2 были отмечены с 16:40 по 17:20, когда из облака выпал град размером 3,5-5,0см. В это время градовое облако проходило над западными пригородами Нальчика. Перемещаясь далее на северо-восток, ячейка 2 на стадии максимального развития проходит между городами Баксан и Нарткала и начинает ослабевать, находясь уже западнее города Прохладного.

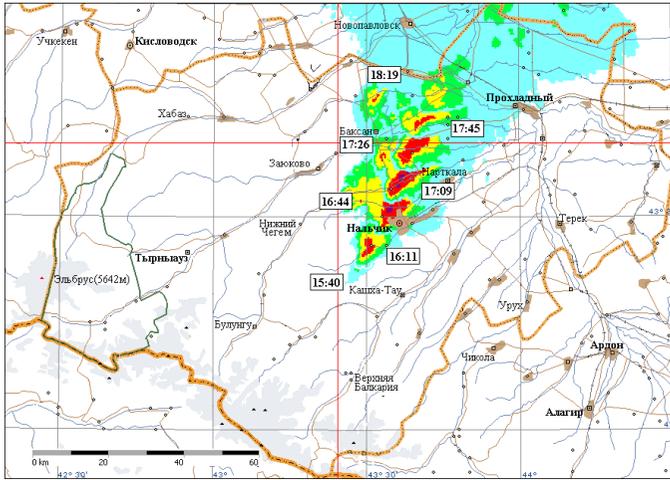


Рис.5. Перемещение радиозоха градовой ячейки 2. Приведены последовательные горизонтальные сечения ячейки от момента регистрации первого радиозоха до начала стадии диссипации.

На рис.6 приводится временной ход основных радиолокационных параметров градовой ячейки 2. Там же показаны результаты расчета максимального размера града d_{\max} двухволновым методом. Окружности, радиусом соответствующим максимальному размеру града, указаны на кривой высоты максимальной отражаемости H_{\max} . Именно для этих точек автоматизированный комплекс рассчитывает значения максимального размера града. Как видно из рисунка, град максимального размера $d_{\max} = 5,5\text{см}$ регистрировался в облаке в 16:44. Крупный град $d_{\max} = 3,6\text{см}$ выпадал из облака до 17:20. В 17:45 регистрировался град размером $d_{\max} = 2,1\text{см}$, а в 18:15 размер града не превышал $d_{\max} = 1,5\text{см}$. Площадь градового очага резко возросла с $1,6\text{ км}^2$ в 16:32 до $24,6\text{ км}^2$ в 16:50. Следует отметить, что все кривые, приведенные на рис.6, имеют плато, характерное для стадии квазистационарности, когда параметры градового облака практически сохраняют свои значения или слабо варьируются относительно некоей константы. Продолжительность стадии квазистационарности для ячейки 2 составила приблизительно 40-50 минут. Для суперячейковых облаков Северного Кавказа продолжительность стадии квазистационарности обычно составляет 2-3 часа, доходя иногда до 4-5 часов.

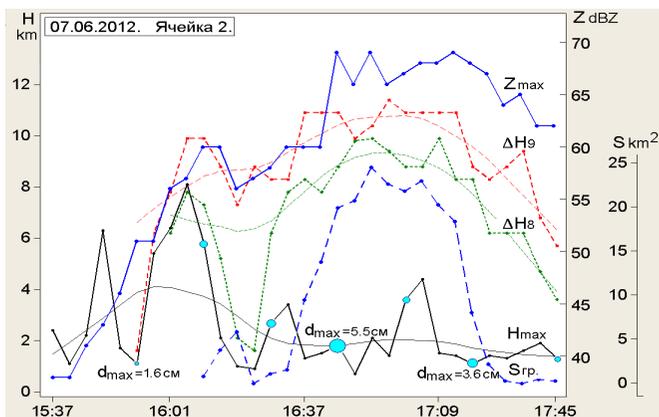


Рис.6. Временной ход основных радиолокационных параметров ячейки 2 градового процесса 07.06.2012 г. На кривой максимальной высоты отражаемости H_{max} приведены значения максимального размера града d_{max} , рассчитанные автоматизированным комплексом.

Основные микрофизические характеристики града в облаке, рассчитанные двухволновым радиолокационным методом, с учетом ряда дополнений, описанных в [1,5,7,8], представлены в таблице. Как видно из таблицы, максимальные параметры облака по времени соответствуют стадии квазистационарности. В это время ячейка находилась западнее Нальчика. Именно там выпал град максимального размера, и был отмечен максимальный ущерб.

Таблица. Микрофизические характеристики града в облаке (градовом очаге) для ячейки 2

Время	Максимальный размер града, см	Концентрация, m^{-3}	Поток кинетической энергии, $Dж/(m^2c)$	Ледность, г/ m^3	Коеф. ослабления	Объем градового очага, km^3
15 ⁵⁴	1,6	0,3	0,1	0,05	0,1	6
16 ⁰⁸	2,7	0,2	0,8	0,18	0,2	70
16 ²⁶	3,0	0,1	0,8	0,15	0,2	359
16 ⁴⁴	5,5	0,1	5,3	0,41	0,3	884
17 ⁰⁰	2,5	1,6	4,2	1,03	1,2	703
17 ²⁰	3,6	0,4	4,8	0,70	0,7	421
17 ⁴⁵	2,1	1,2	1,4	0,44	0,5	224

18 ¹⁵	1,8	0,5	0,3	0,12	0,2	66
18 ²⁶	1,5	0,8	0,2	0,10	0,1	8

На рис.7 показаны градины, выпавшие приблизительно с 16:40 по 17:00. В выборку попали только градины максимального размера. Как видно из рисунка, размер градин соответствует результатам расчета для времени 16:44. Положение радиоэха ячейки в это время (рис.5) также соответствует месту выпадения собранных градин.



Рис.7. Градины максимального размера, выпавшие юго-западнее Нальчика с 16:40 по 17:00.

Таким образом, сопоставительный анализ радиолокационной структуры и динамики развития градовой ячейки 2, а также результатов расчета микроразмерных параметров показывает их хорошее соответствие. Временной ход основных радиолокационных параметров ячейки свидетельствует о наличии стадии квазистационарности продолжительностью около 40 минут. Направление перемещения ячейки 2 (с юго-запада на северо-восток) совпадает с наиболее часто встречающимся направлением перемещения градовых облаков для центральной части Северного Кавказа.

Заключение

Представленные в работе аэросиноптические, термодинамические и радиолокационные характеристики градового процесса 07.06.2012 типизируют его как градовый процесс переходного типа, когда отдельные, наибо-

более интенсивные градовые ячейки имеют стадию квазистационарности, характерную для суперячейковых градовых облаков.

Факторами, способствующими развитию интенсивного градового процесса 07.06.2012, послужили: наличие в средней тропосфере (АТ 500) Арктического центра низкого давления и макроложбины, распространявшейся к югу, а также достаточно интенсивная адвекция холодного воздуха в регион в системе «градоопасной зоны» ($F_3 = -0,426 \cdot 10^{-5} \text{ град} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-1} / 100 \text{ км}$, 07.06.2014).

У поверхности Земли процесс развивался в малоградиентном поле пониженного давления, обусловленном ложбиной с юга, в системе которой возникают частные циклоны: один над восточным побережьем Черного моря, перемещающийся затем к северу и занимающий обширную территорию, другой – над восточными районами Северного Кавказа. Циклонические образования существовали в течение всего дня и подпитывались углубляющимся циклоном с юга. Положение частных циклонов определило области локализации развивающихся конвективных процессов. Выявлены приземные линии потенциальной неустойчивости, локализирующие области предполагаемого развития градовых облаков. Градиенты температуры смоченного термометра $\Delta t_{\text{см}}/\Delta x$ в выделенных областях достигали $4,8^\circ\text{C}/100 \text{ км}$, $2,4^\circ\text{C}/100 \text{ км}$ и $8,6^\circ\text{C}/100 \text{ км}$ (при пороговом значении для градовых облаков $2,0^\circ\text{C}/100 \text{ км}$) и совпадали с областями усиления развивающихся градовых ячеек.

Рассчитанные на основе струйной модели облачной конвекции термодинамические условия развития градового процесса 07.06.2012 г. являются наиболее благоприятными для процессов высокой интенсивности, что подтверждено фактическими характеристиками градового процесса, развивавшегося 07.06.2012.

Сопоставительный анализ радиолокационной структуры и динамики развития наиболее интенсивной градовой ячейки 2, а также результатов расчета микрофизических параметров показывает их хорошее соответствие. Временной ход основных радиолокационных параметров ячейки свидетельствует о наличии стадии квазистационарности продолжительностью около 40 минут, характерной для суперячейковых градовых облаков. Направление перемещения ячейки 2 (с юго-запада на северо-восток) совпадает с наиболее часто встречающимся направлением перемещения градовых облаков для центральной части Северного Кавказа.

Список литературы

1. Абшаев М.Т., Атабиев М.Д., Инюхин В.С., Капитанников А.В., Тапасханов В.О. Алгоритмы автоматизированного радиолокационного измерения полей микрофизических характеристик градовых осадков //Тр. ВГИ. 1990. Вып.77. С.86-106.
2. Барекова М.В., Газаева З.А., Макитов В.С. Характерные траектории суперячейковых градовых процессов на Северном Кавказе //Тр. ВГИ. 1999. Вып. 90. С.80-95.
3. Газаева З.А., Макитов В.С. Распределение траекторий перемещения многоячейковых градовых процессов на Северном Кавказе //Тр. ВГИ. 1991. Вып. 80. С.93-99.
4. Жекамухов М.К., Жакамихов Х.М. Некоторые результаты численного моделирования процессов градообразования в облаках при естественном их развитии и искусственном воздействии //Тр. ВГИ. 1983. Вып. 48. С.13-29.
5. Инюхин В.С., Суслов В.В. Алгоритмы автоматизированного распознавания и анализа радиоэха облаков //Тр. ВГИ. 2010. Вып. 96. С. 89-100.
6. Dixon, Michael, and Gerry Wiener. TITAN: Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis, and Nowcasting - A Radar-based Methodology //J. Atmos. and Oceanic Technol. 1993. Vol. 10. N 6. P. 785-797.
7. Foote B. G., Krauss T.W., Makitov V.S. Hail metrics using conventional radar. //85th Annual Meeting of American Meteorological Society. 9-13 Jan. 2005. San Diego, CA USA.
8. Makitov V.S. Analysis of hailstorm trajectories in North Caucasus (Russia) and Mendoza province (Argentina) //European Conference on Severe Storms. 9-12 November 2004. Leon, Spain.
9. Makitov V.S. Radar measurements of integral parameters of hailstorms used on hail suppression projects //Atmospheric Research. 2007. Vol. 83. P. 380-388.

ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГРОЗОГРАДОВОЙ АКТИВНОСТИ В ПРИЧЕРНОМОРСКОМ РЕГИОНЕ

Т.Е. Данова

*Одесский государственный экологический университет,
г. Одесса, Украина*

Введение

Из многочисленных мезометеорологических процессов наибольшую роль в атмосфере играет конвекция, особенно если она сопровождается образованием кучевых и кучево-дождевых облаков. С кучево-дождевой облачностью связана значительная доля выпадающих осадков в умеренных широтах и реализация таких опасных явлений погоды, как грозы, град, шквалы, торнадо. В период современных изменений климата, влияющих на реализацию мощной атмосферной конвекции, нередко с разрушительными последствиями, изучение таких изменений становится весьма актуальным. На территории России и Украины, на протяжении нескольких десятилетий действуют противорадовые полигоны, технология активных воздействий на которых предусматривает возможность осуществлять не только оперативные наблюдения за развитием конвективных процессов, но и воздействовать, путем внесения кристаллизующего реагента в облака. Такой подход позволяет контролировать пространственно-временное распределение и интенсивность осадков [1,2,4-6].

Объекты и методы исследования

Для анализа пространственно-временной динамики грозоградовой активности использовались данные наблюдений сети 164 гидрометеорологических станций за грозами и градом (число дней с явлениями). В расчетах задействованы базы данных испанского климатического сайта <http://www.tutiempo.net/clima.htm> [3] за период 1961-2010 гг. Анализ проводился на территории стран, граничащих с Черным морем, или находящихся на пути перемещения воздушных потоков к Черному морю: Украина, Россия, Грузия, Армения, Турция, Румыния, Болгария, Греция, Чехия, Польша. Таким образом, исследования проводились для территории, ограниченной сторонами квадрата от 35° до 53° с.ш. и от 15° до 48° в.д., площадью около 7,3 млн. км². Для выявления особенностей изменчивости грозоградовой активности использовались данные территории Причерноморского региона, ограниченной сторонами квадрата 38° – 50° с.ш. и 25° – 45° в.д. с площадью около 3 млн. км² (рис.1).

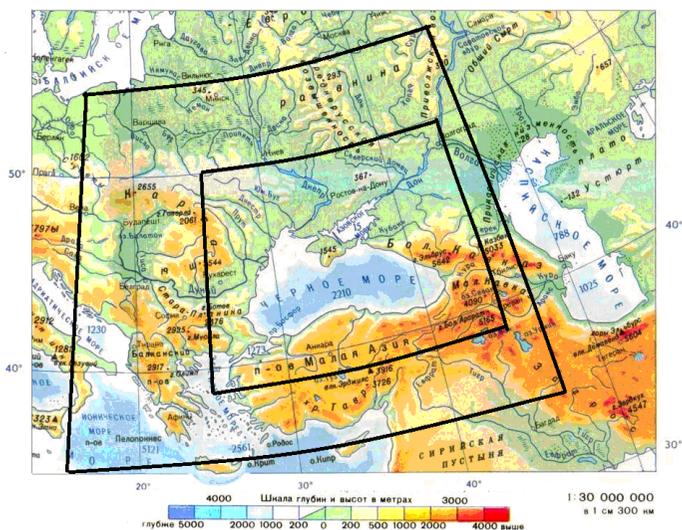


Рис. 1. Территория всего региона и Причерноморский регион

В качестве методики использовалась визуализации данных, полученных при статистической обработке исследуемого материала. Полученные значения используем для расчетов аномалий величин. Аномалия – это отклонение среднего значения повторяемости грозоградовых явлений для станции за каждое десятилетие от рассчитанной нами климатической нормы для этой станции (1)

$$A = \bar{X}_{10} - \bar{X}_{50} \quad (1)$$

Таким образом, в результате исследования получены значения аномалий повторяемости грозоградовых явлений для каждого десятилетнего периода с 1961 по 2010 гг. В зависимости от знака отклонения, получены положительные и отрицательные значения аномалий. В данном случае используется отклонение среднего значения повторяемости гроз и града для данной станции за каждое десятилетие от многолетнего среднего значения характеристик для этой точки.

Результаты и их обсуждение

Пространственно-временное распределение максимальных значений числа дней с грозой в регионе характеризуется тремя максимумами: первый расположен в районе Карпатских гор; второй – в районе города Ереван; третий максимум расположен на побережье Ионического моря. Все локальные зоны максимальных значений повторяемости гроз являются горными рай-

онами, где восходящие потоки воздуха на наветренных склонах приводят к формированию кучево-дождевой облачности и интенсификации грозовых явлений [5, 8-10]. Выявленные зоны максимумов хорошо иллюстрируют характерные для региона траектории перемещения насыщенного влагой воздуха (рис.2,а). Максимальное число дней с градом в регионе колеблется в широких пределах от 0 до 22 дней и характеризуется несколькими максимумами, обусловленных в первую очередь орографическими условиями, а также подготовленностью тропосферы к реализации мощной атмосферной конвекции (неустойчивая стратификация теплой и влажной воздушной массы, при наличии значительной бароклинности верхней тропосферы, в адвективной области холода, сдвиги ветра в средней и верхней тропосфере, соответствующие области струйных течений) (рис.2,б) [5-7,11,12].

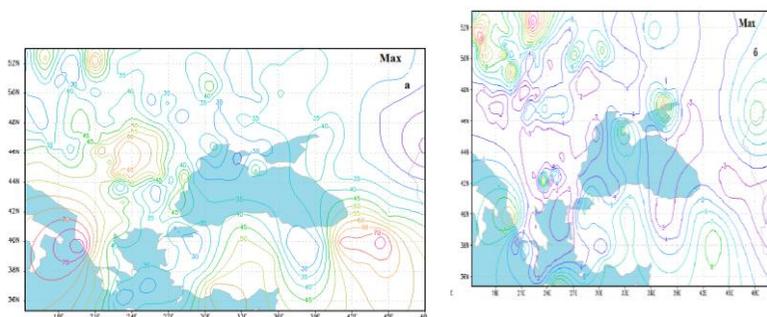


Рис.2. Распределение максимальных значений повторяемости гроз (а) и града (б)

Пространственно-временная динамика повторяемости грозоградовой деятельности на территории региона оценивалась для каждого десятилетнего периода с 1961 по 2010 гг. путем сравнения аномалий. Полученные, для каждого десятилетия аномалии числа дней с грозой и градом позволяют проследить общую тенденцию изменчивости повторяемости этих явлений в регионе (рис.3). Так, если для периода 1961-1970 гг. свойственно поле отрицательных аномалий числа дней с грозой (за исключением района Кавказа с его положительной аномалией), то для периода 1971-1980 гг. характерно увеличение повторяемости гроз с максимумом на побережье Ионического моря, что, возможно, связано с изменением в этот период воздушного потока с юго-восточного на юго-западный (средиземноморский) [5]. Начиная с 1981 г., всю территорию занимает поле положительных аномалий, и в последнее десятилетие 2001-2010 гг. поле представлено максимальными за весь период наблюдений положительными аномалиями. Таким образом, за

последние десятилетия наблюдается тенденция к значительному увеличению числа дней с грозой на исследуемой территории.

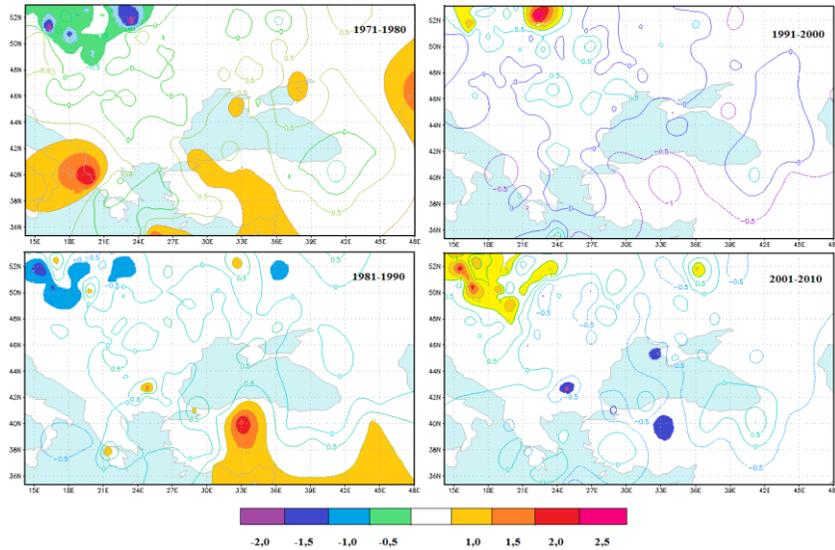


Рис.3. Пространственное распределение аномалий повторяемости града за период лет 1971-2010 гг.

Проследим динамику повторяемости града на территории (рис.3). Как видим, в десятилетие 1971-1980 гг. южная, юго-западная и северо-западная части региона характеризуются приблизительно одинаковыми положительными аномалиями, и, наоборот, на северо-западе региона наблюдаются отрицательные аномалии числа дней с градом. В дальнейшем, в период 1981-1990 гг., для всей территории характерны нулевые аномалии, на фоне которых фиксируются локальные зоны небольших положительных аномалий повторяемости града в районе Турции (рис.3).

В период 1991-2000 гг., картина пространственно-временного распределения аномалий числа дней с градом значительно меняется; так, на территории Турции появляются отрицательные аномалии, а на северо-западе региона – ярко выраженное увеличение повторяемости града (5,1 дня) в районе Польши (рис.3). Последнее десятилетие 2001-2010 гг. весь регион характеризуется падением числа дней с градом, (отрицательные аномалии), только на северо-западе наблюдается зона положительных аномалий (рис.3) [5].

Суммы аномалий числа дней с грозой и градом и рассчитанные в % для площади всего региона и территории Причерноморского региона, ограни-

ченной сторонами квадрата 38°–50°с.ш. и 25°–45°в.д. с площадью около 3 млн. км², представлены в виде гистограммы (рис. 4). На фоне устойчивого роста повторяемости гроз для всего региона и района Причерноморья (рис.4,а), прослеживается иная тенденция изменчивости повторяемости града. Так, наибольшие изменения претерпевает повторяемость града на территории Причерноморского региона: начиная с 1971 года здесь наблюдается устойчивый рост числа дней с градом, а период 1981-2010 гг. характеризуется снижением его повторяемости (рис.4,б). В то же время, на территории всего региона отмечается положительная или нулевая (2000-2010 гг.) динамика изменчивости повторяемости.

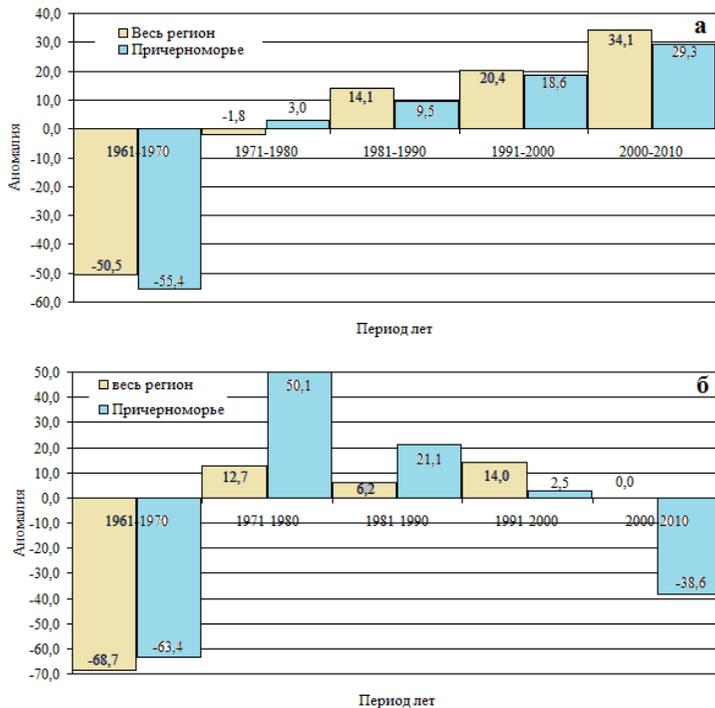


Рис.4. Распределение аномалий (%) числа дней с грозой (а) и градом (б) по десятилетиям.

Такая перестройка полей повторяемости града и ее аномалий в последнее десятилетие является, по-видимому, результатом изменения структуры термобарических полей верхней и средней тропосферы, обеспечивающей формирование условий для развития мощной атмосферной конвекции. Лив-

ни, длительные грозы, ураганный ветер, выпадение крупного града, а также явление торнадо, несвойственное умеренным широтам, практически ежегодно наблюдаются в приполярных широтах.

Важным условием развития мощной атмосферной конвекции, сопровождающейся формированием грозоградовых облаков, является наличие высотной барической ложбины, где термическая конвекция усиливается динамическим фактором. Вполне возможно, что причина уменьшения числа дней с градом в последнее десятилетие кроется в изменениях в динамике верхней тропосферы, уменьшении скорости ветра в средней и верхней тропосфере. Кроме того, одной из причин может также являться уменьшение влагосодержания в тропосфере Причерноморского региона.

Как известно, современные климатические изменения способствуют устойчивому повышению температуры воздуха в северных районах Европы. Учитывая, что град образуется в тропосфере с большим влагосодержанием и при условии значительного прогрева нижней тропосферы, можно сказать, что зоны максимумов градовой активности на северо-западе могут отвечать зонам увеличения влаги в тропосфере. Проведенные исследования позволили установить, что в период с 1961 по 1990 гг. основные потоки влаги, приходящие в регион, имели южное или юго-западное направление и характеризовались как средиземноморские. Начиная с 1991 года, появились потоки влаги на северо-западе региона, которые имеют балтийское происхождение.

Список литературы

1. Абшаев М.Т. Структура и динамика развития грозоградовых процессов Северного Кавказа / М.Т. Абшаев // Труды ВГИ. 1984. Вып. 53. С. 6-22.
2. Бадахова Г.Х. Тенденции грозоградовой активности в различных климатических зонах Ставропольского края на фоне глобального потепления.// Труды Научно-практической конференции, посвященной 40-летию начала производственных работ по защите сельхозкультур от градобитий. Нальчик, 2007. С. 377-378.
3. База данных испанского климатического сайта [Электронный ресурс]: TUTIEMPO. – Режим доступа: <http://www.tutiempo.net/clima.htm>
4. Данов Е.И. и др. Основные результаты активных воздействий на атмосферные процессы в Северном Причерноморье.//Метеорологія, кліматологія і гідрологія, Міжвідомчий науковий збірник України. – Одеса, 2008. Вип.50. С.178-183.

5. Данова Т.Е. Влияние современных климатических изменений на динамику мезомасштабных процессов. // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. Метеорология. Экология. 2013. №3. С. 79-83.
6. Данова Т.Е. и др. Режим града и градобитий в юго-западных регионах Украины. // Метеорологія, кліматологія та гідрологія, Міжвідомчий науковий збірник України. Одеса, 2003. № 47. С. 48-56.
7. Данова Т.Е. Термодинамические параметры конвекции при градовых процессах. //Метеорологія, кліматологія та гідрологія, Міжвідомчий науковий збірник України. Одеса, 2003. № 47. С. 42-47.
8. Мазин И.П., Шмистер С.М. Облака, строение и физика образования. – Л.: Гидрометеоздат, 1979. 231 с.
9. Мучник В.М. Физика грозы. – Л.: Гидрометеоздат, 1974. 352 с.
10. Старостин А.Н. Квазипериодическая изменчивость интенсивности грозо-градовых процессов. // Проблемные вопросы активного воздействия на атмосферные процессы в Молдавии. – Кишинев: «Штиинца», 1986. С.45-52.
11. Structure of an evolving hailstorm. – NCAR Techn. Rep. №76/1. – 130 p.
12. Wang Jihong The analysis and features there is a lot of full of a cloud containing a hailstone. / Wang Jihong. 1996. N. 22. P. 41-43.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРЫ ПРИ ГРОЗАХ

Т.В. Ершова

ФГБОУ ВПО «Томский государственный педагогический университет», г. Томск

Конвекция является одним из наиболее важных процессов, действующих в тропосфере. С конвективными формами реализации термодинамической неустойчивости атмосферы связана внутримассовая и фронтальная облачность, а также ряд опасных явлений погоды – грозы, интенсивные ливневые осадки, град, смерч и шквалы. Правильное предсказание формы конвективных образований и связанных с ними явлений погоды является одной из наиболее актуальных задач синоптиков. Аэрологическое зондирование позволяет исследовать конвективный слой в атмосфере по ряду признаков: по стратификации температуры, по влагосодержанию слоев атмосферы, по её энергетическому потенциалу и резким изменениям характеристик ветра с

высотой. По данным аэрологического зондирования рассчитываются около 20 комплексных термодинамических характеристик (индексов) состояния атмосферы в разных слоях атмосферы или на разных уровнях [2,3,5,6,8,9]. Приведем основные формулы, для девяти анализируемых в данной работе индексов: SHOW, LIFT, TOTL, SWEAT, K_{INX} , CAPE, LFCT, EL, CINS.

Параметр SHOW определяется по разности температур окружающей среды на уровне 500 гПа и частицы, поднимающейся сухоадиабатически с уровня 850 гПа до уровня конденсации, затем влажноадиабатически до уровня 500 гПа.

Интенсивные грозы формируются в атмосфере с положительной энергией неустойчивости во всём слое облакообразования, когда в средней и верхней тропосфере температурные градиенты существенно превышают величину влажноадиабатического градиента. Эту характеристику состояния атмосферы отражают значения индекса LIFT (°C), или индекса подъема:

$$LIFT = T_{500} - T_{parcel} , \quad (1)$$

где T_{500} – температура окружающей среды на уровне 500 гПа, °C; T_{parcel} – температура поднимающейся частицы, при среднем давлении, температуре и точке росы в слое 500 метров над поверхностью.

Другим параметром, оценивающим не только статическую стабильность атмосферы, но и влажность на уровне 850 гПа (важный фактор для развития молнии в конвективных облаках), является параметр TOTL (°C):

$$TOTL = (T_{850} - T_{500}) + (TD_{850} - T_{500}) , \quad (2)$$

где T_{850} – температура на уровне 850 гПа, °C; TD_{850} – температура точки росы на уровне 850 гПа, °C.

Параметр SWEAT является комплексным и объединяет характеристики влажности, температуры, а также скорость, направление и сдвиг ветра на высотах 1,5 и 5,5 км (850 и 500 гПа):

$$SWEAT = 12 \cdot TD_{850} + 20 \cdot TERM2 + 2 \cdot SKT_{850} + SKT_{500} + SHEAR , \quad (3)$$

$$TERM2 = MAX(TOTL - 49) , \quad (4)$$

где SKT₈₅₀ и SKT₅₀₀ – скорость ветра в узлах (1 узел = 10 м/с) на уровнях 850 и 500 гПа соответственно. Сдвиг ветра SHEAR между уровнями 850 и 500 гПа определяется по формуле:

$$SHEAR = 125 \times [SIN(DIR_{500} - DIR_{850}) + 0,2] , \quad (5)$$

где DIR₅₀₀ и DIR₈₅₀ – направление ветра на уровнях 850 и 500 гПа соответственно.

Одним из параметров оценивающим степень развития конвекции, основанной на вертикальном градиенте температуры и вертикальной протяженности слоев высокой влажности, является параметр K_{INX} (°C):

$$K_{INX} = (T_{850} - T_{500}) + TD_{850} - (T_{700} - TD_{700}), \quad (6)$$

где T_{700} – температура на уровне 700 гПа, °C; TD_{700} – температура точки росы, на уровне 700 гПа, °C.

Конвективная потенциальная энергия (CAPE) рассчитывается суммированием в слое от уровня свободной конвекции (LFCT) до уровня равновесия (EL) только тех значений ($T_p - T_e$), которые больше 0°С:

$$CAPE = g \int_{LFCT}^{EL} dz * (T_p - T_e) / T_e, \quad (7)$$

где T_p – температура частицы, поднимающейся с уровня 500 метров над земной поверхностью до уровня конденсации сухоадиабатически, выше уровня конденсации влажноадиабатически; T_e – температура окружающей среды; LFCT – уровень свободной конвекции, совпадает с нижней границей облаков; EL – уровень равновесия соответствует верхней границе облаков; g – ускорение свободного падения; dz – толщина слоя между уровнями LFCT и EL.

Энергия задерживающего слоя (CINS) рассчитывается суммированием от слоя перемешивания (ML) до уровня свободной конвекции (LFCT)), только тех значений ($T_p - T_e$), которые меньше 0°С:

$$CINS = g \int_{ML}^{LFCT} dz * (T_p - T_e) / T_e, \quad (8)$$

Основные приведенные термодинамические характеристики были разработаны в 1950-1970-е гг. и широко используются за рубежом для численного моделирования конвекции и для прогноза развития опасных явлений погоды, включая грозы. Отметим, что наряду с использованием традиционных индексов LIFT, TOTL, K_{INX} , CAPE в отдельных странах (Германия [8], Нидерланды [6] и Швейцария [7]) вводятся новые дополнительные региональные индексы или модернизируются традиционные. Зарубежные исследователи активно используют данные наземных систем местоопределения молний и спутников по регистрации молний, а также данные радаров, что позволяет получить достаточно полную информацию о происходящих грозах. В последнее десятилетие анализу термодинамических индексов уделяется внимание и в России [1,2,3]. Сеть радиолокационных исследований атмосферы в Сибири достаточно редкая. Развитие конвекции над Томской

областью, в зависимости от преобладающего потока воздуха, можно прогнозировать только по результатам температурно-ветрового зондирования трёх станций – Новосибирск; Колпашево и Александровское (Томская область). Местоположение аэрологических станций не всегда совпадает с метеорологическими станциями. Таким образом, термодинамические параметры атмосферы в районе аэрологического зондирования могут существенно отличаться от тех, что характерны для атмосферы в районе метеорологического наблюдения опасного конвективного явления. Для построения модели развития конвекции над большой территорией необходимо решать проблему ее параметризации. В том числе знать, при каких значениях параметров конвекции можно ожидать её усиления над исследуемой территорией.

Целью данного исследования является анализ термодинамического состояния атмосферы при грозах (на примере станций Александровское, Колпашево и Новосибирск) за период 2005–2012 гг. Отметим, что станция Александровское является самой северной ($\varphi=60^{\circ}26'$), а Новосибирск - самой южной станцией ($\varphi=54^{\circ}57'$), станция Колпашево занимает промежуточное положение и расположена в самом центре Томской области ($58^{\circ}18'$).

Данные аэрологического зондирования были взяты за 00 и 12 часов [9] Всемирного скоординированного времени (ВСВ), что соответствует 06 и 18 часам стандартного поясного времени (без перехода на летнее время) для анализируемых сибирских станций. Наличие грозы определялось по метеорологической информации, представленной на сервере Института космических исследований РАН «Погода России» [4].

Всего было проанализировано для Александровского 931 случай с конвективными облаками, включая 258 случаев с грозой; для Колпашево – 813 случаев, связанных с конвективными облаками, из них 316 случаев с грозой; для Новосибирска проанализировано 969 случаев с конвективными облаками, включая 355 случаев с грозой. Для каждой из трёх станций по данным радиозондирования за период 2005–2012 гг. были рассчитаны и проанализированы средние значения девяти термодинамических характеристик (индексов) SHOW, LIFT, SWEAT, K_{INX} , TOTL, CAPE, CINS, LFCT, EL.

Анализ средних значений термодинамических параметров атмосферы при грозах (табл.1) на станциях Александровское, Колпашево и Новосибирск для вечернего времени (18 часов) позволил сделать следующие выводы:

- наибольшие показатели SHOW характерны для станций Колпашево и Александровское и составляет $2,2 - 2,5$ °C;
- значения индексов LIFT для трёх станция (Александровское, Колпашево, Новосибирск) попадают в интервал от $-1,1$ до $0,3$ °C;

Таблица 1. Средние значения термодинамических параметров атмосферы при грозах по данным радиозондирования для станций Александровское, Колпашево и Новосибирск для 18 часов местного времени (2005-2012 гг.)

Термодинамические характеристики	Стандартное отклонение (σ)	Станция радиозондирования		
		Александровское	Колпашево	Новосибирск
SHOW, °C	3	2,2	2,5	1,5
LIFT, °C	4	0,3	-0,05	-1,1
SWEAT	71	161,1	146,6	155,6
K_{INX} , °C	8	27,1	26,8	28,7
TOTL, °C	5	47,5	46,8	48,3
CAPE, Дж/кг	550	360,0	418,6	520,0
CINS, Дж/кг	60	-53,1	-37,1	-45,9
EL, гПа	187	439,6	428,6	374,0
LFCT, гПа	71	793,9	821,8	795,3

- комплексный параметр SWEAT для всех станций меняется в интервале от 147 до 161 единиц, причем для северной станции Александровское он принимает наибольшее значение;

- параметр K_{INX} , характеризующий развитие конвекции, на всех исследуемых станциях меняется от 27 до 29 °C;

- индекс TOTL для трёх станций принимает значения в интервале 47–48°C;

- среднее значение конвективной потенциальной энергии (CAPE) на исследуемых станциях в 90% случаев достигало 500 Дж/кг и в 70% случаев – 1000 Дж/кг; при этом значения CAPE для отдельных профилей радиозондирования превышало 4000 Дж/кг (11 августа 2012 г. Колпашево);

- значения индекса CINS изменялось в пределах от -37 до -53 Дж/кг;

- среднее значение уровня свободной конвекции (LFCT), соответствующего нижней границе облака, незначительно выше для станции Александровское (794 гПа примерно 2,1 км), по сравнению с Колпашево (822 гПа примерно 1,9 км);

- среднее значение верхней границы облаков (EL) составляло 7–8 км, хотя отдельные облака вырастали и до 13 км, при этом вертикальная

мощность облаков увеличивалась с севера (Александровское) на юг (Новосибирск).

Сравнивая полученные значения термодинамических характеристик при грозах для территории Томской и Новосибирской областей России с зарубежными исследованиями (Западная Европа и Израиль) можно отметить сходство характеристик в целом (табл.2).

Таблица 2. Прогностические правила для предсказания грозы для различных территорий

Характеристики	Россия (Томская и Новосибирская области)	Западная Европа (Германия, Нидерланды, Швейцария) [5-7]	Израиль [2]
LIFT, °C	-10 < LIFT < 0 возможны грозы	LIFT < -9 крайне неустойчивая стратификация атмосферы; -6 < LIFT < -9 неустойчивая; -6 < LIFT < -3 умеренно неустойчивая; -3 < LIFT < 0 на границе с безразличной стратификацией; 0 < LIFT < +3 устойчивая стратификация атмосферы, но слабая конвекция возможна	LIFT < 0 возможные грозы; LIFT < -4 сильные грозы
K _{INX} , °C	26 < K _{INX} < 40 возможны грозы	K _{INX} < 30 грозы возможны с невысокой степенью вероятности; K _{INX} > 30 наличие потенциала для развития грозы; K _{INX} ≥ 40 вероятность грозы велика	K _{INX} ≥ 35 сильные грозы
TOTL, °C	47 < TOTL < 57 возможны грозы	45 < TOTL < 50 стратификация атмосферы умеренно неустойчивая; 51 < TOTL < 55 атмосфера влажнонеустойчивая и вероятность грозы высока; 56 < TOTL < 60 состояние атмосферы крайне неустойчиво и над территорией вероятны сильные грозы	TOTL ≥ 52 сильные грозы
CAPE, Дж/кг	CAPE ≥ 300 возможны	0 ≤ CAPE < 1000 умеренная неустойчивость атмосферы	CAPE ≥ 2000 грозы возможны с

	грозы; CAPE \geq 2000, возможны сильные грозы	ры; 1000<CAPE<2500 атмо- сфера неустойчива; CAPE \geq 2500 атмосфера крайне неустойчива и гро- зы возможны с высокой вероятностью	высокой веро- ятностью
CINS, Дж/кг	-50<CINS<0 возможны грозы	-50<CINS<0 условия бла- гоприятные для конвекции; -150<CINS<-50 конвекция возможна при наличии атмосферного фронта; CINS<-150 конвекция не возможна	-

Таким образом, разработка прогностических правил на основе термодинамических характеристик для территории Западной Сибири и других регионов России, является перспективной и требует дальнейших исследований.

Список литературы

1. Горбатенко В.П., Константинова Д.А. Конвекция в атмосфере над юго-востоком Западной Сибири // Оптика атмосферы океана. – 2009. – Т. 22. – № 1. – С. 17–21.
2. Ершова Т.В., Горбатенко В.П., Клипова О.А. Термодинамические параметры атмосферы при грозах и ливнях//Вестник Томского государственного педагогического университета. – 2012. – Вып. 7 (122). – С. 9–14.
3. Ершова Т.В., Горбатенко В.П. Характеристики атмосферы при грозах и ливнях // Доклады Всероссийской конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы, Нальчик, 24-28 октября 2011 г. Нальчик: ООО «Печатный двор», 2013. – С. 233-243.
4. Сервер Института космических исследований РАН «Погода России» URL: www.meteo.infospace.ru (дата обращения 28.05.2014).
5. Jerusalem Weather Station [Электронный ресурс]. URL: <http://www.02ws.com/station>. (дата обращения 28.05.2014).
6. Haklander A.J., Delden A.V. Thunderstorm predictors and their forecast skill for the Netherlands // Atmospheric Research. – 2003. – 67–68. – P. 273–299.
7. Huntrieser H., Schiesser H.H., Schmid W., Waldvogel A. Comparison of traditional and newly developed thunderstorm indices for Switzerland // Weather and forecasting. – 1997. – V. 12. – P. 108–125.

8. Kunz M. The skill of convective parameters and indices to predict isolated and severe thunderstorms // Natural Hazards and Earth System Sciences. – 2007. – 7. – P. 327–342.

9. University of Wyoming. Department of atmospheric science [Электронный ресурс]. URL: <http://www.weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> (дата обращения 28.05.2014).

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМА ОСАДКОВ И ПОВТОРЯЕМОСТИ ИХ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ НА ЮГЕ РОССИИ

А.А. Ташилова, Л.А. Кешева, И.Н. Пшихачева, З.А. Таубекова
ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», г. Нальчик

В настоящее время проблема изменений климата стала предметом пристального внимания не только климатологов, но и ряда других специалистов. Поскольку климатические изменения не синхронны во времени и пространстве, то региональные исследования являются «необходимыми фрагментами» при построении общей картины климатических изменений.

Для оценки пространственно-временных изменений климата и получения относительно достоверных оценок изменения климата особое значение приобретает анализ длительных инструментальных наблюдений сетевых гидрометеорологических станций. Все результаты данной работы основаны на анализе данных наблюдений девятнадцати метеорологических станций европейской части юга России с 1961 по 2011гг. (табл.1). Данные наблюдений сетевых гидрометеорологических станций были предоставлены Ростовским УГМС.

Таблица 1. Метеостанции равнинной, предгорной и горной территории юга России

№ п/п	Метеостанция	Район расположения, н.у.м.	Высота н.у.м., м
		Равнинные станции (<500 м)	
1	Сочи	Краснодарский край	57
2	Краснодар	Краснодарский край	26
3	Изобильный	Ставропольский край	194
4	Моздок	Республика Северная Осетия-Алания	126
5	Прохладная	Кабардино-Балкарская Республика	198
6	Ростов-на-Дону	Ростовская область	64

7	Дербент	Республика Дагестан	30
8	Кизляр	Республика Дагестан	-17
9	Махачкала	Республика Дагестан	173
10	Изберг (Избербаш)	Республика Дагестан	21
		Предгорные станции(500-1000м)	
11	Ставрополь	Ставропольский край	540
12	Майкоп	Краснодарский край, Адыгея	532
13	Черкесск	Карачаево-Черкесская Республика	526
14	Кисловодск	Ставропольский край	819
15	Нальчик	Кабардино-Балкарская Республика	500
16	Владикавказ	Республика Северная Осетия-Алания	680
17	Буйнакск	Республика Дагестан	560
		Горные станции (>1000м н.у.м.)	
18	Теберда	Карачаево-Черкесская Республика	1335
19	Ахты	Республика Дагестан	1281

Для детального анализа режима осадков на территории юга России был проведен статистический анализ сезонных и годовых сумм осадков и максимальных суточных осадков, систематизированы изменения режима атмосферных осадков в различных климатических зонах юга России. На основе проделанного анализа данных выявлены экстремальные значения для каждого исследуемого ряда и определено количество экстремальных значений, приходящихся на 1961-1990гг. (базовый период) и на 1991-2011гг. (современный период) для каждой из зон.

По результатам статистического исследования была проведена систематизация метеостанций по индивидуальным характеристикам и экстремальным значениям рядов осадков. На предгорных (горных) станциях: Ахты, Буйнакск, Ставрополь, Теберда, Майкоп, Черкесск, Нальчик, Кисловодск, Владикавказ разброс годовой суммы осадков невелик и находится в пределах 406 – 937 мм. Для всех станций этой группы летние суммы осадков превышают зимние (см. рис.1). Минимальная сумма осадков в Ахты – 406 мм; максимальная сумма осадков во Владикавказе 937 мм.

По индивидуальным характеристикам (сумме годовых, летних и зимних осадков) возможно объединение предгорных и горных станций в одну группу.

На равнинных станциях, расположенных на Черноморском побережье, степной территории Северного Кавказа и Прикаспийском побережье разброс годовых сумм осадков очень большой и составляет от 275 до 1640 мм. Ми-

нимальная сумма годовых осадков в Изберге (Дагестан) – 275 мм; максимальная сумма осадков в Сочи (Краснодарский край) –1640 мм (см. рис.2).

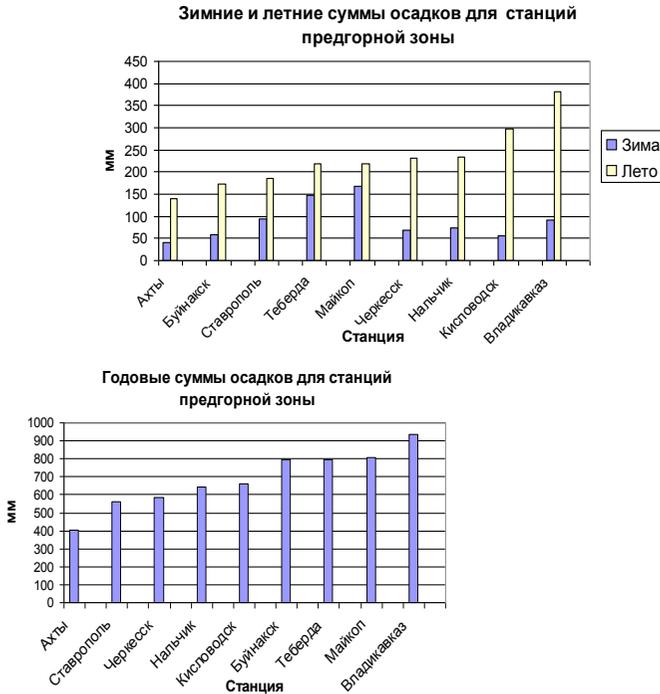


Рис.1. Диаграммы сумм осадков м/станций предгорной (горной) зоны: а) зимние и летние суммы осадков; б) годовые суммы осадков.

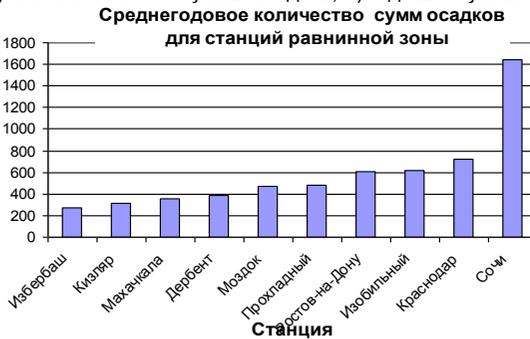


Рис.2. Диаграммы сумм осадков м/станций равнинной зоны: а) зимние и летние суммы осадков; б) годовые суммы осадков.

По индивидуальным характеристикам (сумме годовых, летних и зимних осадков) равнинные станции (<500м н.у.м.) можно разделить на следующие группы (см. рис.2):

1. Изберг, Кизляр, Махачкала, Дербент - годовые суммы осадков варьируются в пределах 275 – 400 мм; зимой осадков немного больше, чем летом, за исключением Кизляра.

2. Моздок, Прохладная, Ростов-на-Дону, Изобильный, Краснодар - годовые суммы осадков находятся в пределах 475–800 мм. На м/станциях Моздок, Изобильный и Прохладная - большое количество сумм летних осадков, превышающих зимние суммы осадков. В Ростове-на-Дону, Краснодаре зимних сумм осадков больше, чем летних.

3. Сочи – здесь наибольшая сумма годовых осадков из всех исследованных станций на европейской части юга России -1640мм, с превышением зимних сумм осадков над летними, но с тенденцией их уменьшения.

Применение методов математической статистики позволяет описать лишь изменение средних за сезон осадков, в то время как воздействие на экосистемы, людей и экономику оказывают опасные гидрометеорологические явления (наводнения, засухи и т.п.), интенсивность и частота которых в целом в мире увеличивается.

В «Специальном докладе по управлению рисками экстремальных явлений» отмечается, что следствием изменения климата могут стать экстремальные явления, которые можно обнаружить по изменениям в распределении рядов [3]. Экстремальные осадки могут быть опасны для здоровья человека, социальных инфраструктур, животноводства и сельского хозяйства. Катастрофические ливневые осадки и наводнения необычной силы в мае, июне 2014 г. в КБР привели к нанесению ущерба, исчисляемого миллиардами рублей.

Согласно определению, данному в «Глоссарии терминов», «Климатический экстремум (экстремальное метеорологическое или климатическое) – это достижение метеорологической или климатической переменной значения, которое выше (ниже) некоторого порога, близкого к верхнему (или нижнему) диапазону наблюдаемых значений переменной» [1]. Из этого определения следует, что для каждого временного ряда имеются свои экстремумы, рассчитанные для данного ряда и превосходящие (увеличение или уменьшение) некоторые пороговые значения ряда, не обязательно приводящие к катастрофическим природным явлениям. При исследовании экстремальности рядов сумм осадков и максимальных строится ранжированный ряд, разбивается на квантили (отрезки по 25%, 50%, 75%) , находится разница между 75% и 25% квантилями. Значения, удаленные более чем на полторы раз-

ницы, являются выбросами. Значения, превышающие более чем на три разницы 75%-тый квантиль, являются экстремумами. Полученные величины можно рассматривать как характеристики экстремальности климата.

Поскольку территория Северного Кавказа крайне неоднородна по климатическим условиям, изучение сезонного и временного распределения полученных характеристик очень важно для определения и мониторинга экстремальных климатических явлений.

Получены следующие результаты по сезонам:

Зима. За исследованный период с 1961 по 2011годы в зимний сезон экстремальные значения (выбросы и экстремумы) для *сумм осадков* и *суточных максимумов* наблюдались практически у всех метеостанций и в сумме составили 55 значений. Максимальное количество зимних экстремумов (4) – на м/станциях Кизляр (*суточные максимумы*) и Теберда (*сумма осадков*). На метеостанциях Нальчик и Майкоп ни по сумме осадков, ни по количеству максимальных суточных осадков, не наблюдалось зимних экстремальных значений.

Весна. В весенний сезон по *сумме осадков* максимальное количество экстремальных значений наблюдалось на метеостанции Теберда- 5; по всем остальным станциям были выявлены 1-2 экстремальных значения или же полное их отсутствие.

По *максимальным суточным осадкам* экстремальные значения наблюдались у всех исследуемых метеостанций, из них наибольшим количеством экстремальных значений выделялись: метеостанция Буйнакск - 6; метеостанции Дербент и Краснодар –4.

По всем остальным метеостанциям количество экстремальных значений варьировалось от 1 до 3. Суммарное количество всех весенних экстремумов за период 1961-2011гг. составило 62.

Лето. По *сумме осадков* экстремальные значения (в количестве 1-2) наблюдались у метеостанций Владикавказ, Изберг, Изобильный, Кизляр, Кисловодск, Краснодар, Махачкала, Моздок, Прохладная, Черкесск. По всем остальным станциям, в том числе по станции Нальчик, экстремальных значений нет.

По *максимальным суточным осадкам* большое количество экстремальных значений наблюдается у метеостанций Дербент (7), Изберг (5), Кизляр (4), по всем остальным метеостанциям экстремальные значения наблюдаются в количестве 1-3, кроме метеостанции Нальчик, по которой не зафиксировано ни одного экстремального значения. Общее количество летних экстремумов за исследованный период- 58.

Осень. По сумме осадков большое количество экстремальных значений (4) наблюдалось у м/станций Буйнакск (5), Изберг и Прохладная. По остальным станциям было выявлено небольшое количество экстремальных значений (от 1 до 3) за исключением станций Изобильный, Краснодар, Майкоп, Ростов, Ставрополь, Черкесск, по которым экстремальные значения отсутствуют.

По максимальным суточным осадкам большое количество экстремальных значений наблюдалось у следующих м/станций: Изберг-7 экстремальных значений; Кизляр и Краснодар по 4 экстремальных значения.

По остальным станциям наблюдалось небольшое количество экстремальных значений от 1 до 3, за исключением станций Ахты, Кисловодск, Ставрополь и Теберда, по которым экстремальных значений нет. Суммарное количество осенних экстремумов -74, наибольшее из всех сезонов за 1961-2011годы.

Для выявления повторяемости количества экстремумов рассмотрим их распределение в базовый период 1961 – 2011 гг. и современный период 1991 – 2011 гг. Поскольку экстремальные значения достаточно редкое явление и достоверный статистический анализ для каждой станции провести не представляется возможным, обобщим сезонные экстремумы по суммам осадков и суточным максимумам за два периода-1961 – 1990 гг. (базовый) и 1991 – 2011 гг. (современный) по климатическим зонам территории юга России. Результаты представлены в табл.2. Из таблицы видно, что в современный период по сравнению с базовым в степной зоне количество экстремумов сумм осадков увеличивается более чем в три раза (с 5 до 17), при этом количество экстремумов суточных максимумов также возрастает с 20 до 26.

Таблица 2. Повторяемость количества экстремумов осадков в базовый и современный периоды

Сезоны	Количество экстремумов, 1961–1990 гг. (базовый период)		Количество экстремумов, 1991–2011 гг. (современный период)	
	Сумма осадков	Суточные максимумы	Сумма осадков	Суточные максимумы
I.Равнина Причерноморье				
Зима	1	1	0	0
Весна	0	1	0	1
Лето	0	1	0	1
Осень	1	1	0	0
Все сезоны	2	4	0	2
Степная зона				

Зима	0	3	3	5
Весна	1	6	5	5
Лето	3	8	3	4
Осень	1	3	6	12
Все сезоны	5	20	17	26
Прикаспийская зона				
Зима	2	6	4	4
Весна	3	6	2	4
Лето	3	9	1	7
Осень	5	8	7	8
Все сезоны	13	29	14	23
II. Предгорная зона				
Зима	3	6	4	3
Весна	2	11	1 _{мин}	6
Лето	1	4	3	6
Осень	1	5	6	6
Все сезоны	7	26	14	21
III. Горная зона				
Зима	3	1	3	1
Весна	1	3	4	4
Лето	0	1	0	2
Осень	1	0	1	0
По всем сезонам	5	5	8	7

Это увеличение имеет место за счет осеннего сезона, где наблюдается значительный рост количества экстремумов для сумм осадков (с 1 до 6) и для суточных максимумов (с 3 до 12). В весенний сезон значительно увеличилось количество экстремумов сумм осадков (с 1 до 5). В предгорной зоне основной вклад в увеличение количества экстремумов сумм осадков (с 7 до 14) вносят осенние экстремумы (с 1 до 6) и летние (с 1 до 3). В горной зоне основной вклад в увеличение количества экстремумов по суммам и суточным максимумам (10:15) вносят весенние экстремумы (4:8). В Причерноморской и прикаспийской зонах значительных изменений по количеству экстремумов не наблюдалось.

При анализе тенденций изменения динамики рядов сумм осадков за период 1961-2011гг. были сделаны выводы о немономном изменении сезонных и годовых сумм осадков в различных зонах юга европейской части России. На рис.3 видно, что за исключением степной и причерноморской зон, во всех остальных зонах преобладает сезонное увеличение сумм осадков.

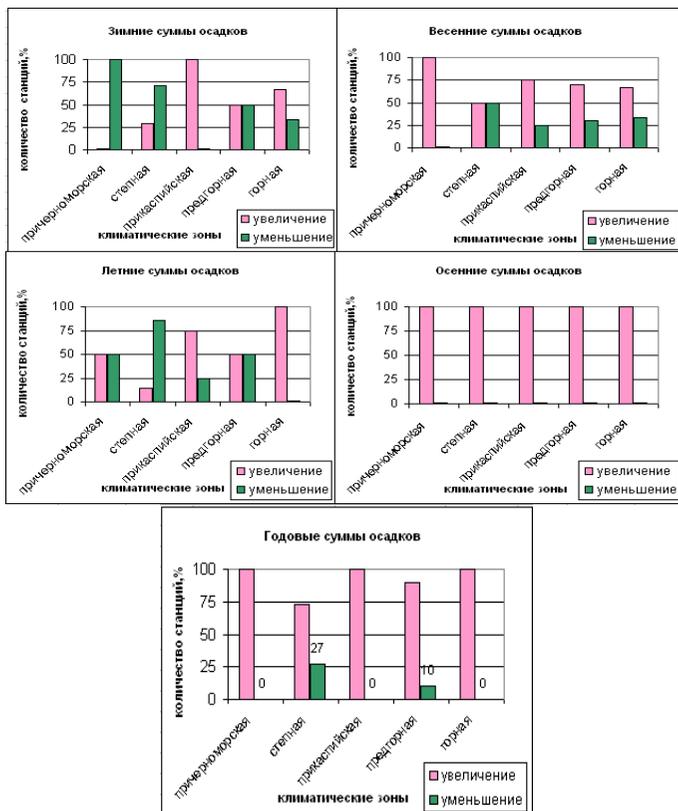


Рис. 3. Тенденции изменения сезонных сумм осадков по результатам сравнительного анализа м/станций.

При этом осеннее устойчивое увеличение сумм осадков наблюдалось на всех станциях без исключения. Для годовых сумм осадков у 27% исследованных степных станций и у 10% предгорных станций произошло их уменьшение, для всех остальных метеостанций – увеличение годовых сумм осадков.

Эти выводы о преимущественном увеличении годовых сумм осадков согласуются с выводами других исследователей изменения режима осадков. По данным Метеорологического бюро Центра Хедли (Великобритания) в период с 1960 по 2005 год над европейской частью России наблюдался повсеместный рост годовых сумм осадков [4]. В работе Крышняковой О.С, Малинина В. Н. «К оценке трендов в колебаниях осадков на европейской территории России» сделан вывод о том, что в годовом количестве осадков евро-

пейской территории России присутствует тенденция к увеличению, хотя не столь значительная, как в температуре воздуха [2].

По результатам проведенного исследования сезонного и годового режима осадков по зонам юга России можно сделать следующие выводы:

1. Наибольшие изменения в режиме осадков (статистически значимое отклонение от климатической нормы, увеличение повторяемости экстремальных значений, наблюдаемые тенденции как увеличения так и уменьшения годовых сумм осадков) имеют место в степной зоне, затем в предгорной и горной зонах. Наиболее стабильны причерноморская и прикаспийская зоны.

2. По результатам анализа временных рядов сезонных и годовых сумм осадков получено, что в осенний сезон для всех станций без исключения наблюдается устойчивое увеличение как сумм осадков, так и суточных максимумов с сохранением тенденции на период от 10 до 50 лет. Максимальное количество экстремумов сумм осадков и суточных максимумов также приходится на осенний сезон.

Список литературы

1. Глоссарий терминов. МГЭИК, 2001 г.: Специальный доклад Рабочей группы III МГЭИК [под редакцией Б. Метца, О.Р. Дэвидсона, и др.]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 466 сс.

2. Крышнякова О.С., Малинин В.Н. К оценке трендов в колебаниях осадков на европейской территории России // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2010г.- № 1 -С.64-69.

3. МГЭИК, 2012 г.: Резюме для политиков Специального доклада по управлению рисками экстремальных явлений и бедствий для содействия адаптации к изменению климата. К.Б.Филд, В.Баррос, Т.Ф.Стокер и др. (ред.). Спец. Доклад Рабочих I и II Межправительственной группы экспертов по изменению климата. Кэмбридж, Нью-Йорк, США, 19с.

4. <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/>. Climate: Observation, Projections and Impacts (Russia).

АНАЛИЗ И ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЙ РЕЖИМА ОСАДКОВ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

Л.А. Кешева¹, И.М. Орсоева², А.А. Ташилова¹

¹ ФБГУ «Высокогорный геофизический институт», г. Нальчик

² ФГБОУ ВПО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова», г. Нальчик

Для анализа динамики количества атмосферных осадков в различные сезоны года в предгорной климатической зоне был использован алгоритм, изложенный в [1]. Согласно алгоритму временные ряды метеопараметров представлялись в виде частичных рядов, для каждого из которых вычислялись значения достаточно широкого набора статистических характеристик, а затем проводился их сравнительный анализ. При этом использовались два варианта представления исходных временных рядов в виде частичных. В первом варианте исходный временной ряд каждого из показателей был представлен в виде трех частичных рядов (1961-1977гг, 1978-1994гг, 1995-2011гг), а во втором варианте – в виде двух (1961-1985гг и 1986-2011гг). Для каждого из них вычислялись среднее значение, дисперсия (среднеквадратическое отклонение), коэффициенты асимметрии и эксцесса, минимальное и максимальное значения и разброс между ними. В результате сравнительного анализа их значений делались выводы о динамических свойствах временных рядов метеопараметров. Такой подход позволяет исключать неоднозначности при интерпретации результатов расчетов.

Остановимся на результатах анализа изменений количества осадков в различные сезоны года. В табл.1 приведены значения статистических характеристик частичных временных рядов количества зимних осадков. Можно заметить, что в случае двух частичных временных рядов наблюдается незначительное увеличение среднего значения данного метеопараметра, которое составляет 0.7 мм. В то же время в случае трех частичных рядов наблюдается изменение быстрыми темпами данной характеристики, но в этом случае она имеет тенденцию к уменьшению. Можно еще заметить, что минимальное значение метеопараметра увеличивается с течением времени при неизменном значении максимального. Это может свидетельствовать о том, что процессы осадкообразования на рассматриваемом отрезке времени становятся более интенсивными.

Что касается коэффициента асимметрии, то в случае трех частичных рядов он сначала увеличивается быстрыми темпами, а затем происходит

некоторое его уменьшение. Это может свидетельствовать о появлении на интервале 1995-2011гг тенденции уменьшения количества осадков в зимние сезоны. Такое поведение данной характеристики, по нашему мнению, правильно отражает характер изменения среднего значения метеопараметра - замедление роста среднего количества осадков в конце рассматриваемого отрезка времени. Можно еще заметить, что в обоих вариантах представления исходного ряда в виде частичных происходит уменьшение разброса между максимальным и минимальным значениями метеопараметра. Это связано с увеличением с течением времени минимального значения при неизменном значении максимального. В целом, судя по изменению характеристик частичных рядов, в предстоящие годы, видимо, будет иметь место некоторое уменьшение количества осадков в зимние сезоны.

Таблица 1. Статистические характеристики частичных временных рядов количества зимних осадков (г. Нальчик)

Интервалы врем. ряда (годы)	Среднее значение (мм)	Среднее квадрат. отклон.	Коеф- фиц асимм.	Коеф- фиц. эксцес- са	Ми- ним зна- чен. (мм)	Мак- сим зна- чен. (мм)	Разброс (мм)
1961-1977	78.0	18.9	-2.76	43.95	38	117	79
1978-1994	71.3	18.5	19.9	56.20	48	115	67
1995-2011	70.5	17.5	18.1	61.50	47	117	70
1961-1985	73.0	18.0	8.36	67.10	38	117	79
1986-2011	73.7	19.3	23.1	69.5	47	117	70

Что касается последствий такого изменения метеопараметра, то они будут зависеть от изменения режима температуры воздуха. Если снежный покров будет носить неустойчивый характер, то озимые культуры могут пострадать от заморозков.

Статистические характеристики частичных временных рядов количества осадков в весенние сезоны приведены в табл. 2. В обоих вариантах представления исходного ряда в виде частичных среднее значение, как можно заметить, имеет тенденцию к уменьшению. Например, по сравнению с его значением на интервале 1961-1977 гг., на следующем интервале оно стало меньше более чем на 20 мм, что можно считать существенным. Характер изменения остальных характеристик также указывает на наличие тенденции

уменьшения количества осадков в весенние сезоны. Об этом свидетельствует, например, поведение коэффициента асимметрии, который уменьшается быстрыми темпами в обоих случаях. Такое изменение данной характеристики сопровождается устойчивым уменьшением максимального значения метеопараметра. Что касается минимального значения, то, в целом, оно также уменьшается, но более медленными темпами, чем максимальное значение. Следствием такого поведения этих характеристик является уменьшение разброса между ними, что указывает на то, что осадки в весенние сезоны в предгорной зоне региона становятся более однородными.

Таблица 2. Статистические характеристики частичных временных рядов суммарного количества весенних осадков (г. Нальчик)

Интервал врем. ряда (годы)	Среднее значен. (мм)	Сред- нее квадр. откл.	Ко- эфф. асимм .	Коэфф. эксцес- са	Мин- им нач. (мм)	Мак- сим знач (мм)	Раз- брос (мм)
1961-1977	211.1	66,3	9.9	52,3	97	372	275
1978-1994	188.3	48,5	-4.1	44.5	88	269	181
1995-2011	185	53.4	-5.2	35.3	90	268	178
1961-1985	207.4	63,5	7.0	81.3	88	372	284
1986-2011	181.8	45.8	-4.4	64.3	90	268	178

Рассмотрим далее результаты расчетов характеристик частичных временных рядов суммарного количества летних осадков, которые приведены в табл.3.

Таблица 3. Результаты расчетов статистических характеристик частичных временных рядов количества летних осадков (г. Нальчик)

Интервал врем. ряда (годы)	Сред. значен. (мм)	Сред. квадр. откл.	Ко- эфф. асимм	Ко- эфф. экс- цесса	Миним знач. (мм)	Максим знач (мм)	Раз- брос (мм)
1961-1977	221.1	70.0	-5.9	33.1	114	308	194
1978-1994	251.5	66.3	-5.0	43.8	125	373	248
1995-2011	230.6	80.5	7.2	34.8	98	373	275

1961-1985	225.48	61.0	-8.1	54.8	114	326	212
1986-2011	243.3	78.15	2.5	49.3	98	373	275

Можно заметить, что в целом имеет место достаточно устойчивое увеличение среднего значения количества летних осадков (исключением является интервал 1978-1994 г., на котором наблюдается резкое увеличение данной характеристики). По сравнению с его значением на предыдущем интервале, на интервале 1986-2011 г. среднее количество летних осадков увеличилось примерно на 20мм. На наличие тенденции увеличения в динамике данного метеопараметра указывает и поведение практически всех характеристик частичных временных рядов. На это указывает, в частности, поведение коэффициента асимметрии, который увеличивается, причем достаточно быстрыми темпами, в обоих случаях представления исходного временного ряда в виде частичных.

Максимальное значение количества летних осадков меняется с течением времени сложным образом: сначала оно увеличивается (на 65мм), что можно считать значительным, затем оно остается неизменным. Такое поведение данной характеристики может свидетельствовать о наличии циклических в ее динамике. В целом данная характеристика, видимо, увеличивается с течением времени. В то же время наблюдается уменьшение незначительными темпами минимального значения данной характеристики (интервал 1978-1994 г. является исключением) при одновременном увеличении максимального значения. Следствием такого поведения этих характеристик, как можно заметить, является устойчивое увеличение разброса между ними. Это указывает на то, что в данной климатической зоне региона имеет место усиление процессов осадкообразования в летние сезоны, что приводит к увеличению, хотя и незначительными темпами, количества осадков. Одновременно происходит увеличение летних сезонов с небольшим количеством осадков. Таким образом, летние осадки становятся более интенсивными и неоднородными.

Значения статистических характеристик частичных временных рядов количества осадков в осенние сезоны приведены в табл.4. Поведение этих характеристик показывает, что изменение во времени количества осадков в осенние сезоны носит более сложный характер, чем в другие сезоны года. Можно заметить, что в случае трех частичных временных рядов коэффициент асимметрии сначала уменьшается, причем существенно, затем увеличи-

вается. В случае двух частичных временных рядов, как можно заметить, он уменьшается. Поэтому судить по поведению данной характеристики о тенденции изменения количества осадков в осенние сезоны достаточно сложно. В целом, поведение коэффициента асимметрии, видимо, может свидетельствовать о появлении в предстоящие годы в динамике данного метеопараметра тенденции уменьшения, хотя на рассматриваемом отрезке времени тенденция противоположная.

Таблица 4. Статистические характеристики частичных временных рядов количества осадков в осенние сезоны (г. Нальчик)

Интервал врем. ряда (годы)	Сред. значен. (мм)	Сред. квадр. откл	Коэфф. асимм	Ко- эфф. экс- цесса	Ми- ним знач. (мм)	Мак- сим знач (мм)	Разброс (мм)
1961-1977	129.2	46.7	28.0	98.4	76	274	198
1978-1994	125.5	41.2	12.4	55.1	62	220	158
1995-2011	169.1	53.6	23.1	87.5	97	329	232
1961-1985	128.0	40.5	45.2	180.8	76	274	198
1986-2011	157.7	55.3	24.8	113.0	62	329	267

Отметим, что по результатам анализа изменения статистических характеристик частичных временных рядов однозначно определить закономерности изменения данного метеопараметра не представляется возможным. По нашему мнению, на его динамику существенное влияние оказывают циклические составляющие. Но обращает на себя внимание тот факт, что максимальное количество осадков увеличивается достаточно быстрыми темпами (исключением является интервал 1978-1994 гг., на котором его значение уменьшилось, но незначительно). При этом, как можно заметить, изменение минимального значения метеопараметра происходит достаточно медленно. Такое поведение этих характеристик может свидетельствовать об интенсификации процессов осадкообразования в осенние сезоны.

Полученные результаты были дополнены результатами анализа наличия во временных рядах метеопараметров аномальных элементов.

Для проведения исследований был использован метод Ирвина [4], который основан на вычислении значений параметра

$$\lambda_t = \frac{|y_t - y_{t-1}|}{\sigma_y}, \quad t = \overline{1, n},$$

характеризующего степень аномальности конкретного элемента временного ряда.

В этом выражении σ_y - среднеквадратическое отклонение временного ряда y_1, y_2, \dots, y_n , \bar{y} - среднее значение.

Для классификации элементов временного ряда расчетные значения $\lambda_2, \lambda_3, \dots$ сравниваются с табличными значениями критерия Ирвина λ_α . Если значение λ_t оказывается больше значения данного критерия, то соответствующее значение y_t элемента временного ряда считается аномальным. Значение критерия Ирвина зависит от длины временного ряда. Для используемых в настоящей работе временных рядов метеопараметров, длины которых порядка 50 и более элементов, он равен 1,1.

Такие же расчеты были проведены и для количества осадков в различные сезоны года. Результаты расчетов приведены в табл.5. При анализе данных этой таблицы должны быть учтены:

- количество аномальных элементов во временных рядах;
- содержание этих элементов во временных рядах в зависимости от сезона года;
- распределение этих элементов во временных рядах метеопараметров.

Анализ данных таблицы показывает, что аномальные элементы во временных рядах распределены различным образом. Это может означать, что влияние изменений климата на режим осадков неодинаково в различные сезоны года.

Такие элементы во временном ряду количества осадков в зимние сезоны, например, не содержатся, что может свидетельствовать о том, что влияние изменений климата на процессы осадкообразования в зимние сезоны проявляются не очень существенно. Такие же результаты были получены выше в результате математико-статистического анализа временного ряда данного метеопараметра. Динамика данного метеопараметра меняется достаточно медленно под влиянием изменения климата. В то же время количество аномальных элементов во временном ряду количества весенних осадков 26, а во временных рядах данного метеопараметра в летние и осенние сезоны они содержатся в количествах 21 и 16, соответственно.

Таким образом, более заметно влиянию изменений климата подвержены процессы осадкообразования в весенние сезоны, затем в летние и осенние, а, как уже отмечалось, в зимние сезоны эти процессы практически не подвержены климатическим изменениям.

Таблица 5. Значения параметра λ_i для количества осадков в различные сезоны

№	зима	весна	лето	осень
2	0,36	1,30	0,88	1,42
3	0,36	2,20	0,98	0,46
4	0,33	2,53	0,89	0,89
5	0,51	1,65	0,43	0,69
6	0,11	2,78	0,43	0,25
7	0,00	2,34	0,00	0,48
8	0,25	1,02	1,02	0,69
9	0,27	1,30	0,73	0,41
10	0,29	1,34	1,07	0,92
11	0,00	0,54	1,94	0,60
12	0,19	0,59	0,94	1,00
13	0,00	0,00	1,40	0,69
14	0,00	0,28	0,49	0,91
15	0,18	0,92	1,73	3,45
16	0,13	1,72	1,41	3,31
17	0,29	2,48	0,50	0,81
18	0,00	1,75	0,11	0,75
19	0,17	1,84	1,86	0,60
20	0,00	3,14	1,28	0,40
21	0,00	1,61	0,39	0,00
22	0,15	1,16	0,91	0,77
23	0,16	0,35	0,22	1,10
24	0,00	0,42	1,00	0,33
25	0,00	0,16	0,56	0,89
26	0,00	1,94	0,68	1,90
27	0,00	0,23	1,55	0,87
28	0,00	0,92	0,85	1,90
29	0,23	0,76	0,89	1,54
30	0,24	0,61	0,25	0,01
31	0,36	0,14	0,35	0,13

32	0,00	0,45	2,00	1,71
33	0,50	0,23	3,39	2,54
34	0,00	0,42	2,21	0,50
35	0,00	0,73	1,77	5,15
36	0,00	1,22	0,84	3,89
37	0,16	2,19	1,54	0,01
38	0,01	0,57	2,64	0,37
39	0,14	0,12	1,98	1,10
40	0,10	0,01	1,27	0,31
41	0,43	1,11	0,94	1,72
42	0,50	0,50	0,28	0,54
43	0,27	1,49	0,45	1,18
44	0,00	1,10	1,86	0,21
45	0,27	1,35	2,28	0,52
46	0,13	1,02	1,12	1,93
47	0,19	1,94	0,85	0,40
48	0,16	2,40	0,47	0,38
49	0,24	2,19	2,51	1,10
50	0,24	1,64	2,82	1,08
51		0,87	2,74	0,00

Отметим, что эти результаты согласуются с полученными выше результатами анализа динамики этих метеопараметров. Можно еще заметить, что во временном ряду количества весенних осадков эти элементы расположены преимущественно в начале и конце ряда, а что касается временного ряда количества летних осадков, то, как можно заметить, вторая его половина состоит практически из аномальных элементов. Это относится и к временному ряду осеннего количества осадков, т.е. вторая его часть более насыщена аномальными элементами.

Распределение аномальных элементов во временных рядах метеопараметров показывает, что в весенние сезоны они локализируются преимущественно в первой трети и в конце ряда. Это означает, что влияние изменений климата на процессы осадкообразования в эти сезоны было выше в соответствующие годы – примерно до начала 80-х прошлого века и с начала 2000-х годов. Для летних сезонов данный фактор был более активным в 70-х и в начале 90-х годов. Что касается осенних сезонов, то, как можно заметить, влияние данного фактора на процессы осадкообразования не носит такого длительного характера, как в осенние и летние сезоны, и составляет

всего один или два года. Отметим еще, что полученные результаты анализа изменений режима осадков в различные сезоны года справедливы на рассматриваемом отрезке времени.

Исходя из результатов расчетов, можно отметить, что анализ последствий климатических изменений количества и режима осадков в различные сезоны года в предгорной зоне региона требует проведения дальнейших исследований. Для исследования их влияния на продуктивность сельскохозяйственных культур, например, необходимо проведение анализа и прогноза агроклиматических ресурсов данной климатической зоны [2,3,5]. Это требует расширения набора используемых для этой цели метеопараметров, построения урожайности культур, обусловленных агрометеорологическими факторами и т.д.

Список литературы

1. Ашабоков Б.А., Бисчоков Р.М., Жеруков Б.Х., Калов Х.М. Анализ и прогноз изменений режима осадков и температуры воздуха в различных климатических зонах Северного Кавказа. Нальчик: Издательство КБНЦ РАН, 2008. 182 с.

2. Дронин Н.М., Кириленко А.П. Зависимость урожаев зерновых от погодных условий в России в XX веке (1958-1990 годы) //Материалы международной научной конференции «Региональные эффекты глобальных изменений климата (причины, последствия, прогнозы)». Воронеж, 26-27 июня 2012. С. 389-392.

3. Израэль Ю.А., Сиротенко О.Д. Моделирование влияния изменений климата на продуктивность сельского хозяйства России // Метеорол. и гидрология. – 2003. - №6. - С.5-17.

4. Красс М.С., Чупрынов Б.П. Математика в экономике. Математические методы и модели. – М.: Финансы и статистика. 2007. С.544.

5. Парниковый эффект, изменение климата и экосистемы./Под ред. Б. Болина, Б. Дееса, Дж. Ягера, Р. Уорика – Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 558 с.

ОБ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТ ПО АКТИВНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ КОНВЕКТИВНЫХ ОБЛАКОВ

Ю.П. Михайловский

ФГБУ «ГТО им. А.И. Воейкова», г. Санкт-Петербург

Введение

Активное воздействие на гидрометеорологические и другие геофизические процессы есть «преднамеренное изменение естественного хода гидрометеорологического или геофизического процесса в желаемом направлении путем химического, механического и иного искусственного воздействия с целью предотвращения града, увеличения или уменьшения количества атмосферных осадков, подавления грозовой активности, рассеяния туманов, профилактического спуска снежных лавин, ослабления заморозков и т.д.» Активные воздействия (АВ) на электрическое состояние конвективных облаков (ЭСКО), являющиеся одним из видов АВ и не имеющие пока опыта практического использования, направлены, в общем случае, на изменение механизма генерации объемных зарядов облака (по терминологии И.М. Имянитова и его последователей - на изменение механизма организованной электризации, понимаемой как совокупность процессов микро- и макроэлектризации, приводящей к возникновению областей в облаке или атмосфере, содержащих частицы одного (преимущественно) знака заряда, и соответственно к росту напряженности электрического поля вблизи этих областей до значений, при которых могут происходить разряды молний). Поэтому, для оценки эффективности АВ на ЭСКО необходимо использовать измеряемые параметры ЭСКО [1,2,6]. Показано [3,4,6], что оптимальными параметрами ЭСКО является напряженность электрического поля в облаке и вне его или количество заряда облака, нейтрализуемого в разрядах молний. Количество разрядов или различные косвенные критерии ЭСКО (Михайловский, 2003, 2012) также могут использоваться в качестве критериев эффективности активных воздействия (АВ) на электрическое состояние конвективных облаков.

Выделение эффекта воздействий на фоне естественной изменчивости процессов представляет собой один из сложнейших и ответственных этапов по планированию и проведению работ по воздействиям. Способы выделения эффекта основаны на сравнении статистических характеристик параметров, характеризующих процесс в естественном цикле развития без АВ и при АВ.

Статистические характеристики процессов в естественном цикле получаются методом:

- использования схемы рандомизации, т.е. случайному выбору, проводить ли воздействие на выбранный объект или оставить его в качестве фонового (естественный цикл);

- использования т.н. контрольной территории, т.е. территории, на которой контролируемые характеристики коррелируют с их значениями на защищаемой территории и могут использоваться для оценки эффективности активного воздействия:

- использования т.н. «метода исторического ряда». Это метод определения эффективности АВ, основанный на сравнении метеорологических параметров или последствий неблагоприятных явлений погоды при проведении АВ со средними многолетними данными до начала активных воздействий.

Эти классические методы весьма затратны как по времени, так и по средствам (количество экспериментов). Поэтому весьма широко используются т.н. «физические» методы оценки эффективности. При этом в качестве доказательств наличия эффекта используются определенные физические соображения, зачастую весьма субъективные.

Мы попытались объединить оба подхода. В наших исследованиях цели эксперимента с облаком (исследование естественного цикла или воздействие с целью усиления или ослабления электризации) определялись рандомизированно уже на первом пролете самолета над выбранным облаком [3,6]. На первом исследовательском режиме мы формулировали ожидаемые изменения в развитии облака (увеличение отражаемости облака Z и напряженности электрического поля E над облаком либо, наоборот, уменьшение Z и E) после воздействия, которое проводилось обычно на втором режиме. Время действия реагента мы посчитали равным примерно 10 минутам. Эффект воздействия определялся путем сравнения полученных результатов с ожидаемыми, заранее объявленными. Т.е., если по прошествии 10 мин. после воздействия в облаке происходили те изменения, которые мы ожидали на 1-м режиме, считалось, что воздействия были успешными. Если происходили обратные изменения – считалось, что воздействие прошло неуспешно. В случае неэффективности воздействий (если бы воздействия не оказывали никакого влияния на процессы в облаке) количество положительных и отрицательных результатов было бы приблизительно равно. Реальные результаты экспериментов представлены в табл.1.

В табл.1 рассмотрены две группы исследованных облаков из трех: подвергнутые воздействию с целью усиления электризации и, наоборот, ослаб-

ления, замедления электризации. Таким образом, мы пытались упростить выделение эффекта воздействий, считая, что разница между этими выборками будет более существенной, чем отличие каждой из них от естественно-го цикла.

Таблица 1. Результаты рандомизированного эксперимента по самолетным воздействиям на электрическое состояние конвективных облаков с использованием льдообразующего регента AgJ

Цель АВ	Параметры облаков		Количество облаков	Наблюдаемый результат			
				Рост E $\Delta t=1$ 0м	Рост Z $\Delta t=1$ 0м	Спад E $\Delta t=10$ м	Спад Z $\Delta t=10$ м
Усиление, ускорение электризации 1-6 ПВ-50	Всего	29	29	24	20	5	9
	Стадия роста Нвг	Твг от -5° до -15°	5	5	5	0	0
		Твг от -15° до -25°	12	9	9	3	3
		Z от -20 до 10дбZ	6	6	6	0	0
		Z от 10 до 40дбZ	11	9	8	2	3
Стационарная стадия	Твг от -5° до -15°	4	4	3	0	1	
	Твг от -15° до -25°	8	6	3	2	5	
	Z от -20 до 10дбZ	4	3	2	1	2	
	Z от 10 до 40дбZ	8	6	4	2	4	
Ослабление, подавление электризации 12-60 ПВ-50	Всего	16	16	2	4	14	12
	Стадия роста Нвг	Твг от -5° до -15°	2	0	0	2	2
		Твг от -15° до -25°	6	2	2	4	4
		Z от -20 до 10дбZ	3	1	1	2	2
		Z от 10 до 40дбZ	5	1	1	4	4
Стационарная стадия	Твг от -5° до -15°	1	0	0	1	1	
	Твг от -15° до -25°	7	0	2	7	5	
	Z от -20 до 10дбZ	2	0	0	2	2	
	Z от 10 до 40дбZ	6	0	2	6	4	

Представлены результаты как по всем облакам в целом (29 на усиление и 16 на ослабление), так и по отдельным группам облаков. Например, 17 из 29 облаков, подвергнутых воздействию с целью усиления электризации, в момент воздействия находились в стадии роста (наблюдался рост вершины Нвг), причем у 5 из них $-5^{\circ} C > Tвг > -15^{\circ} C$, а у 12 $-15^{\circ} C > Tвг > -25^{\circ} C$. В 6 облаках из этих 17 максимальная отражаемость Z была от -20 до 10дбZ, а в 11 облаках Z была от 10 до 40дбZ. Аналогично и по другим группам облаков (стационарная стадия) и видам воздействия (ослабление электризации). Пришли к выводу, что вероятность получения такой комбинации совпадений

реальных изменений E и Z с предполагаемыми случайным образом менее 0.15. Это свидетельствует, на наш взгляд, о правомочности базовой гипотезы об основном механизме электризации и способе воздействия на электризацию, как с целью стимулирования, так и подавления. Кроме того, проводилось исследование статистических связей E (см. рисунок) с другими контролируруемыми параметрами, как при естественном цикле развития (рис. А–Г), так и при альтернативных воздействиях (рис. Д–З):

А, Д – с максимальной за весь эксперимент с облаком высотой верхней границы облака, измеряемой с самолета визуально (Нвг) в км и с максимальной толщиной (вертикальной протяженностью) переохлажденной части облака (Нл) в км;

Б, Е – с максимальной за весь эксперимент с облаком площадью радиолокационного сечения с отражаемостью более 35 дБZ, лежащей выше нулевой изотермы (Sz) в квадратных километрах, и максимальным интегралом (суммой) отражаемостей по этой площади Sz (Zs) в (дБZ км²);

В, Ж – с максимальной за весь эксперимент с облаком температурой атмосферы на уровне верхней границы облака ($T_{вг}$) в градусах Цельсия;

Г, З – с максимальным за весь эксперимент с облаком диаметром (горизонтальным размером) вершины облака (D) в км.

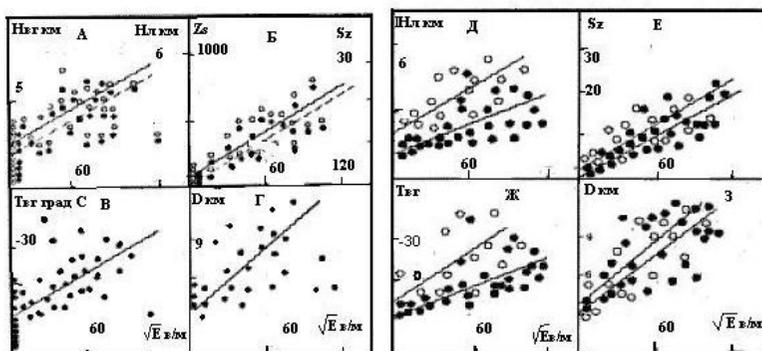


Рисунок. Статистические связи электрических параметров облака (E) с другими, контролировавшимися в самолетных экспериментах по воздействиям на электрическое состояние конвективных облаков при естественном цикле развития (А–Г) и при альтернативных воздействиях (Д–З).

Хотелось бы подчеркнуть, что при этом анализе эффективности воздействий объектом исследований является облако, а не исследовательский режим (пролет над облаком). Соответственно, развитие облака в естественном цикле (Рис. А, Б, В, Г) или при воздействиях (Рис. Д, Е, Ж, З) характери-

зуются максимальными значениями соответствующих параметров облака за все время жизни данного облака. Таким образом, воздействуя на начальной стадии развития облака, мы пытаемся установить, влияют ли воздействия на конечный (максимальный) результат его развития.

Были установлены статистически значимые различия регрессионных связей E с толщиной переохлажденной части облака $Hл$ (Рис. А,Д) и температурой на верхней границе $Твг$ (Рис. В,Ж) для трех полученных выборок. Т.е. при воздействиях с целью ослабления, замедления электризации, облака, имеющие определенную максимальную толщину переохлажденной части, электризовались в среднем слабее, т.е. над ними наблюдались, в среднем, меньшие значения напряженности электрического поля, чем в экспериментах без воздействий и, тем более, в экспериментах с целью усиления, ускорения электризации (Рис. А,Д). Такие же закономерности можно обнаружить и при анализе связей E с $Твг$. (На рис. Д,З черными кружочками обозначены результаты экспериментов по воздействию с целью усиления, ускорения электризации, а незакрашенными кружками – подавления, замедления электризации. На рис. А черными кружочками отображена связь $Hл$ и E , а светлыми – связь $Hвг$ с E , на рис. Б черными кружками отображена связь Sz и E , а светлыми – Zs).

И, наоборот, различия регрессионных связей E с радиолокационным параметром Sz , который является площадью части вертикального радиолокационного сечения с отражаемостью $Z > 35$ дБZ и расположенной выше нулевой изотермы, оказались статистически незначимы. Коэффициент регрессии остается приблизительно одинаковым как для облаков, развивающихся без воздействий, так и для облаков подвергнутых воздействию с целью усиления или ослабления электризации. Этот результат подтверждает, на наш взгляд, нашу базовую гипотезу о механизме электризации конвективного облака и механизме воздействий на его электрическое состояние. Действительно, параметр Sz характеризует, на наш взгляд, количество и средний размер крупных ледяных частиц в облаке. Как было постулировано выше, мы предполагаем воздействовать на электризацию облака путем воздействия на размеры и количество крупных ледяных частиц, т.е. на Sz . Таким образом, изменяя с помощью воздействий Sz , мы пропорционально изменяем и электризацию облака, т.е. E над облаком. Что и подтверждается рис. Б и Е.

Таким образом, двумя различными способами удалось доказать эффективность используемого метода АВ на ЭСКО

Выводы

Рандомизированный самолетный эксперимент по воздействиям и анализ результатов подтвердил, что воздействия на ЭСКО, проводимые по разработанным методикам как с целью усиления, ускорения, так и подавления, замедления ЭСКО, приводят к статистически значимым результатам.

Список литературы

1. Гальперин С.М., Кашлева Л.В., Михайловский Ю.П., Степаненко В.Д., Электризация конвективных облаков в естественном цикле развития и при воздействиях (самолетные исследования)//Вопросы атмосферного электричества. Сб., 1990. С.76-120.

2. Гальперин С.М., Михайловский Ю.П., Стасенко В.Н., Фролов В.Н., Щукин Г.Г. Использование ПЭБ ГГО (п. Тургошь) для активных воздействий на электрическое состояние облаков и контроля их результатов. //Труды научной конференции по результатам исследований в области гидрометеорологии и мониторинга загрязнения окружающей среды в государствах участниках СНГ, посвященной 10-летию образования Межгосударственного совета по гидрометеорологии. Г-М., С.-Пб., 2002. С. 39-43.

3. Михайловский Ю. П., Кашлева Л. В., Гальперин С. М., Караваяев Д. М., Щукин Г. Г. Активные воздействия на электрическое состояние облаков и контроль их результатов.// Труды юбилейной конференции по Активным воздействиям, Чебоксары, 1998.

4. Михайловский Ю.П. Эмпирическая модель электрически активных конвективных облаков и возможности ее использования для тестирования численной модели // Труды НИЦ ДЗА. 2002. №5 (552). С. 66 -75.

5. Михайловский Ю.П. О параметрах характеризующих электрическое состояние облаков на предгрозовой стадии и возможности их контроля. /V Всероссийская конференция по Атмосферному электричеству. Владимир, 2003.

6. Михайловский Ю.П., Кашлева Л.В. Методика и результаты исследований электризации конвективных облаков с помощью самолетов. Сборник трудов ГГО «Радиолокационная метеорология и активные воздействия», ГГО, С.-Пб., 2012. С.98-114.

7. Mikhailovsky, Yu.P., L.V.Kashleva and V.D.Stepanenko. Aircraft investigation of the convective clouds electrification.//Proc. of the 9th Conf. of the Atm. Electricity, St.Petersburg, Russia,1992. P. 193-197.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТ ПО ИУО С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В КАБАРДИНО-БАЛКАРИИ

А.В. Клейменова¹, Б.П. Колосков¹, А.А. Аджиева²

¹ АНО «Агентство атмосферных технологий», г. Москва

² ФГБОУ ВПО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова», г. Нальчик

Введение

Как известно, осадки играют важную роль в период вегетации сельскохозяйственных культур. Результаты многочисленных теоретических и экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что применение современных технологий искусственного увеличения атмосферных осадков (ИУО) в различных регионах мира позволяет получать дополнительно до 20% от сезонной нормы осадков [2].

Проблеме оценки экономической эффективности работ по ИУО применительно к увеличению урожайности сельхозкультур посвящен целый ряд исследований [1,4,8]. Так рентабельность производственных работ по ИУО, выполненных в Закавказье в бассейнах р. Иори и оз. Севан в 1986-1990 гг. [4], составила в зависимости от возделываемых сельскохозяйственных культур, сезона и способа засева облаков от 1:5 до 1:10. Результаты оценки эффективности работ по ИУО на территории Ставропольского края в 1986-1990 гг., полученные для озимой пшеницы, также свидетельствуют о высокой экономической эффективности АВ на облака в вегетационный период май-июнь (рентабельность 1:10) [8].

Оценка экономической эффективности работ по ИУО основывается, как правило, на определении приращения осадков за счет ИУО в моделях «урожай – осадки». Для определения связей между урожайностью сельскохозяйственных культур и количеством осадков обычно используются статистические методы, а именно, корреляционный анализ [5,6,7]. Исследование зависимости урожайности сельскохозяйственных культур от количества осадков, выполненные с использованием корреляционного анализа для озимой пшеницы, картофеля и сахарной свеклы, выращиваемых на территории Ставропольского края в 2003-2011 гг., показали наличие связи урожайности этих сельхозкультур с осадками, выпавшими в вегетационный период май-июнь [3]. Полученные результаты хорошо согласуются с результатами исследований связи урожайности основной зерновой культуры в Ставропольском крае

– озимой пшеницы с количеством осадков в мае-июне по данным за период 1961-1985 гг. [7].

В настоящей работе рассматриваются результаты исследования корреляционных зависимостей между урожайностью и осадками для озимой пшеницы и зерновых, картофеля, кукурузы и подсолнечника, выращиваемых на территории Баксанского района (Кабардино-Балкария) с 1970 по 1997 гг., и оценка экономической эффективности производственных работ по ИУО с использованием самолетных и наземных средств воздействий на облака.

Исследование корреляционных зависимостей между урожайностью сельскохозяйственных культур и осадками

Для исследования связи урожайности с осадками, выпавшими за выбранный период времени, использовалось линейное уравнение регрессии вида [1,3,4]:

$$Q = a + b P \quad (1)$$

где Q – урожайность сельхозкультур, ц/га; P – количество осадков (мм), выпавших на территории района за выбранный период времени. Коэффициенты a и b определяются методом наименьших квадратов по данным об урожайности и осадках в период 1970 – 1997 гг.

Исследования зависимости урожайности от количества осадков проводились для пяти сельскохозяйственных культур (озимой пшеницы, зерновых, картофеля, кукурузы и подсолнечника) и осадков, выпавших в весенний (май-июнь) периоды.

Анализ результатов исследований моделей «урожай-осадки», описываемых уравнением (1), показал, что наибольшая связь урожайности для озимой пшеницы, зерновых и подсолнечника наблюдается с осадками, выпавшими в июне, а для картофеля и кукурузы – в мае (рис. 1-5).

Так, коэффициенты корреляции между урожайностью и количеством осадков, выпавших в июне, оказались равными: для озимой пшеницы $R_{\text{оз.пш}}=0,483$; для зерновых $R_{\text{зерн}} = 0,480$; для подсолнечника $R_{\text{подс}} = 0,534$ и для осадков, выпавших в мае, оказались равными: для картофеля $R_{\text{карт}}=0,704$ и для кукурузы $R_{\text{кукур}} = 0,258$.

Проверка статистической значимости полученных линейных уравнений регрессии с использованием t -теста показала, что для четырёх сельхозкультур (озимая пшеница, зерновые, картофель и подсолнечник) уравнения значимы на 5%-ном уровне. Для кукурузы величина ошибки $p = 0,701$, т.е. связь урожайности с осадками для кукурузы оказалась статистически незначимой.

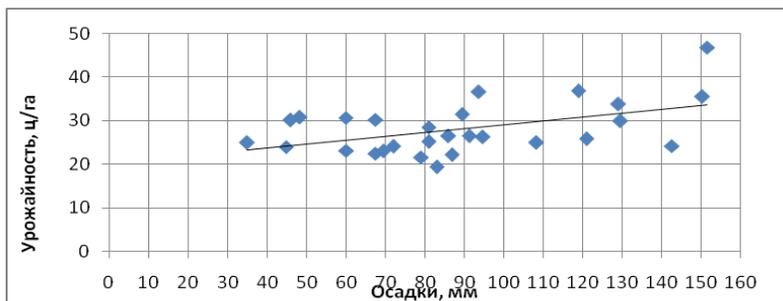


Рис.1. Корреляционная зависимость между урожайностью озимой пшеницы и количеством осадков в июне (1970-1997).

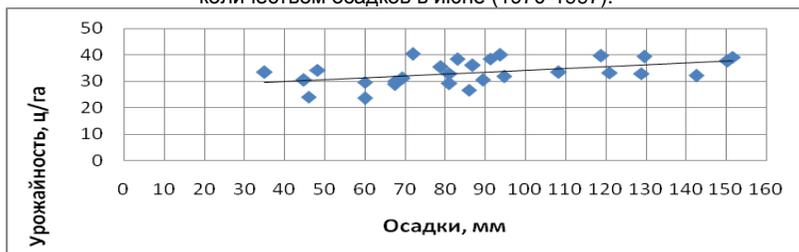


Рис.2. Корреляционная зависимость между урожайностью зерновых и количеством осадков в июне (1970-1997).

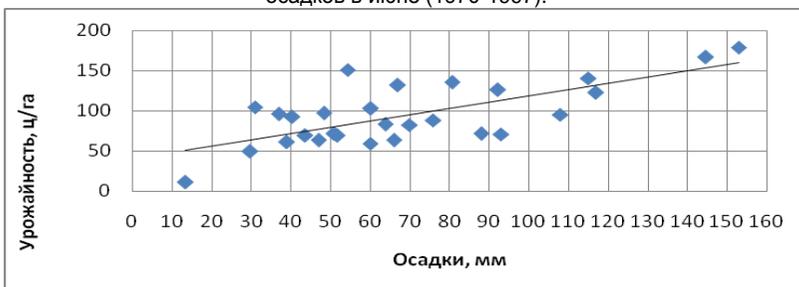


Рис.3. Корреляционная зависимость между урожайностью картофеля и количеством осадков в мае (1970-1997).

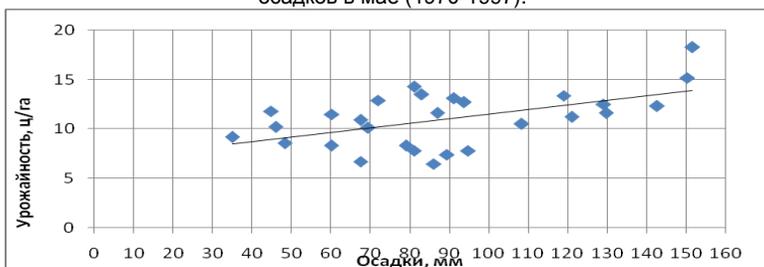


Рис.4. Корреляционная зависимость между урожайностью подсолнечника и количеством осадков в июне (1970-1997).

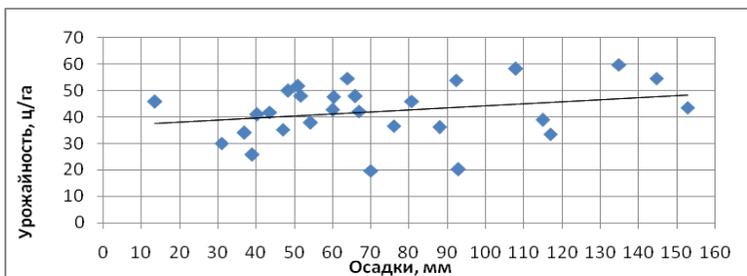


Рис.5. Корреляционная зависимость между урожайностью кукурузы и количеством осадков в мае (1970-1997).

Таким образом, результаты проведенных исследований свидетельствуют о высокой степени зависимости урожайности выращиваемых на территории Баксанского района Кабардино-Балкарии озимой пшеницы, зерновых, картофеля и подсолнечника от выпадающих в мае-июне осадков, что позволяет использовать полученные корреляционные связи для прогноза урожайности этих сельскохозяйственных культур на основе данных об осадках. В свою очередь, прогноз урожайности может быть использован, как это будет показано ниже, для оценки экономической эффективности работ по ИУО.

Оценка экономической эффективности производственных работ по ИУО

Расчет экономической эффективности ИУО методами активных воздействий на территории Баксанского района Кабардино-Балкарии проводился с помощью полученных моделей «урожай-осадки» для озимой пшеницы, зерновых, картофеля и подсолнечника.

Используя регрессионное уравнение (1), можно рассчитать прирост урожайности ΔQ за счет дополнительных осадков ΔP , полученных в результате активных воздействий на облака: $\Delta Q = b \Delta P$.

Увеличение сбора урожая при занятой под сельхозкультуру площади S , составит $\Delta V = \Delta Q * S$. Выручка от дополнительного урожая, полученного в результате увеличения осадков в период вегетации растений, составит: $\Delta D = \Delta V * D = \Delta Q * S * D$, где D – закупочная цена сельхозкультуры.

В табл.1 приведены результаты оценки экономической эффективности ИУО в предположении, что увеличение осадков в мае-июне благодаря АВ в среднем составит 20%. Расчеты выполнены по данным о средних ценах и посевной площади сельхозкультур в период 1970-1997 гг.

Таблица 1. Оценка экономической эффективности ИУО для озимой пшеницы, зерновых, картофеля и кукурузы

Период	ΔQ (ц/га)	ΔV (тонн)	ΔD (млн. руб)
Озимая пшеница			
Июнь	1,58	1 580	12,6
Зерновые			
Июнь	1,24	1 240	12,4
Картофель			
Май	10,87	1 707	17,0
Подсолнечник			
Июнь	0,82	237	11,9

Для определения чистого дохода были оценены расходы на выполнение работ по ИУО самолетным методом и с использованием наземных генераторов. Расходы складываются из затрат на аренду средств воздействия, самолета, плюс ГСМ, аэродромные и аэронавигационные расходы, реагенты, метео- и радиолокационная информация, заработная плата и командировочные расходы. В табл.2 приведены результаты оценки затрат при проведении работ по ИУО с использованием двух типов самолетов – М-101Т «Гжель» и Ан-30 и наземных аэрозольных генераторов НАГ-07М.

Таблица 2. Затраты на выполнение работ по ИУО наземными генераторами и самолётным методом

Период работ по ИУО	Затраты (млн. руб.)		
	М-101Т «Гжель»	Ан-30	НАГ-07М
1 месяц (май или июнь)	18,5	30,0	9,5

Сравнение результатов расчётов экономической эффективности работ по ИУО на примере четырёх сельскохозяйственных культур, выращиваемых на территории Баксанского района Кабардино-Балкарии (табл.1), с оценками расходов на проведение производственных работ по АВ на облака самолетным методом и наземными генераторами (табл.2) показывает, что для всех культур при 20%-ном увеличении осадков использование самолётов типа М-101Т «Гжель» и Ан-30 оказывается нерентабельным.

При проведении воздействий с использованием четырёх наземных генераторов (10 дней в месяц по 8 часов ежедневно) чистая прибыль работ по ИУО для рассмотренных сельхозкультур составит от 2,4 до 7,5 млн. рублей.

Выводы

1. Описанный в работе алгоритм позволяет оценить экономическую эффективность и целесообразность проведения производственных работ по

искусственному увеличению атмосферных осадков для нужд сельского хозяйства с использованием самолетных и наземных средств воздействий на облака и может быть использован при планировании этих работ в различных сельскохозяйственных регионах.

2. Анализ данных об осадках и урожайности четырёх сельхозкультур, выращиваемых на территории Баксанского района Кабардино-Балкарии, показал, что проведение работ по ИУО в Баксанском районе с использованием наземных генераторов НАГ-07М оказывается рентабельным, в то же время применение самолётов типа М-101Т «Гжель» и Ан-30 в Баксанском районе для повышения урожайности нерентабельно.

3. Сравнительный анализ приведенных в табл.3 данных о приросте урожайности озимой пшеницы и картофеля в Ставропольском крае [3] и в Баксанском районе, показал, что при увеличении количества осадков на 20% прирост урожайности для обеих сельхозкультур в Баксанском районе в 3-9 раз больше, чем в Ставропольском крае.

4.

Таблица 3. Прирост урожайности озимой пшеницы и картофеля в Ставрополе и Баксанском районе.

Сельхозкультура	ΔQ (ц/га)	
	Ставрополь	Баксан
Озимая пшеница	0,3 – 0,6	1,6
Картофель	1,2 – 2,7	10,9

При этом для озимой пшеницы при 20%-ном увеличении количества осадков в июне использование самолётов типа Ан-30 и М-101Т «Гжель» в Ставрополе оказывается рентабельным, и чистая прибыль работ по ИУО может составить от 127 до 335,5 млн. рублей. В то же время, несмотря на больший по сравнению со Ставрополем прирост урожайности озимой пшеницы, проведение производственных работ ИУО в Баксанском районе с использованием самолётов оказывается нерентабельным. Это может быть, на наш взгляд, объяснено значительным различием площадей, занятых под озимую пшеницу на рассмотренных территориях. Так, в Ставрополе под озимую пшеницу занято в среднем 1 800 тыс. га, а в Баксанском районе около 1,5 тыс. га. В связи с этим даже в случае меньшего прироста урожайности работы по ИУО с использованием как малых (М-101Т «Гжель»), так и больших самолётов (Ан-30) могут быть рентабельными при проведении АВ на облака на больших площадях.

Список литературы

1. Дмитриенко В.П. Оценка влияния температуры воздуха и осадков на формирование урожая основных зерновых культур. Методическое пособие. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. 49 с.
2. Колосков Б.П., Корнеев В.П., Щукин Г.Г. Методы и средства модификации облаков, осадков и туманов. – Санкт-Петербург, 2012. 341 с.
3. Клейменова А.В., Колосков Б.П., Корнеев В.П., Лозовой В.И., Акимова И.И. Оценка эффективности производственных работ по ИУО самолётным методом на территории Ставропольского края. // Изв. Высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2014. № 1. С. 69-73.
4. Сванидзе Г.Г., Бегалишвили Н.А., Бериташвили Б.Ш. О физической и экономической эффективности работ по искусственному увеличению осадков в Закавказье. // Доклады V Всесоюзного совещания «Планирование и оценка эффективности работ по искусственному увеличению осадков». – Ставрополь, 1990. С. 80-90.
5. Себер Дж. Линейный регрессионный анализ. – М.: Мир. 1980. 456 с.
6. Уланова Е.С., Забелин В.Н. Методы корреляционного и регрессионного анализа в агрометеорологии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 207 с.
7. Экба Я.А., Каплан Л.Г., Закиян Р.Г. Физико-статистические модели урожай осадки для засушливых и влагообеспеченных районов Ставропольского края. // Доклады V Всесоюзного совещания «Планирование и оценка эффективности работ по искусственному увеличению осадков». – Ставрополь, 1990. С. 64-70.
8. Экба Я.А., Каплан Л.Г., Закиян Р.Г. Экономическая эффективность работ по искусственному увеличению осадков в Ставропольском крае. // Доклады V Всесоюзного совещания «Планирование и оценка эффективности работ по искусственному увеличению осадков». – Ставрополь, 1990. С. 77-80.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТ ПО ИУО ДЛЯ ПОПОЛНЕНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД (НА ПРИМЕРЕ ЧЕРНОРЕЧЕНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА, КРЫМ)

**А.В. Клейменова, В.П. Корнеев, Б.П. Колосков, А.М. Петрунин,
А.А. Бычков, А.В. Частухин**

АНО «Агентство атмосферных технологий», г. Москва

Введение

В последние годы во многих странах мира все острее становится проблема дефицита пресной воды. Это связано с целым рядом факторов, среди которых основными являются тенденция потепления климата, рост населения Земли, а также интенсивное развитие промышленности и сельского хозяйства.

Дефицит пресной воды в районах с недостаточным естественным увлажнением становится ощутимым тормозом для развития как сельскохозяйственного производства, так и многих других отраслей хозяйства. Это касается не только континентальной зоны, но островных и прибрежных регионов, таких, каким является полуостров Крым.

Обеспечение полуострова пресной водой – одна из главных проблем республики, поскольку 85-87% пресной воды поступает в Крым по Северо-Крымскому каналу из Днепра. Вместе с тем из 23 водохранилищ Крыма 8 – наливные и пополняются из Северо-Крымского канала, а 15 пополняются за счет естественных стоков. Этой проблеме уделено большое внимание Правительства РФ и прорабатываются различные способы её решения.

В связи с этим целесообразно наряду с другими методами пополнения водных ресурсов Крыма рассмотреть возможность искусственного увеличения атмосферных осадков из облаков методами активного воздействия на них.

Исследование в области активного воздействия (АВ) на метеорологические процессы с целью искусственного увеличения атмосферных осадков (ИУО) ведутся уже более 80 лет, из них более 60 лет проводятся экспериментальные проекты и опытно-производственные работы.

За этот период в различных странах мира (США, Австралия, ЮАР, Китай, Израиль, Марокко, Сирия, Таиланд, Мексика, Иран, Куба и др.) проведено несколько десятков научно-исследовательских и оперативных проектов по искусственному регулированию осадков (ИРО). В СССР и затем в России также проводились многолетние экспериментальные исследования и оперативные работы в Поволжье, Сибири, Белоруссии, Казахстане, Калмыкии, Ставропольском Крае и Средней Азии. Советские и российские специалисты выполняли научно-исследовательские и оперативные проекты на Кубе, в Монголии, Болгарии, Сирии, Португалии и Иране.

Результаты этих проектов показали, что современные технологии ИУО осадков позволяют получать дополнительно до 20-30% от сезонной нормы осадков. Это вселяет определенный оптимизм в их использовании для снижения дефицита пресной воды на полуострове Крым.

Ниже приводится описание климатических характеристик облаков, осадков и температур в Крыму на основе многолетних данных и оценивается целесообразность и экономическая эффективность работ по искусственному уве-

личению количества осадков самолетным и наземными методами воздействия на облака на юго-западе Крыма для пополнения водозапаса Чернореченского водохранилища.

Климатические характеристики облачности и осадков южной части полуострова Крым

Чернореченское водохранилище расположено в южной части Крыма, в Байдарской долине на р. Черная, берущая свое начало на северо-западных склонах Ай-Петринской яйлы. Южная часть территории Крыма характеризуется неоднородной топографией (высота до 1200 м над уровнем моря) (рис.1). В связи со сложным строением рельефа осадки распределяются очень неравномерно: около 300 мм/год на западном побережье, 450 мм/год в предгорье и 800-1000 мм/год в горной местности.

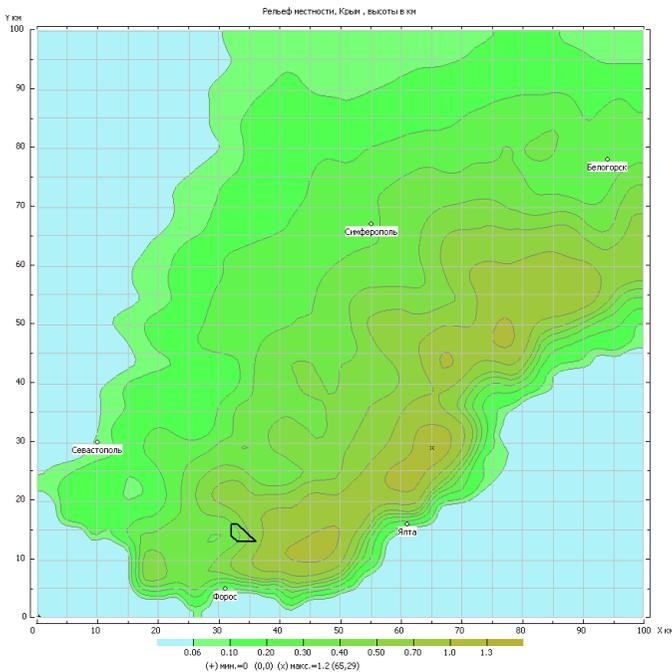


Рис.1. Орография южной части территории Крыма.

Объем водохранилища 62 млн. м³. Первоначально вода использовалась и для орошения, а теперь в связи с дефицитом пресной воды, преимущественно, для водоснабжения Севастополя. Байдарская долина – межгорная котловина в юго-западной части полуострова находится на высоте 300-400 метров

над уровнем моря, высота окружающих её гор – 600-800 метров. В пределах Байдарской долины река Чёрная принимает основные свои притоки с северных склонов Ай-Петринской яйлы.

Выполненный анализ климатических характеристик облачности и осадков по данным наблюдений в Симферополе за период с 1945 по 2013 г.г. позволяет сделать следующие выводы:

1. По данным исторических наблюдений среднее годовое количество осадков за период 1945-2013 гг. составило около 500 мм и практически не имело тренда (рис.1). При этом, как видно из рис.2, наблюдается значительная изменчивость количества осадков от года к году. Так в отдельные годы наблюдалось от 60-70% до 160-170% от годовой нормы осадков.



Рис. 2. Годовое количество осадков (мм) в Симферополе в 1945-2013 гг. Красной линией показан тренд осадков.

2. По данным метеонаблюдений в Симферополе отмечается рост средней годовой температуры (рис.3). Так, за период с 1945 по 2013 гг. наблюдалось увеличение температуры воздуха с 9.2°C до 10.7°C , т.е. средняя годовая температура выросла на 1.5°C за 68 лет.

3. Анализ годового хода осадков за период с 1945-2013 гг. показал, что среднее месячное количество осадков в Симферополе меняется от 30 мм в апреле до 60 мм в июне (рис.4).

4. Среднее количество дней с осадками составляет 6-7 дней в июле-сентябре и 12-14 дней в ноябре-марте (табл.1). При этом в 74-78% дней с осадками суточное количество в ноябре-марте превышало 0.5 мм, что составляет более 70-80% месячного слоя.



Рис. 3. Средняя годовая температура воздуха в Симферополе в 1945-2013 гг. Красной линией показан тренд температуры.



Рис. 4. Годовой ход месячного количества осадков в Симферополе в 1945-2013 гг.

Таблица 1. Среднее число дней с осадками в Симферополе в 1945-2013 гг.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
14.2	13.1	11.7	8.9	9.0	9.1	6.7	5.9	6.7	8.5	11.7	13.7	119.2

5. Средняя месячная температура воздуха в Симферополе в зимний период (декабрь-февраль) не превышает 2°С и составляет 20-22°С в летний период (июнь-август) (рис.5).



Рис. 5. Годовой ход средней месячной температуры в Симферополе в 1945-2013 гг.

6. Принимая во внимание ежемесячное количество дней с осадками и годовой ход температуры воздуха можно предположить, что наиболее подходящим для проведения активных воздействий на облака с целью искусственного увеличения осадков на юге Крыма является период с ноября по февраль. Анализ данных радиозондирования в Симферополе за 5-летний период (2005-2009 гг.) в ноябре-феврале в дни с суточным количеством осадков более 0.5 мм показал, что 3% осадков выпало из облаков с температурой верхней границы $T_{вр} > 0^{\circ}\text{C}$ (т.е. из тёплых облаков), 10% осадков из облаков с температурой верхней границы $-5^{\circ}\text{C} < T_{вр} \leq 0^{\circ}\text{C}$, 26% осадков из облаков с $-10^{\circ}\text{C} < T_{вр} \leq -5^{\circ}\text{C}$ и 61% осадков из облаков с $T_{вр}$ ниже -10°C .

7. По данным радиозондирования атмосферы в Симферополе ветер на высоте 700 hPa в дни с осадками в 80-85% случаев имел северное, северо-западное, западное или юго-западное направления.

Технические средства для засева облаков

Самолетная технология ИУО предполагает засев облаков льдообразующими реагентами и хладоагентами с самолета. Для этого самолеты оборудуют специальным оборудованием и средствами воздействия:

1) устройствами для отстрела пиропатронов ПВ-26, самолетными аэрозольными генераторами САГ-26, самолетными азотными генераторами ГМЧЛ-А и углекислотными комплексами для засева облаков сухим льдом;

2) комплексом бортовой аппаратуры для измерения навигационных параметров и параметров облаков и атмосферы (температура, влажность, относительная влажность), необходимых для принятия решения, выполнения засева и контроля результатов воздействий;

3) системой радиобмена данными «Земля – борт – Земля» (системой диспетчеризации), обеспечивающей определение координат, курса, скоро-

сти, высоты полета воздушного судна, передачу этой информации на наземный Пункт управления, отображение этих параметров на наземном компьютере Пункта управления, а также передачу карт радиолокационной отражаемости с наземного пункта на борт самолета.

Технология искусственного увеличения атмосферных осадков с использованием наземных генераторов предполагает засеивание облаков установленными на земле генераторами льдообразующего аэрозоля. Поскольку данная технология весьма чувствительна к орографии местности и, как следствие, к полю ветра, то она используется преимущественно в горной местности, где существуют восходящие движения.

Для оценки пригодности облаков для засеивания, выполнения самолетных операций и контроля результатов воздействий используются автоматизированные метеорологические радиолокационные комплексы, созданные на базе радиолокатора МРЛ-5 и мобильного метеорологического радиолокатора ММРЛ «Контур-Метео» Агентства АТТЕХ.

Результаты численного моделирования засеивания облаков

Для исследования распространения льдообразующего реагента, мест размещения наземных генераторов и определения режимов их работы с учетом орографии местности, для выбора режимов воздействий и трасс полетов при проведении воздействий с самолета использовалась разработанная в Агентстве АТТЕХ трехмерная численная модель SeedDisp. В модели SeedDisp рассчитывается перенос частиц реагента в заданном поле скорости ветра с учетом рельефа местности для мезомасштабной области размерами по горизонтали от нескольких десятков до нескольких сотен километров и по вертикали, включающей всю тропосферу. Расчет основан на использовании радиозондовых и наземных метеорологических данных. Помимо скорости ветра в модели определяются трехмерные поля температуры, влажности и параметров турбулентности. Программа SeedDisp позволяет проводить расчет переноса реагента в приземном слое при работе различными типами наземных и самолетных генераторов, но без учета влияния облачности и осадков.

Численное моделирование процесса распространения реагента при воздействии наземными генераторами было проведено для 14 дней зимнего периода 2005-2013 г., когда отмечалось выпадение осадков и имелись данные радиозондирования. В качестве температурного порога активности (температуры при которой генерируется количество ледяных частиц, достаточное для значительного влияния на процесс осадкообразования) льдообразующего состава АД-1, используемого в современных российских пиро-

технических генераторах йодистого серебра, в расчетах принята температура -6°C . При этой температуре одним пиропатроном (пирозлементом) создается концентрация ледяных частиц 10^4 1/м^3 .

На рис. 6, 7 приведены примеры результатов численного моделирования концентрации льдообразующих частиц ($1/\text{м}^3$) в горизонтальной и вертикальной плоскостях при воздействии наземными и самолётными аэрозольными генераторами йодистого серебра с использованием данных за 21 февраля 2005 г. В этот день наблюдался северо-восточный перенос со скоростью 35-45 км/ч. Температура воздуха у земли была $0,2^{\circ}\text{C}$, нулевая изотерма находилась на высоте 200 м. Нижняя граница облачности находилась на высоте 100 м ($-0,2^{\circ}\text{C}$), верхняя граница на высоте 3100 м (-16°C). За день по данным метеостанции Симферополь выпало 3,6 мм осадков.

С учетом скорости и направления переноса линия воздействий САГ была расположена на удалении 40-45 км к западу от Чернореченского водохранилища (рис.6). Воздействия проводились на высоте 2000 м (минус 10°C). Пять наземных аэрозольных генераторов располагались на побережье к западу – юго-западу от водохранилища (рис.7).

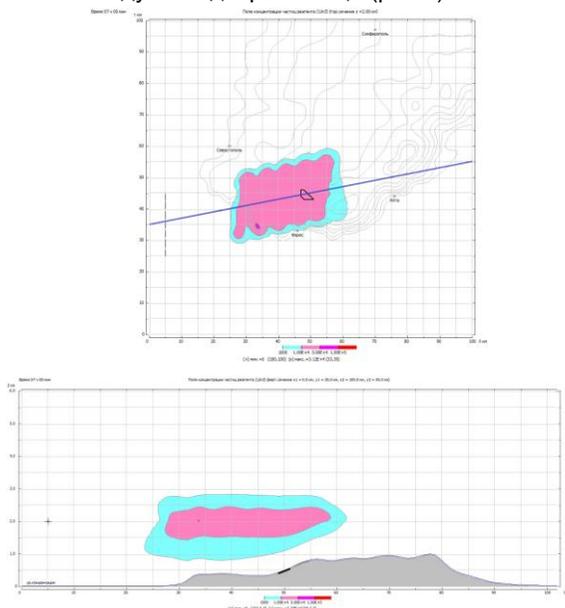


Рис. 6. Концентрации льдообразующих частиц ($1/\text{м}^3$) в горизонтальной и вертикальной плоскостях через 1 час после начала воздействий САГ, 21/02/2005. Горизонтальный разрез построен для высоты 2 км, вертикальный – по обозначенной на горизонтальном сечении линии.

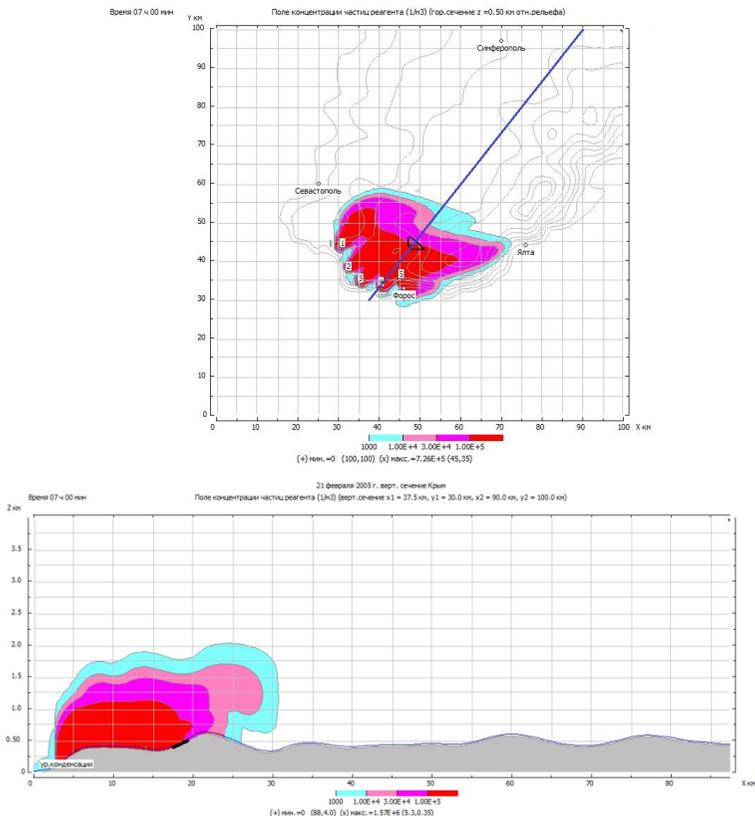


Рис. 7. Концентрации льдообразующих частиц ($1/\text{м}^3$) в горизонтальной и вертикальной плоскостях через 1 час после начала воздействий НАГ, 21/02/2005. Горизонтальный разрез построен для высоты 0,5 км, вертикальный – по обозначенной на горизонтальном сечении линии.

Из рис. 6,7 видно, что частицы реагента с концентрацией 10^4 $1/\text{м}^3$ при воздействии САГ располагались в слое между 1400 (минус 7°C) и 2500 м (минус 14°C), а при воздействии НАГ достигали высоты 1600 м (минус $8,5^\circ\text{C}$).

Результаты моделирования воздействий наземными аэрозольными генераторами, установленными в зоне водосбора Чернореченского водохранилища, показывают, что в целом ряде метеорологических ситуаций реагент может достигать высоты порога активности йодистого серебра (уровень изотермы -6°C) в достаточно большой концентрации ледяных частиц (10^4 – 10^5 $1/\text{м}^3$), что создает предпосылки для получения дополнительных осадков.

Таким образом, результаты анализа климатических характеристик облачности и осадков на территории юга Крыма и результаты численного моделирования распространения реагента позволяют сделать вывод, что на территории Крыма в ноябре-феврале существуют условия для засева облаков льдообразующими реагентами с использованием наземных и самолетных аэрозольных генераторов йодистого серебра с целью получения дополнительных осадков.

Оценка затрат на выполнение проекта по ИУО в бассейне Чернореченского водохранилища и оценка стоимости получаемой дополнительной воды

Оценка затрат на выполнение работ по ИУО с целью пополнения водозапаса Чернореченского водохранилища, выполненная для трех вариантов проведения работ: наземного, самолетного и комбинированного (самолетного и наземного), показала, что при использовании самолета Ан-30 ежемесячные затраты составят около 39 млн. рублей. При воздействии на облака наземными пиротехническими генераторами йодистого серебра общей продолжительностью 112 часов с 4 пунктов воздействия затраты составят около 12 млн. рублей в месяц. При этом количество дополнительных осадков самолетным методом составит около 20%, а при наземном методе около 10% от среднемесячной нормы. При применении этих методов одновременно количество дополнительных осадков может составлять до 30 % от среднемесячной нормы.

При этом объем полученной дополнительной пресной воды, рассчитанный на основании среднемесячного количества осадков (см. рис. 4), при площади водосбора 300 км², коэффициенте стока 0,5 и площади зеркала водохранилища 6,04 км², составит от 3,5 до 11 млн. кубометров. При затратах на проведение работ с ноября по февраль в течении 14 дней ежемесячно с использованием наземных и самолетных средств, составляющих от 50 до 200 миллионов рублей, стоимость одного кубометра дополнительной воды составит соответственно 14–18 рублей.

Заключение

Таким образом, результаты анализа климатических характеристик облачности и осадков на территории юго-востока Крыма, результаты численного моделирования и оценка затрат на выполнение работ по засеву облаков позволяют сделать следующие выводы:

1. На территории водосбора Чернореченского водохранилища с ноября по февраль существуют условия для засева облаков льдообразующими реагентами с использованием самолетных и наземных аэрозольных генераторов с целью получения дополнительных осадков.

2. Современные технологии воздействия на облака позволяют пополнить водозапас Чернореченского водохранилища в период с ноября по февраль на 3,5 – 11 млн. кубометров дополнительной пресной воды.

3. Затраты на проведение работ за этот период составят не более 200 миллионов рублей, соответственно себестоимость одного кубометра дополнительной воды составит около 18 рублей.

ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАССЕЯНИЯ ТУМАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИГРОСКОПИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ И РАЗМЕРА ВВОДИМЫХ ЧАСТИЦ И МИКРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТУМАНА

Б.Г. Данелян, Л.И. Красновская, Б.Н. Сергеев, А.Н. Хижняк, Н.Ю. Банкова

ФГБУ «Центральная аэрологическая обсерватория», г. Долгопрудный

Уже в 1938 году в работе [2] были по существу заложены основы для создания эффективного способа рассеяния теплых туманов. Проведенный авторами анализ всех предлагавшихся способов показал, что наиболее перспективными являются способы, основанные на испарении капель в результате нагрева просветляемого объёма или введения в него адсорбентов. В качестве адсорбентов предлагались гигроскопические вещества.

В период с 1965 по 1970 г. работы по созданию эффективного способа рассеяния туманов на базе использования адсорбентов проводились в Корнельской геофизической лаборатории ВВС США [4]. В лабораторных экспериментах исследовалась эффективность различных гигроскопических веществ, разрабатывались средства воздействия с земли и с самолёта. Производились также воздействия на естественные туманы, однако их результаты были неоднозначны: из 12 экспериментов в 7 получено улучшение видимости до практически применимого значения, а в 5 наблюдался отрицательный результат [3]. В тот же период работы по исследованию эффективности гигроскопических веществ в качестве реагентов для искусственного

рассеяния теплых туманов проводились в СССР [1]. В ЦАО в лабораторных экспериментах исследовалось взаимодействие гигроскопических частиц с туманом, изучалась возможность интенсификации коагуляционных процессов в тумане.

После 1970 года наступил некоторый спад интереса к разработке способа рассеяния туманов на основе гигроскопических веществ. Это объясняется тем, что не удалось быстро создать эффективный способ. Наряду с этим выявились некоторые трудности использования гигроскопических веществ, связанные с их физико-химическими свойствами.

Новый этап интереса к воздействию на теплые туманы с помощью гигроскопических веществ начался в середине 90-х годов, после появления результатов проектов по вызыванию осадков из конвективных облаков в странах с теплым климатом. В основу этих проектов была положена концепция стимулирования с помощью гигроскопических веществ процессов коагуляции в облаках такого типа. На базе этой концепции разработана численная модель процесса образования осадков из конвективных облаков при введении искусственных ядер с различными характеристиками. С помощью численных экспериментов выявлена связь эффекта воздействия с параметрами засевающего материала (размерами и объемной концентрацией), а также микрофизическими характеристиками облаков.

Нами признано целесообразным на новом этапе разработки способа рассеяния тумана с использованием гигроскопических веществ применить ту же структуру исследований.

Обоснование концепции способа рассеяния теплых туманов с использованием гигроскопических веществ

В настоящее время существует и практически применяется способ искусственного рассеяния переохлажденных туманов с использованием кристаллизующих реагентов. При этом считается, что рассеяние переохлажденных туманов происходит за счет накопленной в них потенциальной энергии неустойчивости, образующейся за счет состояния переохлажденных капель воды. Однако, вводя микрокристаллы льда в переохлажденный туман, мы не используем эту энергию неустойчивости переохлажденных капель. Ледяные кристаллы в данном случае служат лишь адсорбентом, который вследствие того, что при температуре ниже 0°C при насыщении над водой ледяные кристаллы оказываются в состоянии пересыщения, поглощает водяной пар и осушает объем. Это приводит к испарению капель, росту и последующему выпадению кристаллов.

Аналогичный процесс может также быть воспроизведен в теплом тумане, но в качестве адсорбента могут служить микрочастицы (или капли насыщенного раствора) гигроскопического вещества. Доказательством этого служат эксперименты в лабораторных [2] и природных условиях.

Несомненно, процессы взаимодействия с туманом гигроскопических веществ и ледяных кристаллов с переохлажденным туманом будут иметь отличия, обусловленные физическими свойствами адсорбентов.

Существует мнение, что гигроскопические частицы менее эффективны, чем ледяные кристаллы, так как в условиях насыщения над водой они в процессе роста быстро разбавляются, и становятся не эффективными. Однако этим процессом можно управлять. В работе [7] приведены результаты расчета изменения равновесного давления паров воды над частицами ряда гигроскопических веществ по мере роста образовавшихся на них капель (рис.1).

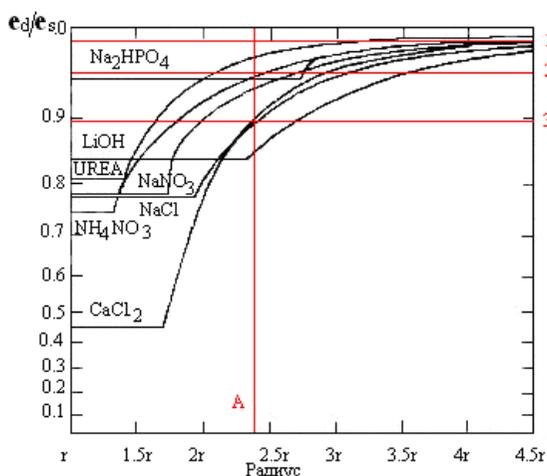


Рис. 1. Данные расчета изменения отношения равновесной упругости водяного пара над гигроскопической частицей и чистой водой для некоторых гигроскопических веществ и над растущим ледяным кристаллом. 1 – линия, характеризующая равновесное давление паров воды над растущим ледяным кристаллом при температуре минус 2°С, 2 – минус 3°С и 3 – минус 12°С.

Для сравнения с условиями роста ледяных кристаллов в переохлажденном тумане на рисунок нами нанесены линии 1, 2, 3, которые характеризуют равновесное давление паров воды над растущим ледяным кристаллом при температурах -2, -3 и -12°С соответственно. Как следует из рисунка, пока радиус капли, образовавшейся на гигроскопической частице не выра-

тет в 2,4 раза, она обладает значительно большей разностью упругости насыщения по отношению к воде, а, следовательно, является более эффективным адсорбентом, чем ледяной кристалл при температуре минус 12°C. Это означает, что продлить время эффективного действия гигроскопической частицы можно за счет варьирования начального радиуса вводимых частиц. В работе [2] описан эксперимент, в котором показано, что за счет изменения дозировки вводимого реагента (косвенно это означает изменение объемной концентрации частиц) можно регулировать значение относительной влажности в объеме, а, следовательно, время роста частиц до полного их разбавления (рис.2).

Это означает, что при использовании гигроскопических частиц имеется возможность регулировать время образования просвета и его размер.

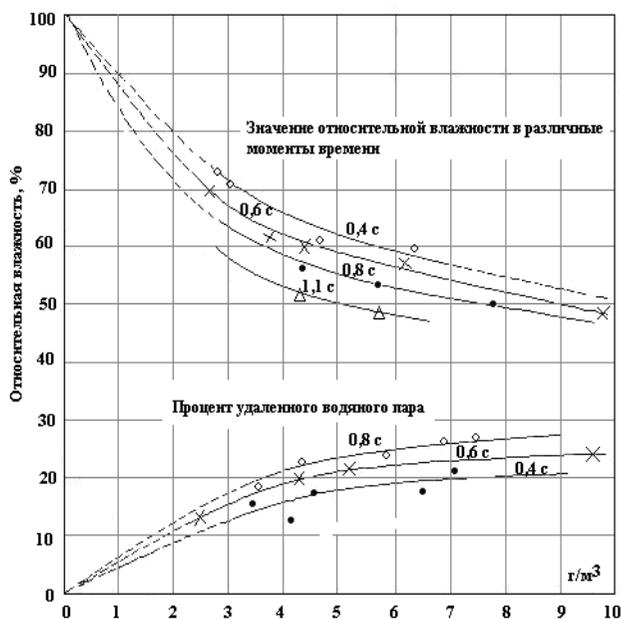


Рис.2 - Изменение относительной влажности в объеме воздуха, насыщенного водяным паром, при введении в него различных дозировок CaCl₂.

Подтверждение большей эффективности гигроскопических веществ по сравнению с кристаллизующими реагентами представлено в теоретической работе по вызыванию осадков из холодных конвективных облаков [6]. В численных экспериментах моделировался засев облаков с идентичными микрофизическими характеристиками, вначале льдообразующими ядрами, а

затем гигроскопическими частицами. В первом случае было получено увеличение осадков на 35% по сравнению с естественным процессом, а во втором на 65-109%. Явно выраженного экспериментального подтверждения этого факта нет. В то же время, в работе [5] при выполнении проекта по вызыванию осадков в Южной Африке, было установлено, что при использовании в течении 3-х лет льдообразующих реагентов для засева облаков не отмечено четкой связи увеличения осадков с засевом. В дальнейшем при воздействии гигроскопическими реагентами установлена связь увеличения осадков с засевом облаков.

Данные численных, а в некоторой степени и натуральных экспериментов подтверждают, что при грамотном выборе параметров засева гигроскопические реагенты превосходят кристаллизующие по эффективности. Поэтому, при разработке способа рассеяния теплых туманов с использованием гигроскопических реагентов основной задачей является правильный выбор параметров засева с учетом микрофизических характеристик тумана. Для решения этой задачи необходима разработка численной модели процесса взаимодействия реагента с туманом.

Численная модель процесса рассеяния тумана с использованием гигроскопических веществ

В соответствии с принятой концепцией основным процессом, происходящим в тумане при введении гигроскопических частиц, является конденсационный рост за счет поглощения водяного пара из окружающего пространства. При этом относительная влажность в засеянном объеме понижается, капли тумана испаряются. В то же время, капли насыщенного раствора, образовавшегося на гигроскопических частицах разбавляются, равновесное давление паров воды на поверхности частиц растет. Разность давления водяного пара в окружающем пространстве и над поверхностью капли уменьшается, рост капель раствора замедляется и может практически прекратиться. Правильный выбор параметров засева заключается в том, чтобы к этому времени частицы реагента достигли такого размера, чтобы начался процесс их выпадения. Если мощность тумана велика, то рассеяние может продолжаться за счет коагуляции с каплями тумана.

Основные уравнения численной модели такого процесса были впервые сформулированы в работе [3], и в дальнейшем усовершенствованы в статье [8].

Модель состоит из дифференциальных уравнений первого порядка: уравнения роста (испарения) капель тумана, уравнения роста гигроскопических частиц или капель их насыщенного раствора, уравнения изменения

пересыщения над каплей раствора гигроскопического вещества, уравнения оседания частиц гигроскопического раствора, уравнения определения видимости, уравнения роста гигроскопических частиц в результате коагуляции с каплями тумана.

Модель содержит значительные упрощения. Она одномерна, фактически моделирует самолётный засев на достаточно большой площади, не учитывает влияние турбулентной диффузии, которая может изменять объёмную концентрацию гигроскопических частиц и перемешивать область засева с незатронутой воздействием частью тумана. И все же даже такая модель позволила оценить вклад конденсационного и коагуляционного процесса на разных стадиях рассеяния тумана. Расчёты показали, что в основном улучшение видимости в тумане происходит за счёт конденсационного процесса, что подтверждает правильность выбранной концепции. Модель позволяет сравнить эффективность различных реагентов при различных способах введения (в виде сухих частиц или капель насыщенного раствора). На отдельных примерах авторы продемонстрировали возможность использования модели для определения времени образования просветленного объёма и возможность его регулирования за счёт введения разных начальных размеров частиц. Численные эксперименты показали, что эффект воздействия зависит от многих факторов: дозировки реагента, размера и объёмной концентрации вводимых частиц, мощности тумана. Авторы не ставили перед собой задачи детальных исследований по оценке зависимости эффективности рассеяния тумана от размера вводимых частиц гигроскопических веществ, их объёмной концентрации и микрофизических характеристик тумана. Для проведения таких исследований было необходимо доработать модель в части визуализации информации об изменении в процессе рассеяния тех параметров, знание которых необходимо для диагностики правильности выбора параметров засева.

Численные эксперименты по исследованию зависимости эффективности рассеяния тумана с использованием гигроскопических веществ от объёмной концентрации и размера вводимых частиц и микрофизических характеристик тумана

В численных экспериментах исследовалась зависимость эффекта воздействия от физико-химических свойств веществ. Для этого по справочным данным отобраны 12 веществ, обладающих большой гигроскопичностью. Для этих веществ определены значения видимости через 6 и 20 минут после воздействия на туман в идентичных условиях.

В экспериментах варьировались такие характеристики среды, как начальная концентрация капель тумана, дальность видимости, температура. В качестве параметров засева использовались начальный радиус вводимых частиц, их объёмная концентрация. Расчёты велись в интервале температур от -10 до $+10^{\circ}\text{C}$.

Предложенный нами способ визуализации хода численного эксперимента позволяет отслеживать изменение во времени спектра размеров капель тумана, водности и дальности видимости, изменение радиуса и концентрации вводимых частиц, относительной влажности. Пример визуализации численного эксперимента дан на рис.3. Сопоставление информации об изменении различных параметров процесса рассеяния позволяет производить диагностику причин того или иного результата воздействия.

Радиус вводимых частиц изменялся от 5 до 29 мкм, объёмная концентрация от 0,5 до 100 частиц в см^3 .

Микрофизические характеристики менялись от наиболее жестких: видимость 2 м, объёмная концентрация капель тумана 10^4 част/ см^3 до тех, которые соответствуют естественным туманам: видимость 50 м, объёмная концентрация 3×10^2 част/ см^3 .

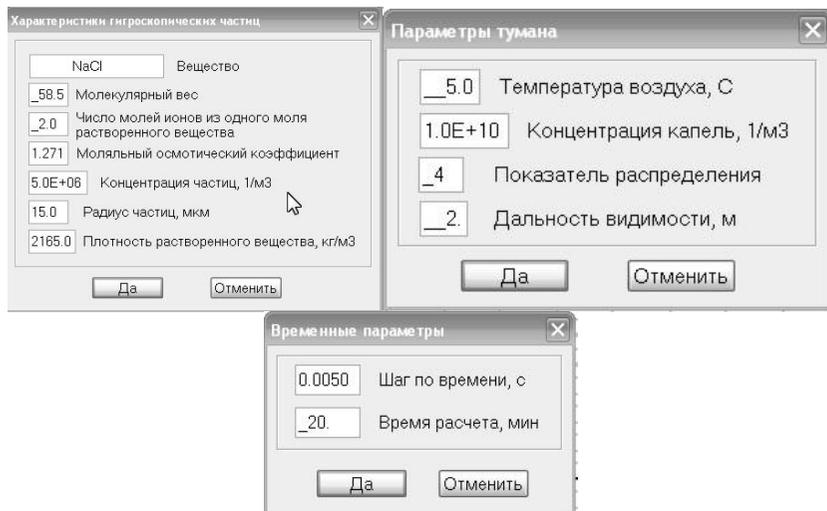
В результате проведенных экспериментов получено, что эффективность выбранных гигроскопических веществ практически не зависит от их химической природы. Это позволило в дальнейшем использовать NaCl и CaCl₂ в качестве основных испытуемых веществ.

В результате численных экспериментов показано, что эффект воздействия гигроскопическими веществами существенно зависит как от размера и объёмной концентрации частиц реагента, так и от микрофизических характеристик тумана.

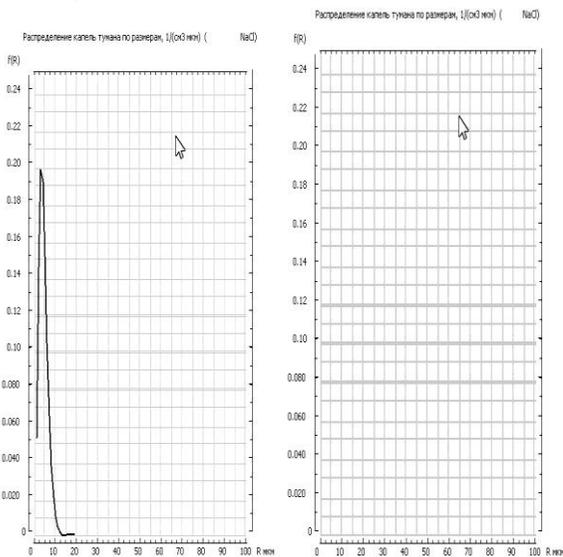
В условиях, наблюдающихся в малых камерах, частицы с радиусом менее 10 мкм оказываются неэффективными. Анализ хода процесса рассеяния позволяет сделать вывод, что причиной этого является быстрая потеря активности в результате разбавления.

Частицы с радиусом 15 мкм позволяют в тех же условиях улучшить видимость от двух до 20 м при объёмной концентрации 5 ч/ см^3 .

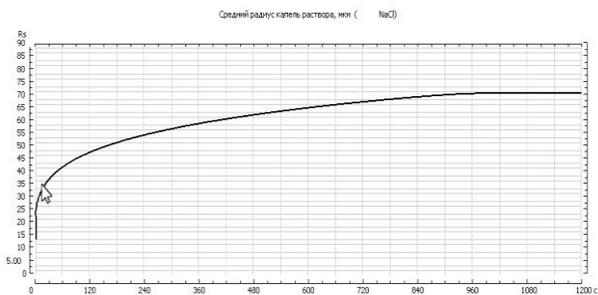
При воздействии в условиях, близких к естественному туману, при введении частиц с радиусом 5 мкм наблюдается улучшение видимости в 4 раза при объёмной концентрации от 3 до 5 част/ см^3 . Увеличение радиуса частиц до 10 мкм позволяет улучшить видимость в 5-6 раз уже при объёмной концентрации от 0,5 до 0,7 част/ см^3 . При радиусе вводимых частиц около 15 мкм видимость может быть увеличена в 6-7 раз при объёмной концентрации от 0,3 до 0,5 част/ см^3 .



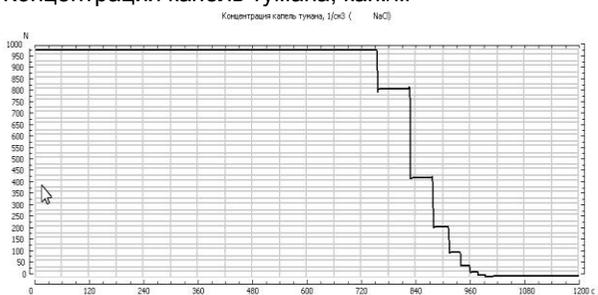
Распределение капель тумана по размерам до и спустя 20 минут после начала воздействия



Средний радиус капель раствора, мкм



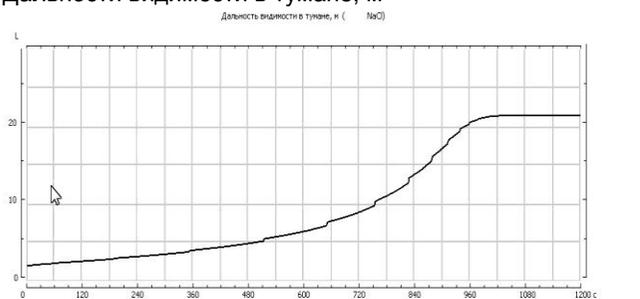
Концентрация капель тумана, кап./м³



Средний радиус капель тумана, мкм



Дальности видимости в тумане, м



Пересыщение водяного пара, отн. ед.

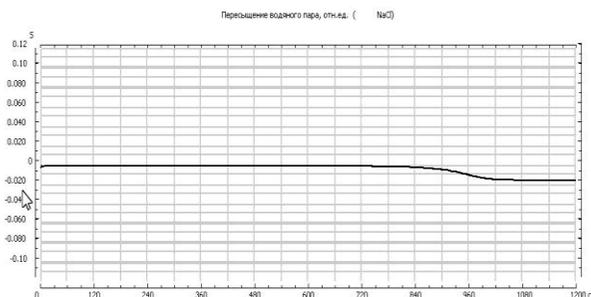


Рис.3. Изменение микрофизических характеристик тумана в камере при воздействии частицами NaCl радиусом 15 мкм объёмной концентрацией 5 част./см³

Заключение

В настоящее время можно считать, что метод рассеяния теплых туманов должен быть основан на регулировании относительной влажности в зоне просветления. Наиболее просто это можно осуществить с использованием гигроскопических веществ.

Такой метод может быть эффективным как при положительных, так и при отрицательных температурах. Наиболее эффективно воздействие гигроскопическими частицами радиусом 15 мкм. Такие частицы наиболее эффективны при различных микрофизических характеристиках тумана, но объёмная концентрация частиц реагента зависит от начальной видимости и концентрации капель в тумане. При воздействии в естественных туманах она на порядок меньше, чем при экспериментах в камерах малого размера.

Список литературы

1. Бодунова Л.И., Зацепина Л.П., Соловьев А.Д. Сравнение эффективности диспергированных растворов в камере туманов. //Труды ЦАО. 1968. Вып. 51. С. 2–13.
2. Houghton H.G. and Radford W.H. On The Local Dissipation of Natural Fog.// Paper in Physical Oceanography and Meteorology.1938. V.6. N 3.
3. James Jiusto. Same Principles of Fog Modification with Hygroscopic Nuclei. Progress of NASA Research on Warm Fog Properties and Modification Concepts.//NASA SP–212, 1969, p.24–39.
4. Kocmond W.C. Dissipation of Natural Fog In The Atmosphere. Progress of NASA Research on Warm Fog Properties And Modification Concepts.//NASA SP-212, 1969.

5. Mather G. K. and Terblanche D. E. Initial Results from cloud Seeding Experiments Using Hygroscopic Flares.//WMO scientific.Conf. on Weather Modification. 1994, p. 687 – 690.

6. Resen T., Tzivion Sh., and Levin Z.. Seeding Convective Clouds with Ocy Nuclei or Hygroscopic Particles: A Numerical Stude Using a Model with Detailed Microphysics.//J. Appl. Meteorol.1996. Vol. 35. P.1416-1434.

7. Silverman B.A. and Kuncel B.A. A Comparision of The Warm Fog Clearing Capabilities of Some Hygroscopic Materials.//J. Appl. Meteor. 1970. V.9. P. 634 – 638.

8. Silverman B.A. and Kuncel B.A. A Numerical Model of Warm Fog Dissipation by Hygroscopic Particle Seeding.//J. Appl. Meteor. 1970. V.9. P. 627– 633.

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ СЕЗОНА И МНОГОЛЕТНИХ ПРОЕКТОВ ПО МОДИФИКАЦИИ ПОГОДЫ

В.Ф. Ушинцева

*Научно-исследовательский гидрометеорологический институт
(НИГМИ) Узгидромета, г. Ташкент, Узбекистан*

Рассмотрим только часть видов модификации погоды. Это воздействие на облака с целью вызывания осадков или их интенсификации.

В условиях Средней Азии сезон выпадение атмосферных осадков приходится на холодное полугодие, когда на равнине и в предгорьях выпадает ~ 200 км³ воды, и столько же в горах, а температурный режим в предгорьях позволяет выращивать озимую пшеницу. В этих условиях целесообразно увеличивать осадки в отдельные годы для обеспечения благоприятных условий для озимой пшеницы в фазе кущения и в горах в зоне накопления снега, а также интенсифицировать осадки в горах и предгорьях (1500-2000м) Средней Азии.

Многие задачи по воздействию целесообразны в единичных случаях, что требует их планирования как на предварительном уровне, так и перед их реализацией. На базе этих проработок разрабатываются планы действий сезонных работ и многолетних проектов. В данном сообщении остановимся на отдельных аспектах планирования работ по увеличению осадков, которые показали свою жизнеспособность при реализации проектов по увеличению осадков.

Большая изменчивость осадков не позволяет на статистически значимом уровне подтвердить результативность воздействия небольшого числа экспериментов. Следует разделять процессы на классы. В сложном рельефе необходимо разделять облака по однородности их структуры, из чего вытекают требования к опытным и контрольным территориям и характеристикам осадков, по которым формируются опытные и контрольные выборки и требования к минимальной продолжительности эксперимента по воздействию, достаточному для получения определенного ответа о его успешности.

Эти положения апробировались в трех проектах по увеличению осадков: два сезонных (Чирчикский, Северо-Ферганский) и один многолетний (Кашкаринский). Прежде чем перейти к кратким результатам оценки эффективности этих проектов, покажем отдельные позиции классификации процессов по относительно простым данным.

Вызывание осадков из однородных облаков, из которых не выпадают естественные осадки. Об однородности облаков можно судить по линейным размерам ячеек облаков (зоны с максимальной радиолокационной отражаемостью), соизмеряя их с линейными размерами зон первоначального введения реагента (части траектории одного изделия, на которой идет возгонка реагента, длина линии засева с самолета). Если размеры ячеек облаков соизмеримы с линейными размерами зон введения реагента, то облака считаются мезонеоднородными. Когда размеры ячеек превосходят их в несколько раз, то облака относятся к однородным. В случае, когда ячейки облаков намного меньше линейных размеров зон введения реагента, то облака следует считать микронеоднородными, и в этом случае следует различать три типа ситуаций: облачный процесс, который при подходе к ОТ и, проходя над большей ее частью, не дает естественных осадков; облачный процесс, в передней части которого наблюдается зона, из которой в течение 4-6 ч не выпадают естественные осадки, а за этой зоной следует зона естественных осадков, заполняющая всю опытную территорию.

Первая ситуация - это вялый процесс, на верхней границе облаков которого отмечается температура не выше -15°C , вертикальные токи слабые и усиление их в условиях сложного рельефа не приводит к выпадению естественных осадков. При второй ситуации процесс близок к состоянию выпадения осадков, которые наблюдаются на наветренных склонах хребтов и вблизи возвышенностей. Третья ситуация - прохождение холодных фронтальных облаков, которые в Средней Азии сопровождаются выпадением осадков. На нижнем левом поле рис. 1 показаны две зоны осадков: естественные и искус-

ственные; на правом поле искусственные осадки составляют узкую полосу перед естественными.

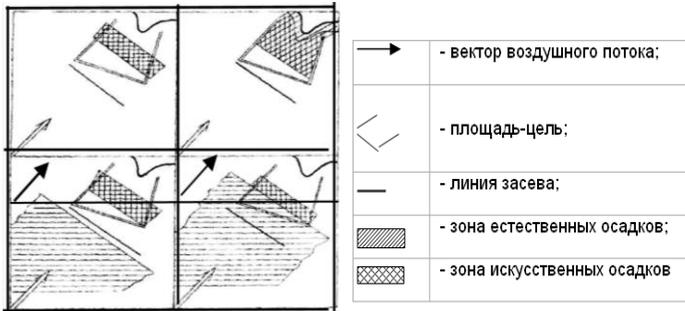


Рис. 1. Возможные сочетания зон расположения искусственных и естественных осадков.

При АВ с самолета КТ, как правило, должна быть расположена с наветренной стороны в 30-40 км от центра площади-мишени, в которую никогда не должен попадать реагент. Правее - левее площади-мишени обычно выделяются буферные полосы в зоне облачности. По характеру развития процесса осадкообразования в этих зонах судим о естественном процессе осадкообразования: перестройка вертикального профиля радиоэзо, опускание $H_{нг}$, появление полос падения осадков, нарастание вертикальной мощности облака, наличие осадков на поверхности земли по данным индикатора кругового обзора МРЛ и по распечаткам Метеорологического радиолокационно-вычислительного комплекса "Осадки". На КТ следует прослеживать характер уплотнения облаков, подход и распространение зоны осадков, наличие осадков в зонах орографического возмущения. В ситуациях, близких к началу выпадения естественных осадков, линию засева следует уменьшить до 20 км и расположить ее так, чтобы можно было проследить естественный процесс осадкообразования во всех направлениях от нее.

При АВ с помощью противоголовых изделий может оказаться, что вызвать искусственные осадки над всей площадью-мишенью будет невозможно. Тогда полосы облаков, подвергнутых воздействию, контролируются также, как описано выше. Однако в этих случаях следует более тщательно определять время начала выпадения осадков на наветренных склонах полигона. А для контроля эффекта воздействия следует оставлять несколько полос без засева.

Вызывание осадков из мезонеоднородных слоистообразных облаков. Здесь следует выделять два типа ситуаций: из ячеек, на которые не

производилось АВ, не выпадают естественные осадки; из некоторых ячеек выпадают. В последних с начального периода следует определять параметры облаков (ΔH , η_{\max} , $t_{\text{НВг}}^{\circ}\text{C}$). Если ячейки далеки от состояния выпадения из них естественных осадков и довольно однородны по структуре, о чем можно судить, в первую очередь, по значениям вышеперечисленных параметров, то при планировании следует предусматривать АВ на все те ячейки, которые проходят над площадью-мишенью, оставляя для контроля, проходящие над КТ. Если из части ячеек выпадают естественные осадки или ячейки близки к выпадению осадков, то такие ячейки следует разделить по указанным параметрам, не считая их похожими при различии ΔH в несколько сот метров, η_{\max} на 1-2 деления аэрометра, $t_{\text{НВг}} \sim$ на 2-3 $^{\circ}\text{C}$. При температуре на верхней границе $-18^{\circ} > \text{НВг} - 22^{\circ}\text{C}$, градации по $t_{\text{НВг}}$ следует уменьшить до 1 $^{\circ}$. Воздействие проводим на каждые две из трех ячеек данной группы, если групп мало (две-три), то на каждую вторую, если их много в данной ситуации. По возможности следует выбирать контрольными те, которые проходят над КТ. Однако в некоторых ситуациях приходится оставлять контрольными и те ячейки, которые проходят над ОТ. Те случаи, когда из контрольных ячеек данной группы осадки не выпадали, все выпавшие осадки, можно считать искусственными. Если хотя бы из одной ячейки данной группы выпадали осадки, рассматриваем осадки из всей группы, как вариант интенсификации естественного процесса осадкообразования, сравнивая их с контрольной выборкой. Также тщательно надо следить за развитием ячеек над наветренными склонами и при резком увеличении интенсивности осадков из них. При продвижении ячеек над склонами горных хребтов их следует относить к случаю естественного выпадения осадков из них.

Подобное правило было определено для интенсификации осадков из однородного и мезонеоднородного полей облаков. Для подбора опытного процессу выпадения осадков показателем подобности полей осадков можно рекомендовать величину относительного различия средних величин количества осадков по опытной и контрольной выборкам, равную 0,1-0,2. Существенность расхождения средних доказывается методами математической статистики.

Облако не предрасположено к выпадению осадков, если уровень $\text{Н}_{z_{\max}}$ расположен на высоте 2/3 его мощности относительно нижней границы облака, которая довольно устойчива (опускание со скоростью не более 0,5 м/с). Если наблюдается выпадение атмосферных осадков или полосы их выпадения, местами достигающие поверхности земли, то считается, что облако находится в стадии развития процесса осадкообразования.

При однородном слоистообразном облаке, из которого выпадают естественные осадки, выбираем две контрольные зоны: первую в 30-40 км от центра площади-мишени с наветренной стороны от полигона и по ней судим о фоновой ситуации процесса, и вторую, контрольную, соизмеримую с первой, правее или левее от КТ. По этим зонам корректируем процесс трансформации облачного слоя, подвергнутого воздействию при подъеме воздушного потока в предгорьях.

В зимне-весенних условиях, когда в основном проводится воздействие на облака в Средней Азии, наблюдаются относительно низкие температуры воздуха, и, по всей видимости, измеряемое минимальное количество осадков будет равно 0,3 мм. Отсюда следует, что процессы, при которых выпадает такое количество осадков за одно измерение (полусутки -12 ч), находится за пределами возможности контроля результатов воздействия. Как показывает опыт, такие ситуации составляют от 30 до 50% случаев (полусуток) с осадками. Разницу среднего количества осадков на ОТ и КТ следует считать абсолютной величиной эффекта АВ. Отношение этих величин, деленное на отношение количества осадков на тех же осадкомерных постах в близких погодных ситуациях, но без АВ, дает относительное увеличение осадков с учетом их пространственного распределения. Далее следует определить абсолютную величину увеличения осадков за каждый опыт. Аналогичная ситуация - это количество осадков за полусутки с достаточно близким по значению количеством осадков (в пределах 10-15%) на КТ. Так как для пользователей представляет интерес объем воды, полученный при АВ, последний рассчитывается с учетом площадей, на которых получены искусственные осадки.

Для корректной оценки эффективности воздействия необходимо знать закон распределения. Были определены законы распределения количества осадков за различные периоды его суммирования: сутки, двое, трое, пять, декада, месяц, сезон, проект в целом. Известно, что от суммирования количества осадков за i -тый период, зависит форма закона распределения, и чем короче период, тем асимметричнее распределение этих величин. Были использованы универсальные системы кривых Пирсона. Согласно расчетам получено, что количество осадков при различной длине периода их суммирования можно описывать гамма-распределением, использование параметров которого позволяет повысить достоверность оценки эффективности активных воздействий. Все эмпирические кривые распределения количества осадков независимо от периода их суммирования одномодальны, слева ограничены нулем и не ограничены справа, при $x \rightarrow \infty$ асимптотически приближаются к оси абсцисс. Проверка согласия эмпирических и теоретических

кривых распределения количества осадков с использованием различных статистических критериев определения значимости эффекта показала хорошее согласие между ними.

Оперативная оценка количества искусственных осадков в конкретном эксперименте проводится по исходным данным: ширина зоны засева, равная длине единичной линии засева; длина, равная 1-2 часовому переносу зоны засева (полагаем, что искусственные осадки от проекции линии засева на поверхность земли начинаются на расстоянии 20-минутного переноса и продолжаются 1-1,5 часа); время начала и конца активного воздействия; высоты расположения изотерм -8° и -12°C ; направление и скорость воздушного потока на высоте изотерм -8° и -12°C ; количество огневых пунктов, координаты (азимут, угол места) запускаемых противорадиолокационных изделий; количество атмосферных осадков по стандартной и если имеется учащенной осадкомерной сети. Далее определяется линия засева, строится проекция зоны распространения реагента и на расстоянии 1,0-1,5-часового переноса определяется площадь (S , км^2) выпадения искусственных осадков. По данным осадкомерных постов о количестве осадков на этой площади рассчитывается среднее по площади количество осадков. В случае отсутствия естественных осадков все осадки, отмеченные стандартной или специализированной учащенной осадкомерной сетью на площади S , следует считать дополнительными искусственными осадками, полученными в результате АВ. В итоге разность между количеством осадков на площади-мишени и контрольной территории и является искомой величиной искусственных осадков. Значимость полученного количества искусственных осадков определяется с помощью хорошо известных статистических критериев. В случае **интенсификации естественных осадков** для оценки следует пользоваться методами математической статистики, о чем сказано выше.

Оценка эффективности Кашкадарьинского эксперимента, осуществленного в 1985-1991 гг., когда воздействие проводилось над ОТ равной 200 тыс. га. Ответными переменными были атмосферные осадки на ОТ и двух КТ, измеряемые как на стандартной гидрометсети за 35-летний ряд наблюдений, так и по специально созданной в 1982 году для этого эксперимента учащенной осадкомерной сети. Она состояла из 34 осадкомеров (один на $\sim 6,6 \text{ км}^2$) и служила реперной для МРВК.

Из 99 опытов только 6 следует признать неопределенными: разность между количеством осадков на ОП и КТ на 5%-ом уровне значимости оказалась несущественной. Относительное увеличение количества осадков за весь эксперимент составило 3,7 или 9% по отношению к норме количества осадков за каждый из сезонов. Из пяти сезонов (октябрь-апрель), когда про-

водилось воздействие на облака, в трех выпавшее количество осадков было близко к средней многолетней норме (1,60-0,99) и в двух количество осадков составило 0,52-0,69 от нормы. Необходимо отметить, что воздействие проводилось лишь на 1/3 пригодных облачных ситуаций и малым количеством средств воздействия во все сезоны и увеличение составило только 3,7-9%. Подробнее это изложено в [3].

Оценка эффективности Чирчикского эксперимента (декабрь 1989 - март 1990 гг.). Бассейн р. Чирчик являлся площадью-мишенью (ОТ), а р. Ангрен - КТ. По физико-географическим условиям обе территории близки и располагаются в горном Чирчик-Ангренском бассейне Западного Тянь-Шаня. Ответными переменными были атмосферные осадки на ОТ и КТ. На ОТ имелось 7, а на КТ 5 метеостанций с длинными рядами наблюдений. Экспериментальной единицей была полусуточная сумма осадков. В Чирчикском эксперименте воздействие проводилось на все пригодные для этого облачные ситуации путем введения реагента в переохлажденную водную часть облака; оценку эффекта АВ проводили как в оперативном режиме каждого опыта, так и статистическими методами за отдельные месяцы и сезон. Оценивалась эффективность каждого опыта по данным схемы засева, скорости ветра на уровне линии засева и по данным об осадках в Ташкенте, Пскеме, Ойгаинге. При воздействии с самолета предусматривались разные варианты сброса гранул сухого льда, зависящие от того, где производился полет самолета: внутри облака на границе вода-кристаллы, на верхней границе облака или над ним, согласно технике безопасности. В каждом случае размер гранул сухого льда подбирался таким образом, чтобы охватить засеваем полностью ту часть облака, в которой возможна полная реализация влаги, то есть, чем выше полет самолета, тем больше размер гранул. Как известно, осадки от проекции линии засева на поверхность земли, как правило, начинаются на расстоянии 20-40 минутного переноса. Наибольшей интенсивности они достигают на расстоянии часового переноса и продолжают выпадать в течение 1-1,5 ч, реже 2 ч. Таким образом, в каждом опыте известны площадь, на которой выпадают искусственные осадки, ее местоположение на полигоне, а также объем облака, подвергнутого воздействию. Эффективность такого опыта, зная количество искусственных осадков или объем влаги, который осаждается при воздействии, определяли по следующим данным: длина линии засева, время воздействия, учет часового, полуторачасового переноса зоны засева с учетом реальной скорости ее переноса, интенсивности естественных осадков. При длине линии засева, равной часовому переносу, и интенсивности искусственных осадков, равной 15% интенсивности естественных осадков в Ташкенте (1,5 раза меньше, чем в Пскеме), за

сезон воздействия было получено не менее 400 млн. м³ искусственных осадков. Это соответствует слою осадков ~ 22 мм (минимальная величина искусственных осадков), но эти величины занижены. Если задавать интенсивность естественных осадков по горной метеостанции Пскем, что ближе к реальности, тогда количество искусственных осадков будет равно 40-52 мм. Кроме этого, эффект АВ оценивался с помощью одиночного и двойного отношений, когда сравнивалось количество осадков за период воздействия с количеством осадков за период, предшествующий воздействию. Составлялись частные выборки, что, как показано выше, повышает достоверность и значимость эффекта. Также были использованы данные снего съемок и стока рек Пскем, Чаткал, Ахангаран.

Оценка сравнения полусуточных сумм осадков на ОТ (33 экспериментальные единицы) и КТ показала, что с вероятностью 90% можно говорить о дополнительно полученных 75 мм осадков. Сравнение ежемесячных сумм осадков на ОТ с количеством осадков на КТ с учетом естественного их распределения показало, что в среднем на заданной площади-мишени получено 16%-ное увеличение, что соответствует 69 мм осадков. Эффект при оценке каждого опыта в среднем составил ~12 млн. м³, тогда как конкретные значения количества искусственных осадков за каждый опыт в течение всего сезона (декабрь-март) различны и увеличение естественных осадков составляло от 3 до 53%. Такой разброс указывает на возможность уменьшения затрат на проведение эксперимента за счет уточнения пригодных для воздействия ситуаций на этапе планирования эксперимента. Использование метода аналогов для сравнения месячного количества искусственных осадков позволило подтвердить положительный эффект увеличения осадков за сезон воздействия, тогда дополнительно было получено 125-140 мм.

Оценка эффекта воздействия по данным снего съемок в Пскемской и Ахангаранской долинах показала, что обеспеченность устойчивости наблюдаемых величин высоты снежного покрова в Пскемской долине в течение всего сезона меньше, чем в Ахангаранской, и разница составляет порядка 2-5%. Интегральная нормированная величина снегонакопления для Пскемской долины в течение сезона с воздействием лежит в пределах 0,98-1,03, в Ахангаране – 0,60-0,75, что указывает на эффект воздействия. Естественная обеспеченность наблюдения таких величин равна 18%. Кроме этого, по данным специалистов Узгидромета оценка возможного дополнительного вклада осадков в сток р. Чирчик (Чарвакское водохранилище) по имеющимся зависимостям, по которым составляется прогноз стока на вегетационный период по данным об осадках за декабрь-март и использовании обратных

величин двойного отношения, показала, что при АВ и сток р. Чирчик будет равен $330 \text{ м}^3/\text{с}$. Реально измеренный оказался равным $360 \text{ м}^3/\text{с}$, и тогда было признано, что в целом за Чирчикский эксперимент эффект воздействия составил 9%.

Как показал последующий анализ, реальный сток рек Чирчик, Ахангаран превысил норму на 125 и 117% соответственно. С учетом возможного естественного разброса можно предположить, что 5% от этой величины являются результатом воздействия. В абсолютных величинах это равно $0,25 \text{ км}^3$. Учет результатов оценки всеми методами позволяет принять это значение стока как минимальное; в среднем же оно равно – $0,4 \text{ км}^3$.

В 1990-1991 годах был осуществлен проект на севере Ферганской долины, на южных склонах Чаткальского хребта, к юго-западной части которого примыкает высокое Ахангаранское плато. Район маловодный, годовое количество осадков до высоты 200 м н. у. м. колеблется

от 130 до 220 мм за холодное полугодие, возрастая до 320 мм на высоте 900 м н. у. м. Наибольшее количество осадков выпадает в верховьях р. Падшаата (за холодное полугодие 220 мм) с максимумом в марте. Обеспеченность метеоинформацией района чрезвычайно мала: на ОТ 3 метеостанции (высоты 450-600 м н. у. м) и 3 осадкомерных поста (высоты 900-1800 м н.у.м) с короткими рядами наблюдений - от 10 до 20 лет; на КТ 3 метеостанции (высоты 900-2000 м н. у. м) и один осадкомерный пост (высота 175 м н. у. м) с такой же продолжительностью периода наблюдений. В связи с этим был применен ранее апробированный метод расчетной оценки площади и количества искусственных осадков по данным об их характеристиках в дни с воздействием и параметрах самого эксперимента. Вспомогательным был метод, по которому сравнивались прогностические данные о количестве осадков с реально измеренными осадками. В основе метода оценки заложен расчет количества осадков по физическим параметрам атмосферы и облаков, данным о схеме воздействия. Расчетным методом получено, что на площади-мишене, равной 2-3 тыс. км^2 , выпало искусственных осадков 30 мм или 57,9 млн. т дополнительной воды (рис. 2).

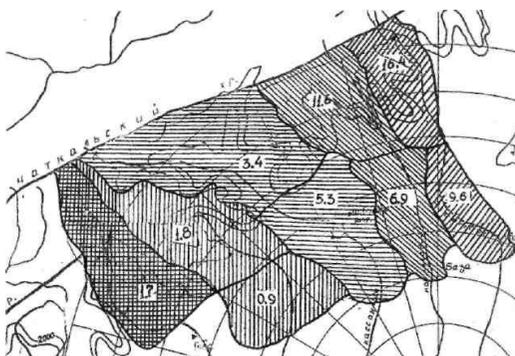


Рис.2. Распределение по территории дополнительно полученной воды, млн. т.

Зоны засева стремились выводить таким образом, чтобы искусственные осадки выпадали в верховьях рек. В 75% случаев они выводились на верховья рек Намангансай и Падшаата. Продолжительность выпадения искусственных осадков за сезон в разных квадратах указанного района колебалась от 66 до 120 ч. Можно предположить, что в высокогорной части бассейнов рек Намангансай и Падшаата их выпало 25 - 36 мм, что соответствует 17-21% от реально измеренного количества осадков на контрольном посту в устье р. Тосту за декабрь-март.

Список литературы

1. Курбаткин В. П., Ушинцева В.Ф. Результаты работ по увеличению осадков в 1989-1990 гг. в бассейне р. Чирчик // Труды САНИГМИ.-1992. Вып.144(225). С.19-33.
2. Ушинцева В. Ф. Планирование и оценка эффективности работ по увеличению осадков в Средней Азии. -Ташкент, 2004. 113 с.
3. Ушинцева В. Ф. Эксперименты 1985-1990 гг. по увеличению осадков в Кашкадарьинс-кой области // Труды САНИГМИ. 1992. Вып. 144(225). С. 3-16.

УРОВНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ ГРАДОЗАЩИТЫ

Т.В. Реутова¹, Л.П. Гущина¹, Т.И. Воробьева¹, Л.З. Жинжакова¹, Х.Х. Машуков¹, А.И. Рогозина², А.С. Отарова¹

¹ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», г. Нальчик

²ФГБУ «Северо-Кавказская военизированная служба», г. Нальчик

На территории КБР регулярные активные воздействия с целью подавления града (АВ) проводятся в предгорно-низкогорной зоне с начала 70-х годов XX века. Основным применяемым реагентом все это время является иодид серебра. Таким образом, в окружающую среду систематически вносятся токсичный тяжелый металл серебро, и ежегодно повышается уровень загрязнения природной среды, поскольку тяжелые металлы обладают кумулятивными свойствами, т.е. накапливаются в объектах живой и неживой природы.

Изучение загрязнения атмосферных осадков (АО) по многим компонентам, включая серебро, также было начато в 70-е годы на широкой сети пунктов наблюдений. В настоящее время исследовательские работы возобновлены на базе современных высокочувствительных методов анализа и осуществляются в двух пунктах (Нальчик и Кашхатау в 20-ти километрах к югу).

Было проведено сравнение уровней содержания серебра в атмосферных осадках теплых периодов (май-сентябрь) трех лет с 2011 по 2013 г. и 1978 г. Только в пункте Нальчик наблюдения осуществлялись как в 70-80-е годы XX века, так и в последнее время. В 1978 г. основным средством доставки реагента были артиллерийские снаряды, содержащие 16,5 г иодида серебра, масса иодида серебра в ракетах, используемых в 2011-2013 годы, составляла 57 г. При этом количество реагента, вносимое за один процесс в районе наблюдений, остается примерно одинаковым от 150 г до 3-4 кг. Из общей совокупности данных в двух временных интервалах были выделены АО, выпадавшие в дни с активными воздействиями. Для 1978 г. были использованы журналы Урванского и Баксанского отрядов ВСБГ, в зоне деятельности которых находился пункт Нальчик. Для современного периода учитывали ракеты, выпущенные на установках, находящихся на расстоянии от 9 до 40 километров к западу и северо-западу от пунктов наблюдений. Обращает на себя внимание тот факт, что в 1978 году из 35 зарегистрированных случаев выпадения осадков в 8 проводились воздействия, а за три теп-

лых периода последних лет в Нальчике насчитывается всего 16 дней с воздействием и 21 день в Кашхатау при общем числе дождей 133 и 201 соответственно, причем в 2013 г. отмечено только 2 случая. Из-за недостаточности ежегодных выборок все три теплых периода пришлось объединить.

Характеристические показатели уровня загрязнения атмосферных осадков серебром, включающие максимальные и минимальные значения, средние концентрации и их коэффициенты вариации, а также медианы и диапазоны между 1-ым и 3-им квантилями, приведены в табл.1.

Таблица 1. Характеристика уровней содержания серебра в атмосферных осадках теплого периода.

С, мкг/л	пункт Кашхатау		пункт Нальчик			
	2011-2013 г.г.		2011-2013 г.г.		1978 г.	
	АО тепло-го пери-ода	АО в дни с АВ	АО тепло-го пери-ода	АО в дни с АВ	АО тепло-го пери-ода	АО в дни с АВ
макс.	0,81	0,81	1,010	0,536	0,355	0,296
миним.	<0,005	0,023	<0,005	0,037	0,007	0,012
средн.	0,130	0,161	0,134	0,150	0,055	0,089
<i>Коефф. вариации</i>	0,93	1,11	1,09	1,16	1,41	1,24
медиана	0,100	0,093	0,098	0,073	0,024	0,030
1-й квантиль	0,069	0,071	0,060	0,061	0,012	0,017
3-й квантиль	0,143	0,145	0,135	0,101	0,053	0,105
количество случаев	85	21	115	16	35	8

Шашки активного дыма (ШАД), наполняющие противораговые изделия приблизительно на 60% состоят из перхлоратов натрия и аммония, при горении которых образуются хлорид-ионы. С каждым запуском в облачную среду дополнительно к природному фону поступает более 100 г хлоридов. Поэтому был проведен анализ уровня содержания Cl⁻ по тем же показателям, что для серебра, результаты которого представлены в табл.2.

Таблица 2. Характеристика уровней содержания хлорид-ионов в атмосферных осадках за теплые периоды 2011-2013 годов.

С, мкг/л	пункт Кашхатау		пункт Нальчик	
	АО теплого периода	АО в дни с АВ	АО теплого периода	АО в дни с АВ
макс.	8,24	3,57	5,03	2,53
миним.	<0,05	0,13	<0,05	0,18
средн.	0,88	0,95	0,68	0,81
<i>Коефф. вариации</i>	1,07	0,89	0,94	0,84
медиана	0,57	0,72	0,51	0,59

1-й квартиль	0,31	0,36	0,32	0,36
3-й квартиль	1,15	1,19	0,79	0,96
количество случаев	85	21	105	16

Как видно из таблиц, по содержанию серебра и хлоридов атмосферные осадки в дни с воздействиями незначительно выделяются на общем фоне. Максимальные концентрации серебра могут быть почти одинаковыми (1978 г.), могут относиться ко дню с АВ (п.Кашхатау 2011-2013г.г.) или без АВ (п.Нальчик 2011-2013 г.г.). Минимальные концентрации, всегда выше в выборках, относящихся к АВ. Средние величины концентраций Ag тоже оказались несколько выше во всех рядах, когда проводился засев облаков, причем в 1978 г. в 1,5 раза. Однако, учитывая большую вариабельность значений в рядах (коэффициенты вариации около 1), различия не являются статистически значимыми. В центральных частях рядов концентраций различия в настоящее время несутественны, но в 1978 г. в ряду с АВ центральный диапазон между 1-ым и 3-им квартилями заметно сдвинут в сторону больших значений по сравнению с общим рядом. Что же касается хлорид-ионов, то все показатели табл.2 для выборок с АВ (кроме максимальных концентраций) немного преваляют над исходными рядами.

За 30-летний период содержание в атмосферных осадках серебра возросло в 2,5-3 раза, о чем свидетельствуют все параметры, приведенные в таблице 1. Представляло интерес сравнить с Ag изменение уровней содержания других тяжелых металлов за тот же временной интервал. Были сопоставлены концентрации никеля и свинца, двух приоритетных загрязняющих атмосферу веществ преимущественно антропогенного происхождения, и марганца, микроэлемента более распространенного в природе, но также широко используемого в технике. Результаты приведены в табл.3.

Таблица 3. Характеристика уровней содержания тяжелых металлов в атмосферных осадках теплого периода в пункте Нальчик.

Элемент	С, мкг/л	Атмосферные осадки теплого периода:			
		1978 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.
Ni	макс.	40,65	11,03	7,07	23,62
	миним.	1,70	0,52	<0,10	<0,10
	средн.	6,76	2,62	1,14	1,80
	медиана	5,27	1,92	0,85	0,51
Pb	макс.	24,88	4,53	8,24	17,36
	миним.	1,40	0,10	0,18	<0,05
	средн.	11,19	1,06	0,91	1,09
	медиана	11,02	0,73	0,56	0,52

Mn	макс.	61,50	25,29	44,30	21,85
	миним.	1,09	0,13	0,18	0,24
	средн.	25,21	4,63	4,83	4,09
	медиана	25,00	3,04	3,29	2,77

Явно прослеживается уменьшение концентраций в период 2011-2013 г.г. по сравнению с 1978 годом, наиболее выраженное для Pb. Максимальные концентрации и в настоящее время могут достигать уровня 1978 г., но средние концентрации Ni и Mn, а также медианы, понизились в 3-5 раз, средний же уровень содержания Pb снизился больше, чем на порядок.

Результаты мониторинга загрязнения атмосферных осадков по широкому кругу загрязняющих веществ показали, что с конца 70-х годов XX века до начала 10-х годов XXI века повысился уровень содержания в них серебра в противоположность тенденции к уменьшению концентраций других тяжелых металлов. Возможно, это связано с повышением общего уровня загрязнения природной среды за счет многолетних противоградовых работ. Судя по данным 1978 г., вклад активных воздействий на град в загрязнение атмосферных осадков серебром однозначно имел место в то время, в меньшей степени он заметен в последние годы. Имеются основания считать, что и другой компонент, вносимый при активных воздействиях, а именно хлорид-ионы, повышает уровень загрязненности выпадающих осадков. При наличии информации о месте зарождения и перемещении зон осадков, причем не только теплого периода, можно было бы получить более достоверную оценку влияния активных воздействий, а также выявить основные факторы, определяющие загрязнение атмосферы и других абиотических объектов природной среды.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МАКРО- И МИКРОПРИМЕСЕЙ В ВОДАХ РЕКИ НАЛЬЧИК НА ТЕРРИТОРИИ АКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

**Т.И. Воробьева, Л.З. Жинжакова, Е.А.Чередник, Л.П. Гущина,
Т.В. Реутова, Д.Ю. Шондирова**
ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», г. Нальчик

Удовлетворение растущих потребностей человека в различных областях промышленного и сельскохозяйственного производства, в том числе ку-

рортного, неизбежно ведет к необходимости своевременного решения возникающих экологических проблем, связанных с ухудшением качества воды. Река Нальчик является основной водной артерией города, и острота ситуации в долине р. Нальчик определяется использованием как природных ресурсов, так и технологическим влиянием города с населением в 240 тыс. человек, ландшафтно-геохимическими особенностями территории и спецификой развития отраслей производства. Исследуемому району присуще уникальное сочетание благоприятных климатических условий, при этом наличие целебных минеральных источников, дендропарк и развитая рекреационная структура делают его постоянно действующим курортом. В то же время в городе Нальчик расположено и действует более 100 крупных и мелких предприятий различных отраслей, которые в той или иной степени способствуют загрязнению окружающей среды.

Экологические проблемы р. Нальчик в основном возникают с поступлением загрязнений со стоками с урбанизированной территории, залповых смывов с эродированной водозаборной площади, в результате хозяйственного освоения прибрежных и пойменных земель. К 2000 году общий список веществ, выбрасываемых в атмосферу, включал 83 наименования, при этом по объемам в числе первых были: MnO , CO , NO_2^- , SO_2 , пыль древесная и неорганическая, толуол, ксилол, ацетон, углеводороды [12]. В последнее десятилетие акцентируется внимание на увеличение веса соединений тяжелых металлов, которые, попадая в биоценозы, уже не выводятся из них, а накапливаясь, могут достигнуть опасных уровней. Концентрации тяжелых металлов в окружающей среде вообще редко достигают токсических уровней, но установлено, что такие как Mo , Pb , Cd , V в субтоксических концентрациях уже являются канцерогенами, что в дальнейшем ведет к возникновению необратимых генетических последствий [10].

Река Нальчик является одним из притоков второго порядка реки Черек и, как большинство малых рек, имеет смешанное питание (родниковое, подземное). Водораздел хорошо выражен, достигая 1500 м, но слабо прослеживается к устью, не превышая 320 м. Наиболее освоенная часть представляет собой участок слегка наклонного в направлении с юга на север плато в диапазоне высот 400-600 м н.у.м., площадью 100 кв. км. Площадь ее водосбора составляет 420 кв.км [3].

По режиму стока река является горной, с устойчивым незначительным расходом в зимние месяцы ($0,5 \text{ м}^3/\text{с}$) и с повышением стока в остальную часть года (до $120 \text{ м}^3/\text{с}$). В верхнем и среднем течении реки наблюдаются выходы грунтовых вод с постоянным стоком, и общий сток реки Нальчик находится в тесной связи с ландшафтом бассейна [1]. Южная часть бассей-

на сложена известняками средней и верхней юры. По мере продвижения на северо-восток известняки сменяются мергелистыми известняками и песчаниками. Средняя часть бассейна сложена преимущественно третичными отложениями (сланцевыми глинами, мергелями, песчаниками). Предгорная равнина образована флювиогляциальными отложениями. В пойме преобладают аллювиально-дерновые насыщенные карбонатные малогумусные почвы, сложенные крупнообломочным материалом в виде хряща и гальки. Верхний слой покрыт легким суглинком и супесью мощностью 10-15 см, который легко разрушается во время сильных дождей, что может вызвать на фоне природного химического состава воды временное появление отдельных микропримесей металлов.

Физико-химический состав вод р. Нальчик формируется при слиянии её с рекой Хара и ее небольшими притоками, берущими начало в отрогах Скалистого хребта и к 15-ому километру от истока составляющими общее русло р. Нальчик, где расположен п. Белая Речка (фоновый пункт). С 20-го по 30-ый километр территория считается курортной зоной, с 30-го по 36-ой километр – территория города Нальчика, далее до самого устья расположены поселения сельского типа. В курортной зоне река принимает два небольших притока: реки Нежбурка и Нартия, длиной 10 километров каждая. Первый приток берет начало от г. Издара (1326 м), второй – от г. Нартия (899 м), расположенных на Лесистом хребте, и оба притока вносят заметный вклад в дебит р. Нальчик.

Известно, что осадки служат основным источником накопления запасов влаги в почве, но при ее избыточном увлажнении постепенно разгружаются в реки. Фронтальное происхождение осадков обуславливает более равномерное их распределение по территории. В летний период интенсивно развивающаяся конвекция над горами увеличивает вероятность выпадения осадков в верхней части рек и под воздействием рельефа осадки нередко носят локальный характер, вызывая неравномерность их по территории. По количеству и частоте выпадения осадков даже на сравнительно небольшой территории (10-30 км) данные о количестве осадков существенно различаются [11].

Как показали проведенные наблюдения [6], выпадение осадков в фоновом пункте (15 км) не всегда совпадало с выпадением осадков в устье реки (42 км). Замечено, что гидрологический режим рек в летний период в значительной мере связан с интенсивностью и количеством выпадающих осадков. При выпадении осадков до 2-3 мм прозрачность вод составляет 27-30 см, что соответствует «малой» мутности (до 50 мг/л). Влияние осадков прослеживается по увеличению мутности вод и начинает проявляться довольно

четко при выпадении дождя более 5 мм. Отметим, что благоприятным количеством осадков для сельского хозяйства, как известно, являются осадки <5 мм. Нами получено, что для района исследования они составляют 56-61% случаев ежегодно. При выпадении осадков 5-10 мм (30% случаев) в течение 2-3 дней уровень воды в р.Нальчик поднимается на 10-15 см, вызывая неопасное расширение потока воды, и на прозрачности отражается незначительно, составляя 25-30 см, но мутность возрастает до «средней» (250 мг/л). При выпадении осадков в количестве 10-20 мм (20% случаев) прозрачность речной воды снижается до 15-18 см, уровень воды увеличивается, но угрозы разрушения берегов не наблюдается. При выпадении осадков более 20 мм, что наблюдается в сезоне 6-8 раз (7-8%), поток речной воды заполняет все русло, при этом прозрачность снижается до 0,5 см, а мутность повышается до «высокой», составляя более 1000 мг/л. Осадки, выпадающие в количестве 20 мм в течение короткого времени, вызывают характерное повышение уровня рек на 2-3 день с большим риском разрушения берегов, мостов и т.д. Отмечено, что суточные выпадения осадков более 30 мм фиксируются 1-2 раза в год, что составляет 2-3% наблюдений на равнине и 4-8% в низкоротной части, и приводят к длительному подтоплению устьевой зоны, что создает опасную экологическую ситуацию. Характерно, что в этот период резко изменяется не только уровень воды в реке, но физико-химический состав вод. При продолжительных по времени осадках 25-30 мм мутность становится «запредельной» и может составлять 4,8-5,5 г/л, что наблюдается систематически в водах р. Нальчик (1-2 раза в каждый сезон), и при этом в твердой взвеси отмечается широкий круг тяжелых металлов (Zn, Ti, V, Ni, Sn, Cr и др.).

С целью исследования пространственной и временной изменчивости содержания микропримесей был организован отбор проб в 7 постоянных створах, а именно: 15, 20, 26, 30, 36 и 42 км от истока и в устье притока р. Нартия, охватывая территорию курортной и промышленной зон города Нальчика и сельских поселений пригорода. Маршрутные экспедиции проводились в период зимней межени (4 экс.), в половодье (3 экс.) и в летние дождевые паводки (9 экс.). Всего было отобрано 127 проб. В зависимости от фазы водного режима при разных метеорологических условиях в каждом пункте отбора проб гидрохимические исследования включали измерение величины рН, прозрачности, температуры воды при отборе, определение концентрации 8 тяжелых металлов, неорганических форм азота и главных ионов, оценки жесткости воды [4,5,8,9].

На основании полученных данных исследовано изменение концентрации тяжелых металлов и основных макрокомпонентов от фонового пункта до устья р.Нальчик через каждые 5-6 км в период 2011-2014 годы.

Отметим, что фоновый пункт (15 км) расположен после слияния рек Нальчик и Хара с ее небольшими притоками. На 43 км от истока р. Нальчик впадает в р.Урвань. Изменение уровней концентрации отдельных ингредиентов прослежено при разных метеорологических ситуациях в сухой период и при выпадении разовых осадков в количестве 20-30 мм. На общем фоне содержания макропримесей примеси тяжелых металлов и неорганических соединений азота кажутся незначительными, но в оценке экологического благополучия вод они могут играть даже более значительную роль, чем главные ионы.

На рис.1 представлены типичные профили концентраций 8 тяжелых металлов соответственно в зимнюю межень (31.01.13), половодье (17.05.13) и дождевой паводок (10.07.12). Анализ полученных данных показал, что в водах р. Нальчик концентрации ряда тяжелых металлов в зимнюю межень прослеживаются практически на уровне «следовых» количеств, ниже порога определения отмечаются Cr, Pb, Mn, Mo. В летний период концентрации всех ингредиентов, в том числе и этих, увеличиваются до значимых уровней, но в зависимости от количества выпадающих осадков по-разному, что, очевидно, связано с мощностью поверхностного стока. Отмечено, что после выпадения осадков в речной воде уже в фоновом пункте фиксируются Cr, Ni, Mn, Mo, Ag, Zn, и их концентрации снижаются к устью [2]. Влияние города проявляется в возрастании значений концентраций Mo, Zn, Mn, Ni с 30 по 36 километр р. Нальчик, но уровень ПДК превышают Mo и V. В летний период без осадков концентрации всех элементов снижаются до уровня концентраций в зимний период, что и определяет характерный элементный состав воды в р. Нальчик.

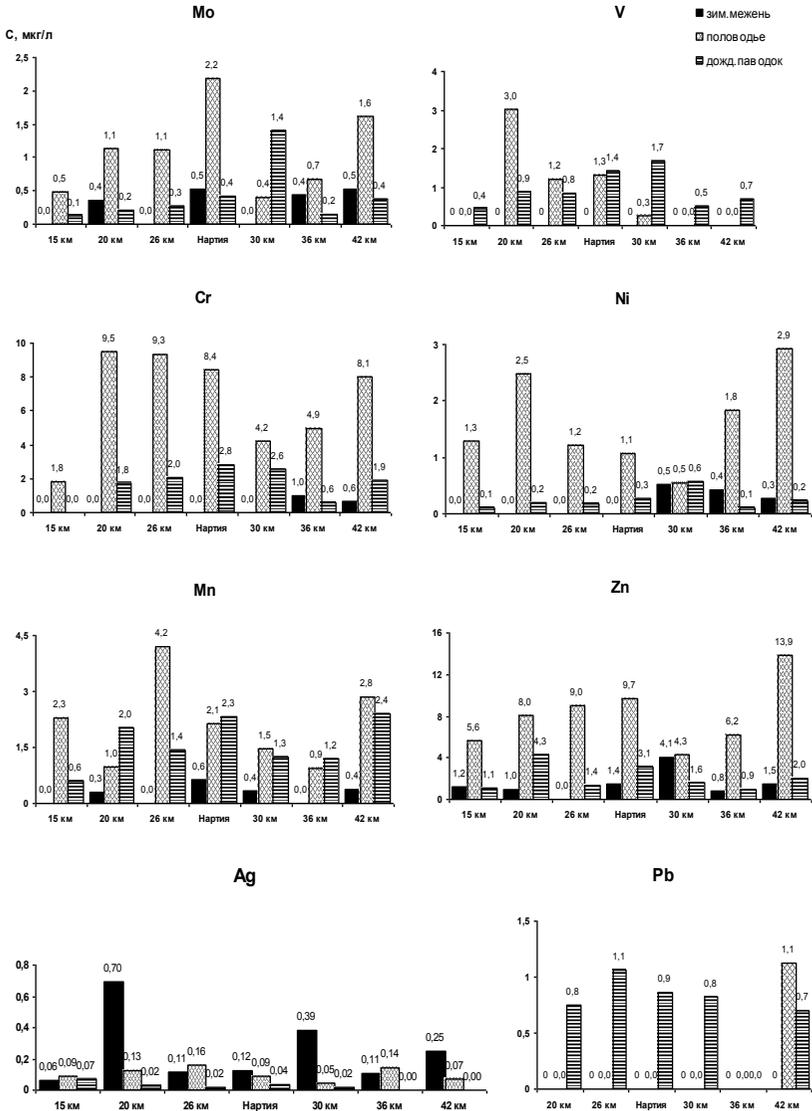


Рис.1. Профили концентраций тяжелых металлов в водах р. Нальчик в основные фазы водного режима.

Выявленное загрязнение вод тяжелыми металлами (Cr, Ni, Zn, Pb, Fe, Ag, V, Ti) ниже уровней ПДК [7] и, по-видимому, является следствием вымывания их из ультраосновных пород, которые присущи для Скалистого и Лесистого хребтов. Обращает внимание присутствие Ag в водах р. Нальчик в фоновом пункте, причем в ближайшем окружении здесь имеются выходы родниковых вод. Заметим, что вода самого большого родника пользуется большой востребованностью, но в ней систематически фиксируется Ag (родник Белая Речка). Требуется внимания и приток Нартия, в водах которой содержание практически многих макро- и микропримесей часто несколько выше, чем в основной реке, и ее влияние прослеживается до 10 километров после впадения.

На базе полученных в 16 экспедициях данных проведено исследование изменения концентраций основных ионов, в т.ч. неорганических соединений азота. За период наблюдений 2011-2014 гг. получено, что по химическому составу воды относятся к гидрокарбонатным кальциевым, мягким. Среднее значение суммы главных ионов (Σu) в фоновом пункте в зимнюю межень составило 239,5 мкг/л, в летний период – 185,6 мкг/л. Подробный анализ показал, что в зимнюю межень Σu увеличивается к устью в 1,18 раз, в летнюю межень – в 1,16 раз, что практически означает незначительное увеличение загрязнения вод по длине реки.

На рис.2 представлены типичные профили суммы главных ионов (Σu) и трех форм соединения азота (NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+), соответственно в зимнюю межень, половодье и дождевой паводок.

Как видно из рис.2, Σu в зимнюю межень изменяется незначительно, в половодье и дождевые паводки ход изменения подобный, но содержание ниже. Замечено некоторое увеличение ее в городской черте. Уровни концентрации главных ионов не достигают ПДК, но обращает на себя внимание то, что в водах р. Нартия они стабильно выше, чем в р. Нальчик.

Подробный анализ сумм ионов по каждому опорному пункту показал, что Σu увеличивается к устью примерно на 40-50 мг/л, варьируя в дни без осадков от 219 до 270 мг/л, после выпадения осадков – от 158 до 194 мг/л. Для горной реки нарастание минерализации по ходу течения является естественным процессом, однако состав и соотношение ингредиентов свидетельствует в данном случае об их антропогенном характере. При выпадении осадков в количестве до 20 мм резких колебаний в содержании главных ионов не зафиксировано, но замечено, что в день выпадения значительного количества осадков снижаются концентрации HCO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , что,

по-видимому, обусловлено сильным разбавлением природных вод за счет осадков, и поэтому антропогенное влияние города сказывается незначительно.

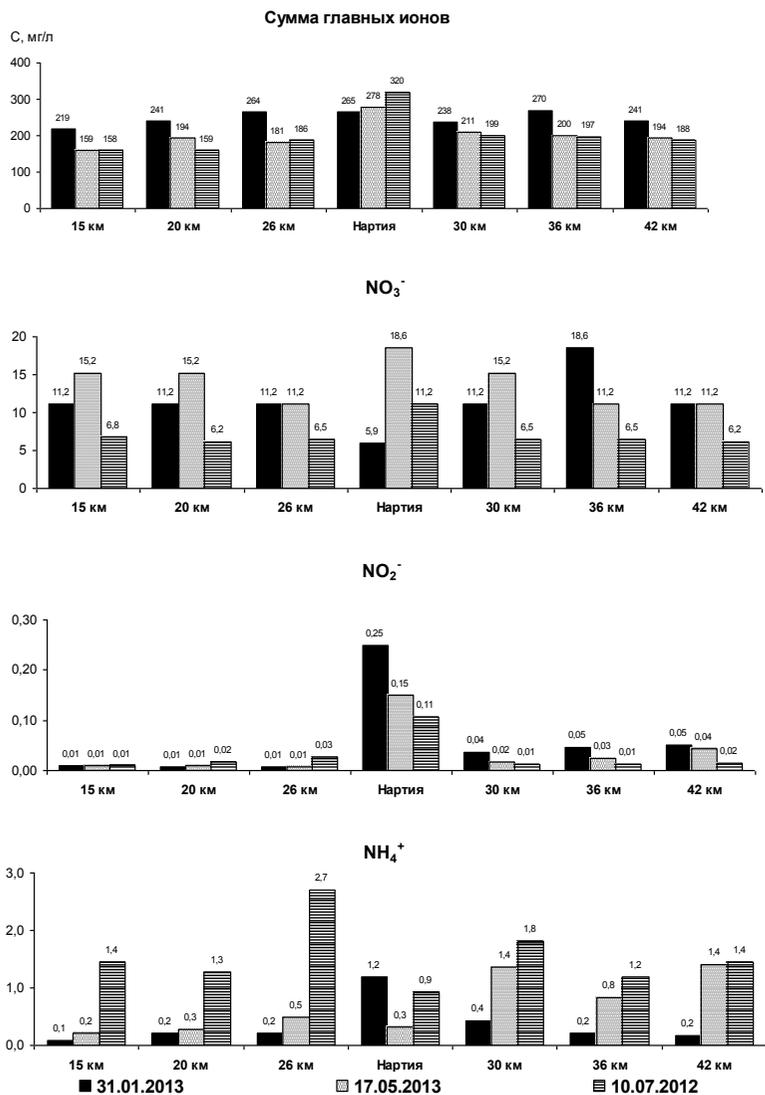


Рис. 2. Профили концентраций суммы главных ионов и неорганических соединений азота в водах р.Нальчик в основные фазы водного режима.

Практический интерес представлял анализ изменения уровней концентрации неорганических соединений азота. Подробным анализом полученных данных установлено, что только в сухой период наблюдается увеличение NO_2^- к устью. Содержание NH_4^+ во время выпадения продолжительных осадков возрастает до 6 ПДК. На уровень концентраций NO_3^- влияет количество выпавших накануне осадков, но прослеживается тенденция сохранения по всей длине реки примерно постоянной концентрации, равной 0,4-0,5 ПДК. Установлено, что в период половодья концентрация NO_3^- увеличивается по сравнению с зимней меженью, однако в период летнего паводка при выпадении осадков (более 20 мм) концентрация снижается за счет разбавления вод осадками и составляет 0,6-0,7 ПДК. Концентрации NO_2^- в половодье и дождевые паводки ниже, чем в зимнюю межень, и не достигают ПДК, наблюдается слабое влияние города. При этом в водах р. Нартия концентрации NO_2^- достигают 1,2-3 ПДК.

Анализ профиля содержания NH_4^+ свидетельствует о другом характере появления его в водах р. Нальчик. Явное загрязнение отмечается в летние паводки, начиная от фонового пункта до устья, составляя до 3 ПДК. Особенно большие концентрации наблюдаются в р. Нартия (5,4 ПДК). Отметим, что р. Нартия вносит значительный вклад в воды р. Нальчик (до 0,3-0,4 расхода), и ее постоянная загрязненность разными примесями беспокоит общественность.

В связи с этим было проведено исследование вод в пункте слияния обеих рек (26 км) при разных метеорологических условиях. Отбор проб производился в зимнюю межень (31.01.13), период половодья (17.05.13) и летний дождевой паводок (10.07.12). Результаты измерения концентрации макро- и микропримесей в разные периоды водного режима представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты измерения концентраций макро- и микропримесей в водах рек Нальчик (26 км) и Нартия в зависимости от фазы водного режима

Химический состав	Единицы измерения	Зимняя межень (31.01.2013)		Половодье (17.05.2013)		Летний дождевой паводок (10.07.12)	
		Нальчик	Нартия	Нальчик	Нартия	Нальчик	Нартия
рН	ед.	8,03	8,05	8,38	8,44	7,55	7,65
жесткость	мг-экв/л	3,7	3,7	2,6	4,0	2,4	4,4
HCO_3^-	мг/л	125,05	137,25	117,12	190,3	128,1	225,71
SO_4^{2-}	- " -	50,40	44,16	12,48	9,07	9,92	10,80
Сl	- " -	17,75	13,49	2,92	5,33	1,78	3,55
Ca^{2+}	- " -	64,93	64,93	41,68	64,93	40,88	70,54
Mg^{2+}	- " -	6,32	5,35	6,32	8,75	4,86	10,21

Na ⁺ +K ⁺	- " -	0	0	0	0	0	0
∑ и	- " -	264,5	265,2	180,5	278,4	185,5	320,1
NO ₂ ⁻	- " -	0,010	0,250	0,007	0,150	0,026	0,106
NO ₃ ⁻	- " -	11,16	5,89	11,16	18,60	6,51	11,16
NH ₄ ⁺	- " -	0,22	1,20	0,50	0,32	2,70	0,92
∑ NO_x	- " -	11,4	7,3	11,7	19,1	7,5	11,8
Cr	мкг/л	-	-	9,34	8,42	2,03	2,81
Ni	- " -	-	-	1,21	1,07	0,18	0,27
Mo	- " -	-	0,52	1,12	2,18	0,27	0,42
Mn	- " -	-	0,64	4,20	2,13	1,42	2,32
Zn	- " -	-	1,44	9,01	9,73	1,37	3,11
Pb	- " -	-	-	-	-	1,06	0,86
Ag	- " -	0,112	0,123	0,116	0,088	0,015	0,035
V	- " -	-	-	1,20	1,32	0,83	1,41

В зимнюю межень отбору проб предшествовал десятидневный период без осадков. Как видно из представленных данных, в водах рек Нальчик и Нартия суммы главных ионов ($\sum u$) практически равны, составляя 265 мг/л. Однако, в водах р. Нальчик концентрации SO_4^{2-} , Cl^- , Mg^{2+} отмечались в 1,1; 1,3; 1,2 раз соответственно выше, чем в водах р.Нартия, и $\sum u$ выравнивалась за счет HCO_3^- . Общая жесткость вод в среднем составляла 3,7 мг-экв/л при рН, равном 8 ед.

Осадки, выпадавшие 15.05.13 (11 мм) и 16.05.13 (28 мм), вызвали половодье. Анализ главных ионов, измеренных 17.05.13 выявил стабильное загрязнение р.Нартия (278 мг/л). В водах р.Нальчик $\sum u$ снизилась в 1,5 раза, достигнув 180,5 мг/л, при этом концентрации главных ионов в водах Нальчика в 1,6 -1,9 раз ниже, чем в водах Нартии, что легко объясняется совместным разбавлением речных вод осадками и снегом в верховьях р.Нальчик. На величине концентрации SO_4^{2-} , возможно, сказывается влияние Белореченских серных источников.

В летний дождевой паводок отбор проб был проведен 10.07.12 после выпадения ливневых осадков (более 20 мм). Анализ показал, что, если в водах р.Нальчик по сравнению с зимней меженью $\sum u$, как и в половодье, снизилась в 1,8 раз, в водах Нартии, наоборот, увеличилась в 1,2 раза. Жесткость вод соответственно составляла 2,2 и 4,4 мг-экв/л, что подтверждает большую загрязненность вод р. Нартия даже в период обильных осадков.

Отметим, что изменение уровня концентраций по отдельным компонентам соответственно отражалось на $\sum u$ ионов. В водах Нартии уменьшение концентраций в зимнюю меженью происходило подобно, как и в водах Нальчика, но в половодье и летний паводок отмечено увеличение HCO_3^- ,

Mg^{2+} и стабильность содержания Ca^{2+} , что и обеспечивало четкое различие в химическом составе вод уже по уровню жесткости.

Характерно, что в зимнюю межень значения концентраций главных ионов довольно близки в водах обеих рек, но постоянно незначительно выше в водах Нальчика. Жесткость практически одинакова и составляет 3,7 мг-экв/л. В половодье и в дождевой паводок прослеживается уменьшение концентраций многих ингредиентов, что объясняется естественным разбавлением вод при выпадении осадков. В водах р. Нартия отмечается тенденция постоянного превышения содержания главных ионов в 1,6-1,9 раз по сравнению с р. Нальчик, что, по-видимому, связано и с ее истоком в низкогорной части территории. Рассчитанная к Σu общая добавка неорганических соединений азота в водах обеих рек составляет в зимнюю межень до 2,8-4,3%, в половодье 6,5-6,9% и в дождевые паводки 3,7-4,0%. Хорошо прослеживается изменение концентрации в зависимости от метеоусловий. Однако, если на характер изменения NO_2^- и NO_3^- влияет разбавление осадками и температурный режим вод, то увеличение NH_4^+ скорее связано с антропогенным влиянием. Особенно характерно это проявляется в водах р. Нартия, где добавка NH_4^+ практически всегда выше 2,5 ПДК.

Сравнение вод по содержанию 8 тяжелых металлов показало, что в зимнюю межень концентрации тяжелых металлов очень низкие в водах Нартии и даже ниже предела определения в водах р. Нальчик, но Ag фиксируется в обеих реках, что свидетельствует о наличии неизвестного, возможно природного, источника. В половодье концентрации всех 8 элементов фиксируются в водах обеих рек и концентрации в 4-9 раз выше, чем в зимнюю межень, но заметных различий вод рек по содержанию тяжелых металлов не прослеживается. При этом одновременное появление Ag, Cr, Ni, V, как микропримесей, скорее всего, свидетельствует о вымывании их из подстилающей породы. Отсутствие Pb в зимнюю межень и половодье свидетельствует о его низком природном содержании в районе исследования. В летние дождевые паводки содержание тяжелых металлов прослеживается в обеих реках, но в незначительном количестве. Появление Mo в период половодья и летних паводков свидетельствует об антропогенном загрязнении бассейнов рек, по-видимому, как следствие многолетней деятельности Гидрометзавода.

Обращает внимание возрастание концентраций Ag и NH_4^+ в водах р. Нальчик при выпадении более 25 мм осадков после проведения активных воздействий в междуречье рек Чегем и Нальчик. Подобное наблюдалось неоднократно, особенно четко проявляясь, если осадки сопровождались градом: 16.09.11, 7.06.12, 16.05.13, 13-14.05.14. Результаты представлены в

табл. 2. Заметим, что 7.06.12 при активном воздействии на весь процесс было израсходовано 65 изделий (3,705 кг AgI), при этом в районе междуречья около 1 кг AgI. В ночь 13-14.05.14 было использовано 27 изделий (1,539 кг AgI). Крупный град выпал 16.05.13, хотя в этом районе использовано было только 3 ракеты. Вопрос о том, как быстро появляется Ag в водах рек и является ли он следствием постепенного разгрузки осадков, подверженных ранее активному воздействию, пока еще остается открытым, но факты свидетельствуют о влиянии антропогенного вмешательства в развитие атмосферных процессов на загрязнение речной воды.

Таблица 2. Результаты измерения ингредиентов в водах р.Нальчик после проведения активных воздействий

Дата воздействия	Кол-во реагента AgI, кг	Дата отбора пробы	Пункт отбора, км	Ag, мкг/л	NO ₂ ⁻ , мг/л	NO ₃ ⁻ , мг/л	NH ₄ ⁺ , мг/л	Σи, мг/л
16.09.11	0,513	20.09.11	20	0,230	0,005	23,25	0,15	240
			30	2,030	0,006	23,25	0,14	283
			36	0,192	0,034	27,90	0,14	282
			42	0,590	0,034	24,80	0,15	281
07.06.12	3,705	13.06.12	20	0,042	0,022	6,24	0,81	216
			26	0,010	0,024	5,89	1,19	231
			30	0,017	0,033	9,30	0,12	261
			36	0,019	0,040	6,20	0,15	248
			42	0,016	0,026	6,24	0,12	255
08.07.12	0,342	10.07.12	15	0,069	0,009	6,82	1,44	167
			20	0,023	0,016	6,20	1,28	167
			26	0,015	0,026	6,51	2,70	195
			30	0,018	0,013	6,51	1,80	207
			36	–	0,011	6,51	1,19	202
			42	–	0,015	6,20	1,44	196
16.05.13	0,171	17.05.13	15	0,092	0,009	15,19	0,21	159
			20	0,125	0,009	15,19	0,27	194
			26	0,160	0,007	11,16	0,50	181

			30	0,047	0,017	15,19	1,36	211
			36	0,141	0,025	11,16	0,82	200
			42	0,074	0,044	11,16	1,40	194
14.05.14	1,539	15.05.14	15	0,260	0,017	40,30	0,20	207
			20	0,096	0,022	34,10	0,48	227
			26	0,260	0,022	34,10	1,62	276
			30	0,210	0,022	34,10	1,20	282
			36	0,162	0,019	34,10	1,03	275
			42	0,110	0,029	34,10	0,72	279

Таким образом, в результате проведенных исследований было получено, что по химическому и элементному составу воды р. Нальчик относятся к гидрокарбонатным, кальциевым, мягким и в общем квалифицируются как чистые. При выпадении осадков до 20 мм резких изменений в содержании главных ионов не фиксируется, но отмечается увеличение анионов по течению реки, сигнализируя об антропогенном влиянии города. После выпадения осадков более 10 мм с курортной зоны отмечается загрязнение речной воды NH_4^+ (выше ПДК), в городском районе в водах фиксируются Mo, Zn, Ni, Ag. После проведения активных воздействий на градовые процессы при выпадении осадков в количестве 20-30 мм зафиксировано увеличение содержания Ag на порядок величины по всей долине р. Нальчик. Отметим, что к настоящему времени, вследствие разрушения гидротехнических сооружений 60-х годов, река практически утратила свою функцию рекреационной зоны и является средством утилизации бытовых отходов населения. В виду этого необходимо проведение всестороннего обследования реки, в том числе санитарного контроля воды и биоты, так как отдельные микропримеси, попадая в биоценозы, уже не выводятся из них и могут быть причиной возникновения необратимых генетических последствий.

Список литературы

1. Занилов А.Х. Водные ресурсы КБР. Экологическое состояние. Нальчик: ООО «Тетраграф», 2011. 154 с.
2. Исследование содержания токсичных загрязняющих веществ в водах рек Центрального Кавказа. /Воробьева Т.И., Гущина Л.П., Жинжакова Л.З., Реутова Т.В., Чередник Е.А. // Труды ВГИ. 2013. Вып. 97. С. 103-115.

3. Лурье П.М., Панов В.Д. Водные ресурсы и водный баланс Кавказа. СПб.: Гидрометеиздат, 2002. 506 с.

4. Методика выполнения измерений массовых концентраций Al, Ba, Be, V, Fe, Cd, Co, Li, Mn, Cu, Mo, As, Ni, Sn, Pb, Se, Sr, Ti, Cr, Zn в природных и сточных водах методом атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием атомно-абсорбционного спектрометра с электротермической атомизацией «МГА-915». ПНД Ф 14.1:2.253-09. Москва. 2009. 35 с.

5. Методика определения микроэлементов в природных объектах при проведении геофизических исследований. /Бурцев И.И., Бурцева Л.В., Воробьева Т.И., Гущина Л.П., Шведов С.В. // Труды ВГИ. 1980. Вып.45. С.51-66.

6. Отчет о научно-исследовательской работе «Результаты исследований содержания тяжелых металлов и биогенных веществ в водах рек Центрального Кавказа. Оценка влияния выпадения атмосферных осадков на химический состав вод р. Нальчик» (промежуточный) №гос. рег. 01201158415. Нальчик, 2011. 54 с.

7. Перечень рыбохозяйственных нормативов ПДК и ориентировочно безопасный уровень воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды, водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М.: ВНИРО, 1999. 380 с.

8. РД 52.24.643-2002. Методические указания. Методика комплексной оценки и степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. – СПб.: Гидрометеиздат, 2002. 49 с.

9. Резников А.А., Муликовская Е.П., Соколов И.Ю. Методы анализа природных вод.- М.: 1970. С.189-198.

10. Реутова Н.В., Реутова Т.В., Воробьева Т.И. Некоторые подходы к оценке генетического влияния промышленных предприятий // Генетика. 2005. Вып. 6.

11. Темникова Н.С. Климат Северного Кавказа и прилегающих степей.- М.: Гидрометеиздат, 1959. 367 с.

12. Экологические проблемы г.Нальчика / Под ред. М.Ч. Залиханова. - Нальчик, 1998. 149 с.

ВЛИЯНИЕ АЭРОЗОЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОТИВОГРАДОВЫХ РАБОТ В КАХЕТИИ И НА СЕВЕРНОМ КАВКАЗЕ

А.Х. Аджиев¹, А.Г. Амиранашвили², Х.З. Чаргазиа²

¹ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», г. Нальчик, Россия
²Институт геофизики им. М. Нодиа Тбилисского государственного университета им. И. Джавахишвили, Тбилиси, Грузия

Введение

Грозоградовая активность конвективных облаков, помимо множества других факторов, существенно зависит от содержания в облаках различных аэрозольных примесей естественного и антропогенного происхождения. И в зависимости от характера изменения концентрации этих примесей в атмосфере, процесс градообразования может либо усиливаться, либо ослабляться [1,6,11-18].

В работах [1,11-13,15-17] были проведены оценки влияния антропогенного (в том числе и радиоактивного) загрязнения атмосферы на интенсивность грозовых и градовых процессов, а также режим осадков в различных регионах Грузии, в том числе и Кахетии, с учетом активных воздействий на градовые процессы. В частности, было установлено, что связь аэрозольного загрязнения атмосферы с интенсивностью грозовых процессов имеет нелинейный характер. Рост аэрозольного загрязнения может приводить как к усилению, так и ослаблению интенсивности грозовой деятельности. Рост нерадиоактивного аэрозольного загрязнения атмосферы приводит к усилению интенсивности градобитий и, соответственно, к уменьшению эффективности воздействия противоградовых работ [1]. Этот эффект проявлялся и в суточных вариациях интенсивности градовых процессов. В Кахетии на пораженной градом площади в будние дни логарифм множителя максимальной радиолокационной отражаемости, количество жидких и твердых осадков были выше, чем в выходные дни, что, по-видимому, связано с режимом загрязнения атмосферы. Аналогичная картина и для Северного Кавказа (масса, энергия и количество выпавших градин в будние дни была выше, чем в выходные). Анализ данных [7,8], проведенных в [1], показал, что в будние дни по сравнению с выходными здесь происходил рост доли капельных зародышей града и убывание доли крупных зародышей (увеличение вероятности роста града по механизму теплого дождя).

В данной статье, являющейся продолжением указанных выше работ, представлены результаты сравнительных исследований связи эффективности противоградовых работ с аэрозольным загрязнением атмосферы в Кахетии и на Северном Кавказе за 1968 – 1988 гг.

Используемые материалы и методика исследования

Данные о противоградовых работах в Кахетии и на Северном Кавказе взяты из [3,4,9]. В качестве характеристик общего аэрозольного загрязнения атмосферы использована информация об аэрозольной оптической толщине атмосферы (АОТ) для Телави (Кахетия, Грузия) и факторе мутности атмосферы (ФМ) для Кисловодска (Северный Кавказ, Россия). Значения АОТ рассчитывались по данным актинометрических измерений прямой солнечной радиации по методике проф. Таварткиладзе К.А. [14]. Данные о факторе мутности атмосферы взяты из работы [5].

Отметим, что АОТ и ФМ не являются чисто локальными характеристиками загрязненности воздуха (хотя местные эффекты индустриального воздействия и играют важную роль в их изменчивости). Между уровнями общего аэрозольного загрязнения атмосферы в различных регионах Грузии, а также АОТ и общим уровнем аэрозольной загрязненности воздуха в Кисловодске, имеется достаточно высокая корреляционная связь [2]. Таким образом, даже по одному пункту измерения можно судить об уровнях загрязненности атмосферы на расстоянии нескольких десятков и сотен километров от этого пункта.

В работе применены статистические методы анализа случайных и неслучайных временных рядов [10]. Используются следующие обозначения и сокращения: Mean – среднее; Max – максимум; Min – минимум; Range – вариационный размах (Max - Min) ; σ – стандартное отклонение; C_v – коэффициент вариации (%); R - коэффициент линейной корреляции; R^2 – коэффициент детерминации; R_k и R_s – соответственно коэффициенты ранговой корреляции Кендэла и Спирмэна; R_a - коэффициент автокорреляции; K_{dw} - критерий Дарбина-Уотсона; α - уровень значимости; реальн. – реальные данные; случ. – случайная компонента ряда; P - доля среднего от среднего значения реальных данных (%); \mathcal{E}_k и $\mathcal{E}_{СК}$ – соответственно, эффективность противоградовых работ в Кахетии и на Северном Кавказе; X – номер года 1...21 (1968...1988 гг.).

Результаты анализа

Результаты анализа данных представлены в таблице и на рис. 1-6.

Таблица. Статистические характеристики эффективности противоградовых работ и общего аэрозольного загрязнения атмосферы в Кахетии и на Северном Кавказе в 1968-1988 гг.

Параметр	АОТ	Эк	ФМ	Эск
	Реальные данные			
Mean	0.158	80.9	2.81	65.6
Min	0.075	53	2.20	5
Max	0.225	95	3.26	99
Range	0.150	42	1.06	94
σ	0.039	10.6	0.26	24.4
C_v	24.6	13.1	9.1	37.3
Корреляционная матрица				
АОТ	1	-0.43	0.69	-0.19
Эк	-0.43 ($\alpha=0.05$)	1	-0.29	0.27
ФМ	0.69 ($\alpha=0.001$)	-0.29 ($\alpha=0.24$)	1	-0.38
Эск	-0.19 ($\alpha=0.40$)	0.27 ($\alpha=0.27$)	-0.38 ($\alpha=0.10$)	1
Характеристики неслучайности временных рядов				
R с годами	0.84	-0.50	0.62	-0.07
(α) R	0.001	0.05	0.002	Незнач.
R_k с годами	0.68	-0.30	0.42	0.005
(α) R_k	0.0001	0.05	0.01	0.98
R_s с годами	0.83	-0.42	0.61	0.015
(α) R_s	0.0002	0.06	0.01	0.94
R_a , лаг = 1 год	0.77	Незнач.	Незнач.	Незнач.
(α) R_a	0.05			
Тренд + фон ($Y = a \cdot X^2 + b \cdot X + c$)				
a	-0.00041			
b	0.0143	-0.85	0.026	-0.28
c	0.032	66.6	2.15	9.4
K_{DW}	1.86	2.36	2.01	2.54
(α) K_{DW}	0.05	0.05	0.05	0.05
Mean	0.124	57.2	2.43	6.4
Min	0.046	48.8	2.17	3.6
Max	0.156	65.7	2.69	9.2
Range	0.110	16.9	0.51	5.6
P	78.9	70.8	86.4	9.7
Случайные компоненты временных рядов				
Mean	0.033	23.6	0.38	59.23

Max	0.070	42.8	0.71	92.3
σ	0.016	9.2	0.20	24.4
C_v	48.9	38.9	53.0	41.2
P	21.1	29.2	13.6	90.3
Корреляционная матрица				
AOT	1	-0.10	0.19	-0.19
Ξ_k	-0.10 (незнач.)	1	0.03	0.27
ФМ	0.19 ($\alpha=0.40$)	0.03 (незнач.)	1	-0.43
$\Xi_{ск}$	-0.19 ($\alpha=0.40$)	0.27 ($\alpha=0.27$)	-0.43 ($\alpha=0.05$)	1

В таблице представлена статистическая структура временных рядов эффективности противоградовых работ и общего аэрозольного загрязнения атмосферы в Кахетии и на Северном Кавказе в период с 1968 по 1988 гг. На рис.1–4 приведена графическая информация о характере изменчивости уровней аэрозольного загрязнения атмосферы и эффективности противоградовых работ, а на рис.5–6 представлены регрессионные соотношения между реальными значениями эффективности противоградовых работ и загрязненностью атмосферы в исследуемых регионах.

Из таблицы, в частности следует, что по данным реальных измерений между эффективностью противоградовых работ и общим аэрозольным загрязнением атмосферы как в Кахетии, так и на Северном Кавказе, прослеживается значимая обратная линейная корреляционная связь.

Как показал анализ, все изучаемые характеристики, кроме эффективности противоградовых работ на Северном Кавказе, не являются случайными и зависят от времени (соответствующие значения коэффициентов линейной и ранговых корреляций). Автокорреляция с лагом один год наблюдалась лишь для AOT в Кахетии. Тренд AOT имеет вид полинома второй степени, а тренды рядов Ξ_k и ФМ – линейные. Доля среднего значения компоненты тренд+фон для AOT, ФМ и Ξ_k от средних реальных значений этих параметров находится в пределах 71–86 %. Формальная средняя трендовая составляющая для ряда $\Xi_{ск}$ не превышает 10 % от среднего их реальных значений (таблица, рис.1-4).

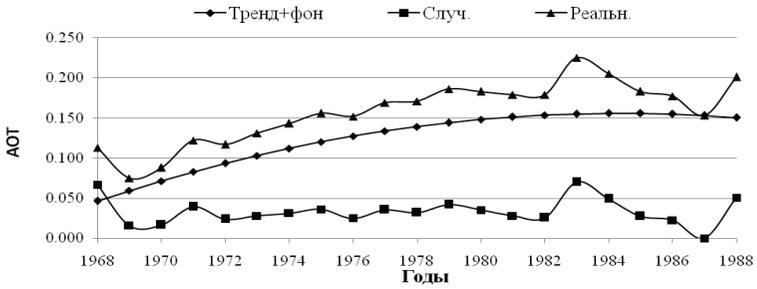


Рис. 1. Тренд аэрозольной оптической толщи атмосферы в Телави

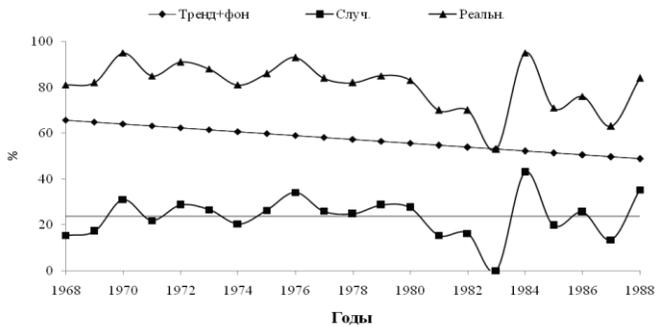


Рис. 2. Тренд эффективности воздействия на градовые процессы в Кахетии

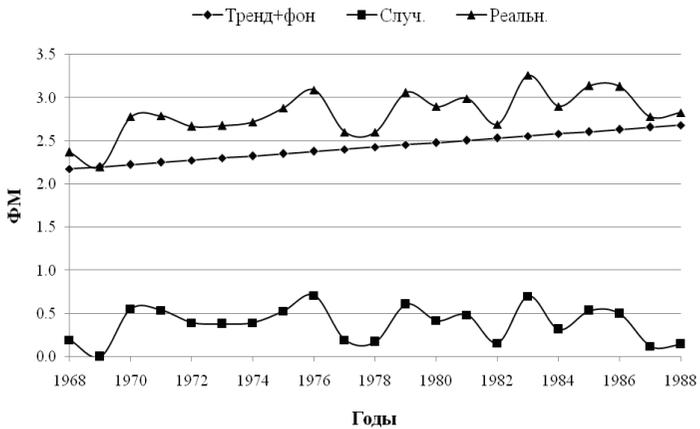


Рис. 3. Тренд фактора мутности атмосферы в Кисловодске

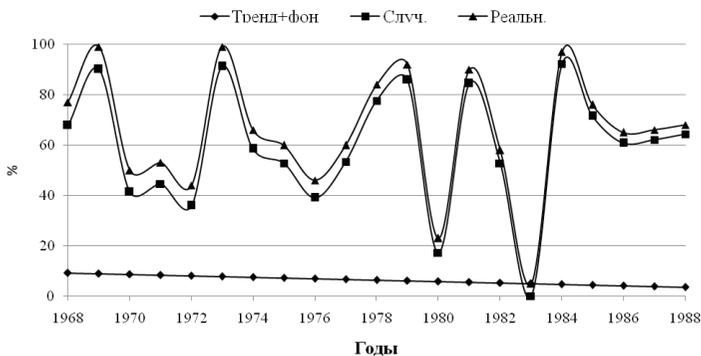


Рис. 4 Тренд эффективности воздействия на градовые процессы на Северном Кавказе

Рис. 4 . Тренд эффективности воздействия на градовые процессы на Северном Кавказе

Соответственно, значения R для случайных компонент рядов АОТ, ФМ и \mathcal{E}_K находятся в пределах 14 – 29 %, а $\mathcal{E}_{СК}$ – 90 %. Линейная корреляция между случайными компонентами рядов АОТ и \mathcal{E}_K обратная, но незначимая, тогда как та же корреляция между случайными компонентами рядов ФМ и $\mathcal{E}_{СК}$ даже тесней, чем для их реальных значения (-0.43 и -0.38 соответственно, см. таблицу).

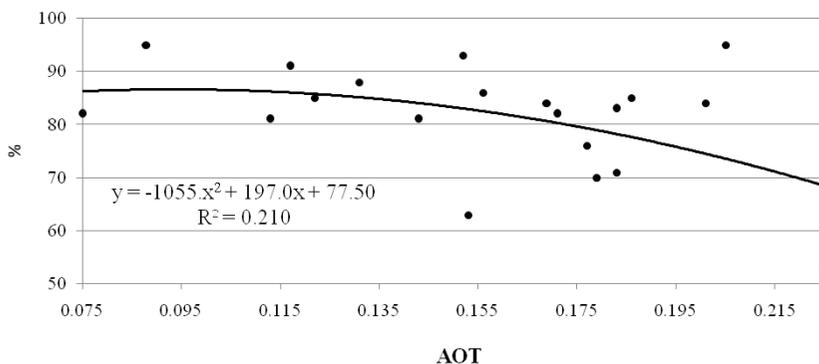


Рис. 5 . Соотношение между эффективностью воздействия на градовые процессы и аэрозольной оптической толщиной атмосферы в Кахетии (реальные данные)

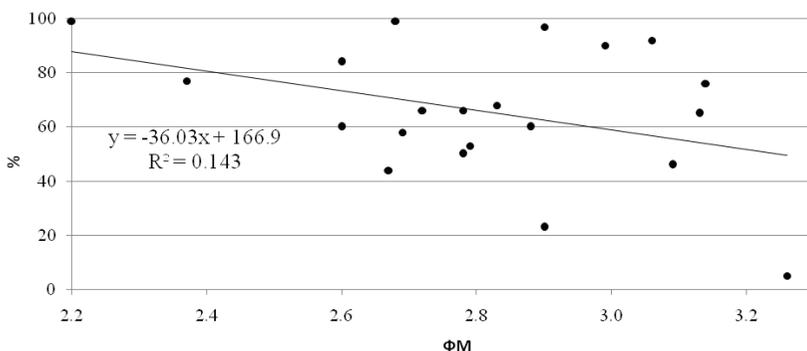


Рис. 6 . Соотношение между эффективностью воздействия на градовые процессы и фактором мутности в атмосфере на Северном Кавказе (реальные данные)

Таким образом, как в Кахетии, так и на Северном Кавказе в исследуемый период времени, в целом, рост общего аэрозольного загрязнения атмосферы связан с уменьшением эффективности противоградовых работ. Так, в среднем, в Кахетии с ростом АОТ от 0.075 до 0.225 эффективность противоградовых работ уменьшалась от 86 до 68 %. На Северном Кавказе увеличение ФМ от 2.2 до 3.26 было связано с уменьшением эффективности противоградовых работ от 88 до 49 % (таблица 1, рисунки 5-6). При этом имеется и разница в эффектах действия аэрозольного загрязнения атмосферы. В Кахетии этот эффект главным образом связан с общей тенденцией роста АОТ, тогда как на Северном Кавказе – со случайными вариациями общей аэрозольной загрязненности атмосферы.

Заключение

В Кахетии (Грузия) и на Северном Кавказе (Россия) в период с 1968 по 1988 г. наблюдались эффекты уменьшения эффективности противоградовых работ, обусловленные ростом общего содержания аэрозольного загрязнения в атмосфере. В Кахетии этот эффект, главным образом, был связан с тенденциями увеличения загрязнения атмосферы, а на Северном Кавказе – со случайными вариациями общей аэрозольной загрязненности атмосферы.

Список литературы

1. Амиранашвили А.Г. Влияние антропогенного загрязнения атмосферы на изменчивость интенсивности градовых процессов // Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135. – Тбилиси. 2013. Т. 64. С.160–177.

2. Амиранашвили А.Г., Таваркиладзе К.А, Кириленко А.А., Картунова З.В., Поволоцкая Н.П., Сеник И.А. Динамика аэрозольного загрязнения атмосферы в Тбилиси и Кисловодске // Тр. Ин-та гидрометеорологии Грузинского технического университета, ISSN 1512 0902. Тбилиси. 2013. Т. 119. С. 212 - 215.
3. Бурцев И.И. Разработка научно-методических основ создания системы противорадовой защиты СССР/ дисс. на соиск. уч. степ. доктора физ.-мат. наук. Л.: 1990. 297 с.
4. Град и борьба с ним. Основные результаты работы службы активных воздействий на гидрометеорологические процессы в 1967 – 1989 гг./ Тбилиси, 1990. - 15 с. (на грузинском языке).
5. Картунова З.В., Поволоцкая Н.П. Многолетний ход оптической прозрачности атмосферы в Кисловодске //Сб. докл. 2-ой межд. конф. "Состояние и охрана воздушного бассейна и водно-минеральных ресурсов курортно-рекреационных регионов". Кисловодск, 2000. С. 92–94.
6. Ландсберг Г.Е. Климат города. - Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 248 с.
7. Тлисов М.И., Хучунаев Б.М. Исследование пространственного распределения зародышей града //Тр. Всес. семин. "Активные воздействия на градовые процессы и перспективы усовершенствования льдообразующих реагентов для практики активных воздействий", Нальчик, 1989. - М.: МО Гидрометеоздата, 1991. С. 61-74.
8. Тлисов М.И., Загидулин А.А., Хучунаев Б.М., Федченко Л.М. Аппаратура, методика и результаты наземных исследований физических характеристик града // Тр. Всес.конф. "Активн. возд. на гидромет. процессы", Нальчик, 1991. - С-Пб.: Гидрометеоздат. Кн. 2, 1995. С. 24-30.
9. ФГБУ "Северо-Кавказская военизированная служба по активному воздействию на метеорологические и другие геофизические процессы"// Режим доступа: <http://www.vssk.ru/>.
10. Ферстер Э., Ренц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа. - М.: Финансы и статистика, 1983. 303 с.
11. Хайруллин К.Ш., Яковлев Б.А. Влияние урбанизации на грозы и град // Тр. ГГО. 1990. Вып. 527. С. 44-50.
12. 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, 1996. Vol. 1. P. 267-270.
13. Amiranashvili A.G., Amiranashvili V.A., Bachiashvili L.L., Bibilashvili T.N., Supatashvili G.D. Influence of the Anthropogenic Pollution of the Atmosphere and

Thunderstorms on the Precipitations Regime and their Chemical Composition in Alazani Valley Conditions // Proc. 14th Int. Conf. on Clouds and Precipitation, Bologna, Italy, 18-23 July 2004. PP. 2_3_216.1-2_3_216.2.

14. Amiranashvili A.G., Amiranashvili V.A., Gzirishvili T.G., Kharchilava J.F., Tavartkiladze K.A. /Modern Climate Change in Georgia. Radiatively Active Small Atmospheric Admixtures, Monograph, Trans. of M.Nodia Institute of Geophysics of Georgian Acad. of Sc. 2005. Vol. LIX. 128 p.

15. Amiranashvili A. Connection Between the Characteristics of Thunderstorm Activity and Air Pollution in Kakheti Region of Georgia // Proc. of IX Int. Symposium on Lightning Protection, Foz do Iguaçu, Brazil, 26-30 November 2007.

16. Amiranashvili A. Statistical Models of Connection of Lightning Activity with Aerosol Pollution of Atmosphere // Proc. of X Int. Symposium on Lightning Protection, Curitiba, Brazil, 9-13 November 2009. P. 261-266.

17. Amiranashvili A. Connection of Lightning Activity with Air Electrical Conductivity in Dusheti // Proc. of the XIth Int. Symp. of Lightning Protection, SIPDA, Fortaleza, Brazil, October 3-7, 2011. <http://ws9.iee.usp.br/>.

18. Dessens J., Fraile R., Sanchez J.L. Weekly Distribution of Hailfalls and Hailstone Size Distributions in Southwestern France // Proc.13th Int. Conf. on Clouds and Precipitation, Reno, Nevada, USA, August 14-18, 2000. Vol.2. P.1061-1064.

К ВОПРОСУ ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТАХ АКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПОГОДУ

В.И. Акселевич¹, Г.И. Мазуров², Р.Е. Торгунаков²

¹Санкт-Петербургский университет управления и экономики,

²ФГБУ «ГГО им. А.И. Воейкова», г. Санкт-Петербург

Активные воздействия (АВ) на погоду весьма разнообразны. Так, Росгидромет применяет АВ с целью сокращения ущерба от неблагоприятных явлений погоды. Основные направления работ связаны с подавлением града за счет расстрела градоопасных облаков из пушек и ракет, регулированием осадков с помощью засева облаков реагентами различных типов, организацией предупредительного спуска снежных лавин в горах, рассеянием туманов в аэропортах [8]

В работе [1] автор утверждает, что исследования, ведущиеся во всем мире в области активного воздействия на погоду, можно подразделить на

шесть основных категорий: эксперименты с целью искусственного вызывания дождя и снега, борьба с градом, предотвращение молний, активные воздействия на ураганы, рассеяние туманов и воздействия на явления погоды, вызванные «небрежной» деятельностью человека.

Согласно [6] под работами по активному воздействию на гидрометеорологические и геофизические процессы и явления понимаются sub 111111 работы, включающие в себя: защиту сельскохозяйственных растений от градобития; регулирование осадков; рассеивание туманов; предупредительный спуск снежных лавин; регулирование электрической активности атмосферы; изменение электромагнитных и иных свойств среднего и верхнего слоев атмосферы.

В работе [4] среди используемых видов АВ предлагаются:

- вызывание осадков для уменьшения последствий от засухи и уменьшения вероятности возникновения лесных пожаров;
- рассеивание низкой облачности и туманов для обеспечения безопасности, экономичности и регулярности полетов;
- создание низкой облачности и туманов для предотвращения заморозков;
- создание облаков верхнего и среднего ярусов летом и слоистообразных облаков зимой для предотвращения наступления экстремальных температур;
- переадресование сильных снегопадов и ливневых дождей в другие районы с целью уменьшения их последствий в защищаемых районах;
- предотвращение выпадения града для сохранения урожая винограда и других с/х культур;
- предотвращение гроз для уменьшения вероятности поражения электрическими зарядами взрывоопасных объектов.

В соответствии с [8] активное воздействие на гидрометеорологические процессы — это воздействие на гидрометеорологические процессы в целях их регулирования и уменьшения возможного вреда от них населению и экономике.

Согласно [9] под экологическим аспектом следует понимать любой элемент хозяйственной деятельности, который может взаимодействовать с окружающей средой.

Экологические аспекты делятся на два вида: элементы деятельности, которые оказывают прямое воздействие на окружающую среду и здоровье человека; элементы деятельности, которые оказывают косвенное воздействие на окружающую среду и здоровье человека. К экологическим аспектам, оказывающим прямое воздействие на окружающую среду и здоровье чело-

века, относятся: выбросы в атмосферу; сбросы сточных вод; образование отходов; водопотребление; аварийные разливы; прошлое загрязнение почв; шум; вибрация; электромагнитное излучение; радиоактивность; хранение сырья, материалов и реагентов, в том числе опасных.

К экологическим аспектам, оказывающим наиболее заметное косвенное воздействие на окружающую среду и здоровье человека, относятся:

- эффективность системы управления охраной окружающей среды (экологического менеджмента);
- компетентность персонала в вопросах охраны окружающей среды;
- контроль и мониторинг воздействия на окружающую среду (наличие, достаточность, качество измерительного и контролирующего оборудования);
- потребление сырья и материалов;
- потребление энергоресурсов[5].

Большое значение имеют вопросы прогноза экологических последствий в районах, где на относительно близком расстоянии от опытной территории находятся прилегающие соседние регионы [1].

Для осуществления значительного количества АВ широко используется авиация. Между тем, она является одним из важных источников загрязнения окружающей среды. В год авиация расходует около 6% мирового производства нефти [10]. Известно, что в химический состав авиационного топлива (керосина), который используется для заправки самолетов входит углерод (84 – 85%) и водород (15 –16 %) [11]. При сгорании углерод, соединяясь с кислородом, образует углекислый газ, а за счет химической реакции соединения водорода с кислородом образуется водяной пар. Так при сгорании 1 кг топлива образуется 1,4 кг водяного пара [12]. В атмосферу выбрасываются различные аэрозоли, оксиды серы и азота, а также углеводороды, включающие в себя широкий класс смесей, обычно это метан, пропан, гексан.

В случае интенсивной работы аэродрома, когда производятся частые взлеты и посадки, отмечается достаточно частое образование густых дымок и поземных туманов антропогенного происхождения. При определенных аэросиноптических условиях эти облачные образования, разрастаясь, могут существенно изменить экологическую обстановку, так как способствуют созданию условий для формирования дымок, туманов и облаков, что приводит к резкому ухудшению экологической обстановки в районе аэродрома. Это связано с тем, что распределение примесей антропогенного происхождения по высоте и в приземном слое атмосферы обладает рядом существенных особенностей по сравнению с другими слоями, так как испытывает наибольшие изменения во времени и в пространстве. Под их влиянием кон-

центрация примеси при фиксированных выбросах может изменяться в несколько раз.

Кроме того, условия возникновения антропогенных образований мало изучены и не прогнозируются традиционными способами, отчего эффект их отрицательного воздействия увеличивается.

При взлете реактивные самолеты выбрасывают большое количество (особенно в режиме форсажа) выхлопных газов, в которых кроме водяного пара, возникающего при сгорании топлива, присутствуют в виде аэрозолей продукты несгоревшего топлива (керосина), являющиеся гигроскопичными. Очевидно, что именно они способствуют преждевременной конденсации водяного пара. Причем, при взлете образуются в основном дымки, а при посадке самолета - только поземные туманы. Это объясняется тем, что определяющую роль в возникновении антропогенных образований при взлете играет турбулентность в спутном следе самолета, приводящая к интенсивному испарению с увлажненной подстилающей поверхности, а также внесение дополнительного увлажнения и ядер конденсации при выбросе газовой смеси из двигателей.

При посадке основную роль играет эффект понижения давления над крылом самолета (эффект Бернулли) и, как следствие, понижение температуры воздуха в среднем на 15 - 20°C, что приводит к конденсации водяного пара в воздухе.

Время существования таких облачных образований в зависимости от метеоусловий колеблется от 15 – 30 минут до часа и более, причем, в дневные часы оно меньше, ночью – больше. В дальнейшем вероятность возникновения облачных образований антропогенного происхождения будет возрастать в связи с планируемым переходом на топливо с повышенным содержанием водорода, когда при его сгорании будет выделяться не 1,4 кг водяного пара, а 8–10 кг [12].

Так как любой элемент деятельности хозяйствующих предприятий и организаций взаимодействует с окружающей средой, то при строительстве, реконструкции, ремонте, содержании различных типов сооружений существуют экологические аспекты, явные и скрытые, учитываемые и неучитываемые. Причем каждый аспект деятельности можно сопоставить с одним или несколькими воздействиями [9].

Возникают также вопросы, связанные с загрязнением окружающей природной среды в районе работ при применении различных кристаллизующих реагентов на основе тяжелых металлов. Поскольку все реагенты в той или иной степени нарушают естественное состояние ОПС, то желательно оценить степень подобного загрязнения.

Выпадающий зимой снег на улицах городов, как правило, высокотоксичен. По результатам исследования мартовских проб снега и льда в Санкт-Петербурге было получено, что экстремально высокие концентрации бенз(а)пирена в 72 раза превышают безопасный уровень. Также в пробах отмечено превышение безопасного содержания нефтепродуктов – в 22 раза, хлоридов – в 7 раз, свинца – в 38 раз[3].

Кроме того, для борьбы с гололедицей использовали реагент марки «Бионорд». Стандарт изготовления данного реагента допускает вариативность ингредиентов «Бионорда» от 0 до 80%. Таким образом, под определение «Бионорд» фактически подходит любая смесь любых химических или абразивных материалов в любой пропорции. Такой подход к формированию состава смеси позволяет легко изменять его себестоимость. Производителю легко увеличить свою маржу в ущерб безопасности жителей городов. Договорная цена поставляемого коммунальщикам реагента составляет 17-18 тыс. руб. за тонну, однако рыночная цена одной тонны хлорида кальция – 14 тыс. руб., а тонны мраморной крошки (компоненты «Бионорда») – 3,5 тыс. руб. за тонну. Таким образом, себестоимость самого состава может легко увеличиваться в 2 раза – от 8 до 16 тыс. руб. за тонну. Экологами установлено, что при закупке «Бионорда» заказчики получают смесь, в состав которой могут входить опасные для здоровья и экологии удобрения – хлорид калия и карбамид (мочевина). На дорогах рассыпается карбамид, который при длительном вдыхании в высоких концентрациях приводит к развитию трахеобронхита, изменениям функции печени и почек. Из-под колес автомобилей взвесь карбамида попадает в воздух, а оттуда - в легкие прохожих, прежде всего, детей [13].

Снежные заносы имеют ещё одну негативную сторону с точки зрения экологии – кроме транспортного коллапса, обильные снегопады наносят непоправимый вред многочисленным памятникам архитектуры. От невовремя убранного снега рушатся старые дома и набережные ограды. Большие снежные сугробы скрывают также груды мусора, которые по весне становятся для города настоящей катастрофой. Поэтому, уборка снега должна включать заодно и вывоз мусора.

В связи с высокой стоимостью применения абразивов и последующей очистки от них автомобильных дорог и дренажных систем, а также из-за потенциальной опасности пылевидных частиц, их применение неэффективно для защиты от обледенения. Так, гранитная крошка имеет повышенную эффективную активность природных радионуклидов. Разрушаясь при взаимодействии с колесами транспортных средств и дорожным покрытием, она образует мелкие механические фракции, в том числе пыль. Кроме того, по-

падая в ливневую канализацию, гранитная крошка значительно уменьшает ее пропускную способность. Щебень в процессе истирания колесами транспортных средств разрушается и образует мелкодисперсные взвешенные вещества, размер частиц которых меньше 10 мкм (PM-10). Эти частицы крайне опасны для людей, поскольку не выводятся из организма. Во многих российских городах весной возникает повышенная запыленность из-за применения абразивов. Многие европейские столицы до перехода на противогололедные реагенты также страдали повышенным содержанием PM-10 в конце зимы и весной, но общепринятый норматив по PM-10 в Европейском Союзе – 40 мг/м³ в год дал результат. В столице Австрии, например, потребление мелкого гранитного щебня постепенно снизилось с 20 тысяч до 3 тысяч тонн.

Поваренная соль или NaCl - это одна из наиболее распространенных природных солей. Для борьбы с зимней скользкостью на цементобетонных покрытиях, хлориды допускается применять не ранее чем через год после завершения строительства, если эти покрытия построены из смеси с воздухововлекающими добавками, и спустя три года, если без них.

Согласно комплексной почвенно-экологической оценке хлориды кальция и иные противогололедные материалы на их основе оказывают наименьшее негативное воздействие на почву и зеленые насаждения. Согласно [7] при наличии в дорожном хозяйстве ассортимента противогололедных материалов предпочтение следует отдавать хлористому кальцию, причем составы, в которые он включен, разрешается применять на металлических и железобетонных мостах.

Физико-химическое воздействие на облака может осуществляться с целью вызвать выпадение осадков из них или рассеяние без выпадения осадков, или с целью предотвратить выпадение града из облаков. В настоящее время механизм таких воздействий преимущественно сводится к изменению фазового состояния облака при «засеве» его некоторыми реагентами, в частности, твердой углекислотой и дымом иодистого серебра или иодистого свинца.

Для воздействия на теплые облака привлекаются поверхностно-активные вещества, уменьшающие поверхностное натяжение капель, что способствует их слиянию в более крупные.

В [1] получены данные об особенностях накопления реагентов в районах интенсивных АВ при многолетнем использовании иодидов свинца и серебра. Там же дана оценка предельной интенсивности АВ, приводящей к ярко выраженному загрязнению окружающей природной среды (ОПС).

Попадание противогололедных реагентов в поверхностные и грунтовые воды приводит к ухудшению качества питьевой воды, изменению условий обитания водной флоры и фауны.

Выбросы летучих органических соединений (ЛОС) на асфальтобетонных заводах, установках по приготовлению битумных эмульсий отрицательно воздействуют на людей, растительность и животный мир на прилегающих к производствам территориях. ЛОС являются одним из возможных компонентов смога.

Использование чистой воды для работ по АВ вызывает истощение природных ресурсов, в данном случае питьевой воды.

Использование электроэнергии для стимулирования процессов АВ в конечном счете приводит к увеличению вклада в глобальное потепление от электростанций и генераторов, работающих на органическом топливе, ухудшению качества воздуха.

В современных крупных промышленных и густонаселенных центрах состав воздуха существенно отличается от средней структуры атмосферы Земли. Промышленные центры и индустриальные города, образно говоря, накрыты, словно гигантским колпаком толщиной в сотни и тысячи метров, облаками из удушливого, отравленного газами и аэрозолями воздуха [2].

В отработанных газах транспортных двигателей, кроме паров воды, обнаружено более 200 химических соединений и элементов. Наиболее вредными и опасными для здоровья людей и животного мира считаются окись углерода, окислы азота, сернистые соединения и несгоревшие углеводороды[14].

Таким образом, экологические аспекты АВ на погоду весьма многообразны и разнообразны, что требует проведения тщательной экологической экспертизы перед принятием решения на их применение.

Список литературы

1. Геккиева С.О. Экологические аспекты активных воздействий на облака. Диссертация кандидата физико-математических наук: 25.00.30.- Нальчик, 2002. 137 с.

2. Губкевич Т.В. Управление затратами в условиях ресурсосберегающих технологий / Железнодорожный транспорт. 2000. №12. С. 73-75.

3. Козлов В.Н., Мазуров Г.И., Акселевич В.И. Искусственное регулирование сильных снегопадов над городами./Сборник «Радиолокационная метеорология и активные воздействия», СПб: ГГО, 2012. С. 84-97

4. . Мазуров Г.И., Акселевич В.И. Некоторые возможности локального регулирования условий погоды // Метеоспектр. 2013. №3. С. 96-103.

5. Методические указания по менеджменту экологических рисков, идентификации, определению значимости экологических аспектов деятельности. <http://www.ecoindustry.ru/user/ultra.html>

6. Приказ Минприроды России от 28 июня 2012 г. N 175"Об утверждении Административного регламента предоставления Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды государственной услуги по лицензированию работ по активному воздействию на гидрометеорологические и геофизические процессы и явления".

7. Рекомендации по обеспечению экологической безопасности в придорожной полосе при зимнем содержании автомобильных дорог (введены в действие распоряжением Минтранса России от 17.11.2003 № ИС-1007-р).

8. <http://ru.wikipedia.org/wiki/>

9. <http://www.bestpravo.ru/rossijskoje/in-praktika/c1a/index.htm>

10. <http://avia-simply.ru/>

11. <http://www.xumuk.ru/encyklopedia/1961.html>

12. <http://msd.com.ua/kotelynye-ustanovki/produkty-sgoraniya-topliva-2/>

13. <http://vchera.com/safety/> за 25.11.2011 «Дороги Петербурга посыплют... карбамидом»

14. <http://www.km.ru/referats/334422-ekologichnost-aviatsionnykh-vrd-i-biotoplivo#>

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПОГОДУ В ГОРНЫХ И ПРЕДГОРНЫХ ЗОНАХ ТУРАНА

В.П. Курбаткин

*Научно-исследовательский гидрометеорологический институт
(НИГМИ) Узгидромета, г. Ташкент*

Открытие реагентов для воздействия CO₂ (твердая углекислота) и AgJ (йодистое серебро) предопределило развитие работ по воздействию на переохлажденные облака. К настоящему моменту к ним добавился жидкий азот. Разработка других реагентов для разных видов облаков и туманов насторожила общественность в возможных воздействиях на географическую среду. Для нашего региона сезоном выпадения осадков в период октября-мая, когда выпадает до 90% осадков нормы, а средние суточные температуры воздуха лежат в диапазоне +15°C с октября и +20°C в конце сезона, в мае указанные реагенты позволяют вызывать и интенсифицировать осадки

и рассеивать значительную часть облаков. Рассмотрим их осаждение на землю.

Принцип действия твердой углекислоты и жидкого азота состоит в локальном охлаждении облачной среды и образовании зон значительного пересыщения водяного пара, в котором происходит гомогенная конденсация водяного пара и замерзание образующихся капель воды. Конечным продуктом этих реагентов является углекислый газ и газообразный азот. Жидкий азот, переходящий в газообразное состояние в атмосфере на 75% по массе, состоящей из азота, не представляет опасности. Углекислый газ, используемый в СССР при активных воздействиях, составлял 10^4 т в год, в то время как антропогенные источники давали $5 \cdot 10^9$ т в год, а природа 10^{12} т в год. При воздействии, по данным ЦАО, CO_2 рассеивается за несколько минут до естественной концентрации в атмосфере. Следует заметить, что CO_2 является побочным продуктом химической промышленности, и весь произведенный ею газ все равно рассеется в атмосфере.

Можно отметить и такой факт. Полученные в горах $12,5 \cdot 10^3 \text{ м}^3$ воды дойдут до полей в количестве 10^4 м^3 . Этой воды хватит на полив 1 га хлопчатника, на котором получим не менее 2,5 т хлопка-сырца. Это порядка 8 т сухой растительной массы хлопчатника (хлопок-сырец, стебли, корни, листья, коробочки). Сухая масса растений на 45% состоит из углерода, который получает растение из воздуха в виде CO_2 . Отсюда 1 га хлопчатника потребляет до 18 т CO_2 . Таким образом, вода, полученная с помощью CO_2 и используемая на выращивание хлопчатника, через растения очищает атмосферу.

Ввод в облако льдообразующих реагентов производится путем диспергирования или возгонки. Очевидно, что в качестве минимальной величины вещества может выступать молекула. В 1 г AgJ, исходя из массы молекулы $\sim 1,6 \cdot 10^{-22}$ г, содержится $\sim 6,4 \cdot 10^{21}$ частиц. Но действие льдообразующих реагентов требует элемента кристаллической решетки, отображающей гексогональную структуру льда, имеющую координационное число 4. Тогда ядро кристаллизации должно содержать не менее 5 молекул (на следующем этапе наращивания кристаллической решетки – 17 и т. д.). Но при этом снижается выход кристаллов. При воздействии необходимо создать условия быстрого роста кристалла в капельной среде, т. е. создать кристалл, размером приближающимся к "критическому" размеру кристалла льда. Это обеспечивает возможное существование кристалла при влажности, характерной для облачной среды, и условия относительно быстрого его роста в капельной среде. При температуре -15°C $r_{\text{крит.}} = 0,6 \cdot 10^{-6}$ см. Тогда 1 г AgJ может дать вы-

ход, равный $2 \cdot 10^{17}$ кристаллов, но технические возможности способов возгонки не позволяют получать такой выход ядер кристаллизации. В настоящее время получают 10^9 - 10^{14} частиц из 1 г AgJ, но следует заметить, что для быстрого проявления эффекта воздействия надо получить частицы, равные или больше критического размера кристалла. Тогда можно надеяться, что способ возгонки, обеспечивающий выход частиц AgJ определенного размера, даст оптимальные результаты в облаке с определенным диапазоном температур. В технических документах на пиропатроны, как правило, не указывается размер частиц AgJ, но указывается выход кристаллов на 1 г AgJ. Зная плотность AgJ, по этой информации можно рассчитать размер частиц. Нами были рассчитаны размеры частиц AgJ, возгоняемых в результате сгорания пиросоставов, указанных в [6]. Полученные величины превосходят критические размеры кристаллов при $t = -1^\circ \text{C}$ и ниже. Отсюда можно заключить, что при очень узком спектре размера частиц AgJ, образуемых при сгорании пиросостава, выход кристаллов льда не должен зависеть от температуры в облаке.

Для вызывания осадков из облачной массы площадью горизонтального сечения 1 м^2 и вертикальной протяженностью 1600 м, объем которой может в течение часа обеспечить выпадение осадков с интенсивностью 0,05-0,20 мм/ч, требуется 10^7 - 10^8 кристаллов [4,5], которые по массе составляют 10^{-2} - 10^{-6} г/м². Подобным образом можно оценить необходимое количество кристаллов для эффективного решения поставленной задачи (вызывание, интенсификация и т. п.) при активном воздействии на облака. По принятой традиции потребность реагента выражают через массу реагента на единицу пути полета (линейный, площадной источники ввода реагента) или в единицу времени (мгновенные, непрерывные источники ввода реагента).

Говоря о влиянии осадков на погодные явления для двух наиболее влагообеспеченных физико-географических районов, следует выделить лавины и оползни. Прямой связи между количеством осадков и лавинообразованием не установлено. Однако специалисты могут предвидеть их образование и бороться с ними.

По данным, предоставленным при разработке ТЭО проекта по увеличению осадков для стабилизации уровня хозяйственного водопользования Канаевым Л. А., следует отметить ряд положений, полезных при увеличении осадков в горах. Анализ условий лавинообразования в Средней Азии показывает, что практически каждый снегопад, дающий прирост снежного покрова более чем 40-50 см с вероятностью близкой к 1, приводит к образованию лавин. Была представлена таблица, в которой показаны масштабы угрозы в зависимости от прироста снежного покрова для некоторых физико-

географический районов региона. Интересен факт, что в малоснежные годы искусственное увеличение осадков будет снижать лавиноопасность. В начале зимы выпадение снега 30-40 см при последующем безосадочном периоде 3-5 дней будет способствовать уплотнению пласта снега. Этот же случай на склоне, предрасположенном к оползнию, вызовет обратный эффект.

Оползни - скользящее смещение масс горных пород вниз по склону под влиянием тяжести. В предгорной и горной частях Средней Азии они чаще всего вызываются в результате переувлажнения горных пород осадками. Оползни возникают на склонах, сложенных чередующимися водоупорными (глинистыми) и водоносными породами. Ниже будем рассматривать, в первую очередь, случай, когда водоносный слой лежит на глинистом, и частично, когда он лежит между глинистыми слоями. Как отмечено в [3], глубина залегания поверхности скольжения может быть от 1 до 20 м.

Что вызывает скольжение масс горных пород вниз по склону? Во-первых, это нарушение равновесия сил, вызванное ослаблением прочности связи между слоями пород за счет увлажнения осадками, что приводит к их утяжелению. Во-вторых, за счет увлажнения слоя сцепления слоев горных пород происходит уменьшение сил трения между слоями. Утяжеление и смачивание поверхности соприкосновения слоев чаще всего указывается при объяснении причины возникновения оползней.

Накопление осадков в почве следует ожидать в декабре-марте. Уместно напомнить, что испаряемость характеризует потери влаги с водной поверхности. Почва, в первую очередь, теряет (испаряет) влагу с верхних слоев, где имеются крупные поры. Испарение с глубины возможно при состоянии увлажнения почвы отмечаемое как капиллярная влагоемкость и выше.

Для образования оползней благоприятны осадки в виде снега. В этом случае практически исключены потери влаги на поверхностный сток и уменьшено испарение. Следует заметить, что структура и интенсивность жидких осадков в предгорьях Узбекистана не способствуют образованию поверхностного стока. Оползням благоприятствует и особенность снежного покрова в высотной зоне с характерными температурами вблизи изотермы 0°C . Для региона до 41°C ш. по данным о температуре в свободной атмосфере в январе это характерно для высот $2\pm 0,4$ км н. у. м [7]. В период декабрь-март на широте Шахрисабзса в облаках изотерма 0°C расположена примерно в этом же диапазоне высот [2]. При оттепелях снежный покров покрывается ледяной коркой, которая не пропускает длинноволновое излучение. Тогда в дневное время будет идти подтаивание снега под ледяной коркой, и вся влага будет идти на увлажнение почвы.

При малом количестве осадков в значительной части низкогорий Узбекистана для образования оползня должно идти, по возможности, полное использование атмосферных осадков на увлажнение глинистого слоя у подошвы склона до степени ее перевода в пластичное состояние, а также увлажнение грунта на стыке водоносного и водоупорного слоев горной породы. Для последнего необходимо малое количество влаги. Достаточно водяной пленки в тысячные доли миллиметра. Гораздо больше потребуется для полного увлажнения подошвенной части глинистого слоя, а это возможно при медленном стаивании снега на склоне или длительных морозящих осадках, которые в среднем наблюдаются каждый третий-пятый год. Возможность образования оползня возрастает в местах с большой площадью водосбора в районе вершины горы, с относительно высокой фильтрацией проникшей в водоносный слой влаги и ее накопление в глинистом подошвенном слое под водоносным слоем

Искусственное увеличение осадков в зависимости от пространственного и временного масштаба этого действия в природных условиях возможно может привести к изменению и других метеопараметров, что отразится на погодных условиях и явлениях и в конечном результате на климатических условиях. Дополнительное же действие на больших площадях может создать предпосылки и к изменению физико-географических ландшафтов.

В настоящее время известны проекты по увеличению осадков, которые проводятся на площадях от нескольких тысяч до десятков тысяч квадратных километров. Если же предположить, что результаты активных воздействий будут использованы для устранения дефицита влаги Средней Азии, то их надо будет проводить с целью увеличения стока основных рек Средней Азии, питающих Аральское море. В такой постановке, очевидно, воздействовать целесообразно в тот период, когда количество осадков преобладает над испаряемостью. Чаще это ноябрь - апрель, возможно октябрь - май. В целях резкого повышения рентабельности работ эти эксперименты целесообразно проводить в районах наибольшего выпадения естественных осадков. Это Западный Тянь-Шань и Южный окраинный Тянь-Шань с Западным Памиром [1], возможно, западные отроги Ферганского хребта. Воздействие предполагается осуществлять в высотных зонах указанных районов - 1000-5000 м н. у.м., которые можно подразделить на три подзоны. Первая (низовая) зона 1000-1500 м, где выпадает твердых осадков от 30 до 40% годовой нормы; среднегодовая подзона (1500-3000 м), где доля твердых осадков доходит до 75% годовой нормы; выше 3000 м над ур.м. доля твердых осадков растет, достигая 86% на уровне 3500 м и 96% - 4000 м над ур.м. В этом варианте для получения 10-20 км³ дополнительного стока надо

будет охватить активным воздействием площади 100 тыс. км². Согласно [8], работы должны проводиться в нескольких (двух-трех) провинциях, включающих 5 региональных комплексов и 2-3 подпровинции внутри Туранской географии. Таким образом, масштаб работ будет охватывать несколько региональных комплексов, представляющих вторую таксономическую ступень. Несколько таксонов этого масштаба уже представляет мезоландшафт (третью ступень - провинцию).

Климатические характеристики территорий такого масштаба позволяют рассматривать абсолютный уровень увлажнения, годовой ход температурной кривой, степень отклонения температур лета и зимы, более локально степень и длительность морозобойкости или жаропоражения. Для оценки влияния активного воздействия в таких пространственных масштабах можно воспользоваться классификацией Будыко-Григорьева.

Прежде чем рассматривать климаты по этой классификации двух мезомасштабных ландшафтов Средней Азии, дадим их общую климатическую характеристику. Западный Тянь-Шань характеризуется массивами лиственных лесов, ледниками и пятнами альпийских лужаек под линией вечных снегов. Годовые суммы осадков в Западном Тянь-Шане изменяются в значительных пределах - от 250 до 600 мм и более, местами достигают 1000-1200 мм. По данным метеостанций, расположенных в высотных зонах (600-2000 м н.у.м.), среднее годовое количество осадков составляет 500-900 мм. По классификации Будыко-Григорьева в естественных условиях по характеру увлажнения Западный Тянь-Шань относится к влажному - недостаточно увлажненному; по температурному режиму-климат теплый - умеренно теплый. Горная и высокогорная зоны заснежены. В результате активного воздействия (это следует из мирового опыта и наших оценок, а также из результатов натуральных экспериментов) на территории Средней Азии можно ожидать увеличения осадков на 10-30%. В этом случае в низкогорной части (ниже 1000 м н. у.м.) климат практически остается без изменений. Индекс сухости, меняясь (уменьшаясь), не выходит за определенный тип климата. В зоне же высот 1000 м н. у.м. возможен переход от недостаточного увлажненного типа климата к влажному. Температурные условия почвы в результате активного воздействия останутся в той же градации теплого климата. Длительное воздействие над зоной горных степей может привести к опусканию ее верхней границы и распространению здесь хвойных лесов. В районе снежников также возможно опускание зон снежников и альпийских лугов, В этой части климат изменится не только по увлажнению, но и по тепловым характеристикам (сместится в область похолодания). По нашим оценкам вертикальное смещение зон не превзойдет нескольких сот метров.

Второй ландшафт, где целесообразно проводить активное воздействие с целью увеличения осадков, как уже отмечено, есть Западный Памир. Этот район представляет чрезвычайно пересеченную местность, где преобладают скалистые хребты, и процесс почвообразования выражен слабо, а значительные площади покрыты ледниками и снежниками. Примыкающий с запада Южный окраинный Тянь-Шань в отличие от Западного Памира характеризуется более или менее сплошным почвенным покровом под сравнительно богатой субальпийской растительностью. Эта территория характеризуется годовым количеством осадков 700-1500 мм. Основные вклады дают зимне-весенние осадки. По классификации Будыко-Григорьева климат Южного окраинного Тянь-Шаня и Западного Памира по условиям увлажнения характеризуется в высокогорной части как избыточно влажный, в горной - влажный, в отдельных частях самой нижней высотной зоны (1000 м н. у.м. и ниже) недостаточно влажный. По температурным условиям лета высокогорная часть характеризуется как холодная и очень холодная, а нижняя зона теплая и очень теплая. Вся территория, за исключением зоны ледников, по температурным условиям зимы в основном относится к умеренно мягкой, но заснеженной, как Западный Тянь-Шань. При увеличении осадков на этой территории на 10-30%, так же как и на Западном Тянь-Шане, можно ожидать смещение ландшафтных поясов в районе высот 3300 и 1200-1300 м. В области этих высот следует ожидать смещения климатической границы по показателю степени увлажнения и условиям температуры теплого периода. Высотные смещения могут достигнуть 100-300 м.

Наши проработки показали, что на Западном Памире в высотной зоне ниже 800 м над ур.м. явно преобладают летние осадки и применять активное воздействие с целью получения дополнительного стока Амударьи здесь нецелесообразно, из-за возможных экологически вредных последствий (сели, оползни).

Список литературы

1. Балашова Е.Н., Житомирская О.М., Семенова О.Н. Климатическое описание республик Средней Азии. -Л.: Гидрометеиздат, 1960. 240 с.
2. Кадыров Б.Ш. Радиолокационные и термические параметры слоисто-образных облаков на севере Кашкадарьинской области // Труды САНИГМИ.- 1995.-Вып. 148(229).-С. 37-44.
3. Краткая географическая энциклопедия. Т. 3. -М.: Советская энциклопедия, 1962.
4. Курбаткин В. П. Структура слоисто-дождевого облака и взаимодействие его отдельных частей // Труды САНИГМ. 1998. Вып.154(235).С. 5-26.

5. Курбаткин В. П. Основы управления процессами в облаках при воздействии с самолета.- Ташкент, 2005. 166 с.

6. Литвинецкий А. В., Волков В. В., Серегин Ю. А. Новое поколение аппаратуры для самолетов-метеолaborаторий // Метеорология и гидрология. 1994. №3. С.103-109.

7. Ушинцева В. Ф. Пространственно-временное распределение зон введения реагента при активном воздействии на облака с целью увеличения осадков // Труды САНИИ. 1984. Вып. 100(181). С. 49-56

8. Четыркин В.М. Средняя Азия. Опыт комплексной географической характеристики и районирования // Тр. ТашГУ. 1960. Вып. 182. 238 с.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ АКУСТИЧЕСКИХ ПРОТИВОГРАДОВЫХ ПУШЕК

С.Р. Овсепян

Государственная некоммерческая организация «Служба активных воздействий на атмосферные процессы», Республика Армения, г. Ереван

В настоящее время резко усилено антропогенное воздействие на окружающую среду, растет количество промышленных предприятий, транспортных средств, электростанций разного типа. Проблемы загрязнения окружающей среды и глобального потепления являются приоритетными для всего мира.

В зависимости от условий погоды концентрация вредных веществ в воздухе может изменяться в десятки и более раз. Изменения в параметрах выбросов в зависимости от времени суток, дня недели и сезона происходит на фоне суточного и годового хода метеорологических параметров.

Традиционно одной из важнейших проблем является защита сельскохозяйственных угодий от града. Здесь одним из важных аспектов технологий защиты от града является экологическая безопасность применяемых технологий.

Загрязнение окружающей среды при использовании акустических противогорадовых пушек может быть обусловлено, прежде всего, следующими факторами:

- загрязнением атмосферного воздуха продуктами сгорания пропан-

бутановой смеси;

- шумовым загрязнением окружающей среды.

Загрязнение атмосферного воздуха газообразными выбросами обусловлено сгоранием пропан-бутановой смеси во время работы акустических противорадовых пушек.

При сгорании пропан-бутановой смеси в атмосферу выделяется углекислый газ (CO_2) и водяной пар (H_2O). Некоторые физико-химические свойства газовой смеси, употребляемой в акустических пушках, приведены в табл.1.

Проведенные экспериментальные исследования и расчеты показывают [2], что за час работы (интервал между взрывами 6 секунд) одна акустическая пушка максимально расходует 22200г. пропан-бутановой смеси. Соответственно, объем углекислого газа (CO_2), образующегося при работе акустической пушки на протяжении одного часа, составит примерно 66600г.

По статистическим данным противорадовой службы Республики Армения (РА) за последние годы число акустических противорадовых станций на территории республики возросло до 154 (табл.2), защищаемая территория составила 15400га.

Таблица 1. Физико-химические свойства газовой смеси употребляемого в акустических пушках

газ	максимальный расход газа для одного взрыва, г.	теоретически необходимое для сгорания 1 м ³ газа количество воздуха, м ³	пределы воспламеняемости в смеси с воздухом, %	температура воспламенения, °С	требуемое количество кислорода, для одного взрыва, г.	выделяется CO_2 , г.	выделяется водяной пар, г.
пропан(60%)- бутан(40%)	37	25	1,8÷9,9	+504	133,81	111,5	59,3

Двумя радиолокационными станциями МРЛ-5 с автоматизированной

системой АСУ-МРЛ на защищаемой территории за последние два года было обнаружено примерно 130 градовых процессов и соответственно были проведены работы по активным воздействиям.

Таблица 2. Максимальное количество выбросов CO₂ акустическими противогорадовыми пушками

Год	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Противогорадовые станции (шт.)	30	42	42	118	154	154
Произведенные взрывы для активных воздействий	97117	113864	119400	319330	316649	285678
Число градовых процессов	42	71	64	151	124	136
Выделенный CO ₂ , г	291351	341592	358200	957990	949947	856974

За последние два года в результате активных воздействий на градовые процессы выбросы CO₂ в атмосферу акустическими противогорадовыми пушками составили примерно 1800 кг.

По результатам экологических исследований [4], проведенных Международным энергетическим агентством в 2010 году, выбросы CO₂, приходящиеся на транспорт, составляют порядка 26 %, причем на автомобильный транспорт (легковые, грузовые автомобили, автобусы и мотоциклы) приходится 73,5 % (рис.1).

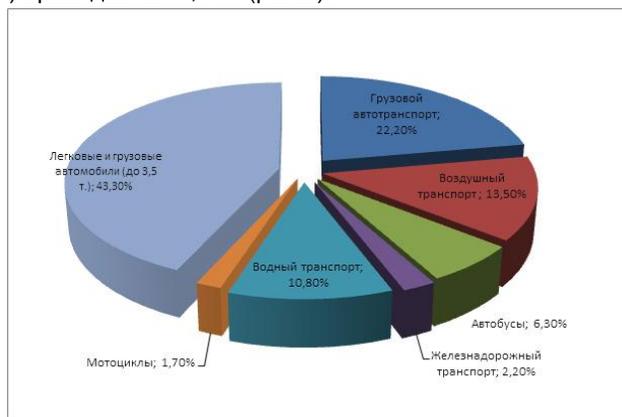


Рис.1. Структура мировых выбросов CO₂ от транспортного сектора

Для сравнения: при сгорании одного литра бензина выделяется примерно 3000 г CO₂. С выхлопами в атмосферу выбрасываются такие вред-

ные вещества, как сернистые и азотистые соединения, СО, формальдегид и т.д., что также неблагоприятно сказывается на экологии.

В качестве наглядного примера можно привести выбросы углекислого газа при потреблении в РА только минеральной воды «Джермук». Ежегодные продажи этой воды в РА составляют примерно 12.5 млн. литров, содержание СО₂ – 8 г/л. Следовательно, годовые выбросы углекислого газа только от потребления минеральной воды «Джермук» составляют в РА 100 000 000 г/год (100 000кг/год).

Из вышесказанного следует, что при проведении противоградовых работ с использованием акустических противоградовых пушек выбросы СО₂ считать фактором вредного воздействия на природную среду неприемлемо, их можно считать мизерными по сравнению с иными источниками.

Акустические противоградовые пушки неизбежно оказывают шумовое воздействие на окружающую среду [1] в результате взрыва пропан-бутановой смеси.

Защищаемая одной акустической противоградовой пушкой территория составляет примерно 80га. Бывают случаи, когда границы санитарно-защитной зоны по тем или иным причинам не соблюдаются, и противоградовые пушки устанавливаются вблизи жилых построек. Границы санитарно-защитной зоны должны селективно устанавливаться по результатам экспериментальных исследований (прямых измерений в месте расположения противоградовой пушки) или, при наличии теоретических предпосылок, соответствующих расчетов.

Чтобы уточнить границу санитарно-защитной зоны акустической противоградовой пушки нами были проведены экспериментальные исследования в ряде районов РА. При расчетном определении этих границ были учтены все источники шума, оказывающие влияние на население в зоне расположения пушки: соседние предприятия, автомагистрали, другие источники шума наземного транспорта и т.д.

Измерения уровня звукового давления проводились по мере удаления от источника звукового загрязнения до фиксации допустимого санитарными нормами уровня значения.

Продолжительность каждого измерения составляла пять минут, чтобы можно было четко определить все необходимые нормируемые параметры шума. Приведенные данные показывают (рис.2), что уровень звука в жилых помещениях от источника может достигать значительной величины. Но, в среднем, уровень звукового давления при удалении от источника звука более 700 метров снижается до 60,9 дБ. Нужно обязательно учитывать и тот факт, что измерения проводились на открытой местности, в жи-

лых помещениях уровень звукового давления будет значительно ниже.

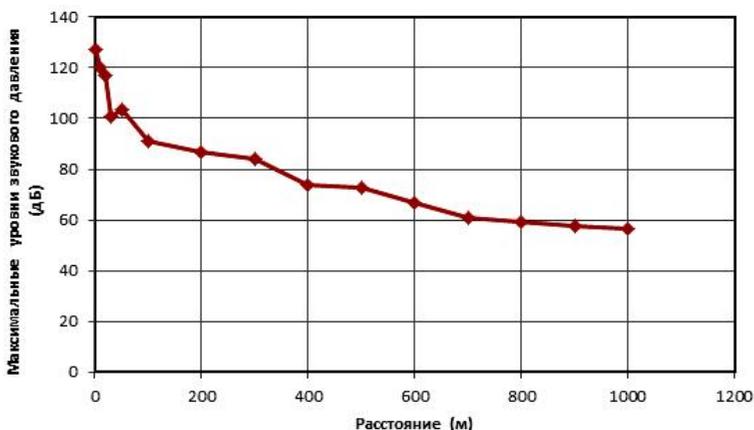


Рис.2. Максимальные уровни звукового давления при распространении на местности

Допустимые уровни звукового давления [3], эквивалентные и максимальные уровни проникающего шума в помещениях жилых и общественных зданий и шума на территории жилой застройки не должны превосходить значение 60 дБ (с 7 до 23ч), 50 дБ (с 23 до 7ч). Градовые процессы в ночное время редкое явление, они в основном бывают до 23-х ч., поэтому максимальным уровнем звука или проникающего шума можно считать 60 дБ.

Неблагополучие гигиенической ситуации, связанной с воздействием шума на территории жилой застройки, характеризуется высокими уровнями звукового давления в зонах работы акустической пушки до 700м.

Потенциальный риск для здоровья населения, обусловленный воздействием шума (до 700 м удаленности) при зарегистрированных уровнях звука, обусловлен высокой вероятностью развития неспецифических эффектов и оценивается как опасный уровень риска предъявления населением жалоб и развитием тугоухости.

Постоянное воздействие сильного шума может не только отрицательно повлиять на слух, но и вызвать другие вредные последствия - звон в ушах, головокружение, головную боль, повышение усталости. Каждый человек воспринимает шум по-разному. Многое зависит от возраста, темперамента, состояния здоровья, окружающих условий. Некоторые люди теряют слух даже после короткого воздействия шума сравнительно уменьшенной интенсивности.

Особое внимание технике безопасности должен уделять обслуживающий персонал акустических противораковых пушек во время проведения

технических работ.

Выводы

1. При проведении противогорадовых работ с использованием акустических противогорадовых пушек выбросы CO₂ нельзя считать фактором вредного воздействия на окружающую среду.
2. Основное отрицательное влияние имеет шумовое загрязнение при проведении этих противогорадовых работ.
3. Чтобы снизить потенциальный риск, связанный с шумом, граница санитарно-защитной зоны должна быть в радиусе 800 метров от противогорадовой станции.
4. Для оповещения населения станция должна быть оборудована светоизлучающей сиреной, которая включается до начала работы акустической пушки.

Список литературы

1. ГОСТ 12.1.003-83. "Шум общие требования безопасности".- Введ. 01.07.1984. Группа Т58.
2. Исследования активных воздействий на градовые процессы и разработка новых противогорадовых станций: дис. канд. техн. наук: 24.04.01 / С. Р. Овсеян. – Ереван, 2012. 157с.
3. СН 2.4/2.1.8.562-96. "Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки".- Введ. 31.10.1996, № 036.
4. International Energy Agency [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.iea.org/>. – Дата доступа: 30.04.2014.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОГНОЗА ДИНАМИКИ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЕ КБР

¹ Г.Х. Архестов, ² А.Х. Балкизова, ² А.А. Ташилова, ³ Х.М. Темирхоева,
¹Штымов А.А.

1 - ФГБОУ ВПО «Кабардино-Балкарский государственный университет»

2 - ФБГУ Высогогорный геофизический институт,

3 - ФГБОУ ВПО «Чеченский государственный университет»

Основные задачи, возникающие на пути адаптации аграрного сектора к изменению агроклиматических ресурсов территорий, были сформулированы в работе [1]:

- анализ и прогноз изменений агроклиматических ресурсов;
- определение целевых показателей развития аграрного сектора в различные моменты времени на рассматриваемом отрезке времени;
- определение комплекса мероприятий, необходимых для доведения значений урожайностей сельскохозяйственных культур, обусловленных агрометеорологическими факторами, до целевых показателей;
- определение и согласование производственно-экономических показателей аграрного сектора на различных этапах его развития.

В настоящей работе рассматривается задача прогнозирования агроклиматических ресурсов региона. Отметим, что разработке методов решения данной задачи уделяется большое внимание, и в этом направлении достигнуты определенные успехи. Исследованию зависимости урожайности сельскохозяйственных культур от агрометеорологических факторов посвящено достаточно много работ, из которых можно отметить [2,3,4]. В работе [2] для условий КБР такие зависимости для некоторых культур построены в виде аддитивных функций. В качестве агрометеорологических факторов, определяющих урожайности сельскохозяйственных культур, использовались средняя температура воздуха и количество осадков в различные сезоны года. При этом на первом этапе прогнозировались значения этих метеопараметров, затем с помощью построенных зависимостей вычислялись соответствующие им урожайности сельскохозяйственных культур. Но учет на качественном уровне взаимосвязи между агрометеорологическими факторами и урожайностью культур в этом случае встречает определенные трудности.

Следует еще отметить, что на пути прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур встречаются трудности и другого характера. Обусловлены они тем, что информация, используемая для этой цели, изменилась качественным образом. Причина заключается в том, что комплекс факторов, способствующих формированию урожаев в сельском хозяйстве нашей страны, претерпел существенные изменения: с начала 90-х годов в сельском хозяйстве нашей страны агрометеорологические условия стали основными факторами, под влиянием которых формируются урожайности культур. Об этом свидетельствуют данные таблицы 1, в которой приводятся объемы использования минеральных и органических удобрений в сельском хозяйстве КБР. Для сравнения в таблице приведены данные за 1990 г. Мож-

но заметить, что с начала 90-х годов наблюдается уменьшение быстрыми темпами количества используемых удобрений.

Таблица 1. Объемы использования минеральных и органических удобрений в сельском хозяйстве КБР.

	1990	1997	1999	2000	2004	2006	2008	2009	2010
Минеральные удобрения, кг/га	105,0	20,0	7,0	13,0	11	15	27	33	33
в % к 1990	100,0	19,0	6,7	12,4	10,5	14,3	25,7	31,4	31,4
Органические удобрения, т/га	3,1	0,9	1,0	1,0	1,0	0,5	0,1	0,1	0,1
в % к 1990	100,0	0,29	0,32	0,32	0,32	0,16	0,03	0,03	0,03

Особенно катастрофическим был 1999 г, когда на один гектар пашни было внесено в 15 раз меньше минеральных удобрений, чем в 1990г. Еще хуже, как можно заметить из таблицы, обстоит дело с использованием органических удобрений. Их использование практически свелось к нулю. Очевидно, что использование удобрений в таких объемах не приведет к какому-нибудь заметному повышению урожайности сельскохозяйственных культур. Это не только не может способствовать повышению плодородия почвы, но даже недостаточно для его сохранения. Результатом является снижение быстрыми темпами естественного плодородия почв, ухудшение их агроэкологического состояния [5]. Не лучшим образом обстоит дело и с использованием средств защиты растений от болезней и вредителей.

Такие изменения в технологии производства сельскохозяйственных культур не могли не привести к качественным изменениям временных рядов их урожайностей и, соответственно, к ухудшению информационного обеспечения задачи их прогнозирования. Об этом свидетельствуют данные об урожайности культур в сельском хозяйстве КБР на отрезке времени 1990-2004 гг., приведенные в табл.2.

Можно заметить, что изменение данного показателя на рассматриваемом отрезке времени носит достаточно сложный характер. С начала 90-х годов имело место их снижение. Урожайность зерновых, например, снизилась с 39.7 ц/га в 1990 г. до 23.0 ц/га в 2000 г. Но в последние годы появилась тенденция ее повышения: в 2009 г. она равнялась 34.5 ц/га, что ниже уровня 1990г. лишь на 6 %. Наиболее резкие колебания урожайности свойственны кукурузе на зерно. Она снижалась быстрыми темпами и составила в 2000г. 19.7 ц/га против 40.1 ц/га в 1990 г. (или 28.9% от уровня 1990г.).

Таблица 2. Урожайности сельскохозяйственных культур в КБР.

с/х культуры	ед. изм	Годы										
		1990	1991	1992	1994	1996	1997	1998	2000	2001	2002	2004
зерновые после доработки	ц/га	39,7	32,4	29,5	24,5	24,7	24,5	15,4	28,9	31,7	36	37,2
	в %к 1990	100	81,6	74,3	61,5	61,6	61,5	38,8	58	78,3	90,7	93,7
в т.ч. озимая пшеница	ц/га	43	35	27,3	29,1	26,7	24,3	18,9	25,3	30,8	32,8	32,8
	в %к 1990	100	81,4	63,5	67,7	62,1	56,5	43,9	58,8	71,6	76,3	76,3
кукуруза на зерно	ц/га	40,1	33,8	36	19,6	23	30,3	10,8	19,7	42,0	46,7	50,8
	в %к 1990	100	84,3	89,8	48,5	57,4	75,6	27,0	49,1	1,05	116,4	126,6
Подсолнечник	ц/га	41,6	12,7	9,5	9,8	7,5	5,6	6,6	6,3	8,8	10,4	11,4
	в %к 1990	100	30,5	22,8	23,6	18	13,5	15,9	15,1	21,2	25,0	27,4
Картофель	ц/га	149	126	106	107,1	91,1	93,7	93,9	114,0	130,0	143,0	153,2
	в %к 1990	100	84,6	71,1	71,9	61,1	62,9	63,0	76,5	87,2	96,0	102,8
овощи	ц/га	121	107	83	79,8	72,6	79,3	97,1	114,4	156,4	169,0	191,3
	в %к 1990	100	88,4	68,6	65,9	60	65,6	80,2	94,2	129,3	139,7	158,1

После такого неблагоприятного периода примерно с начала 2000-х годов наблюдается медленное повышение урожайности сельскохозяйственных культур. Но, как можно заметить из табл.1, такая тенденция не связана с увеличением объемов используемых в сельском хозяйстве региона удобрений, они увеличились незначительно.

Для построения зависимости урожайности культур от агрометеорологических факторов предлагается использовать данные об урожайности культур с начала 90-х годов и до начала 2000-х годов. Предполагается, что на этом отрезке времени решающую роль в формировании урожая сельскохозяйственных культур играли агрометеорологические факторы. При этом, как и в работе [2], считается, что основными агрометеорологическими фактора-

ми, определяющими урожайности сельскохозяйственных культур, являются количество осадков и средняя температура воздуха в различные сезоны года.

Зависимость урожайности озимых культур от агрометеорологических факторов будем строить в виде:

$$y = Y_0 T_b^{a_1} T_\Lambda^{a_2} e^{-\frac{T_\Lambda}{T_3}} T_0^{a_3} T_3^{a_4} (q_0 + q_3)^{b_1} (q_3 + q_b)^{b_2} (q_b + q_\Lambda)^{b_3}, \quad (1)$$

а зависимость урожайности яровых культур от этих же факторов имеет вид:

$$y = Y_0 T_b^{a_1} T_\Lambda^{a_2} e^{-\frac{T_\Lambda}{T_3}} (q_3 + q_b)^{b_1} (q_b + q_\Lambda)^{b_2}. \quad (2)$$

В этих выражениях использованы следующие обозначения: Y_0 - параметр, T_3, T_b, T_Λ, T_0 - средняя температура воздуха ($^{\circ}\text{K}$) и q_3, q_b, q_Λ, q_0 - количество осадков (мм) соответственно в зимние, весенние, летние и осенние сезоны года.

Отметим, что в реальных условиях влияние агрометеорологических факторов на урожайность сельскохозяйственных культур носит более сложный характер. Она сложным образом зависит от комбинации различных метеорологических факторов, и этот вопрос до настоящего времени нельзя считать изученным до конца.

Остановимся на использованных при записи выражений (1) и (2) предположениях. При записи выражения (1) было предположено, что озимые культуры погибают при отсутствии осадков в осенне-зимний, зимне-весенний или весенне-летний период. Таким же образом предположено, что яровые культуры погибают при отсутствии осадков в зимне-весенний или в весенне-летний период, а от количества осадков в осенние сезоны их урожайность не зависит.

Что касается зависимости урожайности культур от температуры воздуха, то она, как можно заметить, носит более сложный характер. Предположено, что для каждой культуры в летние сезоны существует оптимальная для формирования урожая температура, выше и ниже которой урожайности уменьшаются. Также предположено, что в условиях КБР повышение средней температуры воздуха в остальные сезоны года приводит к росту урожайности культур. Для построения зависимостей (1) и (2) использовались многолетние данные об урожайности сельскохозяйственных культур и метеорологических параметрах, содержащихся в этих выражениях. Отметим, что дан-

ные о метеопараметрах имеются в достаточных объемах, и их точность достаточно высокая.

Остановимся на нахождении неизвестных параметров, содержащихся в выражениях (1) и (2). Такими параметрами в этих выражениях являются $Y_0, a_1, a_2, a_3, a_4, b_1, b_2, b_3$. Для их нахождения был использован метод наименьших квадратов, т.е. они были найдены из условия минимума суммы квадратов отклонений:

$$I = \sum_{i=1}^N (\ln y_i - \ln \bar{y}_i)^2, \quad (3)$$

где \bar{y}_i - фактические значения урожайности конкретной сельскохозяйственной культуры.

Выражения вида (1) и (2) были построены для озимой пшеницы, кукурузы на зерно, подсолнечника и картофеля. При этом были использованы данные об их урожайности в сельском хозяйстве КБР и о входящих в эти выражения агрометеорологических факторах за период 1991 – 2000 гг. В таблице 3 приведены фактические \bar{y}_i и вычисленные y_i с помощью построенных моделей значения урожайности этих культур. Можно заметить, что совпадение между ними достаточно хорошее. Наибольшее отклонение y_i от \bar{y}_i для озимой пшеницы, например, составило примерно 8 ц/га (или примерно 23% от фактического значения). Примерно такая же картина наблюдается и для кукурузы на зерно: максимальное отклонение y_i от \bar{y}_i составило немногим более 8 ц/га. Хорошее согласие между этими значениями урожайности наблюдается у подсолнечника.

Таблица 3. Фактические (\bar{y}_i) и вычисленные (y_i) по формулам (2) и (3) значения урожайности культур, (ц/га)

озимая пшеница	\bar{y}_i	35	27,3	25,3	29,1	31,9	26,7	24,3	18,9	28,5
	y_i	26,4	28,0	24,8	29,2	27,2	28,1	28,9	24,5	27,1
кукуруза	\bar{y}_i	33,8	36	26,3	19,6	23,5	23	30,3	10,8	15,3

на зерно	y_i	32,5	36,8	29,6	27,9	21,2	19,7	28,8	18,3	13,5
Под-сол-нечник	$\overline{y_i}$	12,7	9,5	8,7	9,8	10	7,5	5,6	6,6	7,8
	y_i	8,5	8,5	8,9	8,5	8,5	8,0	8,5	8,5	8,3
Карто-фель	$\overline{y_i}$	106	100	107	72,9	91,1	93,7	93,9	110	114
	y_i	100,4	96,2	83,3	64,2	86,4	88,6	99,8	97,0	93,4

Можно сказать, что модели (1) и (2) достаточно хорошо описывают зависимость урожайности сельскохозяйственных культур от агрометеорологических факторов.

Обращает на себя внимание то, что разброс фактических значений урожайности сельскохозяйственных культур на рассматриваемом отрезке времени значительный, что свидетельствует о неустойчивости функционирования растениеводческой отрасли. Кроме этого, такое поведение данного показателя создает большие трудности при прогнозировании его динамики.

Остановимся на некоторых результатах прогнозирования агроклиматических ресурсов. Для этого, как было отмечено, с помощью выражений (1) и (2) необходимо вычислить значения урожайности культур, соответствующие прогнозным значениям метеопараметров. В качестве примера на рис. 1 приведены фактические и прогнозные значения количества летних осадков.

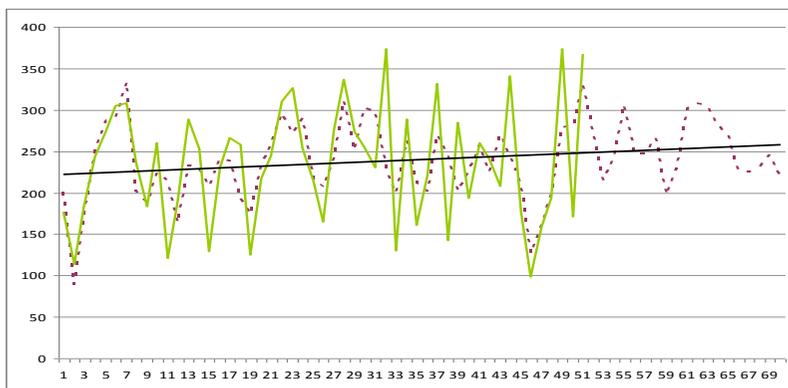


Рис. 1. Фактические (сплошная линия) и прогнозные (пунктирная линия) количества осадков в летние сезоны (начало координат совпадает с 1961 г, начало интервала упреждения - с 2012 г).

Можно заметить, что на исходном отрезке времени происходит увеличение данного метеопараметра. Количество осадков, хотя более медленными темпами, будет увеличиваться и на интервале упреждения. По результатам исследований, более быстрыми темпами оно увеличивается в осенние сезоны, а в зимние и весенние сезоны имеет место его уменьшение. Годовое количество осадков имеет тенденцию к увеличению. Что касается средней температуры воздуха, то по результатам анализа ее динамики, наблюдается повышение во все сезоны года. Но темпы ее повышения различны в различные сезоны года. Более быстрыми темпами она повышается в зимние, а затем в весенние сезоны.

На рис.2 приведены результаты прогнозирования (до 2030г.) урожайностей некоторых сельскохозяйственных культур, соответствующих линейным трендам агрометеорологических факторов на интервале упреждения (линейный тренд количества летних осадков приводится на рис.1). На рисунке можно заметить, что изменение урожайности культур на рассматриваемом отрезке времени происходит медленными темпами.

При этом имеет место незначительное повышение урожайности картофеля, оно составляет менее 1ц/га на рассматриваемом отрезке времени. Урожайности озимой пшеницы и подсолнечника практически остались без изменений. Что касается урожайности кукурузы на зерно, то в будущем, видимо, будет иметь место некоторое ее снижение, т.е. изменение агрометеорологических условий вследствие потепления климата не благоприятствуют ее повышению.

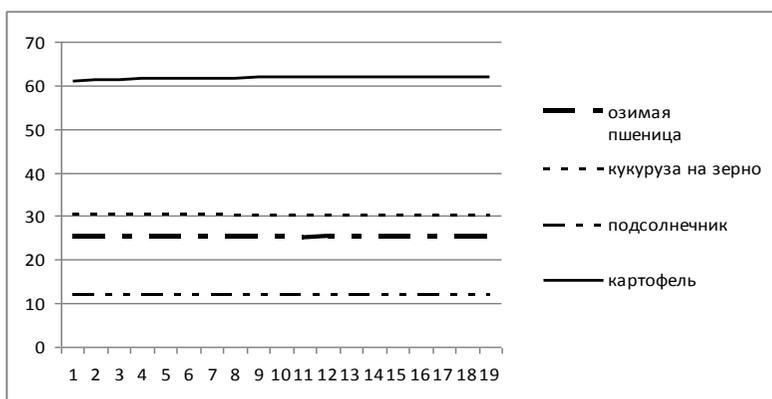


Рис. 2. Прогнозные значения урожайности культур на отрезке времени 2012 -2031 гг. (цифра 1 на оси абсцисс совпадает с 2012 г).

В целом, как показали результаты расчетов, изменение агроклиматических ресурсов региона вследствие потепления климата происходит достаточно медленными темпами и, как отмечено в [6], при сохранении такой тенденции времени для адаптации аграрного сектора к «медленным» изменениям климата будет достаточно.

Список литературы

1. Архестов Г.Х., Ташилова А.А. Задачи определения и согласования целевых индикаторов в проблеме адаптации аграрного сектора к изменению агроклиматических ресурсов региона //Известия КБНЦ РАН. 2013. Т. 1, № 6(56). С.65-71.

2. Ашабоков Б.А., Бисчоков Р.М., Жеруков Б.Х., Калов Х.М. Анализ и прогноз изменений режима осадков и температуры воздуха в различных климатических зонах Северного Кавказа. – Нальчик: Изд-во КБНЦ РАН, 2008. 182 с.

3. Дронин Н.М., Кириленко А.П. Зависимость урожаев зерновых от погодных условий в России в XX веке (1958-1990 годы)//Материалы международной научной конференции «Региональные эффекты глобальных изменений климата (причины, последствия, прогнозы)». Воронеж, 26-27 июня 2012. С. 389-392.

4. Израэль Ю.А., Сиротенко О.Д. Моделирование влияния изменений климата на продуктивность сельского хозяйства России // Метеорология и гидрология. 2003. №6. С.5-17.

5. Кумахов В.И. Генетико-экологическое обоснование воспроизводства почвенного плодородия в семигумидных и семиаридных областях Центрального Кавказа. – Нальчик: Изд-во КБГСХА, 2000. 182 с.

МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРАЕКТОРИИ РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО АГРАРНОГО СЕКТОРА С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЙ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

¹Г.Х. Архестов, ²А.Х. Балкизова, ²А.А. Ташилова, ³Х.М. Темирхоева,
¹Темботов Х.В.

¹ ФГБОУ ВПО «Кабардино-Балкарский государственный университет»

²ФБГУ Высокотемпературный геофизический институт,

³ФГБОУ ВПО «Чеченский государственный университет»

Глобальное потепление климата постепенно становится фактором, способным оказать значительное влияние на окружающую среду и на все сферы человеческой деятельности. С этим связано повышенное внимание исследователей к анализу и прогнозу последствий изменений климата, к поиску путей их снижения. Это относится и к аграрному сектору экономики, функционирование которого в значительной степени зависит от погодных условий [2,3,4]. При этом данная проблема должна быть рассмотрена с учетом взаимодействия его отраслей, что повысит его эффективность.

Обсуждая вопросы адаптации функционирования аграрного сектора к трансформации агрометеорологических условий, нельзя не отметить, что до настоящего времени существуют различные мнения о возможных последствиях изменений климата для данного сектора. Существует, например, мнение, что потепление климата, способствуя уменьшению годовой амплитуды температуры и соответственно степени континентальности климата, будет улучшать условия для сельскохозяйственного производства практически на всей территории России. Такое утверждение может оказаться справедливым, если ограничиться влиянием на аграрный сектор «медленных» изменений климата. Но следует иметь в виду, что значительными для всех сфер человеческой деятельности ожидаются последствия опасных погодных явлений, частота появления и мощность которых увеличиваются вследствие глобального потепления климата. Что касается России, то, как известно, основная часть земель сельскохозяйственного назначения расположена в зоне критического и неустойчивого земледелия, и вследствие изменений климата условия для сельскохозяйственного производства могут стать еще более тяжелыми. Нельзя еще не отметить, что в последние годы в мире наблюдается устойчивая тенденция увеличения потребности в сельскохозяйственной продукции, которая сохранится и в последующие годы. Она обусловлена многими причинами, одной из которых является рост населения Земли, который происходит преимущественно за счет населения экономически отсталых стран.

Увеличению потребности в продовольственных товарах и, тем самым, повышению интереса к поиску путей адаптации производства сельскохозяйственной продукции к изменению агрометеорологических условий будут способствовать и другие причины, включая и изменения в структуре продуктов питания населения в различных странах.

Основные задачи адаптации регионального аграрного сектора к изменениям агрометеорологических условий производства продукции можно сформулировать следующим образом:

- прогноз динамики агроклиматических ресурсов региона;

- определение целевых индикаторов развития растениеводческой отрасли в различные моменты на рассматриваемом отрезке времени;
- определение комплекса мероприятий, требующихся для доведения урожайности сельскохозяйственных культур до необходимого уровня, обусловленных агрометеорологическими условиями региона;
- определение и согласование целевых индикаторов развития регионального аграрного сектора в различные моменты времени.

В работе [2] приводится один подход к решению первой из этих задач. В настоящей работе на примере аграрного сектора Кабардино-Балкарской республики рассматриваются вторая и последняя задачи. При этом охвачен отрезок времени 2011-2030гг. С учетом нынешнего состояния аграрного сектора республики этот временной отрезок был представлен в виде трех этапов. Цель развития сектора на первом этапе, который, по нашему мнению, будет охватывать примерно пять лет, должна заключаться в восстановлении производственного потенциала. Исходя из этого, было предположено, что резкое повышение его показателей, в том числе и урожайностей культур, на этом этапе не представляется возможным. Поэтому при проведении расчетов урожайности культур на данном этапе были взяты на уровне последних лет. Таким же образом предполагается, что в конце этого этапа аграрный сектор республики будет в состоянии перерабатывать сельскохозяйственную продукцию, производящуюся в аграрном секторе, и производить продукты, которые будут указаны ниже. Таким образом, на этом этапе серьезное внимание должно быть уделено и развитию перерабатывающей отрасли.

На втором этапе предполагается формирование условий для широкого внедрения достижений научно-технического прогресса в сектор и переход к интенсивному сельскому хозяйству, в частности, должна быть создана региональная инновационная система, одним из важнейших элементов которой должна быть инновационная система аграрного сектора. Не менее важным является создание эффективной системы управления функционированием аграрного сектора, основанной на использовании современных научных методов управления [2,5]. Длительность данного этапа, по нашему мнению, составит около 10 лет.

При проведении расчетов показателей регионального аграрного сектора, соответствующих концу данного этапа, были взяты более высокие урожайности сельскохозяйственных культур, чем на первом этапе: пшеницы и зерновых – 40 ц/га, кукурузы – 60 ц/га, картофеля, сахарной свеклы и овощей – 200 ц/га, подсолнечника – 25 ц/га, фруктов – 350 ц/га, винограда – 35 ц/га, лекарственных трав - 8 ц/га. Отметим, что эти показатели вполне дос-

тижимы для природно-климатических условий нашей республики. Более того, по некоторым сельскохозяйственным культурам они уже достигнуты.

Третий этап, длительность которого, по нашему мнению, должна составлять примерно 5 лет, должен быть этапом перехода регионального аграрного сектора на устойчивый режим развития. В конце этапа должна быть сформирована система предприятий аграрного сектора с эффективной структурой и эффективной научной поддержкой. В качестве целевых индикаторов развития растениеводческой отрасли в конце этого этапа были взяты показатели отрасли передовых стран Европы. В целом показатели аграрного сектора республики должны быть на уровне современных показателей АПК этих стран. В связи с этим расчеты проводились в предположении, что урожайности сельскохозяйственных культур к 2030 г. будут равны: пшеницы – 74ц/га, ячменя – 56ц/га, кукурузы – 92ц/га, картофеля – 403ц/га, сахарной свеклы – 593ц/га, томатов – 1244ц/га, винограда – 57ц/га. Следует отметить, что эти показатели (показатели Германии) также вполне достижимы для природно-климатических и почвенных условий республики.

Входные данные модели, характеризующие ценообразование на продовольственные товары и технологию переработки сельскохозяйственных культур, были получены в результате обследования сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий, а также торговых организаций республики. При проведении расчетов было предположено, что эти данные не меняются на рассматриваемом отрезке времени. Такое предположение, хотя оно может привести к некоторому искажению результатов расчетов целевых ориентиров развития АПК, позволяет показатели аграрного сектора в различные моменты времени. Для проведения расчетов использовалась линейно-программная модель, изложенная в работе [1]. Она позволяет оптимизировать структуру товарной продукции аграрного сектора в целом с учетом взаимосвязи его отраслей. Целевая функция и система ограничений модели имеет вид:

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{ПП}} &= \sum_{j=1}^m (c_{n+j} - z_{n+j})x_{n+j} \rightarrow \max, \\ \sum_{i=1}^n x_i &\leq x_0, \\ x_i &= \alpha_i x_0, \quad (i = \overline{1, n}) \end{aligned}$$

где α_i - доля пашни, занимаемой i -ой сельскохозяйственной культурой.

$$Y_i x_i \geq v_i^{(1)} + v_i^{(2)} \quad (i = \overline{1, n}),$$

$$\sum_{i=1}^n Y_i s_i x_i \leq \Phi_0^{(1)},$$

$$\sum_{j=1}^m \alpha_{i, n+j} x_{n+j} = Y_i x_i \quad (i = \overline{1, n}),$$

$\alpha_{i, n+j}$ - затраты i -ой культуры на производство единицы продукции вида j .

$$\sum_{j=1}^m x_{n+j} z_{n+j} = \Phi_0^{(2)},$$

$$x_{n+j} \geq u_j^{(2)} \quad (j = \overline{1, m}).$$

При проведении расчетов использованы следующие обозначения:

x_1, x_2, \dots, x_{10} - площади пашни, занимаемые сельскохозяйственными культурами: озимой пшеницей (x_1), зерновыми культурами (x_2), кукурузой (x_3), подсолнечником (x_4), картофелем (x_5), сахарной свеклой (x_6), овощами (x_7), фруктами (x_8), виноградом (x_9), лекарственными травами (x_{10}). Объемы продукции перерабатывающей отрасли были обозначены через $x_{11}, x_{12}, \dots, x_{55}$. $x_{56} - x_{65}$ - финансовые затраты на переработку сельскохозяйственных культур (предположено, что лекарственные травы не перерабатываются, т.е. $x_{65} = 0$);

$x_{66} - x_{74}$ - объемы производства сельскохозяйственных культур; x_{75} - объем финансовых ресурсов, используемых для переработки сельскохозяйственных культур; x_{76} - объем финансовых ресурсов, используемых для производства сельскохозяйственных культур.

Было предположено, что перерабатывающая отрасль в состоянии производить следующие продукты:

- из пшеницы: хлеб (x_{11}), хлебобулочные изделия (x_{12}), мука (x_{13}), крупа (x_{14}), макароны (x_{15}), спирт (x_{16}), крахмал (x_{17}), кондитерские изделия (x_{18});
- из зерновых: солод (x_{19}), пиво (x_{20}), спирт (x_{21}), крупа (x_{22}), хлеб (x_{23});
- из кукурузы: мука (x_{24}), крупа (x_{25}), хлопья (x_{26}), спирт (x_{27}), крахмал (x_{28}), масло (x_{29});

- из картофеля: замороженный картофель (x_{30}), сушеная картошка (чипсы) (x_{31}), спирт (x_{32}), крахмал (x_{33}), масло (x_{34});
- из свеклы: сахар (x_{35}), консервы (x_{36});
- из овощей: соки (x_{37}), томат (x_{38}), консервы (x_{39}), косметические средства (x_{40});
- из подсолнечника: масло (x_{41}), халва (x_{42}), шрот (x_{43}), казинаки (x_{44});
- из фруктов: соки (x_{45}), джем (x_{46}), варенье (x_{47}), спирт (x_{48}), вина (x_{49}), уксус (x_{50}), сухофрукты (x_{51}), лекарства (x_{52});
- из винограда: - соки (x_{53}), вина (x_{54}), изюм (x_{55}).

Таким образом, перерабатывающая отрасль может производить 45 видов продуктов. Отметим, что перечень продуктов переработки сельскохозяйственных культур не меняется на рассматриваемом отрезке времени, т.е. не учитывается, что на этом отрезке времени могут появиться новые продукты переработки. При появлении возможности производства новой культуры или нового продукта перерабатывающей отрасли их можно добавить в модель. Анализ результатов расчетов для различных входных данных показал, что структура посевных площадей носит относительно устойчивый характер. Более чувствительной к изменениям входных данных модели оказалась структура продукции перерабатывающей отрасли. По результатам расчетов, при сделанных предположениях (перерабатывающая отрасль в состоянии производить отмеченные продукты) аграрный сектор уже на первом этапе становится прибыльным - значение целевой функции оказалось равным 8779,23 тыс. руб. (на 1000 га пашни).

Результаты расчетов (на 1000 га пашни) показателей АПК КБР на втором этапе его развития приведены в табл. 1.

Таблица 1. Производственно-экономические показатели регионального АПК на втором этапе развития (на 1000 га).

$x_1 = 358,0$	$x_2 = 200,0$	$x_3 = 148,0$	$x_4 = 141,8$
$x_5 = 3,5$	$x_6 = 53,3$	$x_7 = 30,0$	$x_8 = 0,25$
$x_9 = 33,03$	$x_{10} = 0,5$	$x_{11} = 877,0$	$x_{12} = 14,0$
$x_{13} = 1087,8$	$x_{14} = 0,0$	$x_{15} = 17,0$	$x_{16} = 21,0$
$x_{17} = 15,0$	$x_{18} = 17,0$	$x_{19} = 190,31$	$x_{20} = 0,0$
$x_{21} = 0,0$	$x_{22} = 10,0$	$x_{23} = 0,0$	$x_{24} = 7,7$
$x_{25} = 10,0$	$x_{26} = 10,0$	$x_{27} = 12,0$	$x_{28} = 10,0$
$x_{29} = 9,44$	$x_{30} = 0,0$	$x_{31} = 75,1$	$x_{32} = 0,0$
$x_{33} = 10,0$	$x_{34} = 0,0$	$x_{35} = 10,0$	$x_{36} = 0,0$
$x_{37} = 10,0$	$x_{38} = 10,0$	$x_{39} = 207,5$	$x_{40} = 10,0$
$x_{41} = 30$	$x_{42} = 10,0$	$x_{43} = 28,6$	$x_{44} = 10,0$
$x_{45} = 14,7$	$x_{46} = 0,0$	$x_{47} = 10,0$	$x_{48} = 0,0$
$x_{49} = 2,1$	$x_{50} = 10$	$x_{51} = 10$	$x_{52} = 10$

$x_{53} = 10,0$	$x_{54} = 3,2258$	$x_{55} = 10,0$	$x_{56} = 8235,5$
$x_{57} = 2000,0$	$x_{58} = 463,3$	$x_{59} = 55701,8$	$x_{60} = 200,0$
$x_{61} = 1866,7$	$x_{62} = 9163,1$	$x_{63} = 264,3$	$x_{64} = 600,0$
$x_{65} = 2117,5$	$x_{66} = 1450,3$	$x_{67} = 286,8$	$x_{68} = 300,0$
$x_{69} = 1627,6$	$x_{70} = 70,0$	$x_{71} = 480,0$	$x_{72} = 52,3$
$x_{73} = 10,0$	$x_{74} = 106,0$	$x_{75} = 78164,8$	$x_{76} = 40000$

На этом этапе, как было отмечено, урожайности культур были выше, чем на первом. Кроме этого имело место увеличение финансовых ресурсов, используемых в отрасли для производства продукции. Изменилась и величина прибыли агропромышленного комплекса: она увеличилась более чем на 360 тыс. руб. и стала равной 9125,7 тыс. руб. Исследовалось также влияние вариации входных данных модели на результаты расчетов. Оказалось, что они достаточно чувствительны к изменению объемов финансовых ресурсов отраслей АПК. К их изменению чувствительны все показатели отрасли: структура посевных площадей, структура продукции перерабатывающей отрасли, распределение финансовых ресурсов между производственными направлениями и другие. Зависит от этого и эффективность функционирования АПК.

Результаты расчетов этих же показателей отраслей на третьем этапе развития АПК приведены в табл.2. Анализ полученных результатов (значения переменных x_1, x_2, \dots, x_{10}) показывает, что и в будущем в сельском хозяйстве республики будут производиться все отмеченные культуры. Из них наибольшую площадь в структуре посевных площадей занимает пшеница, затем следуют зерновые культуры, картофель и кукуруза, что примерно совпадает с существующей в настоящее время структурой посевных площадей. Из таблиц можно заметить, что некоторые виды продуктов производятся перерабатывающей отраслью в незначительных объемах, а другие вообще не производятся.

Это указывает на нецелесообразность их производства с экономической точки зрения. Таким образом, в результате расчетов получаются наиболее эффективные с точки зрения используемой целевой функции структуры продукции растениеводческой и перерабатывающей отраслей АПК. Затраты на переработку сельскохозяйственных культур различны, зависят они от структуры продуктов переработки, которая с течением времени может претерпевать существенные изменения. В целом функционирование перерабатывающей отрасли требует больше финансовых ресурсов, чем функционирование сельского хозяйства: 80111,8 и 25462,7 тыс. руб. на 1000 га пашни. Что касается величины прибыли (значения целевой функции), то на третьем

этапе наблюдается ее увеличение. По сравнению с ее значением на первом этапе, она увеличилась более чем в два раза: 19096,6 тыс. руб. против 8779,23 тыс. руб. В пересчете на всю площадь пашни (200 тыс. га) она принимала на этих этапах значения: 3820,0 и 1756,0 млн. руб.

Таблица 2. Производственно-экономические показатели регионального АПК на третьем этапе развития

$x_1 = 364,0$	$x_2 = 200,0$	$x_3 = 143,0$	$x_4 = 147,8$
$x_5 = 3,5$	$x_6 = 40,0$	$x_7 = 38,0$	$x_8 = 0,25$
$x_9 = 33,0$	$x_{10} = 0,5$	$x_{11} = 877,0$	$x_{12} = 14,0$
$x_{13} = 1370,0$	$x_{14} = 0,0$	$x_{15} = 10,0$	$x_{16} = 21,0$
$x_{17} = 15,0$	$x_{18} = 10,0$	$x_{19} = 190,31$	$x_{20} = 10,0$
$x_{21} = 10,0$	$x_{22} = 10$	$x_{23} = 165,0$	$x_{24} = 10,0$
$x_{25} = 12,0$	$x_{26} = 10,0$	$x_{27} = 21,0$	$x_{28} = 19,0$
$x_{29} = 6,44$	$x_{30} = 0,0$	$x_{31} = 215,4$	$x_{32} = 0,0$
$x_{33} = 14,0$	$x_{34} = 0,0$	$x_{35} = 115,0$	$x_{36} = 0,0$
$x_{37} = 141,7$	$x_{38} = 310,0$	$x_{39} = 10,0$	$x_{40} = 31,0$
$x_{41} = 30$	$x_{42} = 10,0$	$x_{43} = 949,2$	$x_{44} = 10,0$
$x_{45} = 14,7$	$x_{46} = 0,0$	$x_{47} = 10,0$	$x_{48} = 0,0$
$x_{49} = 2,1$	$x_{50} = 10$	$x_{51} = 10$	$x_{52} = 10$
$x_{53} = 10,0$	$x_{54} = 31,0$	$x_{55} = 10,0$	$x_{56} = 53310,7$
$x_{57} = 2000,0$	$x_{58} = 463,3$	$x_{59} = 4507,7$	$x_{60} = 2300,0$
$x_{61} = 1866,7$	$x_{62} = 13809,9$	$x_{63} = 1264,3$	$x_{64} = 600,0$
$x_{65} = 2117,5$	$x_{66} = 2478,2$	$x_{67} = 300,0$	$x_{68} = 1053,2$
$x_{69} = 200,0$	$x_{70} = 974,0$	$x_{71} = 4140,0$	$x_{72} = 300,0$
$x_{73} = 20,0$	$x_{74} = 186,0$	$x_{75} = 80111,8$	$x_{76} = 25462,7$

Остановимся на сравнительном анализе валового объема производства некоторых культур на различных этапах. В табл.3 приведены объемы их производства в конце второго и третьего этапов развития АПК и для сравнения - фактические объемы производства в 2011 г.

Таблица 3. Валовой сбор сельскохозяйственных культур в 2011 г. и на различных этапах

Культура (тыс.т.)	2011г.	второй этап	2030г.
Пшеница	245,7	283,1	693,6
2. Зерновые (без пшеницы и кукурузы)	99,4	160,0	224,0
3. Кукуруза	415,7	321,0	263,15
4. Картофель	238,8	256,0	270,0
5. Овощи	346,2	357,6	945,4
6. Подсолнечник	45,6	49,1	58,8

Можно заметить, что производство всех видов культур с течением времени увеличивается. Производство пшеницы в 2030 г., например, должно

увеличиться более чем в два раза по сравнению с 2011 г. В денежном выражении (в ценах 2011г.) суммарные валовые сборы сельскохозяйственных культур получают равными: 17075,7 млн. руб. в 2030 г. и 4177,0 млн. руб. в 2011 г. Имеет место примерно четырехкратное увеличение данного показателя. Отметим еще, что результаты расчетов можно использовать для формирования системы перерабатывающих предприятий регионального аграрного сектора. При определении распределения перерабатывающих предприятий по территории республики необходимо учитывать наличие условий для их функционирования: объемы производства сельскохозяйственных культур в том или ином районе, наличие трудовых ресурсов, состояние инфраструктуры и другие.

Список литературы

1. Ашабоков Б.А., Балева Л.М., Таучев З.О. О модели согласования и прогнозирования производственно-экономических показателей агропромышленного комплекса и некоторых результатах расчетов // Финансовая аналитика: проблемы и решения. 2011. 24(66). С.67-71.
2. Ашабоков Б.А., Бисчоков Р.М., Жеруков Б.Х., Калов Х.М. Анализ и прогноз изменений режима осадков и температуры воздуха в различных климатических зонах Северного Кавказа. – Нальчик: Изд-во КБНЦ РАН. 2008. 182 с.
3. Дронин Н.М., Кириленко А.П. Зависимость урожаев зерновых от погодных условий в России в XX веке (1958-1990 годы) / Материалы международной научной конференции «Региональные эффекты глобальных изменений климата (причины, последствия, прогнозы)». - Воронеж, 26-27 июня 2012 г. С. 389-392.
4. Клещенко А.Д., Долгий-Трач В.А. Агрометеорологический мониторинг - стратегия развития// Метеорология и гидрология. 2011. № 7. С. 96-105.
5. Храбсков Е. Управление производством зерна с учетом рисков // АПК: экономика, управление. 2011. № 2. С. 26-30.