

**ЦЕНТР ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ ПРИ КАБИНЕТЕ
МИНИСТРОВ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН (УЗГИДРОМЕТ)**

**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ (НИГМИ)**

**На правах рукописи
УДК 551.509.8+551.**

КАМАЛОВ БАХОДИР АСАМОВИЧ

**ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПОГОДУ В УЗБЕКИСТАНЕ
И ЕГО УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ**

**Специальность: 11.00.09-Метеорология, климатология,
агрометеорология**

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
доктора географических наук**

Ташкент - 2006

Общая характеристика работы

Актуальность работы. Человек оказывает воздействие на погоду и климат двояко - непреднамеренно, т.е. создавая и улучшая условия своей жизни и преднамеренно - воздействуя непосредственно на погодные условия. Непреднамеренное воздействие на природные условия своего существования он начал оказывать ещё тогда, когда научился строить себе специальные укрытия – жильё, разводить огонь, пахать землю, выращивать сельскохозяйственную продукцию. В последующем рост населения, урбанизация, мелиорация и развитие промышленности резко усилили влияние человека на природу. В настоящее время многие ученые считают, что увеличение количества углекислого газа и других малых примесей в атмосфере в результате хозяйственной деятельности человека, производства энергии, увеличения массы антропогенного аэрозоля в атмосфере, орошения, строительства водохранилищ и др. привели к наблюдаемому потеплению климата, т.е. оно является делом рук человеческих.

Что касается преднамеренного воздействия человека на погоду, то здесь его возможности остаются крайне ограниченными. Даже сегодня только лишь внутри современных зданий, оборудованных кондиционерами, мы можем создать почти полностью контролируемые искусственные условия. За их пределами человек пока лишён этой возможности. В этом отношении несколько обособленное положение занимает физика облаков и активных воздействий на них.

В последние 60 лет активно проводятся научные и опытные работы по воздействию на гидрометеорологические процессы, связанные с облаками. Поэтому роль физики облаков, как отрасли современной науки, в развитии общества резко возросла. Это было связано также с необходимостью решения многих задач метеорологии, гидрологии, авиации, экологии, сельского хозяйства, предотвращения опасных стихийных явлений, опустынивания, глобального потепления и др.

Основной причиной большого интереса к облакам и осадкам заключается в том, что в результате достижений физики облаков в предыдущем столетии стала реальной возможность искусственного управления процессами, происходящими в них. Решение некоторых из них сегодня, можно сказать, вышли на прикладные рубежи. В настоящее время в более чем 30 странах мира проводятся работы по преднамеренному воздействию на погоду. Это вызывание и интенсификация осадков в нужных районах, рассеивание облаков и туманов при необходимости, ослабления градобитий с целью уменьшения ущерба, наносимого градом сельскохозяйственным культурам, профилактическое обрушение лавин и др.

Однако, в настоящее время наряду с успехами физики облаков, достигнутыми за последние 60 лет, многие её вопросы остаются нерешенными. Это в первую очередь касается микрофизики и термодинамики грозо-градовых процессов из-за отсутствия возможности проведения непосредственных экспериментов. В результате спорными остаются механизм воздействия на них, определения области внесения реагента, оценка результатов, выбор наиболее целесообразных ситуаций для воздействия и др. В практике градозащиты нередки случаи пропуска града при выполнении всех требований соответствующих регламентирующих инструкций. Поэтому в настоящее время одной из главных, наиболее актуальных задач физики облаков и воздействий на погоду являются усовершенствование существующих и разработка новых – более эффективных и научно – обоснованных способов управления процессами облако - и осадкообразования на основе накопленного опыта по засеву облаков за многолетний период.

Степень изученности проблемы. Развитие активных воздействий на погоду, как науки, связано с именами Ж. Ленгмюра, В. Шефера, Х. Вейкмана, Ф. Лудлама, Х. Дессенса, В. Я. Никандрова, Н. С. Шишкина, А. П. Чуваева, Г.К.Сулаквалидзе, И. И. Гайворонского, А. И. Карцивадзе, М. А. Петросянца, Ю.С. Седунова, М. П. Леонова, Г. Ф. Приходько, А. Денниса, Л. Г. Качурина, В.Г.Хоргуани, Н.Ш. Бибилашвили, М.Т.Абшаева, Ю.А.Серёгина, А.А. Черникова, А. Д. Джураева, В. П. Курбаткина и др. Ими были заложены основы современных способов засева облаков с целью получения дополнительных осадков, предотвращения градобитий, рассеяния облаков и туманов. В изучение лавин значительный вклад внесли Г. К. Тушинский, Г. К. Сулаквелидзе, А. К. Дюнин, В. Н. Аккуратов, М.Ч. Залиханов, К.Ф. Войтковский, К.С. Лосев, Ю. Д. Москалев, Л. А. Канаев и др. В результате были разработаны различные методы борьбы с лавинами и внедрены в практику.

Воздействия на гидрометеорологические процессы в Узбекистане были начаты в конце 20-ых годов предыдущего столетия с целью получения дополнительного стока путем разрыхления льда ледников, что увеличивает площадь таяния. В 30-ые годы в Ташкенте под руководством Е.А. Чернявского проводились исследования по оценке влияния радиоактивных веществ на процессы конденсации. Е. З. Пашинским под руководством И. Г. Лютерштейна были выполнены работы по созданию камеры искусственного климата. В конце сороковых годов А. Д. Джураевым проводились работы по исследованию микроструктуры облаков.

Непосредственные работы по засеву облаков учеными Узбекистана были начаты в 1963-1964 годах с целью предотвращения града в Чустском тумане Узбекистана и Гиссарской долине Таджикистана, увеличения осадков – в Пскемской долине Узбекистана. Проекты их были разработаны М.А.Петросянцем, А.Д. Джураевым и А.И. Неушкиным при участии И.И.Гайворонского. В реализации проектов и анализе их результатов, кроме них, активно участвовали Т.А. Абдумаликов, Л.Н. Боровикова, Н.Н. Бутов, Е.И. Данов, В. П. Курбаткин, В. Ф. Ушинцева и др. Результаты их были обнадеживающими и стали основой для принятия Правительством Узбекистана Постановления №371 от 2 августа 1968 г. «О мерах по организации в Узбекистане опытно-производственных работ по защите сельскохозяйственных культур от градобитий», которое дало большой толчок в развитие активных воздействий на погоду и радиолокационных исследований облаков в Узбекистане.

В 1969 г. была начата защита сельскохозяйственных культур от градобитий Чустского тумана Наманганского вилоята, которая дала высокую экономическую эффективность (Н.Н. Бутов, А.Д. Джураев, В.А. Ельцов, Б.А. Камалов). В результате градозащита быстро начала распространяться на градоопасные территории Сурхандарьинского (1977), Кашкадарьинского (1979), Андижанского(1981) и Самаркандского (1983) вилоятов, где она проводится по настоящее время.

Работы по увеличению осадков после Пскемского эксперимента проводились в Кашкадарьинской долине в 1985-91 годах, в долине р. Чирчик в зиму 1989-90 г. и на севере Ферганской долины – в зиме 1990-91 г. Также проводятся работы по рассеянию облаков и предупредительному спуску снежных лавин. Все эти работы показали значительную эффективность.

Однако, до настоящего времени в международном плане не существует однозначного мнения по вопросу засева облаков. В заявлениях ВМО отмечаются неубедительность доказательств увеличения осадков при засеве и недостаточность знаний для уверенного определения эффекта засева градоопасных облаков. Из-за

невозможности проведения прямых экспериментов нерешены многие вопросы физики облачных процессов, взаимодействия засеваемого реагента с облачной средой. Решения их в настоящее время находятся на гипотетическом уровне. Кроме того в Средней Азии засев облаков осуществляется при большой запыленности атмосферы и это не учитывается в применяемых способах воздействия на погоду.

Связь диссертационной работы с тематическими планами НИР. Результаты исследований по теме диссертации получены автором в производственном подразделении Узгидромета, в последующем переданном в состав Министерства обороны, большей частью выполнены по производственной необходимости, а также при выполнении НИР №IV.27в.10 «Оценить влияние противорадовой защиты на режим осадков охраняемых территорий», (1980). Работа проводилась в соответствии с Государственной научно-технической программой ГНТП–7 «Решение проблем охраны окружающей среды, устойчивого природопользования и обеспечения экологической безопасности» по её разделам «Совершенствование системы использования и управления водными ресурсами всех видов, позволяющих устойчивому развитию народного хозяйства в условиях дефицита водных ресурсов и ухудшения их качества» и «Прогноз геолого-экологического состояния окружающей среды, оценка риска и возможного ущерба при природных и техногенных катастрофах (землетрясение, оползневые и селевые явления, наводнения, террористические акты и др.) и разработка мер по их уменьшению».

Целью настоящей работы являются исследование результатов многолетних опытов по воздействию на гидрометеорологические процессы в Узбекистане и на их основе усовершенствование существующих и разработка новых, более эффективных и научно обоснованных способов в условиях повышенной концентрации пыли, поскольку существующие способы не учитывают эту региональную особенность Центральной Азии.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие **основные задачи:**

- изучить результаты многолетних опытов по воздействию на гидрометеорологические процессы с целью ослабления градобитий, увеличения осадков, рассеяния облаков и предупредительного спуска снежных лавин, проведенных в Узбекистане;
- разработать методику оценки эффекта воздействий на гидрометеорологические процессы;
- исследовать механизм воздействия на градовые процессы путем засева облаков в условиях высокой концентрации аэрозолей;
- разработать или усовершенствовать метод воздействия на градовые процессы применительно к условиям Средней Азии;
- составить техническое задание на разработку противорадовой ракеты применительно к условиям и современному состоянию экономики Узбекистана;
- изучить развитие конвективных облаков на основе радиолокационных наблюдений;
- оценить влияние засева облаков с целью ослабления градобитий на режим осадков;
- изучить обеспеченность растениеводства водой при существующем внутригодовом распределении стока рек;
- разработать рекомендации по повышению соответствия внутригодового распределения стока рек к потребностям в воде;
- изучить условия осадкообразования в пустынных и припустынных районах;

- разработать предложения по ослаблению опустынивания.

Исходная информация и методы исследования выбирались в соответствии с поставленными задачами и имеющимися данными по воздействию на гидрометеорологические процессы в Узбекистане, собранными в период с 1969 г. по настоящее время под руководством и при участии автора. Сопоставимость и однородность данных обеспечивались тем, что их измерения производились в строгом соответствии с действующими нормативными документами, регламентирующими их производство.

В Узбекистане работы по воздействию на погоду были начаты в 1963 г. с целью увеличения осадков, а в 1964 г. с целью ослабления градового процесса. Их итоги послужили основой для принятия Постановления правительства Узбекистана № 371 от 2 августа 1968 г. «О мерах по организации в Узбекистане опытно - производственных работ по защите сельскохозяйственных культур от градобитий». В результате в 1969 г. были начаты опытно-производственные работы по засеву градоопасных облаков в Чустском тумане Наманганского вилоята, в 1971 г. в Янгикурганском и Чартакском туманах, в 1974 г. в Касансайском тумане этого же вилоята. В 1977 г. градозащита была организована в Узунском и Сарыасийском туманах Сурхандарьинского вилоята, в 1979 г. – в Шахрисабзском, Китабском и Яккабагском туманах Кашкадарьинского вилоята, в 1981 г. – в Джалалкудукском и Кургантепинском туманах Андижанского вилоята, в 1983 г. – в Самаркандском и Тайлакском туманах Самаркандского вилоята. В этом же году были начаты работы по предупредительному спуску снежных лавин в урочище Чимган Ташкентского вилоята, в 1985 г. – работы по искусственному увеличению осадков в предгорной зоне восточной части Кашкадарьинского вилоята.

Все эти подразделения были оснащены современным оборудованием – радиолокационными станциями, средствами связи, ракетно-артиллерийской техникой. Радиолокаторы, впоследствии оснащенные автоматическими системами управления, во многом способствовали развитию радиолокационной метеорологии в Узбекистане. Наблюдения с их помощью позволили накопить огромный материал об образовании и развитии облаков в виде большого числа их радиолокационных характеристик. Они в совокупности с данными по засеву облаков и другими гидрометеорологическими сведениями легли в основу настоящей работы.

Главным методом исследования служил анализ результатов воздействия на гидрометеорологические процессы, который является особым способом познания законов развития этих процессов. Реакция их на воздействие в случаях контролируемости проведённых опытов в совокупности с научным анализом позволяет определить правильность наших представлений, положенных в основу градозащиты, регулирования осадков, рассеяния туманов и облаков и др. Также в работе использовались способы исторической и географической аналогии, методы математической статистики, результаты физических и химических анализов.

Некоторые аспекты проблемы воздействий на погоду автором рассматриваются с использованием специально разработанных методов.

Научно-методической основой работы явились закономерности и теоретические положения, отраженные в фундаментальных исследованиях по метеорологии, физики облаков, осадков и активных воздействий на них, физической географии и др.

Научная новизна полученных результатов заключается в том, что в диссертации:
- впервые изучено с составлением карты распределение градовых явлений по территории Узбекистана;

- дано новое определение термина «град», исходящее из физики его образования;
- изучены результаты многолетних опытов по воздействию на гидрометеорологические процессы в Узбекистане с выявлением их недостатков методического характера;
- разработаны новые варианты методов оценки эффективности воздействий на облака;
- выявлен новый механизм воздействия на облака, заключающийся в усилении коагуляционного роста частиц при засеве AgI;
- усовершенствован действующий метод воздействия на градовые процессы путем ограничения площадки засева в пределах радиолокационной отражаемости $\eta_{10}=10^{-12} \text{ см}^{-1}$, исключения Сб с $\eta_{10}<10^{-9} \text{ см}^{-1}$ из числа засеваемых с целью градозащиты и внесения изменений в порядок засева облаков высокой градоопасности (III и IV категорий);
- разработан новый метод воздействия на градовые процессы применительно к условиям высокой концентрации аэрозолей с составлением технических требований на разработку соответствующего противоголового изделия;
- оценено влияние работ по защите сельскохозяйственных культур от градобитий на режим осадков в условиях Узбекистана, результаты которого указывают на необходимость усиления мероприятий по засеву конвективных облаков с целью увеличения осадков;
- даны рекомендации по повышению соответствия внутригодового распределения стока рек к потребностям в воде;
- изучены особенности осадкообразования в пустынных и припустынных районах и на их основе даны рекомендации по ослаблению опустынивания.

Защищаемые положения:

1. Результаты исследований распределения градовых явлений по территории Узбекистана, многолетних опытов по воздействию на гидрометеорологические процессы и реакции облаков на их засев с разработкой новых вариантов методов оценки эффективности воздействий на облака с целью ослабления градобитий и увеличения осадков.

2. Результаты исследований условий осадкообразования в пустынных районах, выявление причин опустынивания и рекомендации по его ослаблению.

3. Оценка влияния противоголового работ на режим осадков в Узбекистане и обоснование необходимости усиления мероприятий по засеву конвективных облаков с целью увеличения из них осадков.

4. Рекомендации по повышению соответствия внутригодового распределения стока рек к потребностям в воде путем увеличения осадков в высокогорных частях водосборов рек.

5. Усовершенствование действующего способа засева градоопасных облаков и новый метод воздействия на градовые процессы применительно к условиям высокой запылённости атмосферы.

Личный вклад автора состоит в постановке задач, определении путей и способов их решения, обосновании и разработке специальных методов исследования, обработке экспериментальных материалов, обобщении полученных результатов, составлении технических и научно-исследовательских отчетов по активным воздействиям на погоду в Узбекистане. Все опытно-производственные работы по воздействию на гидрометеорологические процессы в Узбекистане с 1969 по 1998 год проводились под руководством автора; анализ полученных результатов, подготовка материалов к изданию также выполнялись диссертантом. Начиная с 1998 г. по настоящее время

анализ и обобщение результатов противоградовых работ, и составление годовых отчетов по ним осуществляется ежегодно автором.

Часть исследований выполнена в сотрудничестве с другими авторами. В таких случаях, за исключением работ [16,23,63,117,118,120,162,163,165, 292,302], обобщение материалов и написание текста выполнены диссертантом. Во всех случаях выполнения работ с соавторами участие каждого оговорено и даны ссылки на совместные публикации.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Выполненные исследования обусловлены научной и практической необходимостью в обобщении и оценке современного состояния воздействий на гидрометеорологические процессы в Узбекистане, выявлении причин неудачных опытов, особенно при засевах градоопасных облаков. В результате:

- даны рекомендации по усовершенствованию методики воздействия на градоопасные облака в виде сокращения площади введения реагента, исключения облаков I категории (первое радиоэхо), а также облаков, имеющих радиолокационную отражаемость $\eta < 1,0 \cdot 10^{-9} \text{ см}^{-1}$ из числа объектов воздействия с целью градозащиты;
- разработан новый метод воздействия на градовые процессы применительно к условиям высокой концентрации аэрозолей;
- составлены технические требования на разработку нового противоградового изделия с новым (природным) реагентом применительно к условиям Узбекистана;
- даны рекомендации по увеличению осадков в пустынных и припустынных районах и по ослаблению опустынивания путём уменьшения концентрации аэрозолей в атмосфере;
- предлагается проведение работ по искусственному увеличению осадков и созданию скоплений снега путем засева облаков и искусственного обрушения снежных лавин в высокогорных частях бассейнов рек с целью увеличения стока и повышения соответствия внутригодового распределения стока рек к потребностям в воде.

Результаты исследований распределения града по Узбекистану должны быть учтены при планировании размещения сельскохозяйственных культур с учетом их толерантности к градобитиям.

Новшества, внесенные в методику засева градоопасных облаков позволяют экономить противоградовые изделия. Рекомендации по увеличению осадков призваны решить проблемы комплексной стратегии управления водными ресурсами, способствующей устойчивому социально-экономическому развитию Узбекистана в XXI веке.

Реализация результатов. По результатам исследования написаны монография, инструкция по воздействию на градовые процессы и 2 методические рекомендации. Инструкция «Дулли жараёнларга таъсир этиш буйича кулланма» является основным документом для проведения засева облаков с целью защиты сельскохозяйственных культур. «Методические рекомендации по усовершенствованию засева градоопасных облаков» и «Методические рекомендации по определению эффективности противоградовых работ» внедрены в практику противоградовых подразделений Узбекистана. Имеются 4 акта внедрения.

Монография «Узбекистонда об-хавога таъсир этиш» используется при подготовке дисциплин по метеорологии и геофизике в ВУЗах как дополнение к учебникам «Общее землеведение» и «Метеорология и климатология» (имеется 1 акт внедрения), кадров для работы в ВУ ВГМП (1 акт внедрения).

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертации докладывались или были представлены на: VI научной конференции студентов вузов Средней Азии и Казахстана (Фрунзе, 1963); Заседаниях Ученого Совета, семинара по физике облаков и активным воздействиям, итоговых сессиях Научно-исследовательского гидрометеорологического института Узгидромета; Ежегодных всесоюзных совещаниях по результатам активных воздействий на гидрометеорологические процессы (с 1969 по 1991 год); Всесоюзной конференции молодых ученых и специалистов гидрометеослужбы (Москва, 1970); Конференции молодых ученых и специалистов гидрометеослужб Средней Азии и Казахстана (Ташкент, 1974); Всесоюзной конференции по физике облаков и активным воздействиям на них (Обнинск, 1979); VI Всесоюзном совещании по радиометеорологии (Таллинн, 1982); Международной конференции по борьбе с градом (Болгария, София, 1982); Всесоюзном семинаре по физике облаков и активным воздействиям на градовые процессы (Нальчик, 1983); Всесоюзном семинаре по физике образования градовых процессов и активным воздействиям на них (Нальчик, 1985); Совещании-семинаре «Обмен опытом работы по активному воздействию на гидрометеорологические процессы» (Москва, 1986); III Всесоюзном совещании по лавинам (Кировск, 1986); Всесоюзной конференции по активным воздействиям на гидрометеорологические процессы (Киев, 1987); Всесоюзном семинаре по активным воздействиям на градовые процессы и перспективам усовершенствования льдообразующих реагентов для практики активных воздействий (Нальчик, 1989); Всесоюзной конференции по активным воздействиям на гидрометеорологические процессы (Нальчик, 1991); Sixth WMO scientific conference on weather modification (Paestum, Italy, 1994); Fifth International Rangeland congress (Denver, Colorado, 1995); Fifth International conference on desert development (Texas, USA, 1996); 12th International conference on clouds and precipitation (Zurich, Switzerland, 1996); International symposium on cyclones and Hazardous weather in the Mediterranean (Palma de Mallorca, Spain, 1997); Seventh WMO scientific conference on weather modification (Chiang Mai Thailand, 1999); Международной конференции «Проблемы опустынивания в аридных зонах» (Самарканд, 2000); Республиканском научно-практическом семинаре «Состояние и перспективы работ по воздействию на гидрометеорологические процессы в интересах развития производства в Республике Узбекистан» (Чуст, 2000); Всероссийской конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы (Нальчик, 2001); Научной конференции по результатам исследований в области гидрометеорологии и мониторинга загрязнения природной среды в государствах-участниках СНГ, посвящённой 10-летию образования Межгосударственного Совета по гидрометеорологии (Санкт-Петербург, 2002); 8th WMO scientific conference on weather modification (Casablanca, Morocco, 2003); Meeting of experts on hail suppression (Organized by WMO in collaboration with Roshydromet, Nalchik, 2003); Научной конференции «География ва баркарор ривожланиш» (Самарканд, 2004); 14th International conference on clouds and precipitation (Bologna, Italy, 2004);

Опубликованность результатов. По данному направлению исследований автором опубликованы 64 работы, в т.ч. 17 статей в республиканских и международных журналах и периодических изданиях, 1 монография, 1 руководящий документ, 2 методических рекомендаций, 5 брошюр, 31 статья, опубликованных в республиканских и международных сборниках, материалах конференций, симпозиумов.

В этих работах в совокупности отражено решение достаточно крупной проблемы научного обоснования усовершенствования методов активных воздействий на облака и повышения эффективности практических способов засева облаков с целью предотвращения градобитий, увеличения осадков, рассеяния облаков и предупредительного спуска снежных лавин в Узбекистане. Разработка этой проблемы, имеющей важное научное и народно-хозяйственное значение, основана на анализе результатов многолетних исследований, подведении итогов почти 40 летней практики применения активных воздействий в Узбекистане, выявлении их недостатков и условий увеличения эффективности. Предлагаются новые рекомендации по воздействию на градовые процессы, по увеличению осадков в пустынных и припустынных районах, по ослаблению процессов опустынивания и повышению степени соответствия внутригодового распределения стока горных рек к потребностям в воде.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Общий объем диссертации составляет 263 страниц, в т.ч. 55 таблиц, 12 рисунков. Список литературы включает 310 наименований, из них 22 на иностранных языках.

Диссертация выполнена в Военизированном управлении воздействий на гидрометеорологические процессы Узгидромета, переданном в 2005 году в состав Министерства обороны Республики Узбекистан. В выполнении работы автор постоянно пользовался поддержкой его коллектива и многих сотрудников Научно-исследовательского гидрометеорологического института, особенно его отдела активных воздействий. Автор выражает им искреннюю признательность за содействие и помощь.

Содержание работы

1. История и современное состояние проблемы

Вызвать дождь в нужное время, предотвратить уничтожающий посевы град, управлять поведением ветра, грозы и облаков всегда мечтал человек. Это нашло своё отражение в сказках, фольклоре, в сочинениях древних авторов. Порой человеку в этом сопутствовал успех. Например, в XI веке в Самарканде наблюдалась продолжительная засуха. Местный казий для отвращения несчастья организовал массовое паломничество мусульман в кишлак Хартанг для молитвы о ниспослании дождя на могиле известного богослова, автора сборника хадисов Исмаила Ал-Бухари (умершего в 870 г.). После зиарата разразились страшные ливни и самаркандцы в течении 7 дней не могли вернуться в город из-за переполненных рек и арыков (М.Е.Массон, 1948).

Как считают многие, первый научный шаг на пути к изменению погоды был сделан в 1946 г. Тогда сотрудник научно-исследовательской лаборатории фирмы «Дженерал электрик», расположенной в г. Скенектади штата Нью-Йорк (США) и руководимой Ирвингом Ленгмюром, Винсент Ж. Шефер, проводя эксперимент над переохлаждёнными облаками, с целью ускорения охлаждения экспериментальной камеры, бросил в нее кусочек сухого льда. И тут же обнаружил образование вдоль траектории падения сухого льда множества ледяных кристаллов (А. Деннис, 1983).

На самом деле ещё в 1891 году был выдан патент некоему Гатману на предложенный им способ увеличения осадков с помощью снарядов, содержащих жидкий CO_2 (сжиженный) (Р. Флигл, 1972). В 1930 году голландец Фераарт заседал облака измельченным обычным и сухим льдом и по своим расчетам добился увеличения осадков на большой территории (А.Х.Хргиан, 1972).

Сразу же после успеха Шефера Ленгмюром и Шефером был проведён эксперимент по засеву переохлаждённых облаков слоистых форм в Нью-Мексико 13 ноября 1946 г. Результаты были поразительными и полностью подтверждали теорию осадкообразования Вегенера-Бергерона-Финдайзена, по которой осадки преимущественно образуются в результате замерзания водяного пара на ледяных частицах. Однако, в последующем были выявлены противоречия между этой теорией и опытом. Главными из них были тропические ливни из чисто водяных облаков. Но все же было отмечено, что в умеренных широтах она хорошо работает. Например, А.Д. Джураев и А.А. Мулюков (1965) на основе самолётных измерений 187 облаков определили, что из 74-капельных облаков 12, из 59-кристаллических – 17 давали осадки, в подавляющем большинстве не достигающих земли, а из 54 смешанных облаков 48 дали осадки, как правило, достигавших земли.

Тем не менее, опыты В. Шефера дали большой толчок развитию научных исследований и полевых экспериментов по активному воздействию на облака во многих странах мира. На этой основе появилось множество коммерческих организаций. Для анализа результатов научных исследований и коммерческих работ в США в 1953 г. был создан Консультативный комитет по управлению погодой.

На основании заключений Комитета и их критики во многих странах усилили финансирование научных работ по модификации погоды. В 1967 г., например, из федерального бюджета США на работы по модификации погоды было выделено 9 млн. долларов. Значительная часть этого финансирования была внесена Министерством обороны. В последующем оно признало использование засева облаков в войне во Вьетнаме.

В результате наука о модификации погоды получила сильное развитие. Появились новые средства исследования процессов в облаках и воздействия на них. В бывшем СССР на большой площади сельскохозяйственные культуры были взяты под опытно-производственную защиту. В некоторых крупных аэропортах Европы и Америки начали проводить систематические работы по рассеянию туманов. В период аварии на Чернобыльской АЭС были успешно проведены работы по перераспределению осадков с целью, уменьшить попадание радиоактивных частиц в водные объекты. Словом, в настоящее время метеорологи могут похвалиться тем, что они умеют рассеивать туманы и слоистую облачность над небольшими территориями при температуре ниже 0⁰С. Во многих районах мира проводятся работы по ослаблению градобитий. Число и площади территорий, где проводятся работы по увеличению осадков, на сегодняшний день составляют внушительные цифры. Простой список стран, где проводятся активные воздействия на гидрометеорологические процессы само, по себе, является ярким доказательством того, что возможность управления погодой на наших глазах становится реальностью.

В конце сороковых годов начались исследования структуры облаков и в Средней Азии работами А.Д. Джураева, которых он в 1951 году защитил в виде кандидатской диссертации.

В 1962-1964 годах в Средней Азии были начаты экспериментальные работы по засеву градоопасных облаков в Чустском тумане Узбекистана и Гиссарской долине Таджикистана с целью ослабления градообразования и по засеву слоистообразных облаков с целью увеличения осадков в Пскемской долине Узбекистана. Этим было положено начало непосредственным, преднамеренным воздействиям на гидрометеорологические процессы в Узбекистане.

Проект воздействия на облака, начатого в 1963 г. с целью увеличения осадков был разработан М.А. Петросянцем, А.Д. Джураевым, А.И. Неушкиным и был рассчитан на орошаемое земледелие. Поэтому он был проведен в долине р. Пскем, где осадков много, с 1963 по 1968 годы. В реализации проекта и анализе его результатов, кроме вышеуказанных, участвовали Курбаткин В.П., Ушинцева В.Ф., Бутов Н.Н. и др. Эффект проекта оценивался по данным о расходах рек Пскем и Ангрен, которые имели коэффициент корреляции 0,90. На графике связи стока этих рек точки соответствующие годам эксперимента располагались вблизи линии регрессии и выше нее.

После Пскемского эксперимента воздействия на облака с целью увеличения осадков в Узбекистане возобновились в 1985 году в Кашкадарьинской области. Об их результатах будет изложено ниже.

Кроме них были проведены 2 одногодичных проекта – Чирчикский в зиму 1989-90 г. и Североферганский в зиму 1990-91 г. под руководством В.П. Курбаткина. В обоих проектах была получена добавка в 10-15% к естественной сумме осадков за сезон.

Наряду с работами по увеличению осадков, в Узбекистане с 1969 г. по настоящее время проводятся работы по защите сельскохозяйственных культур от градобитий ежегодно на общей площади 740 тысяч гектаров.

Также в республике с успехом проводятся работы по рассеянию облаков в дни праздников «Навруз» и «Мустакиллик» и предупредительному спуску снежных лавин.

Несмотря на наличие данных, свидетельствующих об эффективности засева облаков, до настоящего времени в международном плане не существует однозначного мнения по этому вопросу. В заявлении ВМО о статусе модификации погоды (июль 2001 г.) отмечена недостаточность убедительных доказательств увеличения осадков при засеве как кристаллизующими, так и гигроскопическими реагентами, и наших знаний для уверенного определения эффекта засева градоопасных облаков, хотя при засеве радиолокационные характеристики претерпевают изменения. Эти и другие проблемы науки об активных воздействиях на погоду главным образом связаны, как было отмечено выше, с отсутствием возможностей проведения непосредственных экспериментов. В результате остаются нерешенными многие вопросы микрофизики и термодинамики облачных процессов, взаимодействия реагента с облачной средой и др. и, как следствие этого, физики активного воздействия на них. В настоящее время их решения находятся на гипотетическом уровне. Кроме того в припустынных районах засев облаков осуществляется при большой запыленности атмосферы с высокой концентрацией гигантских и сверхгигантских частиц, что должно вносить свои коррективы в эту проблему. Это ещё раз подтверждает необходимость анализировать результаты многолетних засевов облаков в различных географических районах. Одним из таких районов является восточная часть Узбекистана, где засев облаков осуществляется с 1969 г.

Природные условия здесь таковы что, с одной стороны ощущается острый недостаток водных ресурсов; годовые суммы осадков на большей части составляют менее 200 мм, в предгорьях около 300-400 мм и сельское хозяйство основано на орошении; с другой – в предгорных районах усилены грозо-градовые процессы, приводящие к селевым потокам и градобитиям. По степени градоопасности Восточный Узбекистан не уступает классическим градоопасным районам мира. В отдельных грозо-градовых процессах отмечаются большая интенсивность осадков – до 200 мм/час (Б.А. Камалов, 1965). Эти особенности природных условий обусловили развитие здесь работ по защите сельскохозяйственных культур от градобитий и увеличению осадков.

2. Град и предотвращение градобитий

Первое упоминание о граде встречаются в трудах древних среднеазиатских ученых – Бируни, Ибн Сины и др., которые свидетельствуют о том, что град был и в то время достаточно распространённым явлением. Ибн Сина пишет: «... если теплота действует на пар извне и после сгущения пар встретится с холодом, он более сгущается и образуется град.» По всей вероятности это является первой попыткой объяснения механизма образования града.

Систематические наблюдения за градом начались после организации метеорологических станций и постов. Первые результаты анализа материалов наблюдений за градом в Узбекистане были выполнены при описании климата Средней Азии и её отдельных частей Б.А. Айзенштат, Е.Н. Балашовой, О.М. Житомирской, Г.М. Леухиной, О.А. Семёновой, О.М. Челпановой и др. Специальное изучение града было связано с организацией работ по градозащите. Анализ градовых явлений по данным метеосети проводили Т.А. Абдумаликов, П.А. Бокова, А.Д.Джураев, О.О.Долимов, Г. Каримов. Под руководством автора была составлена карта-схема распределения числа дней с градом по территории Восточного Узбекистана. Аэросиноптические условия выпадения града исследовались П.А. Боковой, А.Д. Джураевым, Х.А. Имамджановым, Г.А. Назаровой, Р.Г. Шадыевой и др. Оснащение противоградовых подразделений радиолокаторами привели к развитию радиолокационных исследований по определению различных параметров конвективных облаков, их градоопасности, определения физической эффективности воздействий на градовые процессы, по определению площади градобитий. Это работы А.Д. Джураева, О.О. Долимова, В.А. Ельцова, В.А. Ефремова, Х.А. Имамджанова, Б.Ш. Кадырова, Б.А. Камалова, В.П. Курбаткина, З.Н. Назирова, О.Б. Сатторова. Большое внимание уделялось исследованиям влияния градобитий на рост и развитие хлопчатника, которые были начаты Б.А. Камаловым и продолжены К. Махмудовым под руководством первого. Автором этих строк был разработан метод оценки экономической эффективности противоградовых работ, известный как метод САНИГМИ. П.А. Бокова предложила для этой цели метод аналогов.

Также проводились исследования влияния градозащиты на режим осадков Б.А. Камаловым, В.П. Курбаткиным, В.В. Сабаевым, И. Усмановым и В.Ф. Ушинцевой, которые показали отсутствие какого-либо заметного влияния градозащиты на количество и распределение осадков.

Как видно, организация работ по градозащите дал мощный толчок в развитие научных исследований грозо-градовых процессов. При этом они велись комплексно и, что особенно важно, с практическим уклоном.

В настоящее время нет ясности в определении термина «град». В них максимальная продолжительность выпадения града колеблется от 40 минут до 2,5 часов, нижний предел плотности градин - от 0,1 до 0,5 г/см³, нижний предел их размера – 0,1 или 0,5 см, минимальное значение температуры воздуха при выпадении града – даётся 10 или 20⁰С; одни указывают, что зародыши градин прозрачные, другие – матовые. Нам кажется, в определении нет необходимости отметить эти показатели. Главное отличие града от ледяной крупы – его слоистость. Следует отметить его внешний вид и особенности строения. Тогда определение града можно дать в следующем виде.

Град – это атмосферные осадки в виде сферических частиц или кусочков льда (градин) разнообразных форм и размеров, с прозрачными или матовыми ядрами и

окружающими их двумя или несколькими чередующимися прозрачными и непрозрачными слоями; смесь ледяной крупы и града считается градом.

Град и градобития весной и летом – довольно обычное явление в предгорной и горной частях Узбекистана.

Для изучения распределения града по территории Узбекистана были привлечены данные наблюдений более 150 метеорологических станций и постов, включая расположенные на сопредельных территориях соседних республик, приведённых в официальных справочниках по климату. Для наглядности распределение среднего годового числа дней с градом по территории Узбекистана приводим в виде карты-схемы на рис. 1 (приложение). Оно местами достигает 7-8 дней в году, а максимальное число дней с градом за год – 15-16. Спектр выпавшего града по форме и размерам имеет довольно широкие пределы – от 0,5 до 12 см; в большинстве случаев составляет 0,5-2 см и хорошо описывается гамма-распределением.

Градобития в предгорных районах Узбекистана составляет около 1/3 общего числа дней с градом и наносят значительный ущерб сельскохозяйственным культурам. На рис. 2 приведена зависимость потерь урожая хлопчатника из-за градобития от даты выпадения града. Как видно, для хлопчатника очень опасны поздние повреждения. Для фруктовых же деревьев максимальный ущерб градом наносится в период цветения.

Графики изменения повреждений сельскохозяйственных культур от градобитий на защищаемых территориях Узбекистана в годы до и в период защиты приведены на рис. 3. Средняя площадь повреждения в годы до защиты составляла более 22000 га, а максимальная может достигать 36000 га. Если стоимость урожая с 1 га считать 1000000 сум, то ущерб, наносимый градобитиями, в среднем может составить 22 млрд. сум в год, что делает организацию противорадовых работ экономически высокорентабельной.

Для ослабления процесса градообразования необходимо найти такое звено в цепи развития облака, изменение которого, во-первых, задержало бы рост града, во-вторых, было бы осуществимо на современном уровне развития науки и техники и не требовало бы больших экономических затрат, и в - третьих, не изменила бы экологическую ситуацию на соответствующей территории. Таким звеном являются фазовое состояние облака и микроструктура облачных частиц.

Как известно, агрегатное состояние облака, из которого выпадает град, в нижней теплой (ниже уровня нулевой изотермы) его части – капельное, в верхней переохлажденной (выше нулевой изотермы) – капельно-кристаллическое и основным механизмом градообразования является гравитационная коагуляция переохлажденных водяных капель с зародышами градин.

Исследованиями установлено, что концентрация градовых частиц в облаке обычно не превышает $100/\text{м}^3$. При этом наиболее часто концентрации составляют $1-10/\text{м}^3$ и дополнительное создание $10^3/\text{м}^3$ искусственных зародышей, может привести к уменьшению размера градин в 4-10 раз.

На основе подобных рассуждений, сразу же после открытия Б. Воннегуттом в 1947 г. высоких льдообразующих качеств йодистого серебра, в некоторых регионах мира были начаты опыты по засеву облаков с целью ослабления процесса градообразования.

Первые опыты по ослаблению градобитий в Узбекистане были проведены в 1964 г. в Чустском тумане Наманганского вилоята. При организации научных и опытных работ по ослаблению градобитий в Средней Азии считалось необходимым введение реагента в переднюю (подветренную) часть облака. Это исходило из того, что в результате изучения конвективных облаков с помощью самолётов-лабораторий и путем

радиолокационного слежения за пассивными отражателями было установлено питание зрелого облака влагой воздуха, попадающего внутрь него, в основном через основание и боковую поверхность нижней передней части. При таком засеве реагент вводится в облако вместе с влагой, вовлекаемой в облако, и образование и рост естественных и искусственных зародышей града происходит одновременно и одинаковым темпом. При этом предполагалось или быстрое, преждевременное достижение критической водности облака, когда вес накопившейся в нём влаги превысит подъёмную силу, создаваемую восходящими потоками или создание повышенной концентрации зародышей градин, которая должна ограничить рост градин.

Поэтому в первые годы (1964-66) опытных работ по ослаблению градобитий в Ферганской и Гиссарской долинах были использованы малые ракеты ПГИ, потолок которых не превышал 5 км. Гиссарская долина, также как северная часть Ферганской долины, относится к наиболее градоопасным районам Средней Азии. В ней количество дней с градом, в период с апреля по июль включительно, достигает 20, площадь градобитий – 30 тысяч га.

Результаты градозащиты в Гиссарской долине были таковы, что в течении трёх лет градобитие на защищаемой территории не отмечалось, тогда как на контрольных территориях до 30% площади посевов были повреждены градом.

Эти данные указывали на правильность вышеизложенных рассуждений, положенных в основу защиты от града в Средней Азии. Однако использование ракет ПГИ-М предполагает создание большого количества пунктов воздействия. Так, например, для защиты сельскохозяйственных культур от градобитий на площади 100 тыс. га необходимо, как минимум, 20 пунктов воздействия, что предельно усложняет управление ими, а также осуществление радиосвязи. Поэтому в последующем был осуществлен переход к комбинированному методу воздействия на конвективные облака с помощью ракет ПГИ и снарядов «Эльбрус-2», что позволило уменьшить количество пунктов воздействия до 4-5 на 100 тыс. га.

Такой метод воздействия на градовые процессы был признан в научной литературе и Г.К. Сулаквелидзе (1970) отнес его к разряду комбинированных. В последующем противорадовые подразделения Северного Кавказа и Закавказья тоже перешли на такой ракетно-артиллерийский способ градозащиты. Но в начале 90-х годов производство противорадовых снарядов было приостановлено. В последние годы противорадовые работы проводятся только изделиями типа «Алазань».

Начиная с 1969 г. вышеизложенный комбинированный способ градозащиты был применён и в Узбекистане в связи с организацией здесь опытно-производственных противорадовых мероприятий. Характеристики градовых облаков определялись радиолокационным методом.

Согласно существующей инструкции по воздействию на градовые процессы, оно должно осуществляться при появлении над защищаемой территорией конвективного облака выше изотермы -6°C с $\eta_{10}=10^{-12}-10^{-10}\text{см}^{-1}$ и при развитии мощно-кучевых и кучево-дождевых облаков с $\eta_{10}>10^{-10}\text{см}^{-1}$ на защищаемой территории (ЗТ) и на подступах к ЗТ, при их перемещении к ней.

Объекты воздействия разделяются на четыре категории. Си, зародившееся выше нулевой изотермы считаются потенциально градоопасными. Облака с $\eta_{10}=10^{-10}\div 10^{-8}\text{см}^{-1}$ градоопасными, с $\eta_{10}>10^{-8}\text{см}^{-1}$ – градовыми и с $\eta_{10}>10^{-7}\text{см}^{-1}$ – сверхмощными градовыми. Если в процессе воздействия объект переходит в более высокую категорию, воздействие осуществляется в соответствии со схемой воздействия на объект новой категории.

Результаты работ по защите сельскохозяйственных культур от градобитий по всем районам Узбекистана, данные которых свидетельствуют о высокой эффективности этих работ (рис.3). В Сарыасийском, Шахрисабзском, Самаркандском туманах и на восточной части Андижанского вилоята, где мощные, так называемые суперячейковые процессы очень редки, градозащита даёт, можно сказать, стопроцентный эффект. На севере Ферганской долины, где мощные градовые процессы имеют большую повторяемость, противоградовые мероприятия позволили уменьшить повреждения сельхозкультур в 2-10 раз, а в отдельные годы градобития вовсе не допускались. Достигнутая эффективность противоградовых работ соответствуют уменьшению ущерба от градобитий в 4-5 раз по отношению к средним многолетним данным об ущербе, наносившимся сельскохозяйственным культурам до начала проведения этих работ.

Эффективность градозащиты ярко проявилась в 1992 г., когда на севере Ферганской долины по некоторым соображениям она была приостановлена. Несмотря на низкую градовую активность этого года, в Чустском, Касансайском, Янгикурганском и Чартакском туманах Наманганского вилоята значительные площади сельхозкультур были повреждены градом. То же самое можно констатировать по защищаемой территории Сурхандарьинской службы, где в 1992-95 и 1997-99 годах воздействие на градовые облака не проводились. В этой же службе в 2004 г. из-за отсутствия противоградовых изделий градом были повреждены 903 га сельскохозяйственных культур.

В Янгикурганской службе в 2000 году по этой же причине град повредил посевы на площади 1524 га.

Для оценки экономической эффективности противоградовых работ автором в начале 1970-х годов была предложена формула

$$c_i = (s_{3,i} - p_{3,i}) y_i \Pi_i,$$

где c_i – стоимость сохраненного урожая i -той культуры; $s_{3,i}$ – площадь посевов i -той культуры, которая подвергалась бы градобитиям при отсутствии противоградовых работ на защищаемой территории; $p_{3,i}$ – площадь посевов i -той культуры, поврежденная градом на защищаемой территории; y_i – уменьшение урожая i -той культуры за счет повреждения градом; Π_i – стоимость единицы урожая i -той культуры.

Общая стоимость сохраненного урожая всех сельскохозяйственных культур на защищаемой территории определяется по формуле

$$C = \sum_{i=1}^n c_i.$$

Основная трудность оценки эффективности противоградовых работ по вышеизложенной методике заключается в определении $s_{3,i}$. При наличии контрольной территории, относительная площадь повреждения на которой хорошо коррелируется с данными по защищаемой территории,

$$s_{3,i} = f_{3,i} p_{ki} / f_{k,i},$$

где $f_{3,i}$ – общая площадь посевов i -той культуры на защищаемой территории; $f_{k,i}$ – то же на контрольной территории; p_{ki} – площадь посевов i -той культуры, поврежденная градом на контрольной территории.

При отсутствии контрольной территории $s_{3,i}$ можно принять равной среднегодовой площади повреждений i -той культуры в годы до защиты. Однако, при

такой оценке ошибки в определении $s_{3,i}$ за отдельные годы могут быть до 300%. При его расчете как среднее за 3 года ошибки не превышают 25%, за 10 лет – 10%.

Этот метод, считающийся методом САНИГМИ, был проверен М.В. Буйковым (1977) на материалах Молдавской службы по активному воздействию на гидрометеорологические процессы. Он отметил, что среди существующих способов оценки экономической эффективности противоградовых работ, метод САНИГМИ даёт наиболее близкие к наблюдаемым результатам.

Для примера приводим расчет экономической эффективности работ по защите сельскохозяйственных культур от градобитий в Узбекистане за 2005 г. В годы до защиты s_3 составляло 22004 га. Поскольку в настоящее время площадь занятая сельхозкультурами в 1,2 раза превышает их площадь в конце 60-х – начале 70-х годов, следует принять $s_3=22004 \cdot 1,2=26405$ га. В 2005 году площадь повреждения сельхозкультур от градобитий на защищаемой территории составила $p_3 = 547$ га. При переводе на стоцентное повреждение она составила 132 га, т.е. уменьшение урожая сельхозкультур на защищаемой территории составило 24%. Что касается Π , то его определение из-за отсутствия единых закупочных цен в настоящее время затруднительно и поэтому принимается равным среднему доходу с 1 га. В результате имеем

$$C = (26405 \text{ га} - 547 \text{ га}) \times 0,24 \times 1000 \text{ тыс. сум} = 6205,9 \text{ млн. сум.}$$

Для сравнения, отметим, что все расходы на проведение противоградовых работ в этом году составил 1500,6 млн. сум.

Показателем физической эффективности E_n может быть число дней с градом по данным метеорологических станций. Она определяется по выражению

$$E_n = n_k q / n_i,$$

где n_k – среднемноголетнее число дней с градом в годы до защиты; n_i – число дней с градом в i – том году в годы защиты; q – степень градоопасности i – того года.

Определение q в настоящее время затруднительно. Поэтому E_n легче определить по многолетнему значению числа дней с градом в годы защиты n , т.е.

$$E_n = n_k / n,$$

По данным метеостанции Касансай, где противоградовые работы проводятся с 1969 года, за период с 1933 г. по 1968 г. среднемноголетнее число дней с градом составило $n_k=2,5$, а в годы защиты (1969-1987 гг.) – $n=1,5$, $E_n=1,67$, т.е. градозащита привела к уменьшению числа дней с градом в 1,67 раз.

Известно, что град выпадает из грозовых облаков. Следует отметить, что в годы градозащиты среднегодовое число дней с грозой было $31:26,4=1,17$ раза больше чем в годы до защиты. Таким образом, градозащита способствовала снижению градообразующей способности гроз в 2 раза. Она в годы до защиты составляла $2,5:26,4=0,095$, а в годы защиты $1,5:31=0,048$.

3. Засев облаков с целью увеличения осадков

Начиная с 1985 г. по 1991 г. в Кашкадарьинском вилояте Узбекистана проводились опытно - производственные работы по искусственному увеличению осадков на основе договора с Министерством сельского хозяйства Узбекистана. Район работ расположен на востоке Кашкадарьинского вилоята, на западных отрогах Зеравшанского и Гиссарского хребтов. Главным направлением экономики сельского хозяйства района работ являются хлопководство, зерноводство и животноводство. Поэтому основной

задачей увеличения осадков явилось накопление воды для обеспечения поливных земель, увеличения урожая зерновых на богаре и пастбищных трав.

В районе работ осадков выпадает 400-700 мм за год с коэффициентом вариации 0,2-0,3. Максимум осадков приходится на март и апрель. Более 80% осадков выпадает в ноябре – апреле, и поэтому активные воздействия в целях увеличения осадков проводились именно в эти месяцы.

Физическое обоснование и методика проведения работ по увеличению осадков противорадовыми изделиями приведены в методических указаниях, составленных под руководством В.П. Курбаткина.

Гипотеза воздействия на облака с целью увеличения осадков традиционна. Воздействия проводились на облака, которые при естественном состоянии не дают осадков, или на облака, которые осадки дают, но есть возможность их интенсифицировать путем введения в них кристаллизующих реагентов. Объектами воздействия служили 8-10-бальные слоистообразные облака. При этом реагент вводился в участки облака, мощность радиоэха от которых больше 500 м, температура на уровне верхней границы облака не выше -12°C и не ниже -30°C , температура на уровне нижней границы облака выше -12°C , средняя влажность переохлажденной части облака $0,05\text{ г/м}^3$.

Результаты работ по увеличению осадков за 1985-90 гг. были обобщены на основе данных осадкомерных постов и радиолокационных наблюдений В.Ф. Ушинцевой (1992).

Автором была предпринята попытка определить эффект работ по увеличению осадков по данным наблюдений метеорологических станций и постов, которые имеют длинные ряды наблюдений до начала проведения экспериментов. Для анализа были привлечены данные всех метеорологических станций и постов бассейна р. Кашкадарья, действовавших с 1975 по 1991 г., при этом 1975-1984 гг. – период до начала экспериментов, 1985-1991 гг. – время проведения экспериментов. Расположение метеопостов и станций показано на рис.4.

Все метеопосты и станции были разделены на две категории: станции и посты, расположенные на западе территории, куда распространение реагента не должно происходить, поскольку воздействия проводились при вторжениях воздушных масс с запада и юго-запада, и станции и посты, расположенные в зоне возможного распространения реагента. И тех и других станций и постов оказалось по семь.

Наиболее полный охват облаков, пригодных для воздействия с целью увеличения осадков, был в марте. Больше половины опытов было проведено, и 60 % реагента израсходовано также в марте. Поэтому расчеты велись за март.

Результаты обработки материалов приведены в табл. 1(приложение). Как видно, из семи метеостанций и постов, расположенных вне опытного полигона, только гидрометеорологическая станция Минчукур за период экспериментов (1985-1991 гг.) дает увеличение осадков на 7,3 % по сравнению с предшествующим периодом, а шесть пунктов – уменьшение осадков, причем три из них на большие величины (19-26 %). Из пунктов, расположенных в зоне возможного распространения реагента, только два дают уменьшение осадков на 2-3 %, остальные показывают их увеличение, причем три из них – 12-43 %.

Следует отметить, что изменчивость месячных сумм осадков на пунктах, расположенных вне полигона и на опытной территории, почти одинакова: коэффициент вариации сумм осадков вне полигона составляет 0,22-0,40 (средний равен 0,33), а на опытной территории – 0,21-0,33 (средний 0,28).

Из станций и постов, расположенных вне полигона, пост Канжигалы в период экспериментов дает резкое уменьшение осадков. Поэтому интересно проанализировать зависимость осадков по данным этого поста с осадками на пунктах наблюдений в зоне возможного распространения реагента.

Коэффициенты корреляции сумм осадков, рассчитанные за период до начала работ, заимствованные из работы В.Ф. Ушинцевой (1992), указывают на довольно тесную связь осадков на гидрометеорологических станциях и постах Шахрисябз, Джаус, Хазарнау и Ледник Северцова с осадками на гидрометеорологическом посту Канжигалы. Коэффициенты корреляции составляют 0,7-0,9. Изменения осадков по данным этих пунктов за период экспериментов составляют от -3 по 43 %, тогда как на посту Канжигалы изменение равно -26 %. Как явствует из изложенного, данные наблюдений метеорологических станций и постов подтверждают эффективность работ по увеличению осадков.

Из анализа данных метеорологических станций и постов об осадках за март (основной рабочий месяц) следует, что в результате активных воздействий на зимние облака в 1985-1991 гг. достигнуто увеличение осадков в зоне работ в среднем по территории на 12 % по отношению к норме. При этом на контрольной территории, расположенной по ведущему воздушному потоку впереди зоны активных воздействий, отмечено уменьшение количества осадков в марте за те же годы в среднем по территории на 9 %. Поскольку контрольная территория находится вне зоны возможного распространения реагента, то это уменьшение количества осадков следует считать естественным. Поскольку между осадками опытной и контрольной территории существует довольно тесная корреляция, то будет правильным предположить, что в отсутствие работ по ИУО подобное уменьшение количества осадков имело бы место и на территории полигона. Следовательно, реальное увеличение количества осадков, достигнутое в 1985-1991 гг. за счет проведения активных воздействий составляет 20-25 %. Оно по t-критерию Стьюдента значимо на уровне значимости 0,01.

Как известно, с конвективными облаками связаны наиболее интенсивные осадки теплого периода умеренных широт и подавляющая часть годовой суммы осадков тропического пояса. Поэтому изучение возможностей получения из них дополнительных осадков или же превращения их на дающие осадки представляет большой интерес, как с практической, так и с научной точки зрения.

В то же время следует отметить, что многие авторы считают осадкогенерирующую способность конвективных облаков очень низкой. По данным многих экспериментальных исследований (Е.Е. Корниенко, 1975), отношение количества осадков к количеству водяного пара, втекающего в конвективное облако в период его жизни, не превышает 60%, а в большинстве случаев составляет 20-30% . Поэтому их относят к перспективным объектам для получения из них дополнительных осадков путем усиления в них осадкообразующих процессов.

В Кашкадарьинской долине согласно оценкам ресурсности конвективных облаков, выполненных Х.А.Имамджановым и Б.Ш.Кадыровым (1990), можно получить до 40% дополнительных осадков, что составляет 10% среднегодовой нормы.

В свете сказанного представляет большой интерес изучение влияния засева облаков с целью ослабления градового процесса на режим осадков, поскольку внесение реагента в градоопасное облако может влиять на весь процесс осадкообразования в них.

Исследование влияния засева облаков с целью градозащиты в Ферганской долине показало, что она не оказывает заметного влияния на количество выпадающих осадков

как на защищаемой, так и на окружающей территории, оцениваемого как в целом за сезон, так и отдельно по типам синоптических ситуаций. При этом суммы осадков, выпадающих в виде ливней, как бы уменьшаются, в виде дождя – увеличиваются.

Отсутствие влияния градозащиты на изменения в общем режиме осадков подтверждается также тем, что увеличение осадков за счет засева мощно – кучевых облаков заметить трудно, так как их вклад в общую сумму осадков мал, а засев кучево-дождевых облаков с целью ослабления града не должен привести к увеличению осадков. При градозащите, обычно, воздействие на такие облака начинают до достижения ими заключительной стадии с целью преждевременного достижения критической водности и тем самым подавления развития града и осадкообразования. Это подтверждается и радиолокационными исследованиями, в т.ч. проведенными в Узбекистане. Как правило, непосредственно после воздействия высота верхней границы, вертикальная мощность и радиолокационная отражаемость несколько возрастают, видимо, за счет выделения скрытой теплоты кристаллизации, а затем через 6-10 минут после воздействия уменьшается, иногда весьма значительно, что свидетельствует о подавлении восходящих потоков. Таким образом, вполне можно допустить, что некоторое уменьшение осадков из мощных, дающих град и интенсивные ливни облаков компенсируется увеличением дождя из менее мощных Сb и Си conv, на которых нередко проводятся воздействия с профилактической целью.

При этом, следует отметить, что радиолокационными станциями противогололедных подразделений ежегодно обнаруживается от 5 до 7,5 тысяч конвективных облаков Си conv. и Сb (более слабых они, как правило не регистрируют из-за низкого радиолокационного отражения от них). Это свидетельствует о том, что вопросы воздействия на конвективные облака с целью увеличения осадков из них должны быть одной из главных в комплексной стратегии управления водными ресурсами, способствующей устойчивому социально-экономическому развитию Республики Узбекистан в XXI столетии.

4. Засев облаков с целью их рассеяния

В работах по активным воздействиям на гидрометеорологические процессы большое внимание уделяется разработке методов и средств искусственного уменьшения количества выпадающих из них осадков. Практическими результатами этих исследований были разработки методов снижения коммунальных расходов в крупных городах на уборку дорог и улиц от снега, создание благоприятных условий для проведения массовых мероприятий. Работы по предотвращению осадков в мегаполисах получили название “метеозащита городов”. Они проводились в Москве, Санкт-Петербурге, Алма-Ате, Ташкенте и других городах. Значительный объем летних работ по ослаблению осадков и рассеянию облачности над заданной территорией был выполнен институтами Госкомгидромета в 1986 г. при проведении комплекса мероприятий по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС.

С 1991 по 2002 год ежегодно над Ташкентом проводились работы по рассеянию облаков. Были использованы первые 3 концепции. В качестве реагента были использованы сухой лед, цемент, селитра, азот, а также пиропатроны ПВ-26 и ПВ-50. Для оценки результатов работ по рассеянию облаков над Ташкентом с целью недопущения осадков в этот день были использованы данные метеорологической станции Ташкент – обсерватория с 1875 по 2000 год. Из 126 лет в 58 21 марта выпадали

осадки. Их распределения по десятилетиям и величине осадков приведены в табл. 2, которые показывают, что в среднем в 50% случаев 21 марта наблюдались осадки. Однако, в отдельные десятилетия из 10 наврузовских дней только в двух отмечались осадки, а в других – семи. В последнем десятилетии, когда ежегодно проводились эксперименты по рассеянию облаков, 4 наврузовских дня были с осадками, что соответствует среднему значению.

За период наблюдений максимальное количество выпавших 21 марта осадков было около 30 мм, более 20 мм отмечалась только в трёх десятилетиях – 1891-1900, 1921-1930 и 1961-1970. Суточная сумма осадков в градации 15,1-20,0 за 126 лет в этот день ни разу не отмечалась, в градации 10,1-15,0 отмечалась только 2 раза, а в градации 5,1-10,0 до 1960 года в каждом десятилетии отмечалась 1-2 раза, а с 1961 и последующие годы ни разу не отмечалась.

Как видно эти данные не показывают влияние засева облаков с целью их рассеяния на режим осадков. Этого может быть, и, не следовало ожидать, поскольку эксперименты ежегодно проводились с 7 до 14 часов. Рассмотрим осадки за это время.

С 1936 по 2000 год, т.е. за 65 лет, между 7 и 14 часами осадки отмечались в 12 наврузовских дней, из них 4 дня приходилось на 1941-50 годы, по 3 дня на 1951-60 и 1961-70 годы, 1 день на 1981-90 годы и 1 день на 1936-40 годы. В последнем десятилетии (1991-2000) с 7 до 14 часов в наврузовские дни осадки вовсе не наблюдались, и, это можно было бы приписать за результат экспериментов. Однако, в период 1971-80 годы в это время осадки также не наблюдались, что резко снижает вероятность эффекта воздействия.

Одним из показателей результатов засева облаков с целью их рассеяния с утра до 14 часов в дни Навруза может служить продолжительность лет, когда в это время осадки не наблюдались. За 1936-2000 годы в 3 случаях подряд идущие 2 года наврузовские дни утром были без осадков, в 1 случае 3 года подряд, 1 случае 4 года, 1 случае 8 лет, в 1 случае 12 лет подряд 21 марта с 7 до 14 часов осадки не наблюдались. А в последние 20 лет (с 1983 по 2002 год) 21 марта в первой половине дня осадки также не наблюдались и этот период в 1,5 с лишним раза длиннее, чем максимум – 12 лет. Возможно, это результат проведённых в 1991-2002 годах ежегодно воздействий на облака с целью их рассеяния в день Навруза.

5. Предупредительный спуск снежных лавин

В Узбекистане регулярные работы по предупредительному спуску снежных лавин проводятся только в урочище Чимган. Ему характерна высокая лавинная деятельность, которая наряду с большой популярностью Чимгана (в отдельные дни здесь проводили свой отдых до 10 тыс. человек) вызывали необходимость проведения противолавинных мероприятий. В годы, предшествовавшие организации противолавинных работ, отмечались трагические случаи попадания людей в лавины. Поэтому согласно директивным указаниям Правительства Узбекистана, начиная с зимы 1983-84 г. ведутся работы по предупредительному спуску снежных лавин. Работы, проводятся Управлением воздействий на гидрометеорологические процессы по договору с Главным Управлением по строительству и эксплуатации курортных и оздоровительных учреждений Ташгорисполкома.

Весь комплекс снеголавинных работ в зоне отдыха проводится снеголавинной станцией (СЛ) Узгидромета, являющейся сетевым пунктом наблюдений за лавинами и

Ташкентской противолавинной службой (ТПЛС) Военизированного управления воздействий на гидрометеорологические процессы.

Результаты предупредительного спуска снежных лавин за 1983-2005 годы представлены в табл. 3.

На протяжении 22 лет противолавинная служба Чимгана надежно обеспечивала снеголавинную безопасность зоны отдыха. В настоящее время профилактические мероприятия могут быть проведены по первому требованию, практически сразу же после выдачи прогноза, и при любых условиях погоды. На защищаемой территории не произошло ни одного повреждения объектов, не было отмечено случаев попадания людей в лавины. Эффективность работ по предупредительному спуску снежных лавин очевидна.

6. Проблемы засева облаков в Узбекистане

Особенности осадкообразования в пустынных и припустынных районах.

Как известно, аэрозольные частицы, находящиеся в атмосфере, являются главной причиной формирования осадков. Именно в результате конденсации водяных паров на этих частицах образуются в атмосфере облачные капельки.

В Узбекистане исследования пыли и ядер конденсации в атмосфере начаты в 1947 г. Измерения проводились в отделе атмосферного электричества Ташкентской геофизической обсерватории счетчиком ядер Айткена. Они показали, что концентрация ядер конденсации здесь временами достигал до $180000/\text{см}^3$.

В последующем изучение аэрозолей в Средней Азии проводили А.Г.Лактионов, Е.С. Селезнева, К.Э. Церфас, Б.Г.Андреев, Б.Г. Андреев, Р.Ф.Лавриненко, Г.Х.Хусанов, О.П. Петренчук, Т.И. Умаралиев и др. В 1988 и 1989 годах был проведен Советско-Американский эксперимент по изучению аридного аэрозоля в долине р. Кафирниган.

На основе вышеуказанных исследований можно отметить следующее.

1. Концентрация аэрозольных частиц крупных размеров, $r > 4$ мкм, в Средней Азии в 2-100 раз превышает их концентрацию над другими регионами СНГ. При этом в диапазоне $0,2 < r < 5,0$ мкм функция распределения частиц по размерам сохраняет стабильность, не реагируя на степень запыленности.

2. В распределении аэрозолей по высоте, отмечается ярусный характер, что, возможно, объясняется характером конвективных движений, установленных А.А.Скворцовым.

3. Концентрация аэрозолей имеет значительные вариации во внутрисуточном и внутригодовом разрезах. В отличие от других мест в Узбекистане максимум концентрации наблюдается в конце лета - осенью, а минимум – весной и начале лета. Выше 3000 м концентрация ядер конденсации не имеет внутригодовых колебаний.

Главными источниками почвенного аэрозоля являются пустыни. К таким мощным источникам аэрозоля относятся и пустыни Центральной Азии, откуда пыль, как отмечают Б.Г. Андреев и Р.Ф. Лавриненко, воздушными течениями переносится и в другие регионы мира. По их данным, эти аэрозоли имеют значительную долю растворимых веществ (более 20 %) и являются активными ядрами конденсации. Сумма ионов в аэрозолях приземного воздуха в среднем составляет $174 \text{ мкг}/\text{м}^3$, на высоте 300 м – $138 \text{ мкг}/\text{м}^3$, 1000 м – $102,7 \text{ мкг}/\text{м}^3$, а общая концентрация аэрозолей соответственно 0,80, 0,66 и $0,49 \text{ мг}/\text{м}^3$. Пределы изменения общей концентрации аэрозолей у земли 0,46-

1,34 мг/м³, что свидетельствует о постоянстве их высоких значений в атмосфере Узбекистана.

Отношение содержания SO₄²⁻/Cl в аэрозолях Узбекистана по высоте не меняется. Считается, что хлориды в атмосфере имеют морское происхождение, сульфаты – континентальное и между их содержанием имеется обратная связь. Это отмечается не только в приморских районах, но и внутриконтинентальных районах. Однако, в Узбекистане связь между содержанием сульфатов и хлоридов прямолинейная, указывающая на один их источник возникновения – солончаки и почвы различной степени осолонения, распространенные здесь. Растворимая часть солончаков, составляющая около 11% их массы, наполовину состоит из SO₄²⁻, 1/5 – Cl.

То, что смешанные ядра, содержащие растворимые и нерастворимые компоненты, являются всегда более активными, чем растворимые ядра той же массы, подтверждены исследованиями Э. Месарош и А. Месарош.

Отметим, что пыль, увлекаясь циркуляцией воздушных масс, может распространяться по высоте до 5-7 км. Значительно высокая концентрация ледяных ядер и ядер конденсации на всех высотных уровнях Узбекистана по сравнению с другими районами измерения за пределами Средней Азии были подтверждены исследованиями А.Т Абдукаримова и др. по Кашкадарьинской долине. Они показали, что в условиях Средней Азии концентрация льдообразующих ядер даже на высоте 3500 м достигает 40-80/л.

Влияние обилия пыли в атмосфере припустынных районов на осадкообразование в них, нам, кажется, резко проявляется во взаимодействии погоды и припустынных городов. Известно, что почти во всех исследованиях этого направления отмечается увеличение количества осадков в городах по сравнению с окружающей их сельской местностью, или же по мере роста городов.

Однако, в отношении изменения количества осадков городов, Ташкент, Наманган и другие центральноазиатские припустынные города не отличаются от сельской местности. Это, возможно, связано с обилием пыли, которое сводит на нет влияние загрязнения атмосферы припустынных городов на осадкообразование.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод о том, что атмосфера Узбекистана богата активными ядрами конденсации и ледяными ядрами, что создаёт особые условия для засева облаков с целью модификации погоды.

Об увеличении осадков в пустынных и припустынных районах. Как известно, процесс опустынивания в настоящее время непосредственно затрагивает жизни более 300 миллионов человек. Около 1 миллиарда людей, проживающих более чем в 100 странах, подвергаются риску засух. При этом пустыни продолжают наступать, чему способствует не только изменение климата, но и человек. Согласно оценкам, скорость наступления пустынь достигает 60000 км²/год.

В 1977г. был принят Международный план действий по борьбе с опустыниванием. Было разработано множество планов и стратегий по контролю над окружающей средой и управлению природными ресурсами. Однако никакого ощутимого эффекта не наблюдается и во всем мире проблема деградации земель становится всё более острой, что было отмечено в 1991 году ЮНЕП. Этому подтверждение – появление Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием. Однако и её настигнет та же участь, если главное внимание не будет обращено на первопричины опустынивания – как антропогенные, так и климатические.

Антропогенные причины опустынивания известны. Это чрезмерный выпас скота, вырубка деревьев, вспахивание земель при нехватке воды для орошения, засоление почв при избыточном орошении и плохом дренаже и др. Они лишают почву защиты от ветровой и водной эрозии.

Климатические же причины заключаются в чрезвычайно малом количестве осадков. То, что в пустыне мало осадков объясняют преобладающими в течение года нисходящими движениями воздуха в поясе пустынь Земли, вызываемыми пассатной циркуляцией. Существует также мнение, что причиной этих нисходящих движений воздуха является повышенное альbedo пустынь (Charney I.G., 1975). Л.А. Алибеков (2002) среди механизмов, способствующих опустыниванию, выделяет геологическую структуру местности; в прогибах грунтовые воды залегают близко к поверхности и поэтому засоляются. Например, почвенный покров Каракумского прогиба везде в различной степени засолен. Также активизация разломов и подъём по ним сильно минерализованных вод усиливает опустынивание. Сумма солей в водной вытяжке из почвы непосредственно над разломом – 9,1%, а в 250 м от него - 0,1%.

Не возражая этим объяснениям опустынивания, хочется отметить следующее.

Как было отмечено выше, пустынным и припустынным районам присуще обилие пыли-активных ядер конденсации, содержащих значительную долю (до 20% и более) растворимых веществ. В таких условиях осадкообразование затруднено. Ещё С. Туми (1966) показал, что увеличение концентрации облачных ядер, а следовательно, увеличение концентрации капель в облаке резко задерживает укрупнение фракции крупных капель, и тем самым существенно задерживает осадкообразование. Это нашло подтверждение во многих работах.

Также следует здесь ещё подчеркнуть, что в формировании зародышей осадков значительна роль гигантских и сверхгигантских частиц. Нетрудно себе представить, что при различных концентрациях таких частиц создаются различные условия для роста облачных частиц: независимый коагуляционный рост возможен только до некоторой критической концентрации гигантских и сверхгигантских частиц. При концентрациях, превышающих критическую, частицы будут мешать друг другу и, следовательно, рост облачных частиц до размеров частиц осадков затрудняется, а в большинстве случаев вовсе не достигается.

Таким образом, можно заключить, что повышенная концентрация пыли, в т.ч. гигантских и сверхгигантских аэрозолей в пустынных и припустынных районах создаёт здесь ограничения и в конденсационном, и в коагуляционном росте облачных частиц, в результате чего ограничивается возможность появления частиц осадков. Поэтому повышенное содержание пыли в атмосфере пустынных и припустынных районов можно считать одной из главных причин опустынивания и в этих районах увеличение осадков, видимо, целесообразнее проводить не путем засева облаков, а наоборот, **очищением атмосферы от ядер конденсации и льдообразующих ядер до оптимального уровня.**

Содержание пыли в атмосфере можно регулировать. Здесь наиболее эффективны фитомелиоративные меры, особенно пустынное лесоразведение в сочетании с пескозакрепительными работами, используя химические средства, являющихся поверхностно – активными веществами и адсорбирующихся в поверхностном слое песка. Наиболее эффективными закрепителями подвижных песков признаны нэрозин, водные растворы сульфитно-спиртовой барды, отходы нефтепродуктов. Технология осуществления этих работ разработаны Узбекским НИИ лесного хозяйства и изложены. А.А.Ханазаровым и З.Б. Новицким (1998). При проведении фитомелиоративных мер

можно использовать способы получения воды из атмосферы. Проведение их совместно с ликвидацией неконтролируемого выпаса скота, принятием соответствующих мер по снижению нарушений естественных ландшафтов при добыче полезных ископаемых и индустриальном освоении пустынь с прокладкой бесчисленных грунтовых дорог приведёт к значительному смягчению опустынивания. Осуществление этих мероприятий выгодно не только экологически, но и экономически.

Одним из главных мер борьбы с повышенной концентрацией пыли в атмосфере является орошаемое земледелие, которое при правильном применении значительно ослабляет также и опустынивание. При переводе орошаемого земледелия на маловодопотребляющие культуры, развитии садоводства, виноградарства и бахчеводства, во-первых, резко снижается его негативные последствия, например засоление, во-вторых, появится возможность увеличить орошаемые площади за счет экономии оросительной воды. Здесь следует отметить, что орошение также значительно уменьшает альбедо (Е.П.Борисенков и Л.К.Ефимова, 1978).

Таким образом, развитие фитомелиорации в пустынной зоне и озеленение на орошении способствуют уменьшению пыли в атмосфере и альбедо подстилающей поверхности, что значительно ослабляет опустынивание. В настоящее время ослаблению опустынивания также может способствовать и нынешнее потепление климата. Согласно палеоклиматическим данным в периоды потепления Земли увлажненность пустынь Центральной Азии была выше современной в 1,5-2 раза (Г.Н. Трофимов, 1999).

Особенности искусственного регулирования осадков в районах орошаемого земледелия. В условиях Узбекистана, да и всей Центральной Азии, задача активных воздействий на гидрометеорологические процессы с целью влагообеспеченности растений должна заключаться в решении следующих проблем: 1) увеличение осадков; 2) многолетнее и сезонное регулирование стока; 3) приведение распределение стока по территории в соответствии с потребностью в воде; 4) обеспечение богарного земледелия влагой в годы с малым количеством осадков; 5) улучшение влагообеспеченности пастбищ.

Ещё в двадцатые годы Среднеазиатским метеорологическим институтом проводились опыты по искусственному усилению таяния ледников путем увеличения тающей площади (разрыхления льда). В последующем эти работы были временно прекращены, и только в 1950 г. Г.А. Авсюк (1953) проводил опыты по искусственному усилению таяния ледников путём уменьшения альбедо тающей поверхности (зачернение поверхности ледника). Такие опыты в последующем проводились и другими исследователями. Их обзор и критический анализ дан в работе В.Г.Коновалова (1972). Здесь необходимо отметить, что этот способ получения дополнительной воды требует большого количества зачерняющего материала, который действует непродолжительное время, поэтому требует больших затрат. Экономическая несостоятельность этого способа и его безперспективность хорошо обоснована А.С. Щетинниковым (1977).

С другой стороны увеличение стока за счет усиления таяния ледников нежелательно, так как это может привести к нарушению в будущем естественного режима ледников и последующему уменьшению их площади, что может вызвать уменьшение стока в летний период. Это подтверждается полученной разными авторами зависимостью показателя внутригодового распределения стока δ от ледникового питания.

Кроме отмеченных способов, имеется и ряд других: регулирование таяния снежного покрова, искусственное создание снежников и наледей, использование воды завальных горных озер в маловодные годы. Однако, эти способы не позволяют покрыть общий дефицит стока, который, например, в бассейне р. Падшаата составляет 17 млн м³. Здесь необходимо искусственное увеличение осадков. Причем, наиболее целесообразно искусственное увеличение осадков осуществить в высокогорных ледниковых районах. Расчеты В.Г. Коновалова (1994) показывают, что 15% ное увеличение осадков в бассейне р. Заравшан на половину сокращает таяние ледников и на 12% увеличивает снеговое питание. Это приводит, во-первых увеличению δ , т.е. стока в период июль-сентябрь, во-вторых, способствует замедлению деградации ледников и улучшению их балансового состояния, что немаловажно для многолетней зарегулированности стока. Как известно, реки с большой долей ледникового стока имеют низкий коэффициент вариации. Количественная оценка многолетнего регулирования речного стока ледниками выполнена Б.А.Камаловым (1972) на примере р. Нарын.

В третьих, в высокогорной зоне водосборов отмечается наибольшее количество осадков и объём добавки в результате активного воздействия именно здесь должен быть наибольшим. К сожалению, высокогорные области в метеорологическом отношении наименее изучены. Поэтому этот объём добавки определим расчетным путем. Используем для этого изложенный нами ранее способ (1967,1972) . Определим среднюю высоту фирновой границы H_f , где слой осадков равен слою стаивания, для бассейна р. Падшаата по каталогу ледников СССР, т.14, в.1, ч.3. Она составляет 3738 м, колеблясь от 3500 м до 3900 м. Расчеты показывают, что на высоте 3750 м сумма положительных температур составляет 350⁰С. Если коэффициент стаивания на 1⁰ положительной среднесуточной температуры с учетом увеличения этого коэффициента с высотой принять равным 5,5 мм/(⁰С сутки) (В.Л. Шульц, 1963, Б.А. Камалов, 1972), то получим слой стаивания снега на фирновой границе 1925 мм. Часть этого слоя может быть перенесённым на поверхность ледника ветром и обрушением снежных масс с окружающих склонов. Если допустить, что эта часть составляет 30% от всего осадконакопления на ледниках, то фоновый слой осадков в высокогорной зоне должен быть 1925x0,7=1345 мм. Согласно В.Ф.Ушинцевой (2004), увеличение осадков в результате засева облаков составляет 15-20%, что в нашем примере составляет 200-270 мм. В водосборе р. Падшаата высотная зона выше 3500м (до 4358 м) составляет 90,6 км². На этой площади объём искусственной добавки воды может быть 18-24 млн м³.

Такие расчёты можно выполнить по всему водосбору р. Падшаата. Его площадь составляет 366 км², среднемноголетний слой стока 531 мм. С учетом коэффициента стока 0,7 (И.А. Ильин, 1959) слой осадков по всему водосбору будет 759 мм. Путем засева облаков можно получить дополнительно 114-158 мм, что даёт дополнительный объём воды 42-58 млн м³. С учетом коэффициента стока дополнительный средний годовой сток р. Падшаата составит 29-41 млн м³. Следует отметить, что даже в годы с минимальным стоком (294 мм) засев облаков может дать 60 мм дополнительного стока (22 млн м³).

Проблемы и усовершенствование методики воздействия на градоопасные облака. В работах по защите сельскохозяйственных культур от градобитий одной из важных задач является выбор облаков, подлежащих искусственному воздействию. В настоящее время эта задача разрешается путём физико-статистического анализа радиолокационных характеристик конвективных ячеек, по которым составляется диагноз стадий их развития. Иными словами, определяется вероятность градоопасности

исследуемой ячейки в момент наблюдения. Если эта конвективная ячейка характеризуется пусть малой, но отличной от нуля вероятностью выпадения града и находится над защищаемой от града территорией или приближается к ней, воздействие на нее проводится, хотя известно, что многие такие ячейки при естественном своём развитии могут не дорасти до градовой стадии. Это приводит к резкому увеличению расхода противорадовых изделий, осложняет проведение операций по воздействию на градовые процессы при необходимости одновременного засева нескольких ячеек. В результате снижается эффективность противорадовых работ.

Действительно, как было отмечено нами, по данным метеорологических станций среднее многолетнее число дней с градом на севере Ферганской долины составляет от 2,5 до 6. При этом на метеостанциях в число дней с градом относят и дни с градом без ущерба. Число же дней с градобитиями на территории Чустского, Касансайского, Янгикурганского и Чартакского туманов до настоящего времени не превышало 17. При такой ситуации воздействию здесь подвергаются за год от 76 до 436 конвективных ячеек. Как видно, воздействию подвергается как минимум в 5 раз больше облаков, которые могли бы дать град с ущербом. Приблизительно к таким же выводам пришли и в Северо-Кавказской службе воздействий на гидрометеорологические процессы. Соответственно это приводит к большим расходам противорадовых изделий, которые в Узбекистан завозятся из-за рубежа и цена их составляет немалую сумму. Поэтому поиск путей экономного их расхода представляет несомненную актуальность.

В этом плане следует отметить наше, совместное с О.Б. Сатторовым, предложение провести внешнюю границу площадки засева для градозащиты по изолинии $\eta_{10}=10^{-12}\text{см}^{-1}$. Это в какой-то степени соответствует предложениям А.В. Шаповалова (2002) максимально приблизить площадку засева к области образования и роста града и значительно сокращает размеры этой площадки. Апробация показала эффективность этого предложения и оно внедрено в практику градозащиты.

Дальнейшие наши исследования в этом плане позволяют отметить следующее:

1. Инструкции [161,239] требуют осуществление засева конвективной ячейки с радиолокационной отражаемостью $10^{-12}<\eta_{10}<10^{-10}\text{см}^{-1}$, первое радиоэхо которой зародилось выше изотермы минус 6°C . Это требование исходило из того, что в условиях Северного Кавказа [8] и на юго-западе Канады [290] первое радиоэхо ячеек, достигающих в своём развитии градовой стадии, появляется, как правило, в области отрицательных температур, на уровне изотерм $-6\div-30^{\circ}\text{C}$.

Исследования этого вопроса в условиях Ферганской долины показало, что конвективные ячейки, достигающие градовой стадии, в более чем 95% случаев зарождаются в интервале температур $0\div-40^{\circ}\text{C}$. В 72 % случаев градовые облака образуются из конвективных ячеек, зародившихся в интервале температур $-11\div-30^{\circ}\text{C}$. Ливнеобразующие же конвективные ячейки в 50% случаев зарождаются в области положительных температур, в 90% случаев – в интервале температур от 20 до -10°C и только в 10 % случаев – в интервале $-11\div-20^{\circ}\text{C}$. Из конвективных ячеек, образовавшихся выше уровня изотермы -20°C , выпадение только ливневых осадков ни разу не отмечалось.

Однако, 50% ливневых осадков без града было отмечено из конвективных ячеек, образовавшихся в области отрицательных температур. Другими словами, конвективные ячейки, образовавшиеся выше нулевой изотермы в более чем 40% случаев, выше изотермы -6°C – в более чем 30% случаев дают только ливневые осадки без града. Этот факт ставит под сомнение целесообразность проведения с целью предотвращения

выпадения града на каждое, так называемое, первое радиоэхо в условиях Ферганской долины.

Последующие исследования этого вопроса подтвердили такое заключение. Например, в 2005 г. в Чустской службе из 130 Сб, зародившихся выше уровня изотермы -6°C , всего 4 были подвергнуты засеву как объект первой категории, 6 в последующем своём развитии достигли градоопасной стадии и также были подвергнуты засеву.

На защищаемой территории Янгикурганской службы число облаков, зародившихся выше изотермы -6°C и не достигших градовой стадии в 2005 г. составило 14.

Приведённые данные показывают, что число облаков, зарождающихся выше изотермы -6°C и не достигающих градовой стадии составляет большие цифры, в несколько раз превышающие число случаев града. Иными словами, вероятность достижения ими градовой стадии низка. Поэтому следует **исключить ячейки первой категории из числа засеваемых с целью предотвращения выпадения из них града.**

2. Е.И. Данов и др.(1975) в качестве критериев, позволяющих заблаговременно выделить из развивающихся над защищаемой территорией облаков те, которые достигнут градовой стадии, определены следующие параметры:

$\Delta\eta_{10}/\Delta t = V_{\eta}$ - изменение во времени максимальной величины радиолокационной отражаемости, измеренной на длине волны 10 см;

$\Delta H_{\text{зпо}}/\Delta t = V_{\text{зпо}}$ – изменение во времени высоты верхней границы зоны повышенной отражаемости, измеренной на длине волны 10 см;

$\Delta H_{\text{В}}/\Delta t = V_{\text{В}}$ - изменение во времени высоты верхней границы радиоэха на длине волны 3,2 см при максимальной чувствительности приемника.

Проверка применения критерия V_{η} для условий Касансайской службы воздействия на гидрометеопроцессы была выполнена О.Б. Сатторовым по материалам засева облаков за период 1987-97 гг. (без 1992 г. – когда активные воздействия не проводились). За этот период воздействия с целью предотвращения выпадения града проводились на 446 облаков. Из них к анализу были привлечены материалы по воздействию на 403 облака. Все эти 403 облака были подвергнуты воздействию с целью предотвращения выпадения града из них. Расходы противорадовых изделий на эти цели были большие; на одно облако составляли от 30 до 267 шт. Расчеты V_{η} по всем этим облакам показали, что только 111 из них при достижении $\eta_{10} = 6 \cdot 10^{-9} \text{ см}^{-1}$ имели $V_{\eta} \geq 1,4 \cdot 10^{-9} \text{ см}^{-1}/\text{мин}$.

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 54 случаях наблюдался только ливень. Таким образом, можно считать необходимым учет критерия $V_{\eta} \geq 1,4 \cdot 10^{-9} \text{ см}^{-1}/\text{мин}$ при воздействиях на градовые процессы.

Исследования показывают, что за период с 1969 по 2005 г. при $\eta \leq 9,9 \cdot 10^{-9} \text{ см}^{-1}$ не было ни одного случая выпадения града. Град возможен только при $\eta \geq 10^{-8} \text{ см}^{-1}$, причем при $\eta = 1 \div 4 \cdot 10^{-8} \text{ см}^{-1}$ обычно выпадает крупа, но она может быть интенсивной и может нанести некоторый ущерб сельхозкультурам. Это обстоятельство с учетом того что, при $\eta \leq 1 \div 9,9 \cdot 10^{-9} \text{ см}^{-1}$ град ни разу не отмечался, указывает на наличие возможности в подавляющем большинстве случаев использовать график учета тенденции роста η для определения, дорастет ли данное облако до стадии градовой.

3. Согласно инструкций, Сб с $\eta_{10} = 10^{-10} \div 10^{-8} \text{ см}^{-1}$ относятся ко второй категории объектов воздействия с целью ослабления градового процесса. По этому определению наличие отражаемости $\eta_{10} > 10^{-10} \text{ см}^{-1}$ является допуском к проведению засева. В тоже

время в методических указаниях (1987) для определения площадки засева требуется определение горизонтальных сечений на высоте $H_1=0,5\div 1,5$ км и на высоте H_2 на уровне изотермы -6°C с вычерчиванием изолиний $\eta_{10}=10^{-9}$ см $^{-1}$. Кроме того, прекращение воздействия на объекты II категории также определено при понижении ΔH_9 (высота верхней границы $\eta_{10}=10^{-9}$ см $^{-1}$ над изотермой 0°C) до 1 км и менее. Прекращение воздействий на объекты III и IV категорий определяется также при уменьшении значений ΔH_9 до 1 км и меньше. Такое положение существует и в инструкциях. Таким образом, можно считать $\eta_{10}\geq 10^{-9}$ см $^{-1}$ основным показателем, определяющим необходимость воздействия на градовый процесс. Это подтверждается и отсутствием града на земле при $\eta_{10}<10^{-8}$ см $^{-1}$. Поэтому воздействие на вторую категорию объектов воздействия можно начинать при достижении $\eta_{10}=10^{-9}$ см $^{-1}$.

Проведение воздействия на облака с $\eta_{10}<10^{-9}$ см $^{-1}$ при осуществлении градозащиты нецелесообразно и с физической точки зрения. Введение в облако кристаллизующего реагента должно привести к кристаллизации капель, в результате чего за счёт выделения скрытой теплоты фазовых переходов температура в облаке повышается. Это может привести к усилению вертикальных потоков и развитию облака до стадии градовой. Например, в Чустской службе в 2005 г. из 6 случаев засева облаков с $\eta_{10}<10^{-9}$ см $^{-1}$, в двух было отмечено развитие до $\eta_{10}=3,8\cdot 10^{-8}$ см $^{-1}$; из них выпал мелкий град, несмотря на обработку этих облаков 28-33 шт. изделиями Алазань-6.

4. В практике градозащиты хотя редко, но встречаются случаи «взрывного» роста радиолокационных характеристик конвективных облаков. Например, из 111 облаков с $V\eta\geq 1,4\cdot 10^{-9}$ см $^{-1}$ /мин, 18 имели $V\eta\geq 1,0\cdot 10^{-8}$ см $^{-1}$ /мин. Как правило, такие ячейки образуются впереди фронта основной (материнской) ячейки на расстоянии до 5-10 км и стимулируются нисходящим потоком, связанным интенсивным выпадением осадков, и регенерирующим восходящим поток. Через некоторое время такая дочерняя ячейка становится доминирующей.

В табл. 5 для примера приведены радиолокационные характеристики дочернего Сб над защищаемой территорией Янгикурганской ВС, появившегося впереди материнской ячейки после выпадения из неё сильных осадков и крупы. Как видно, буквально за 7 мин она достигла угрожающего уровня развития. В таких ситуациях следует заранее подготовить команды на РП с таким расчетом, чтобы реагент был введен в площадку засева в начале появления $\eta_{10}=10^{-9}$ см $^{-1}$.

5. Руководящие документы требуют двукратный засев объектов воздействия (ОВ) 2-ой категории с интервалом 6 минут, т.е. через 1 цикл обзора (в методических указаниях этот интервал составляет 4-5 минут). При случаях, когда эффект такого двукратного засева ОВ 2-ой категории не проявляется через 6 мин., воздействие на него продолжается уточнив категорию ОВ. Как видно, разность по времени между кратными и повторными засевами ОВ 2-ой категории нет. Поэтому с руководящих документов можно убрать указание о необходимости двукратного засева объектов 2-ой категории и отметить возможность прекращения воздействия на них при достижении соответствующих радиолокационных эффектов. При отсутствии такого эффекта воздействие продолжается.

6. Руководящие документы определяют засев облаков 3-ей категории соответственно трёхкратно с интервалом 6 минут, и в случаях усиления ОВ допускается засев осуществлять в каждом цикле обзора. Для облаков 4-ой категории предусматривается четырёхкратный засев с интервалом также 6 минут, а засев в каждом цикле обзора допускается только в случае выпадения града на ЗТ. Здесь явно

несоответствие этих определений, поскольку Св IV категории с $\eta_{10} > 10^{-7} \text{ см}^{-1}$, как правило, даёт град на земле. Поэтому засев объектов 4-ой категории во всех случаях следует осуществлять в каждом цикле обзора.

7. Согласно Методических указаний (1987), независимо от категории объекта воздействия разовый засев выбранной площадки необходимо осуществлять за минимально возможное время – за 1-2 минуты. За это время, согласно Т.С.Беловой и др. (1977), мелкие ледяные кристаллы, образовавшиеся на частицах AgI успеют вырасти до размеров 20-30 мкм и вступить в коагуляционный процесс. Введённые же в конце этого времени частицы AgI только вступят в стадию начала кристаллизации. Это усиливает различие микрофизических условий в различных частях площадки засева, что может привести к увеличению разности в размерах облачных частиц и способствовать усилению градообразования.

В связи с этим, для обеспечения разового засева выбранной площадки одновременно по всей её площади, предлагается разработать и передать все команды на обработку этой площадки на ракетные пункты, а команду на исполнение дать им всем одновременно.

Использование критерия $V_{\eta} \geq 1,4 \cdot 10^{-9} \text{ см}^{-1}/\text{мин}$ проверено на материалах Касансайской службы за 1987-97 года. Проверка показала возможность существенного сокращения числа засеваемых облаков при учете V_{η} .

Отсутствие необходимости засева облаков при $\eta_{10} < 10^{-9} \text{ см}^{-1}$ было проверено по материалам Чустской, Касансайской и Янгикурганской военизированных служб по воздействию на гидрометеорологические процессы за 2004-2005 гг. Данные сведены в табл. 6. В эти годы Касансайская служба не начинала воздействие на облака при $\eta_{10} < 10^{-9} \text{ см}^{-1}$, а Чустской и Янгикурганской службами некоторые из них были подвергнуты засеву. Как видно, итоги Касансайской службы по градозащите не хуже, даже несколько лучше, чем в соседних службах. Следует отметить, что в 2004 г. в Касансайской службе отмечен большой средний расход ПГИ на 1 зону. Это можно объяснить относительно большим числом облаков с $\eta_{10} > 10^{-8} \text{ см}^{-1}$ на ЗТ этой службы: из 18 засеянных облаков 10 имели $\eta_{10} > 10^{-8} \text{ см}^{-1}$, тогда как в Чустской службе это соотношение составило 13 на 37, а в Янгикурганской – 11 на 47.

О микрофизических основах воздействия на град. Известно, что воздействие на град осуществляется, главным образом, путем засева облаков частицами AgI субмикронных размеров, в надежде на создание зародышей, конкурирующих с естественными за переохлажденную жидкокапельную влагу или на ускорение осадкообразования.

AgI до середины семидесятых годов в большинстве противоградовых подразделениях диспергировался в облаке снарядами Эльбрус-2. В его центре, заполненном взрывчатым веществом, помещался брикет AgI весом 70-100 г. При взрыве снаряда 1 г AgI давал выход 10^{12} частиц. Средний объем частиц составлял $0,18 \text{ мкм}^3$, средний диаметр 0,7 мкм. В последующем был осуществлен переход на гексоген с 1-3% ным содержанием AgI. Это давало выход 10^{15} частиц с 1 г AgI, т.е. диаметр частиц уменьшился в 10 раз, а объем - в 1000 раз.

Дисперсный состав аэрозоля противоградового изделия «Эльбрус-2» был таков, что более 80% общего числа частиц AgI составляли частицы с $r < 0,05 \text{ мкм}$, а доля частиц $r > 0,5 \text{ мкм}$ была ничтожно мала, а в пиротехническом составе И-1 частицы размером более 0,5 мкм вообще отсутствуют (В.Г. Хоргуани, 1984). В результате увеличения выхода частиц с единицы AgI ситуация ухудшилась еще сильнее.

В общем-то этого следовало ожидать, поскольку на субмикронных частицах из-за большой кривизны поверхности не могут расти облачные частицы. Для этого согласно требуется $r \geq 1$ мкм при пересыщении 0,05 (Л.Т. Матвеев, 1965). Этому соответствует и расчеты В.П. Курбаткина (1998). На мелких частицах растворов $r_{кр}$ на порядок меньше чем у гидрофобных. Однако по мере роста идет разбавление и это преимущество, возможно, также теряется.

В то же время многие исследователи указывают на главенствующую роль гигантских и сверхгигантских частиц в формировании зародышей конвективных осадков и града. При высоких ($-6 \div -8^\circ\text{C}$) температурах в качестве льдообразующих ядер в основном служат гигантские и сверхгигантские аэрозольные частицы. Эксперименты показывают, что сверхгигантские аэрозольные частицы, попадая в облако, быстро покрываются водными оболочками и превращаются в капли. На них быстро могут образовываться элементы осадков за счет гравитационной коагуляции с мелкими облачными элементами. Как отмечают, Г.В. Степанов и др. (1990), в мощно-кучевом облаке даже на температурных уровнях $0 \div -5^\circ\text{C}$ на сверхгигантских частицах возникают крупные капли размерами 2-3 мм, которые вносят значительный вклад в общую водность облака.

Роль гигантских и сверхгигантских частиц, как активных льдообразующих ядер, усиливается тем, что с увеличением их размеров увеличиваются по площади их растворимая часть, т.е. на них наряду с активными центрами замерзания имеются и центры конденсации. Выполненные анализы в условиях Средней Азии показывают, что доля растворимых веществ в гигантских частицах довольно велика и по массе превышает 20%, а по площади – значительно больше.

Концентрация гигантских частиц в облаке на несколько порядков превышает концентрацию градин и сравнима с концентрацией капель осадков (В.Г. Хоргуани, 1984). Что касается льдообразующих ядер, то их концентрация также высока – в условиях Средней Азии, например, даже на высоте 3500 м достигает, как уже было отмечено, 40-80/л.

Следовательно, гигантские и сверхгигантские аэрозольные частицы являются высокотемпературными льдообразующими ядрами и имеют высокую концентрацию в облаке. Поскольку рост облачных частиц и частиц осадков происходит, главным образом, за счет коагуляции, искусственные зародыши града на частицах AgI по всей вероятности не смогут оказать влияние на рост естественных зародышей града до тех пор, пока их размеры не окажутся сопоставимыми. Достижение ими таких размеров затруднительно, поскольку существует большая вероятность их захвата более крупными естественными облачными частицами. Это подтверждается измерениями М.И. Тлисова (2002) концентрации аэрозольных частиц в слоях и зародышах градин, выпавших 17 и 22 июля 1978 г. в Краснодарском крае. Они характеризуют два градобития – первое без засева AgI, второе с засевом. В случае без засева максимальный размер града достигал 2 см, с засевом - 3,5 см. Содержание Ag в зародышах и слоях градин этих градобитий приведено в таблице 7. Как видно, содержание серебра в слоях градин с крупным зародышем второго градобития на порядок величины превышает его содержание в зародышах градин, в которых отмечается довольно близкие значения Ag (0,5-0,8 мкг/л) для обоих градобитий, почти в 6 раз больше чем в слоях градин с капельным зародышем обоих градобитий и с крупным зародышем градин из незасеянного облака. Отметим также, что содержание Ag в снегу составляет 0,45 мкг/л, и отсутствие его в капельных

зародышах градин из незасеянного облака. В целом можно заключить, что при засеве облаков большая часть AgI расходуется на рост слоев градин с крупным зародышем.

Анализ данных по этим двум градобитиям показывает, что концентрации и средние размеры аэрозольных частиц, их распределения по размерам по обоим случаям градобитий идентичны (табл.8). Единственное большое различие заключается в том, что в случае с засевом количество аэрозольных частиц $d > 60$ мкм на порядок меньше, чем в случае без засева. При этом в случае с засевом зародышевые капли содержали более крупные частицы, размер которых достигал 260 мкм. Возможно, малочисленность частиц $d > 60$ мкм и их более крупные размеры привели к более крупному размеру выпавшего града и более интенсивному градобитию в случае с засевом.

Роль частиц $d > 70$ мкм в процессе образования осадков и градин исследовал Дж. Росинский (1974). Изучая микроструктуру аэрозольных частиц, содержащихся в каплях осадков и градинах, собранных у поверхности земли во время прохождения градового процесса, он определил, что капли осадков образуются на частицах $d > 70$ мкм в результате гравитационной коагуляции с облачными каплями, а частицы $d < 70$ мкм вымываются уже образовавшимися элементами осадков.

Отсюда напрашивается вывод о том, что противоградовые работы должны быть основаны на введении в градоопасное облако частиц $d > 60$ мкм для того, чтобы они могли сразу вступить в конкуренцию с естественными зародышами градин за влагу. Однако, это требует огромных масс реагента, исчисляемых тоннами.

Таким образом, на основе вышеизложенного можно сделать заключение о проблематичности создания конкурирующих за влагу частиц в облаке путем засева субмикронными частицами AgI с целью ослабления градобитий. Это касается и гипотезы ускорения осадкообразования. Еще следует отметить, что ускорение осадкообразования должно было бы привести к уменьшению осадков. Однако, этого не наблюдается. Как было отмечено выше на Северном Кавказе, Таджикистане и в некоторых других регионах градозащиты отмечено увеличение осадков, в Узбекистане и в Молдавии установить сколько-нибудь заметное влияние градозащиты на количество осадков не удалось.

Отмечающийся успех градозащиты, возможно, объясняется: 1) более полной кристаллизацией той части облака, куда введен AgI; 2) повышением температуры появления первых кристаллов в результате попадания в зародыши градин частиц AgI; 3) динамическим эффектом подрыва снарядов и ракет; 4) действием в качестве реагента продуктов ликвидации снарядов и ракет.

Ещё следует отметить возможность того, что в результате взаимодействия льдообразующего реагента с облачной средой, за 2-4 мин образуются первичные кристаллы с интенсивной их агрегацией из-за большой их начальной концентрации (М.Т. Абшаев, 1979). Однако, при этом, во – первых, теряется смысл измельчения реагента, всех тех научно-исследовательских работ по увеличению выхода частиц из них и, во – вторых, на агрегацию потребуется время 1-3 мин. Таким образом, при засеве субмикронными кристаллизующими реагентами самый быстрый механизм укрупнения частиц, обеспечивающий ускорение осадкообразования требует 6-8 мин., что сравнимо с продолжительностью градообразования.

Развитие облаков и образование осадков, в т.ч. и града, особенно в умеренных широтах, как известно, самым тесным образом связано с льдообразующими ядрами. Исследованиями установлено, что льдообразующие ядра представляют собой, главным образом, частицы глины, поднятые с поверхности земли ветром. М.И. Тлисов и В.Г.

Хоргуани (1990) отмечают, что градины градобитий в районах с подстилающей поверхностью, содержащей как основной компонент известняки, характеризуются наличием аэрозолей известкового происхождения. Они также утверждают, что капельные зародыши формируются в сильных потоках, поднимающих в облако из приземного слоя сверхгигантские аэрозольные частицы, т.е. капельные зародыши – это не результат таяния крупы. В. Шефер исследовал в лаборатории различные аэрозоли и отметил, что частицы различных видов глины являются активно действующими ядрами кристаллизации. Наиболее эффективными оказались частицы каолина и монтмориллонита. При этом, как свидетельствует (К.Я. Кондратьев и др., 1983), частицы с $1 \text{ мкм} < r < 10 \text{ мкм}$ имеют в основном глинистый состав, а частицы с радиусом более 10 мкм состоят преимущественно из кварцевых крупинок, поверхность которых покрыта мелкими глинистыми частицами. Было отмечено, что на отдельных частицах некоторых глинистых минералов капельки воды замерзают при температуре вплоть до $-2,8^{\circ}\text{C}$ (И.И. Чеша и др., 1975), т.е. у них пороговая температура кристаллизации намного выше чем у знаменитого йодистого серебра. Б. Мейсон (1961) изучая льдообразующую способность различных веществ и их распространение, определил каолиновые минералы (силикатные комплексы) наиболее важными естественными льдообразующими ядрами. Как утверждает Дж. Макдональд, поднимаемая и переносимая ветрами пыль из пустынь мира достаточна для образования в атмосфере всего земного шара достаточного количества ядер, порождающих ледяные кристаллы при температуре -15°C .

На основе вышеизложенного предлагается новая концепция воздействия на градовые процессы, основанная на введении в градоопасное облако глинистых частиц $d \approx 2 \text{ мкм}$ природного характера в качестве конкурирующих за влагу дополнительных зародышей градин. Такие размеры частиц, согласно проведенным исследованиям, обеспечивают их высокую относительную льдообразующую активность, определяемую как

$$f(d) = n_d / n_r,$$

где n_d – концентрация льдообразующих ядер в заданном интервале размеров, n_r – концентрация всех частиц такого размера. Для частиц $d \approx 2 \text{ мкм}$ она приближается к 1/10. Капля, образовавшаяся на такой частице, как указывает Л.Г. Качурин (1951), при переохлаждении 10° замерзает за 0,01-0,02 с, а в среде водяных частиц она, согласно В.П. Курбаткину (2005), дорастёт до размера оседающей частицы не более чем за 0,5 мин.

Новый способ воздействия на градовые процессы. В предыдущем разделе было показано, что засеваемый в облако реагент по своим размерам не отвечает требованиям микрофизических основ воздействия. Однако, проблема не только в этом. Для того, чтобы определить технические требования к средствам доставки и диспергирования реагента, сначала рассмотрим существующие концепции воздействия на град.

Если в работах по увеличению осадков и рассеянию облаков основной механизм воздействия на них более или менее ясен, то в отношении предотвращения града этого сказать нельзя.

Наиболее обоснованной физической концепцией воздействия на градовые процессы, по М.Т.Абшаеву, является концепция ускорения осадкообразования. Однако, по Х.М. Калову [128] внесение реагента в зоны формирования зародышей града и его роста из-за небольших значений водности в этих зонах не может стимулировать преждевременное выпадение осадков, способных подавлять восходящие потоки и

вымывать облачную воду. Кроме того, как было отмечено выше, ослабление восходящего потока должно привести к уменьшению осадков из облаков, засеянных реагентом, чего не наблюдается на практике.

По поводу концепции конкурирующих зародышей, которая служила основой в развитии градозащиты во всем мире, также имеется мощная критика. Например, М.Т. Абшаев ссылается на то, что непосредственное зондирование градовых облаков с помощью бронированного самолёта - лаборатории не обнаружило в них зоны больших концентраций крупных переохлаждённых капель.

Как видно, до настоящего времени нет достаточно обоснованной концепции засева градоопасных облаков с целью ослабления градового процесса. В этом контексте нелишне вспомнить о концепции, предусматривающей ввод реагента в нижнюю переднюю часть конвективного облака в расчете на одновременное образование и рост естественных и искусственных зародышей, положенных в основу градозащиты в Средней Азии в начале её организации. Это в какой-то степени соответствует так называемому «засеву восходящих потоков», который считается многообещающим.

Такое заключение подтверждается и следующим.

Как уже отмечено выше, согласно выполненным обобщениям экспериментальных и теоретических исследований физики кучевых и кучево-дождевых облаков, вток воздуха из окружающей атмосферы внутрь конвективного облака попадает главным образом, через основание и боковую поверхность нижней передней части облака. Последующие исследования структуры воздушных потоков в кучево-дождевых облаках и их окрестностях с помощью пассивных радиолокационных отражателей [ПРО], радиозондов и шаров-пилотов в основном подтвердили это (Н.Ш. Бибилашвили, 1974,1977).

Позже подобные работы проводились Х. М. Каловым (1999). Всего им проведён 21 эксперимент по исследованию воздушных потоков в облаках и околооблачном пространстве. Из них 4 запуска ракет с ПРО осуществлено в область максимума радиоэха, 8 - в навес и впереди навеса, 1 на границу навеса и околооблачной среды, 1 в верхнюю часть слоисто кучевого облака, 7 - в околооблачное пространство. Отметим основные на наш взгляд результаты этих работ:

- Почти во всех экспериментах при введении ПРО во фронтальную часть облака на уровне выше 3-4 км н.у.м. наблюдалось «отталкивание» группы ПРО от границы зоны радиоэха, что указывает на отсутствие ощутимого втока воздуха в облако из фронтальной части с высот примерно 3-4 км и более. Потоки, направленные в сторону зоны радиоэха из фронтальной части фиксируются только с уровней ниже 1-2 км.

- Радиозонды и шар-пилоты, имеющие свободную подъёмную силу и запущенные на некотором расстоянии от Сб как правило обходят их, а при наличии нескольких облаков перемещаются между ними, не входя ни в одно из них.

- В некоторых работах, например Х.М. Каловым, отмечается, что вток воздуха в конвективное облако наблюдается только через его нижнее основание.

- Исследования направления и скорости воздушных потоков в конвективных облаках и их окрестностях путём проведения натуральных экспериментов с использованием ПРО показали, что в навесе радиоэха и впереди него нет втока воздуха в облако. ПРО, внесенные в эти области, перемещаются по направлению от центра облака к навесу радиоэха, опускаясь вниз с гравитационной скоростью. При внесении ПРО в область максимума отражения, они перемещаются вместе с облаком, немного опережая его, и доходят также до навеса радиоэха.

Таким образом, можно считать, что вток воздуха из окружающей атмосферы внутрь осесимметричного малоподвижного конвективного облака осуществляется только через его основание, а перемещающегося Сб – через его основание и боковую поверхность его передней нижней части. Поэтому, видимо, имеет некоторый эффект рассеивание наземными генераторами AgI в проекте по предотвращению града во Франции, осуществляемого без перерыва с 50-х годов по настоящее время на площади 7 млн. га, несмотря на возможную дезактивацию AgI по пути подъёма до уровня кристаллизации. Также здесь следует упомянуть опыты, проведенные в Ферганской долине Б.Ш. Кадыровым и В.П. Курбаткиным по воздействию на град наземными пиротехническими генераторами. Они проводились в течении 4-х лет (1991-1994 гг.) и по имеющимся оценкам дали положительные результаты.

И так, засев облаков с целью предотвращения выпадения из них града наиболее целесообразно осуществить в нижние части переохлажденного градового облака. При этом за время, пока восходящий поток вынесет частицы реагента на уровень более низких температур, на них, возможно, образуются искусственные зародыши градин.

В настоящее время засев облаков осуществляется противоградовыми изделиями «Алазань-6» при углах возвышения в основном 60 и 65°. При таких углах длина трассы диспергирования реагента составляет около 6 км, и значительная её часть выходит за площадку засева и будет мало эффективной. Далее реагент диспергируется по вертикали от 4 до почти 8 км, т.е. температурные условия работы реагента разнятся почти на 20°C, что также скажется на его эффективности. Кроме того, ограничения производства пуска ракет по углу места не более 65° создает над ракетным пунктом в радиусе 4 км необрабатываемую площадь, которая должна засеиваться соседним ракетным пунктом, для чего требуется большие перекрытия.

Исходя из изложенного выше, противоградовое изделие должно отвечать следующим требованиям:

- 1) размеры льдообразующих частиц должны иметь $r \geq 1$ мкм;
- 2) доставка реагента в нижнюю часть переохлажденной области градоопасного облака;
- 3) иметь пологую траекторию полёта от места начала работы ШАД (шашки активного дыма) до её окончания;
- 4) иметь возможность осуществлять засев над головой.

Остальные требования изложены в приложении.

В настоящее время для обеспечения работ по защите сельскохозяйственных культур от градобитий, противоградовые ракеты приобретаются у Федерального Государственного унитарного предприятия «Чебоксарское производственное объединение им. В.И. Чапаева» (Российская федерация), которое является монополистом в производстве противоградовых изделий. Цены их растут из года в год. До 1998 г. они приобретались по цене около 130 долларов США. В 2006 г. их цена стала около 280 долларов США и приобретение их все сильнее ложится бременем на бюджет Республики. Поэтому было бы целесообразно организовать производство противоградового изделия (ПГИ) у себя в Узбекистане на базе штатских советских ПГИ с улучшенными потребительскими и технологическими характеристиками. Оно должно содержать генератор, обеспечивающий засев облака льдообразующим реагентом на траектории полета до 6 км от места пуска. За основу предусматривалось взять изделие «Алазань-6». Предполагалось создание его варианта с модернизацией и учетом вышеизложенных требований под названием «Фазо». Решение этого вопроса

обеспечило бы разработку и внедрение национальной импортозамещающей технологии, организацию новых рабочих мест, повышение экономической эффективности противоградовых работ и возможность экспорта ПГИ в другие страны. При финансировании этого мероприятия можно было организовать производство ПГИ в Узбекистане в течении 2-3-х лет. В настоящее время производство ПГИ организовано в Болгарии и Молдавии.

Заключение

Как видно из вышеизложенного, настоящая работа является результатом анализа и обобщений большого количества натуральных экспериментов по засеву облаков с целью защиты сельскохозяйственных культур от градобитий, увеличению осадков, рассеянию облаков и предупредительному спуску снежных лавин, проводимых в Узбекистане с 1960-ых годов. Они позволяют сделать следующие основные выводы.

1. Выше было отмечено, что опыты по засеву облаков в настоящее время проводятся в более чем 30 странах (более 100 проектов). В большинстве из них отмечаются положительные результаты. Проведённые опыты по засеву облаков в Узбекистане подтверждают это. Эффективность засева облаков явно обнаруживается и при сравнении данных метеорологических станций и постов большого объёма, характеризующего и периоды проведения опытов и до их начала. Для этого предложены новые варианты методов оценки эффективности воздействий на гидрометеорологические процессы. Результаты позволяют говорить о значимости достигнутого эффекта. Только в отношении опытов по рассеянию облаков этого сказать трудно из-за их малочисленности.

2. В результате исследований данных метеорологических станций и постов изучено распределение градовых явлений и составлена карта числа дней с градом на территории Узбекистана, которая может быть полезна при планировании размещения сельскохозяйственных культур по их толерантности к градобитиям и самих работ по градозащите.

3. Дано новое определение термина «град», исходящее из физики его образования.

4. Выявлены недостатки действующей методики воздействия на градовые процессы и на их основе разработаны рекомендации по ее усовершенствованию, значительно сокращающие расход противоградовых изделий при воздействиях на градовые процессы и упрощающие засев градоопасных облаков.

5. Изучено влияние противоградовых работ на режим осадков в условиях Узбекистана. Результаты его указывают на необходимость усиления мероприятий по засеву конвективных облаков с целью увеличения осадков. Статистический анализ радиолокационных наблюдений за ними показывает значительные их ресурсы в улучшении водоснабжения, что может способствовать устойчивому социально-экономическому развитию Узбекистана.

6. В результате изучения соответствия внутригодового распределения стока рек к потребностям в воде для орошения установлено, что в условиях орошаемого земледелия наиболее целесообразно проведение засева облаков с целью увеличения осадков в высокогорной зоне водосборов, где количество осадков по оценкам автора превышает 1300-1400 мм. Это приводит к ощутимой добавке к стоку рек, особенно летнего периода, когда наблюдается острая необходимость в оросительной воде. Проведение

засева облаков в высокогорной зоне будет способствовать не только значительному улучшению снабжения водой орошаемого земледелия, но и некоторой задержке деградации ледников.

7. Исследования особенностей осадкообразования в пустынных и припустынных районах позволили автору предложить дополнительно к существующим новый механизм опустынивания, заключающийся в повышенной концентрации ядер конденсации и льдообразующих ядер, резко ограничивающей рост облачных частиц до размеров частиц осадков. Поэтому в этих районах искусственное увеличение осадков следует проводить не путем засева облаков, а наоборот, очищением атмосферы от ядер конденсации и льдообразующих ядер до оптимального уровня. Здесь наиболее эффективны фитомелиоративные, пескозакрепительные меры, ограничения антропогенной нагрузки на пустыни, орошение. Этому может способствовать и нынешнее потепление климата.

8. На основе исследований распределения частиц реагента в различных частях градин автором предложен новый механизм воздействия на облака, заключающийся в усилении коагуляционного роста облачных частиц в результате засева облаков йодистым серебром.

9. Разработан новый метод воздействия на градовые процессы применительно к условиям высокой концентрации аэрозолей, с использованием глинистых частиц с $r > 1$ мкм, имеющих более теплый порог кристаллизации, чем йодистое серебро, и предусматривающий засев нижней части облака. Составлены технические требования на разработку соответствующего противоголового изделия

10. Поскольку до настоящего времени нет достаточно обоснованной концепции засева градоопасных облаков с целью ослабления градового процесса, предложен практический способ, предусматривающий ввод реагента в нижнюю переднюю часть конвективного облака в расчете на одновременное образование и рост естественных и искусственных зародышей, положенный в основу градозащиты в Средней Азии в начале её организации. Это с одной стороны соответствует так называемому «засеву восходящих потоков», который считается многообещающим, а с другой, - дал хорошие результаты в практике многолетнего применения.

Основное содержание диссертационной работы изложено в следующих публикациях (в скобках соавторы):

1а. В журналах и периодических изданиях

1. О селевых потоках. // Гидротехническое строительство. – 1965. - №2. - С.51.
2. Арал можно восстановить. // Человек и политика. – 1991. - №1. - С. 57-62.
3. Оценка результатов активных воздействий по увеличению осадков в бассейне реки Кашкадарья. // Метеорология и гидрология. – 1993. - №9. - С.97-99.
4. Some results of hailstorm clouds seeding in the piedmont areas of Uzbekistan // WMO/TO. –1994. - № 596. - Sixth WMO scientific conference on weather modification (Paestum, Italy), Volume 1. - P. 51-54.
5. The results of cloud modification aimed at precipitation enhancement in the target area of Uzbekistan (1985-1991) // WMO/TO. – 1994. - № 596. - Sixth WMO Scientific conference on weather modification (Paestum, Italy), Volume 2. - P. 641-644, (соавторы Курбаткин В.П., Кадыров Б.Ш., Ушинцева В.Ф.).

6. Drying out of Aral Sea and a regime of cloud and precipitation. // 12th International Conference on clouds and precipitation. Proceedings, Volume 2 (Zurich, Switzerland). – 1996. - P. 1307- 1309.
7. The Ancient Methods of Water Enhancement from the Atmosphere and their use // WMO/TD. – 1999. - № 936. - Seventh WMO scientific conference on weather modification (Chiang Mai, Thailand, 17-22 February 1999) - P. 154-155.
8. The Estimate of the Results of Clouds Seeding on Data of Meteorological Stations // WMO/TD. – 1999. - Seventh WMO scientific conference on weather modification (Chiang Mai, Thailand). - P. 183-186.
9. Арал и климат. // Экологический вестник. – 2000. - №1. - С. 21-24.
10. Об определении термина «град». // Узб. география жамияти ахбороти. – 2000. -т.21. - С. 164-166.
11. О трансформации радиолокационных характеристик и перемещении конвективных облаков на севере Ферганской долины. // Узб. география жамияти ахбороти. – 2000. - т. 21. - С. 177-178., (соавтор О.Б.Сатторов).
12. Потепление климата: негатив или позитив. // Экологический вестник. – 2001. - №1. - С. 5-8.
13. Некоторые статистические характеристики верхней границы радиозахвата конвективных облаков на севере Ферганской долины.//Узб. география жамияти ахбороти. – 2002. - т. 22. - С. 87-88, (соавтор О.Б.Сатторов).
14. Узбекистонда 2000 йил баҳор ва ёз ойларига дул жараёнини сусайтириш буйича утказилган тажрибаларнинг натижалари. // Узб. география жамияти ахбороти. – 2002. - т. 22. - С. 90-91. (соавтор Х.А.Имомжонов).
15. Investigations of convective clouds and hail prevention activity in the Surkhandaria province. // WMO/TD. – 2003. - № 1146. - Preprints V111 WMO scientific conference on weather modification (Casablanca, Marocco). - P. 345-348, (соавторы Х.А.Имамджонов, И.У. Усмонов, Т.М. Мухторов, А.М.Алимов).
16. О функции распределения высоты верхней границы конвективных облаков // Метеорология и гидрология. – 2004. - №3. - С. 62-70 (соавторы Х.А.Имамджанов, О.Б.Сатторов).
17. О схеме засева градоопасных облаков // Узбекистон география жамияти ахбороти. – 2006. – т. 27. – С. __ (Сатторов О.Б.)

16. Монография и брошюры

18. Опыт борьбы с градобитиями в Ферганской долине. - Гидрометеиздат, 1982. – 8 с. (соавтор Каримов Г.).
19. Опыт организации работы огневого пункта противоголового отряда. - Гидрометеиздат, 1982. – 7 с. (соавторы Долимов О.О., Каримов Г.).
20. Оценка эффективности противоголового защиты хлопчатника. - Гидрометеиздат, 1984. – 7 с. (соавторы Махмудов К., Муминов Ф.А.).
21. Град в Узбекистане и борьба с ним. - Гидрометеиздат, 1985, -12 с. (соавторы Долимов О., Ибрагимов А., Иргашев С., Махмудов К., Усманов И.).
22. Защита от снежных лавин зоны отдыха Чимган. - Гидрометеиздат, 1989. - 7с. (соавторы Исмоилов А.К., Муратов Ш.С.).
23. Узбекистонда об-хавога таъсир этиш. – Ташкент, 2001. – 120 с. (соавтор Х.А.Имомжонов).
24. Дулли жараёнларга таъсир этиш буйича кулланма. – Тошкент, Узгидромет (РН 68.04.16.2002), 2002. –50 с. (соавторы Х. Имомжонов, А. Ибрагимов).

25. Методические рекомендации по усовершенствованию засева градоопасных облаков. – Ташкент, ВУ ВГМП, 2006. – 12 с.
26. Методические рекомендации по определению эффективности противоградовых работ. – Ташкент, ВУ ВГМП, 2006. – 13 с.

2. В научных сборниках

27. Селевые явления в районе Колхозчиона. // Сборник научных работ студентов, в.3 (VI научная конференция студентов вузов Средней Азии и Казахстана). - Фрунзе, 1964. - С.108-109.
28. Некоторые результаты противоградовых работ в Ферганской долине. // Тр. САНИГМИ. - Вып. 53(68). – 1971. - С. 41-47 (соавторы Джураев А.Д., Бутов Н.Н., Ельцов В.А.).
29. О многолетнем регулировании речного стока ледниками // Тр. ГГИ. - Вып. 167. – 1972. - С.54-59.
30. Об экономической эффективности противоградовых работ. // Тр. САРНИГМИ. - Вып. 16(97). – 1975. - С. 36-38.
31. Исследование внутригодового распределения стока с целью выбора мест для искусственного регулирования осадков. // Тр. САРНИГМИ. - Вып. 30(111). – 1975. - С. 88-92 (соавторы Негматуллаев З., Сабитова Р.М.).
32. Некоторые результаты защиты сельскохозяйственных культур от градобитий в Средней Азии. // Тр. САРНИГМИ. - Вып. 48(129). – 1977. - С. 44-51 (соавтор Джураев А.Д.).
33. Оценка влияния противоградовой защиты на режим осадков в Узбекистане (Ферганская долина). // Тр. САНИИ Госкомгидромета. - Вып. 79(160). – 1981. - С. 33-40 (соавторы Курбаткин В.П., Усманов И., Ушинцева В.Ф.).
34. Оценка влияния противоградовой защиты на режим осадков в Ферганской долине. // Труды САНИИ Госкомгидромета. - Вып. 100(181). – 1984. - С.56-75 (соавторы Сабаев В.В., Усманов И.).
35. Некоторые результаты защиты сельскохозяйственных культур от градобитий в Узбекистане и расчёт её экономической эффективности в условиях хлопкосеющих районов. // Доклады представленные на 2-й Международной конференции по борьбе с градом (20-24 сентября 1982). - София, Болгария, 1984. - С. 416-423 (соавторы Джураев А.Д., Каримов Г., Махмудов К.М.).
36. Комплексный анализ сильного града 30 мая 1981 г. в Наманганской области. // Труды VI всесоюзного совещания «Радиометеорология». - Л.: Гидрометеоиздат, 1984, С.161-165 (соавторы Акрамов М., Имамджанов Х., Кадыров Б., Шадыева Р.).
37. Результаты первых опытов предупредительного спуска снежных лавин в урочище Чимган. // Тр. III Всесоюзного совещания по лавинам. - Л.: Гидрометеоиздат, 1989. - С.37-40, (соавторы Исмоилов А.К., Муратов Ш.С.).
38. Некоторые результаты радиолокационных исследований конвективных облаков на севере Ферганской долины. // Труды САРНИГМИ. - Вып. 134(215). – 1989. - С.67-70 (соавтор Долимов О.О.).
39. Результаты засева конвективных облаков в Ферганской долине. // Тр. САРНИГМИ. - Вып. 110(191). – 1990. - С. 95-100, (То же в тезисах докладов Всесоюзной конференции по активным воздействиям на гидрометеорологические процессы”, Киев, 17-21 ноября 1987 г.).

40. Опыты по воздействию на мощные интенсивные градовые процессы в Ферганской долине. // Тр. САРНИГМИ. - Вып. 110(191). - 1990. - С. 78-87 (соавторы Имамджанов Х.А., Кадыров Б.Ш., Долимов О.О.).
41. Некоторые результаты радиолокационных исследований конвективных облаков на севере Ферганской долины. // Активные воздействия на гидрометеорологические процессы. Тр. Всесоюзной конференции. Киев, 17-21 ноября 1987 г. -Л.: Гидрометеоиздат. - 1990. - С.526-530 (соавтор Долимов О.О.).
42. Результаты работ по увеличению осадков в Узбекистане. // Труды Ставропольского филиала ВГИ. - Вып.1. - 1993. - С. 66-70.
43. Военизированная служба по активному воздействию на гидрометеорологические процессы. // В кн. "Очерки развития гидрометеорологии в Средней Азии". - С.-П.: Гидрометеоиздат. - 1993. - С. 239-246.
44. Активные воздействия на гидрометеорологические процессы в Узбекистане. // Сб. «Гидрометеорология Узбекистана: успехи, проблемы, перспективы». - Ташкент. - 1996. - С. 60-66. (соавтор И.Усманов).
45. Некоторые вопросы развития активных воздействий в Узбекистане. // Сб. «Вопросы модификации погоды». Труды научно-практического семинара «Состояние и перспективы работ по воздействию на гидрометеорологические процессы в интересах развития производства в Республике Узбекистан». - Ташкент. - 2001. - С. 56-67.
46. О связи развития конвективных облаков с рельефом. // Сб. «Вопросы модификации погоды». Труды научно-практического семинара «Состояние и перспективы работ по воздействию на гидрометеорологические процессы в интересах развития производства в Республике Узбекистан». - Ташкент. - 2001. - С. 72-78 (соавторы О.Б.Сатторов).
47. Пространственно-временное распределение осадков на Кашкадарьинском мезополигоне. // «Вопросы модификации погоды». Труды научно-практического семинара «Состояние и перспективы работ по воздействию на гидрометеорологические процессы в интересах развития производства в Республике Узбекистан». - Ташкент. - 2001. - С. 79-87 (соавтор Т.Бердиев).
48. О влиянии усыхания Аральского моря на климат. // Научная конференция по результатам исследований в области гидрометеорологии и мониторинга загрязнения природной среды в государствах-участниках СНГ, посвященная 10-летию образования Межгосударственного совета по гидрометеорологии. Секция 3. Изменение климата и природной среды и влияние этих изменений на экономику, и население. - С.-П.: Гидрометеоиздат. - 2002. - С. 38-41.
49. Об осадкообразовании в пустынных и припустынных районах. // Научная конференция по результатам исследований в области гидрометеорологии и мониторинга загрязнения природной среды в государствах-участниках СНГ, посвященная 10-летию образования Межгосударственного совета по гидрометеорологии. Секция 4. Активные воздействия на гидрометеорологические и гелиогеофизические процессы и явления. - С.-П.: Гидрометеоиздат. - 2002.
50. О проведении работ по метеозащите Ташкента 21 марта 2002 года. // Тр. НИЦ ДЗА ГГО. - Вып. 4 (552). - 2002. - С. 139-151 (соавторы Атабиев М.Д., Имамджанов Х.А., Козлов В.П., Усманов И.У., Щукин Г.Г.)

51. Марказий Осиёда шахарнинг ёгин микдори таъсири. // География ва барқарор ривожланиш (Илмий конференция материаллари). 1-жилд. - Самарканд, 2004. - С.21-24.
52. Чул ва чулолди худудларда ёгин хосил булишининг хусусиятлари тугрисида. // География ва барқарор ривожланиш (Илмий конференция материаллари). 2-жилд. - Самарканд, 2004. - С.15-16.
53. On the role of the giant and super-giant particles in the formation of convective precipitation and hail//14th International Conference on clouds and Precipitation. (Bologna, Italy, 19-23 July 2004). Proceedings. - 2004.
54. On the precipitation formation in desert and near-desert regions//14th International Conference on clouds and Precipitation. (Bologna, Italy, 19-23 July 2004). Proceedings.- 2004.
55. The city influence in precipitation in Central Asia//14th International Conference on clouds and Precipitation. (Bologna, Italy, 19-23 July 2004). Proceedings. -2004.

3. Тезисы докладов

56. Результаты САНИГМИ по выполнению комплексного градового эксперимента. // Тезисы Всесоюзной конференции по активным воздействиям на гидрометеорологические процессы. 22-25 октября 1991 г. - Нальчик, 1991. - С. 5-6 (соавторы Шадиева Р.Г., Имамджанов Х.А., Долимов О.О.).
57. Анализ результатов последних лет работы противоградовой защиты в Узбекистане. // Тезисы Всесоюзной конференции по активным воздействиям на гидрометеорологические процессы. 22-25 октября 1991 г. - Нальчик, 1991. - С.6.
58. The Mediterranean cyclones and drying out of Aral Sea. // Abstracts submitted to the JNM/WMO International symposium on cyclones and Hazardous weather in the Mediterranean. - Palma de Mallorca, 1997. - С.97.
59. К вопросу о борьбе с опустыниванием. // Материалы международной научной конференции «Проблемы опустынивания в аридных зонах». - Самарканд, 2000. - С. 43.
60. Некоторые вопросы воздействия на гидрометеорологические процессы. // Всероссийская конференция по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы. - Нальчик, 2001. - С. 20-21.
61. Результаты противоградовых работ в период 1990-2000 года в Республике Узбекистан. // Всероссийская конференция по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы. - Нальчик, 2001. - С. 36-37 (соавторы Х.А.Имамджанов, И.У. Усманов).
62. О климатологической обработке радиолокационных характеристик конвективных облаков. // Всероссийская конференция по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы. - Нальчик, 2001. - С. 90-91 (соавтор О.Б.Сатторов).
63. Some discussion issues of hail-suppression. // Abstracts of presentation made at the meeting of experts on hail suppression. - Nalchik, 27 September – 2 October 2003. - P. 35.

Рецензии

64. Рец. Тлисов М.И. “Физические характеристики града и механизм его образования”. Гидрометеиздат, 2002г. // “Метеорология и гидрология”, №5, 2004, С.103-108.

География фанлари доктори илмий даражасига талабгор Камолов Баходир Асомовичнинг
11.00.09 метеорология, и=лимшунослик, агрометеорология ихтисослиги быйича
«**Ўзбекистонда об-щавога таъсир этиш ва уни такомиллаштириш**» мавзусидаги
диссертациясининг

РЕЗЮМЕСИ

Таянч сызлар: фаол таъсир, булут дыллилиги, дылли-ча=мо=ли жараён, реагент сепиш, щимоя майдони, ё\ин жадаллиги, коагуляция, конденсация, конвектив булут, и=лим исиши, дылга =арши мащсулот, сепиш майдончаси, кычкиларни профилактик тушириш, булут ва туманларни тар=атиш, ё\инни кыпайтириш.

Тад=и=от объектлари: булутлар ва ё\инлар.

Ишнинг ма=сади. Об-щавога таъсир этиш быйича кып йиллик тажрибалар натижаларини тад=и= этиш ва улар асосида булут ва ё\ин щосил былиш жараёнларини бош=ариш усулларини такомиллаштириш, бу усулларга =араганда самарадорлиги ва илмий асосланганлиги ю=ори шамда аэрозоллар концентрацияси баланд былган шароитга мос янги усулларни ишлаб чи=иш.

Тад=и=от усули: статистик щисоблаш, корреляцион, регрессион ва нисбий анализ, тарихий ва географик аналогия, таъсир этишга щодиса реакциясини ырганиш.

Олинган натижалар ва уларнинг янгилиги. Биринчи марта Ўзбекистонда дыл щодисасининг щудудий та=симланиши ырганилиб, харитаси тузилган. Дыл атамасига янги таъриф берилган. 1969-2005 йиллардаги об-щавога таъсир этиш тажрибалари тад=и= этилган, уларнинг услубий камчиликлари ани=ланган, таъсир этишнинг физик ва и=тисодий самарадорлигини башолаш усулларининг янги вариантлари ишлаб чи=илган. Булутларга AgI заррачалари сепилганда булут заррачаларининг коагуляцион ысишининг кучайиши асосида таъсир этишнинг янги механизми ани=ланган. Дылли жараёнларга таъсир этиш усули такомиллаштирилган, унга =араганда самарадорлиги ва илмий асосланганлиги ю=ори шамда аэрозоллар концентрацияси баланд былган шароитга мос янги усул таклиф этилган. Дылга =арши ишларнинг ё\инга таъсири ырганилиб, конвектив булутларнинг сунъий ё\ин ё\дириш учун ащамияти катта эканлиги ани=ланган. Чыллолди щудудларда ё\ин щосил былишининг шароитларини тад=и= этиш асосида чылланишнинг янги сабаблари ани=ланди ва уни сусайтириш быйича тавсиялар ишлаб чи=илди. Су\орма деш=ончилик шароитида ё\инларни сунъий кыпайтиришни дарё хавзаларининг баланд то\ =исмларида ытказиш дарё сувини энг кып кыпайтириш имконини бериши ани=ланган..

Амалий ащамияти. Дыл щодисасининг Ўзбекистонда щудудий та=симланиши харитаси экинларни дыл уришига толерантлиги асосида жойлаштиришда щисобга олиниши зарур. Дылни сусайтириш усулини такомиллаштириш тавсиялари четдан келтириладиган ракеталарни тежаш имконини беради, янги усули эса дылга =арши ишларнинг самарадорлигини оширади. Чылланишни сусайтириш, конвектив булутлардан ё\инни кыпайтиришни кучайтириш, баланд то\ щудудларида ё\инни кыпайтириш ишларини ташкил этиш Ўзбекистоннинг сув таъминоти масалаларини щал этишда мущим ащамиятга эгадир.

Тадби= этиш даражаси ва и=гисодий самарадорлиги. Тад=и=от натижалари асосида 1 монография, 1 ращбар хужжат, 2 услубий =ылланма нашр этилиб, улардан соцца быйича фойдаланиш жорий этилган. Монографиядан ы=ув жараёнида щамда ГЖТЭБ ходимларини ишга тайёрлашда ы=ув =ылланмаси сифатида фойдаланилмо=да (6 та тадби= этиш актлари тузилган).

+ылланиш (фойдаланиш) сощаси: гидрометеорология, булутлар физикаси ва фаол таъсир этиш, илмий-тад=и=от ишлари, =ишло= ва сув хыжалиги

РЕЗЮМЕ

диссертации Камалова Баходира Асамовича на тему **«Воздействие на погоду в Узбекистане и его усовершенствование»** на соискание ученой степени доктора географических наук по специальности 11.00.09 метеорология, климатология, агрометеорология

Ключевые слова: активные воздействия, градоопасность облаков, грозо-градовый процесс, засев облаков, защищаемая территория, интенсивность осадков, коагуляция, конвективное облако, конденсация, потепление климата, противогодовое изделие, профилактический спуск лавин, рассеяние облаков и туманов, реагент, увеличение осадков.

Объект исследования. Облака и осадки.

Цель работы. Исследование результатов многолетних опытов по воздействию на гидрометеорологические процессы и на их основе усовершенствование существующих и разработка новых, более эффективных и научно обоснованных способов управления процессами облако- и осадкообразования в условиях повышенной концентрации аэрозолей.

Методы исследования: статистическая обработка данных, корреляционный, регрессионный и сравнительный анализы, способы исторической и географической аналогии, изучение реакции явления на воздействие.

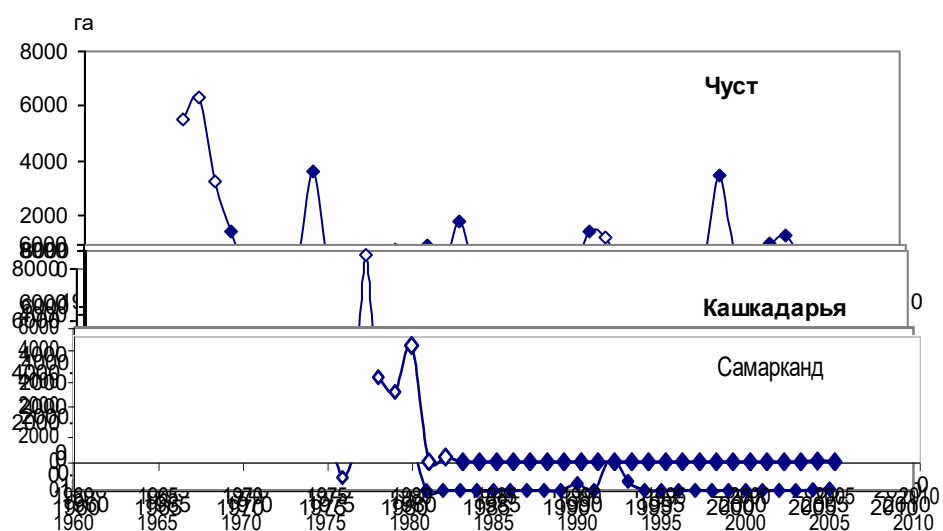
Полученные результаты и их новизна. В диссертации впервые исследовано с составлением карты пространственное распределение градовых явлений по территории Узбекистана, дано новое определение термина «град», исследованы результаты многолетних (1969-2005гг.) опытов по воздействию на гидрометеорологические процессы в Узбекистане с выявлением их недостатков методического характера, разработаны новые варианты методов оценки физической и экономической эффективности воздействий на облака, выявлен новый механизм воздействия на облака, заключающийся в усилении коагуляционного роста облачных частиц при засеве AgI, усовершенствован действующий и разработан новый метод воздействия на градовые процессы в условиях повышенной концентрации аэрозолей, исследовано влияние градозащиты на осадки и подтверждено перспективность конвективных облаков в искусственном увеличении осадков. Исследование условий осадкообразования при повышенной концентрации аэрозолей позволили выявить новые причины опустынивания и рекомендовать меры по его ослаблению. Установлено, что в условиях орошаемого земледелия наиболее целесообразно искусственное увеличение осадков в высокогорной зоне водосборов рек.

Практическая значимость. Схему распределения града по Узбекистану следует учитывать при планировании размещения сельскохозяйственных культур с учетом их толерантности к градобитиям. Усовершенствование действующей методики воздействия на

град позволяет экономить экспортируемые противораговые изделия. Разработанный новый метод ослабления градобитий дает возможность повысить эффективность градозащиты. Рекомендации по ослаблению опустынивания, усилению засева конвективных облаков с целью получения дополнительных осадков, организация работ по увеличению осадков в высокогорной зоне важны в решении проблем водоснабжения, способствующих устойчивому социально экономическому развитию Республики.

Степень внедрения и экономическая эффективность. По результатам исследования написаны 1 монография, 1 руководящий документ, 2 методических пособий по защите сельскохозяйственных культур от градобитий. Монография используется в учебном процессе по физике облаков и активных воздействий, а также при подготовке кадров для ВУ ВГМП (имеются 6 актов внедрения).

Область применения: гидрометеорология, физика облаков, активные воздействия на гидрометеорологические процессы, научно-исследовательские работы, сельское и водное хозяйства.



○ - годы без градозащиты; ● - годы градозащиты.

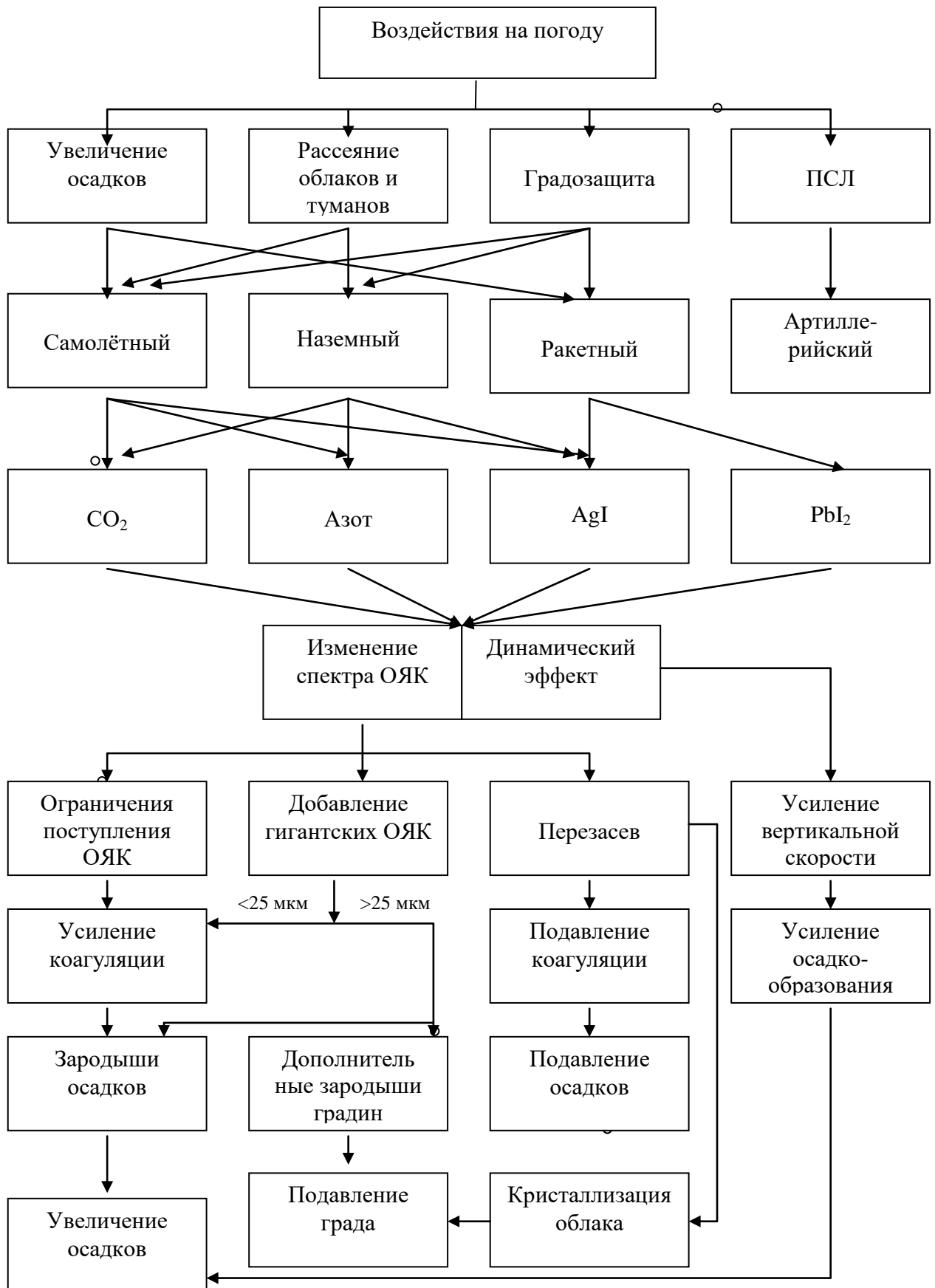


Рис.5. Концептуальные модели воздействий на погоду

Таблица 1

Среднемесячное количество осадков за март в период до воздействия (1975-1984 гг.) и в период воздействия (1985-1991 гг.)

Гидрометеорологическая станция, пост	Высота н.у.м., м	1975-1984 гг.				1985-1991гг. мм	Разность	
		Мм	θ	σ	C_v		мм	%
Вне полигона								
Карши	378	60,9	17,2	24,1	0,40	49,3	-11,6	-19,0
Гузар	523	69,8	22,0	27,6	0,39	65,7	- 4,1	- 5,9
Дехканабад	840	72,1	14,0	15,9	0,22	70,2	- 1,9	- 2,6
Чиракчи	519	87,2	21,4	26,3	0,30	70,4	-16,8	-19,3
Чимкурган	465	71,7	23,8	27,6	0,38	71,5	- 0,2	- 0,3
Минчукур	2117	130,8	35,0	43,4	0,33	140,4	9,6	7,3
Канжигалы	700	113,0	29,3	35,8	0,32	83,7	-29,3	-25,9
В зоне распространения реагента								
Шахрисябз (станция)	820	96,3	27,1	32,2	0,33	108,3	12,0	12,5
Шахрисябз (пост)	882	141,4	35,2	43,6	0,31	137,3	- 4,1	- 2,9
Джаус	1200	131,9	30,8	35,7	0,27	189,0	57,1	43,3
Хазарнау	1010	106,7	26,0	32,2	0,30	104,4	-2,3	-2,2
Катаган	1000	104,2	16,7	22,1	0,21	112,2	8,0	7,7
Татар	1190	89,6	18,2	21,0	0,23	103,0	13,4	15,0
Ледник Северцова	2780	80,8	19,5	24,1	0,30	87,3	6,5	8,0

Примечание: θ – среднее абсолютное отклонение; σ – среднее квадратичное отклонение; C_v -коэффициент вариации

Таблица 2

Распределение случаев выпадения осадков в Ташкенте 21 марта по десятилетиям и градациям осадков.

Градации осадков. Мм	0-2,0	2,1-5,0	5,1-10,0	10,1-15,0	15,1-20,0	$\geq 20,1$	Всего
Число случаев, дни	26	15	12	2	-	3	58
Из них							
1875-1880			1				1
1881-1890			2				2
1891-1900	1	2	1	1		1	6
1901-1910	1	1	1				3
1911-1920	2	2	1				5
1921-1930	2	1	1			1	5
1931-1940	1	3	2				6
1941-1950	4		2				6
1951-1960	2	2	1	1			6
1961-1970	6					1	7
1971-1980	1	1					2
1981-1990	4	1					5
1991-2000	2	2					4

Таблица 3

Результаты предупредительного спуска снежных лавин в урочище Чимган

Зимний сезон, годы	Количество израсходованных противолавинных снарядов	Количество сошедших лавин		Общий объём лавин, м ³ /10 ³	
		Общее	Искусственно обрушенных, % суммарного	Всего	Искусственно обрушенных, % суммарного
1983-84	98	159	14	1343	24
1984-85	114	197	11	1100	24
1985-86	100	92	16	380	28
1986-87	88	113	10	900	13
1987-88	161	120	44	515	59
1988-89	162	138	67	824	34
1989-90	132	99	44	2434	74
1990-91	108	41	66	949	91
1991-92	29	71	10	749	34
1992-93	17	70	4	1070	2
1993-94	9	45	7	239	0,3
1994-95	9	29	7	151	0,8
1995-96	12	80	9	1487	41
1996-97	4	41	-	221	-
1997-98	18	77	13	541	7
1998-99	2	39	5	193	0,6
1999-2000	-	40	-	98	-
2000-01	10	56	13	410	15
2001-02	3	44	2	430	5
2002-03	7	63	3	287	2
2003-04	2	39	-	565	-
2004-05	53	83	22	315	25

Таблица 4

Концентрация ядер конденсации $1/\text{см}^3$ по размерам на разных высотах
11.09.1962 г. в 0 часов

Размеры частиц, мкм	Высотные уровни, км										
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	4,2	5,0	5,2	5,6
<1	17,5	12,1	11,3	31,7	41,2	59,8	7,4	27,5	10,0	175,0	17,5
1 – 10	3,5	2,2	3,9	6,8	9,0	14,2	1,4	7,3	0,9	10,8	3,2
>10	0,6	0,2	0,2	0,7	0,7	0,5	0,1	0,6	0,0	0,0	0,0

Примечание: концентрация частиц $d > 10$ мкм в табл. для наглядности представлена в увеличенном в 10 раз виде.

Таблица 5

Развитие дочерней ячейки 01.08.2004 г. в Янгикурганской ВС

Время	Материнская ячейка					Дочерняя ячейка					К-во и время расхода ракет
	A_3	Д, км	η_{10} см^{-1}	H_9 км	H_B км	A_3	Д, км	η_{10} см^{-1}	H_9 км	H_B км	
15,34	246	31	$4,0 \cdot 10^{-8}$	8,4	10,0						
15,37	240	27	$2,9 \cdot 10^{-8}$	8,0	8,9						
15,41	249	24	$2,9 \cdot 10^{-8}$	7,4	11,8						
15,44	248	22	$2,4 \cdot 10^{-8}$	7,6	11,6						

15,48	243	18	$2,3 \cdot 10^{-8}$	8,2	10,7	276	9	$7,8 \cdot 10^{-11}$	$H_{11}=5,8$	7,5	9(15^{53-54}) 35(15^{59-02}) 18(16^{04-06}) 24(16^{08-10}) 6(16^{11-13})
15,52	245	15	$1,2 \cdot 10^{-8}$	7,6	12,0	288	7	$2,2 \cdot 10^{-10}$	$H_{10}=6,6$	7,6	
15,55	251	14	$2,1 \cdot 10^{-8}$	4,6	11,2	287	5	$9,4 \cdot 10^{-9}$	8,4	11,7	
15,59	256	12	$6,6 \cdot 10^{-9}$	3,8	7,8	309	4	$3,6 \cdot 10^{-8}$	9,6	11,5	
16,02						334	4	$3,9 \cdot 10^{-8}$	8,6	12,7	
16,06						351	6	$3,3 \cdot 10^{-8}$	9,0	12,9	
16,10						11	8	$1,7 \cdot 10^{-8}$	8,8	12,6	
16,13						30	9	$2,4 \cdot 10^{-8}$	8,4	11,5	
16,17						33	13	$1,3 \cdot 10^{-8}$	8,2	12,5	
16,20						36	15	$1,5 \cdot 10^{-8}$	9,4	12,4	
16,24						40	20	$2,0 \cdot 10^{-8}$	8,6	12,0	
16,27						52	20	$3,1 \cdot 10^{-8}$	8,2	10,8	
16,31						46	25	$2,1 \cdot 10^{-8}$	7,6	9,5	
16,35						44	26	$1,3 \cdot 10^{-8}$	7,0	11,7	

Таблица 6

Результаты засева облаков в Наманганском вилояте за 2004-2005 гг.

Годы	2004			2005		
	Чуст- ская	Янгикур ганская	Касан- сайская	Чуст- ская	Янгикур ганская	Касан- сайская
Количество всех засеянных облаков.	37	47	18	47	68	36
Число засеянных облаков с $\eta_{10} < 10^{-9} \text{ см}^{-1}$.	2	10	-	6	11	-
Годовой расход ПГИ	907	1165	671	1115	1296	656
Средний расход ПГИ на 1 зону.	24,5	24,7	37,3	23,4	19,0	18,2
Средний расход ПГИ на 1000 га.	7,4	9,5	9,3	9,0	8,8	9,1
Расход ПГИ на засев облаков с $\eta_{10} < 10^{-9} \text{ см}^{-1}$.	15	85	-	91	69	-
Площадь повреждения, га	481	534	14	370	75	-

Таблица 7

Содержание Ag (мКг/л) в зародышах и слоях градин

	Градины с капельным зародышем		Градины с крупяным зародышем	
	Зародыш	слои	Зародыш	Слои
Незасеянное облако (17.07.78)	–	1,2	0,8	1,0
Засеянное облако (22.07.78)	0,5	1,1	0,6	5,7

Таблица 8

Концентрация аэрозольных частиц в слоях и зародышах градин

Типы слоёв и зародышей градин	D _{ср} , мкм	D>0,5 мкм		D<0,4 мкм		D<10 мкм		D>30 мкм		D>60 мкм	
		n x 10 ⁶ см ⁻³	%	n x 10 ⁶ см ⁻³	%	n x 10 ⁶ см ⁻³	%	n x 10 ⁴ см ⁻³	%	n x 10 ⁴ см ⁻³	%
17 июля											
Сухой рост	4,6	7,5	100	5,7	76,0	7,4	98,7	3,3	0,4	0,15	0,02
Мокрый рост	10,7	4,3	100	2,6	60,5	4,0	93,0	4,6	1,1	0,20	0,047
Смешанный рост	9,2	2,8	100	1,9	67,9	2,6	92,9	3,7	1,3	1,10	0,39
Зародыш-крупка	5,3	4,4	100	2,8	63,6	4,2	95,5	0,26	0,1	-	-
Зародыш-капля	8,6	4,3	100	2,7	62,8	4,0	93,0	3,7	0,9	1,30	0,3
22 июля											
Сухой рост	5,2	5,3	100	3,6	67,9	5,2	98,1	0,87	0,16	-	-
Мокрый рост	11,8	2,3	100	1,5	65,2	2,1	91,3	4,60	2,00	0,2	0,09
Зародыш-крупка	4,5	4,8	100	3,5	72,9	4,7	97,9	0,37	0,08	-	-
Зародыш-капля	8,2	4,9	100	2,9	60,4	4,7	95,9	2,55	0,52	0,1	0,02