

УДК 551.509

ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ МЕТОДОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОСАДКООБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ

¹Диневи́ч Л., ²Камалов Б.¹*Тель-Авивский университет, Тель-Авив, e-mail dinevich@013.net;*²*Наманганский университет, Наманган, e-mail kamalov-1942@inbox.ru*

На основе анализа многолетнего развития работ в области активных воздействий на осадкообразовательные процессы, экспериментальных и теоретических исследований, выполненных в работах [1-24], предлагается использовать методику непрерывного засева облаков льдообразующими аэрозолями с помощью наземных генераторов. В зонах наиболее интенсивных градовых процессов предлагается применить смешанную технологию, при одновременном применении и ракет, и наземных генераторов.

Ключевые слова: градовые процессы, оптимизация методов воздействия, методика непрерывного засева облаков

WAYS OF OPTIMIZATION METHODS TO INFLUENCE THE PROCESSES FORMATION OF PRECIPITATION

¹Dinevich L., ²Kamalov B.¹*Tel Aviv University, Tel Aviv, e-mail dinevich@013.net;*²*Namangansky University, Namangan, e-mail kamalov-1942@inbox.ru*

Based on the analysis of long-term development work in the field of active impacts on formation of precipitation processes, experimental and theoretical studies performed in [1-24], it is proposed to use the technique of continuous cloud seeding ice-forming aerosols using ground-based generators. In areas of the most intense hail processes are encouraged to apply the mixed technology, while the application and missiles, and land-based generators.

Keywords: hail processes, optimization of methods of action, method of continuous cloud seeding

С точки зрения авторов настоящей публикации, разработанный в шестидесятые годы учёными и специалистами ЦАО, ИГАН, Молдавской службы и развитый в дальнейшем усилиями учёных и специалистов вышеуказанных и других научных институтов и Служб (ВГИ, СарНИИ, УкрНИИ и др.) ракетный способ воздействия на осадко- и градообразовательные процессы признан в Море самым эффективным. Он наиболее соответствует современному представлению физики осадко и градообразования и управления ими с целью предотвращения роста града и увеличения осадков. В его разработку были вложены усилия больших коллективов учёных и огромное денежное средства. Реализация этого метода требует чрезвычайно высоких денежных затрат, применение сложного оборудования (радиолокаторы, ракетные комплексы, компьютеры и т.д.), высочайшего уровня подготовки специалистов и организации труда. Тем не менее, даже при выполнении всех этих условий град нередко уничтожает посевы и насаждения на больших площадях.

В новых экономических условиях в Странах бывшего СССР вышеуказанные требования реализовать стало чрезвычайно сложно. Необходимы новые научно обоснованные, эффективные, но менее сложные

и более дешёвые методы управления процессами в облаках.

Методы воздействия на облачные процессы с целью подавления процессов роста града. Работы по воздействию на облака с целью их рассеяния, ослабления градобитий, увеличения осадков проводятся во многих странах более 50 лет. Тем не менее, проблема настолько сложна, что уровень их эффективности до сего времени вызывает споры и у теоретиков, и у экспериментаторов.

В странах СНГ все опыты по ослаблению градобитий были начаты на основе принципа конкуренции искусственных ядер кристаллизации за облачную воду. С этой целью в градоопасном облаке необходимо создать достаточное (10^5 - 10^6 в м³ облачного объёма) количество искусственных зародышей ледяных частиц.

Методика, разработанная в ЦАО и ИГАН Грузии [9, 11] требовала засеивать достаточным количеством реагента крупнокапельные зоны градоопасных облаков, т. е. области повышенного радиолокационного отражения (ККО). При этом зона образования и роста града по данным авторов (по представлениям того периода) имеет объём около 100 км³. Оперативный засев таких объёмов могли обеспечить только ракеты типа

Облако, которые диспергировали льдообразующие аэрозоли вдоль относительно длинной трассы её полёта [9]. По этой методике велись работы в Молдавии, Грузии и Украине (Крым, Одесская область). Однако, уже вскоре исследования показали, что засеву подлежит не только легко определяемая радиолокатором так называемый (ККО), а гораздо большая область зарождения и роста града в облаке с очень сложными и постоянно меняющимися горизонтальными и вертикальными потоками [13]. В этой связи следовало засеивать очень оперативно (не более трёх-пяти минут с момента обнаружения градоопасной ячейки на ранней стадии её развития) большие, быстро меняющиеся, трудно определяемые радиолокатором области в облаке. Для оперативного выполнения такой задачи был разработан ракеты типа «Алазань», а в дальнейшем «Кристал», позволявшие оперативно засеивать большие объёмы облака. Значительные усилия учёных и специалистов были направлены на разработку радиолокационных методов обнаружения градоопасных очагов в облаках на наиболее ранней стадии их развития (сверхкраткосрочный радиолокационный прогноз).

В тоже время в ВГИ [24] был разработан способ предотвращения града путем введения кристаллизующих аэрозолей в так называемую зону аккумуляции переохлажденной крупнокапельной влаги (накопившейся над уровнем максимальных скоростей вертикальных потоков). В этом случае объем зоны аккумуляции, как утверждают авторы, составляет в среднем около 15 км³. Для такой цели был разработан артиллерийский способ диспергирования реагента (методом взрыва). Он был применен на Северном Кавказе, Азербайджане и Армении.

В Средней Азии несмотря на высокое положение нулевой изотермы, работы по воздействию на градовые процессы были начаты по рекомендации ЦАО с помощью ракет ПГИ-М, потолок которых в максимуме едва достигал 5 км. Объяснение этому, по мнению учёных СарНИИ [17] заключалось в следующее.

Ливневое облако при его засеве даёт влаги в несколько раз больше, чем содержится в нем на стадии развития. К примеру, по экспериментальным данным Б. Лескова [11] при воздействии на облачные системы Ns – As, дающие естественные осадки, количество дополнительных осадков в сред-

нем в 10 раз больше, чем единовременный капельный водозапас засеянного слоя облака. Иначе говоря, конвективное облако или конвективные ячейки в слоисто кучевой облачности во время своего существования играют роль некоторого генератора, который всасывает в себя окружающий воздух, забирает из него влагу, трансформирует её в облачные капли и изливает на землю в виде осадков. Далее было установлено, что зрелое облако питается влагой воздуха, попадающего внутрь него в основном через основание и боковую поверхность передней части нижней трети облака.

Исходя из этих положений, при организации научных и опытных работ по ослаблению градобитий в Средней Азии считалась необходимой обработка нижней передней (подветренной) части облака с расчетом на то, что реагент вводится вместе с влагой, вовлекаемой в облако. Образование и рост естественных и искусственных зародышей града при этом происходит одновременно и одинаковым темпом [17].

Поэтому в первые годы (1964-1966) в работах по ослаблению градобитий в Ферганской и Гиссарской долинах были использованы ракеты ПГИ. Эти районы являются наиболее градоопасными в Средней Азии. Например, в Гиссарской долине Таджикистана количество дней с градом в период с апреля по июль включительно достигает 20, площадь градобитий – 30 тыс. га, а сумма выплат страхового возмещения колебалась от 1,2 до 6,3 млн. руб. (по ценам того времени) [1].

Результаты градозащиты в Гиссарской долине за период 1964-1966 гг. приведены в табл. 1 [1].

Как видно из таблицы, в течение трех лет на защищаемой территории град, приносящий ущерб сельскохозяйственным культурам, не выпадал. В двух случаях, 26 апреля и 8 мая 1966 г., градоносные облака, вызвавшие градобития на защищаемой территории на площади 858 га, не были обработаны. За этот же период на контрольных территориях значительные площади были повреждены градом. Конечно трёхлетний период слишком мал для оценки метода. Тем не менее, вывод был сделан о том, что вышеизложенные рассуждения, положенные в основу защиты от града в Средней Азии верны. 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 усложняло управление ими и приводило к пропуску града. Применение противораковых ракет «Облако» и «Алазань», разработанных в последующие годы, у которых эффективный радиус диспергирования реагента около 8 км, также не намного уменьшало количество пунктов воздействия (на сто тыс. га требуется не менее 12 ракетных пунктов). Использование этих типов ракет повысило эф-

фективность противораковых работ, но не исключило градобитий. Тогда по рекомендации ВГИ [18] было принято решение дополнительно к ракетам ПГИ применить 100-миллиметровые артиллерийский противораковый комплекс Эльбрус, который обеспечивал обработку градоопасных облаков на расстояниях, до 14 км. В этом случае число пунктов воздействия было существенно сокращено. И всё-таки интенсивные градовые процессы нередко приводили к сильным градобитиям.

Таблица 1

Результаты противораковых работ в Гиссарской долине Таджикистана

Год	Защищаемая площадь (тыс.га)		Коли- чество обрабо- танных зон	Расход изделий ПГИ-М, шт	Отношение (%) поврежденной площади к общей посевной на			
	Об- щая	Посев- ная			опытной территории	контрольных районах		
						Регарский	Ленин- ский	Орджони- кидзе- абадский
1951-1963								
Среднее					6,6	6,1	14,5	10,8
Макс.					24,0	27,4	27,1	21,4
Мин.					0,5	0	0,3	0,2
1964	30	18	70	898	0	12,3	10,7	9,4
1965	42	30	55	896	0	10,4	6,1	8,6
1966	55	45	47	621	1,9	3,8	28,9	23,5

В начале 90-х годов все противораковые организации перешли на ракетный способ засева облаков и производство противораковых снарядов было приостановлено. В последние годы противораковые работы проводятся только ракетами типа «Алазань».

Результаты работ по защите сельскохозяйственных культур от градобитий по всем районам Узбекистана позволяют оценивать их положительно. Так, в Сарыасийском, Шахрисабзском, Самаркандском районах, в восточной части Андижанского района суперячейковые процессы очень редки и градозащита там с малоинтенсивными процессами справляется. На севере же Ферганской долины мощные градовые процессы имеют большую повторяемость. Здесь противораковые мероприятия позволили уменьшить повреждения сельхозкультур в 2-10 раз. Достигнутая эффективность противораковых работ соответствует уменьшению ущерба от градобитий в 4-5 раз по отношению к средним многолетним данным об ущербе до начала противораковых работ.

Связь среднегодовых чисел дней с грозой и с градом. Поскольку град почти

всегда выпадает во время грозы, интересно сравнить данные о числе дней с градом и с грозой. На рис. 1 приведена зависимость среднегодовых чисел дней с градом и грозой. Как видно, зависимость отчетливая, довольно таки тесная. Сравнение показывает, что в годы градозащиты среднегодовое число дней с грозой было $31:26,4=1,17$ раза больше чем в годы до защиты. На этой основе можно подсчитать, что 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 $1,5:31=0,048$.

Тем не менее, нельзя не отметить, что несмотря на непрерывное совершенствование технических средств и технологических схем воздействия, градобития хотя и сокращались, но ежегодно приносили существенный ущерб на защищаемых территориях во всех регионах, где эти работы проводились.

На этом основании можно сделать вывод о том, что действующие способы воздействия на градовые процессы исчерпали свои возможности. Для дальнейшего раз-

вития градозащиты необходима новая парадигма.

Обоснование новой парадигмы и её содержание. В качестве основы для её формирования рассмотрим результаты исследования воздушных потоков в околооблачном и внутри облачном пространстве.

Исследования структуры воздушных потоков в кучево-дождевых облаках и их окрестностях с помощью пассивных радиолокационных отражателей [ПРО], радиозондов и шаров-пилотов подтвердили [5, 6], что воздух из окружающей атмосферы внутрь конвективного облака попадает главным образом, через основание и боковую поверхность нижней передней части облака [20].

В последующем Х.М. Каловым [19] 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. Основные, на наш взгляд, результаты этих работ следующие:

– При введении ПРО во фронтальную часть облака на уровне выше 3-4 км., они не входили в облако, что указывает на отсутствие втока воздуха в облако из фронтальной части с высот примерно 3-4 км и более. Потоки в сторону облака из фронтальной части фиксируются с уровнем ниже 1-2 км [5].

– Запущенные на некотором расстоянии от Сб радиозонды и шар-пилоты, имеющие свободную подъёмную силу, как правило, обходят их, а при наличии нескольких облаков перемещаются между ними, не входя ни в одно из них [6].

– В некоторых работах, например Х.М. Каловым [19], отмечается, что вток воздуха в конвективное облако наблюдается только через его нижнее основание.

– ПРО, внесенные в навес радиоэха и впереди него, перемещаются по направлению от центра облака к навесу радиоэха, опускаясь вниз с гравитационной скоростью, что указывает на отсутствие втока воздуха из этих областей. Внесенные в область максимума отражения ПРО перемещаются вместе с облаком, немного опережая его, и доходят также до навеса радиоэха.

Вышесказанное подтверждается тем, что ощутимый эффект имеется при рассея-

нии 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. Также здесь следует упомянуть опыты, проведенные в Ферганской долине Б.Ш. Кадыровым и В.П. Курбаткиным по воздействию на град наземными пиротехническими генераторами [18]. Они проводились в течении 4-х лет (1991-1994 гг.) и по имеющимся оценкам дали положительные результаты. Положительный эффект достигнут и в противоградовых работах, проводимых с помощью наземных генераторов в Бразилии

Важно заметить, что большой комплекс исследований по структуре потоков в конвективных облаках был выполнен в Молдавии с применением различных трассеров [12]. Здесь уместно повторить выводы, полученные авторами этого многолетнего проекта.

В многочисленных экспериментах детально проиллюстрированных примерами [12], были отмечены характерные величины и особенности распространения трассеров в различных ситуациях. Многофакторность процессов распространения трассеров и формирования осадков затрудняет выявление причин, приводящих к отмеченным особенностям. Тем не менее, следующие выводы представляются достаточно обоснованными:

– При внесении трассера в любую точечную область ячейки на стадии ее диссипации максимальная плотность вымывания трассера отмечается под эпицентром его введения, а ареал распространения занимает площадь меньше чем площадь выпавшего из этой ячейки дождя. Скорость распространения трассера по горизонтали от 7 до 22 м/с. Она несколько выше в направлении смещения облачной ячейки. При одновременном использовании в качестве трассера дейтерия и ^{210}Po последний обнаруживается в точках измерения значительно раньше. Обнаружена зависимость содержания этих трассеров от размера капель дождя. Чем больше размер капель, тем большее содержание в них трассера.

– При внесении трассера в любую точечную область ячейки на стадии ее зарождения и развития ареал ее распространения охватывает всю площадь дождя за весь период жизни ячейки. Концентрация трассера в различных точках измерительного полигона тем больше, чем больше количество

выпавших в них осадков. Однако прямой пропорциональной связи у этой зависимости нет.

– Наибольшие скорости переноса трассеров всех типов наблюдаются в стороне противоположной направлению смещения облачной ячейки и могут достигать высоких значений. Так для 210Po наблюдались скорости более 60 м/с. В других направлениях эти скорости достигали 25 м/с. Для надёжного установления, являются ли наблюдаемые факты такого рода действительно результатом переноса трассеров, или это артефакт, связанный с неточным определением времени и места введения трассеров, желательно проведение дополнительных специальных исследований.

– При внесении трассера в центр и тыл зрелой облачной ячейки (область максимальной радиолокационной отражаемости не развивающейся ячейки), расположенной выше нулевой изотермы ареал его вымывания занимает относительно небольшую площадь с максимальной концентрацией под зоной его введения. Причем, тяжелая вода вымывается значительно быстрее чем 210Po и поле ее распространения значительно меньше.

Здесь следует заметить, что были отдельные эксперименты, в которых трассер введенный в тыл зрелой ячейки на высоте выше нулевой изотермы обнаруживался в осадках выпавших далеко впереди по направлению перемещения и развития облачной ячейки. Вероятно это свидетельствует о том, что в ряде случаев в тылу зрелой ячейки есть поток, обтекающий её, как твердое тело и участвующий в процессе осадкообразования.

– При внесении трассера во фронтальную часть развивающейся ячейки максимальная ее концентрация в дожде отмечается не под эпицентром его введения, а впереди по ходу перемещения и развития ячейки.

– При внесении трассера на стадии зарождения и развития ячейки он (льдообразующий реагент) быстро распространяется по всему её объёму и участвует в осадкообразовательном процессе.

– Использование трассеров косвенно подтвердило эффективность применяющихся в активных воздействиях на осадкообразующие процессы льдообразующих реагентов и методики их применения.

– Как показали наземные измерения трассеры регистрируются только в осадках,

выпавших из ячеек, в которые они вводились. Перенос их в другие ячейки одной и той же облачной системы не отмечался.

Молдавские исследования, в подтверждение Среднеазиатских, подтверждают важность и сложность в определении места введения реагента при засеве облаков с целью увеличения осадков и особенно при проведении противоградовых работ.

К этому следует добавить выводы, полученные в работе [11], из которых следует, что положительный эффект засева, т. е. увеличение осадков, подавления процессов роста града отмечается только в том случае, если он совпадает с периодом развития облачной ячейки. Знак и величина эффекта воздействия на облачную ячейку – сложная функция её состояния и термодинамических условий развития в момент засева.

Все эти результаты исследований, многолетний опыт авторов в проведении исследований и оперативных работ по увеличению осадков и уменьшению ущерба от градобитий показывает насколько технологически сложно определить место в облаке и время для засева облаков, на сколько сложно обеспечить достаточный засев непрерывно развивающегося осадкообразовательного процесса дискретными действиями. Небольшие ошибки в этой сложной технологической цепочке могут приводить не только к нулевому, но и к обратному результату.

В этой связи были выполнены работы [14, 15, 16, 17] целью которых было проверить способ введения ядер кристаллизации в облака посредством их генерации у основания конвективных потоков, т. е. у земли. В этом случае сами процессы облако, осадко и градообразования проходят с участием, генерируемых у земли искусственных ядер. Вертикальными потоками эти искусственные частицы должны с достаточной скоростью непрерывно переноситься от уровня земли в области зарождения и роста капель дождя или града. На основании своих расчетов авторы вышеуказанных работ пришли к следующим выводам.

Рассмотренные выше в [14] модели переноса льдообразующих частиц от наземных генераторов нередко дают при неустойчивой стратификации атмосферы довольно высокие их концентрации на уровнях изотерм $-5 - -6^{\circ}\text{C}$ (до 10^6 частиц/ м^3). Такие концентрации могут достигаться при скорости подъема воздуха 1 м/с примерно через час с начала работы генератора.

При интенсивных осадкообразовательных процессах энергия неустойчивости в приземном слое воздуха может достигать 200 Дж/кг, а нередко бывает и в несколько раз больше. Скорость подъема воздуха при этом получается уже порядка 10 м/с. (В Молдавии градобития, к примеру, бывают при наличии вертикальных скоростей 18 м/с и более). Время подъема и горизонтальный перенос в этом случае могут быть значительно меньше, а концентрация частиц – больше. Например, при скорости восходящих движений 10 м/с уровень 4 км достигается частицами за несколько минут. При коэффициенте турбулентности $K=100 \text{ м}^2/\text{с}$ диффузионное «расплывание» за это время составляет всего порядка 200 м.

Регулируя время, интенсивность работы наземных генераторов, их количество и расположение на местности можно эффективно использовать этот метод и для работ по увеличению осадков, и для предотвращения роста града.

При этом отпадает необходимость радиолокационного определения места в облаке для его засева в задачах увеличения осадков и предотвращения роста града. Ледообразующие частицы находят это место сами, участвуя в естественном процессе облако- и осадкообразования.

Выводы

Результаты этих исследований привели нас к выводу что засев осадкообразующих процессов в облаках с помощью наземных генераторов может быть эффективным. При этом отпадает необходимость радиолокационного определения места в облаке для его засева в задачах увеличения осадков и предотвращения роста града. Ледообразующие частицы находят это место сами, участвуя в естественном процессе облако- и осадкообразования. В этом случае на естественные непрерывные процессы облако и осадкообразования воздействия производятся непрерывными методами.

В ряде регионов с особоинтенсивными градообразовательными процессами следует предусмотреть возможность засева градоопасных облаков смешанным способом, т. е. непрерывно с помощью наземных генераторов и в отдельных случаях с помощью ракет.

При таком способе засева важную роль приобретают срочные и сверхкраткосрочные прогнозы развития осадко и градообра-

зовательных процессов, а так же радиолокационные сверхкраткосрочные прогнозы и наблюдения за развитием и перемещением облаков.

Предлагаемые изменения в технологии воздействия на осадкообразовательные процессы ставят перед исследователями новые задачи, в том числе усовершенствование наземных средств генерации ледообразующих аэрозолей, включая поднятие его уровня на 20-25 м над землёй (см. [16]), разработки новой технологии воздействия с целью увеличения осадков и с целью предотвращения роста града, в том числе с частичным применением в ряде случаев ракет, постановка экспериментов, исследующих поведение ледообразующих частиц с высотой, в том числе при различных погодных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдумаликов Т.И., Бокова П.А., Джураев А.Д., Махмудов Х.М., Севостьянова Т.В. Состояние изученности градовых процессов и активных воздействий в Средней Азии // Тр. VIII Всесоюзной конференции по физике облаков и активным воздействиям. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 401-412 с.
2. Абшаев М.Т., Бурцев И.И., Федченко Л.М. Противоградовая защита в СССР // Сб. Активные воздействия на гидрометеорологические процессы. Тр. Всесоюзной конференции (Киев, 17-21 ноября 1987 г.). – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – С. 101-108.
3. Абшаев М.Т., Дубинин Б.Н., Шимшилашвили М.Э. Об эффективности технических средств воздействия на градовые процессы. // Тр. ВГИ. – 1986 – Вып. 63. – С. 110-126.
4. Бибилашвили Н.Ш., Бурцев И.И., Серёгин Ю.А. Руководство по организации и проведению противоградовых работ. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 168 с.
5. Бибилашвили Н.Ш., Евстратов В.В., Ковальчук А.Н. Некоторые результаты исследования структуры воздушных потоков в зоне кучево-дождевых облаков с помощью радиолокационных дипольных отражателей // Тр. ВГИ. – 1974. – Вып. 28. – С. 100-108.
6. Бибилашвили Н.Ш., Ковальчук А.Н., Чеповская О.И. Некоторые результаты исследования структуры воздушных потоков под развитыми конвективными облаками // Тр. ВГИ. – 1977. – Вып. 34. – С. 58-66.
7. Временные методические указания по организации и проведению противоградовых работ. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 143 с.
8. Временные методические указания по воздействию на градовые процессы. – Москва, 1987. – 41 с.
9. Гайворонский И.И., Ганичев А.Н., Дмитриев В.И., Карцивадзе А.И., Серёгин Ю.А., Чернопятков Ю.П., Чуков Н.С., Шимшинцев В.В. Противоградовый комплекс «Облако» // Сб. Исследования по физике облаков и активным воздействиям на погоду. Л.: Гидрометеиздат, 1967. – С. 146-152.
10. Деннис А., 1983. Изменение погоды засевом облаков. – М.: Мир, 1983, 272 с.
11. Диневич Л.А. и др. Изменение осадков противоградовой защитой. – Иерусалим: Мика К.А. LTD, 1998. – 300 с.

12. Dinevich L., Dinevich S., Leskov B., 2008. Cloud Modification for Rain Enhancement. Pp. 105-153. Questions of physics of clouds. Moscow, Hydrometizdat.
13. Dinevich, L., S. Shalaveus, 2008. Using Tracers in Studies of Agent Propagation in Convective Cloud Modifications. Pp. 58-104. Questions of physics of clouds. Moscow, Hydrometizdat.
14. Dinevich L., L. Ingel, A. Khain. 2011. Evaluations of vertical transport of ice-forming particles produced by ground-based generators. Journal «Scientific Israel- Technological Advantages» Vol.13, № 1, pp. 95-107, 2011.
15. Dinevich L., L. Ingel, A. Khain. 2012. Evaluations of vertical transport of ice-forming particles produced by ground-based generators. (some recommendations on practical applications). Journal «Scientific Israel- Technological Advantages» Vol.13, № 4, pp. , 2011.
16. Dinevich L., L. Ingel, A. Khain. 2013. Оценки переноса льдообразующих частиц от наземных генераторов. «Современные наукоемкие технологии» № 2, 2013. С. 14-25.
17. Dinevich L., L. Ingel, A. Khain. 2013. Использование труб для увеличения эффективности наземных генераторов кристаллизующего реагента. «Современные наукоемкие технологии» № 11, 2013.
18. Джурраев А.Д., Камалов Б.А. Некоторые результаты защиты сельскохозяйственных культур от градобитий в Средней Азии // Тр. САНИГМИ. – 1977. – вып. 48(129). – С. 44 -51.
19. Кадыров Б.Ш., Курбаткин В.П., Шерстнев А.А. Результаты воздействия на градовые облака наземными пиротехническими генераторами // Тр. САНИГМИ. – 1995. – Вып. 148 (229). – С. 28-36.
20. Калов Х.М. Уточнение схемы засева грозо-градовых облаков кристаллизующим реагентом на основе радиолокационного определения вектора скорости воздушных потоков в них // Тр. ВГИ. – 1999. – Вып. 90. – С. 38-45.
21. Камалов Б.А. Активные воздействия на гидрометеорологические процессы в Узбекистане. Ташкент: Узгимет, 2012. – 160 с.
22. РД 52.37.596-98. Руководящий документ. Инструкция. Активное воздействие на градовые процессы. – М.: Росгидромет, 1998. – 32 с.
23. Руководство по применению радиолокаторов МРЛ-4, МРЛ-5 и МРЛ-6 в системе градозащиты. – Л.: Гидрометеониздат, 1980. – 229 с.
24. Сулаквелидзе Г.К. Борьба с градобитиями // Сб. Метеорология и гидрология за 50 лет Советской власти. – Л.: Гидрометеониздат, 1967. – С. 227-242.
25. Сулаквелидзе Г.К. Результаты противоградовых работ и проверка модели градового облака // Метеорология и гидрология. – 1970. – № 8. – С. 101-109.
26. Шметер С., 1987. Термодинамика и физика конвективных облаков. – Л.: Гидрометеониздат. 1987-287 с.