

Калов Х. М., Калов Р. Х.
ФГБУ «Высокогорный геофизический институт» Росгидромета, г.Нальчик

УДК 551.509.6

АКТИВНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ (НА ГРОЗО-ГРАДОВЫЕ ОБЛАКА)

В 25 странах мира, согласно регистру Всемирной Метеорологической Организации 1992 г., осуществлялось не менее 50 оперативных программ по предотвращению града. В подавляющем большинстве проектов в качестве реагента для засева грозо-градовых облаков используется йодистое серебро AgI , и только в некоторых странах, например в США, наряду с AgI используется углекислота CO_2 , а в Болгарии – йодистый свинец PbI_2 [1].

Эффективность активных воздействий на грозо-градовые облака кристаллизующим реагентом AgI с целью предотвращения градобитий зависит от многих факторов, в частности от точности определения места внесения реагента, количества реагента на единицу обрабатываемого объема облака (дозировки) и времени внесения в него реагента. В свою очередь, эти факторы зависят от термодинамических и микрофизических параметров грозо-градовых облаков. Определение динамических параметров (скорости и направления воздушных потоков, турбулентных движений) грозо-градовых облаков производится дистанционным, в частности радиолокационным, методом с использованием различных радиолокационных отражателей, запускаемых в исследуемый объем облака. Прямые измерения не получили практического применения как из-за сложности, а зачастую и невозможности, так и опасности проведения таких экспериментов. Микрофизические параметры (водность, размеры гидрометеоров и др.) оцениваются по радиолокационной отражаемости η_{10} , $\eta_{3,2}$, измеренной с помощью радиолокатора МРЛ-5. Место и время внесения кристаллизующего реагента определяются с помощью радиолокационных исследований с учетом температурных уровней и вектора скорости воздушных потоков в обрабатываемом объеме облака. Для обеспечения достаточной концентрации реагента во всем обрабатываемом объеме необходимо знать коэффициент турбулентности в зоне воздействия (наряду с водностью и концентрацией гидрометеоров), поскольку основным механизмом, разносящим кристаллизующий реагент в зоне воздействия, является турбулентная диффузия.

В настоящей работе приводятся результаты натурных экспериментов по определению вектора скорости воздушных потоков в грозо-градовых облаках и их окрестностях с целью выработки рекомендаций по уточнению схемы засева кристаллизующим реагентом – йодистым серебром.

Методика и аппаратура экспериментальных исследований воздушных потоков

Экспериментальный аппаратный комплекс состоит из:

- метеорологического радиолокатора МРЛ-5;
- поляриметра (поляризационной решетки);
- блока многоконтурного изоэха БОМО (блока отображения метеорологической обстановки);
- вычислительного комплекса 15 ВУМС-28-025;
- метеорологической ракетной пусковой установки;
- метеорологической ракеты „Облако” со специально разработанной разделяющейся головкой для выброса ПРО;
- средств связи.

Измерения начинаются с момента обнаружения облаков в зоне действия ракетной пусковой установки радиусом 15 – 20 км.

В дальнейшем операции проводятся в следующем порядке:

- определяются координаты места внесения ПРО в облачное или околооблачное пространство;
- по таблицам стрельб вырабатываются команды для запуска ракет „Облако” со специальной разделяющейся головкой;
- непосредственно перед запуском ракеты в азимуте стрельбы производится фоторегистрация вертикального разреза структуры метеорадиоэха;
- при сканировании исследуемого объема антенной МРЛ-5 по углу места в пределах заданного азимута выделяются характерные для ПРО неоднородности на фоне метеорадиоэха;
- измерения координат ПРО производятся через каждые 1 - 3 мин, строится траектория движения отражателей и находятся их скорости;
- определяются площади горизонтальных и вертикальных сечений радиоэха от ПРО для последующего вычисления коэффициента турбулентности.

Результаты радиолокационных измерений вектора скорости воздушных потоков

Изучение воздушных потоков в кучево-дождевых облаках, особенно в грозо-градовых, связано со значительными практическими трудностями, поэтому экспериментальный материал сравнительно скуден и еще много нерешенных задач, несмотря на то, что такие работы ведутся вот уже четвертое десятилетие во многих странах мира.

Самолетные исследования структуры воздушных потоков проводила группа сотрудников отдела атмосферных исследований Университета в штате Вайоминг (США) под руководством Марвица [2], в результате чего получено поле потоков в суперячейковых облаках.

В случае суперячейковых процессов непосредственные измерения с залетом в облако становятся опасными и исследования проводятся дистанционными методами с использованием радиолокационных средств [3,4].

В последние десятилетия для измерения скорости и направления воздушных потоков радиолокационным методом нами используются специальные пассивные радиолокационные отражатели типа «Углен» [4]. В экспериментах применялись также искусственные отражатели в виде металлизированных лент или полуволновых диполей.

Ниже приводятся результаты натурных экспериментов (всего 21 эксперимент) по исследованию воздушных потоков в облаках и околооблачном пространстве. Из них 4 запуска ракет с ПРО осуществлено в область максимума отражаемости метеорадиоэха, 8 - в навес и впереди навеса на удалении 2-4 км, 1 - на границу навеса и околооблачной среды, 1 - в верхнюю часть слоисто-кучевого облака, 7 - в околооблачное пространство (2 из них - в чистую безоблачную атмосферу).

Натурные эксперименты с использованием пассивных радиолокационных отражателей для исследования направления и скорости воздушных потоков в облаках и их окрестностях показали, что в области максимума отражаемости метеорадиоэха, в навесе и впереди навеса радиоэха нет затока воздуха в облако. ПРО, внесенные в указанные части облака, перемещаются по направлению ведущего потока от центра облака к навесу радиоэха, одновременно опускаясь вниз с гравитационной скоростью. Такая же картина наблюдается при внесении ПРО в вершинную часть облака. В зависимости от места внесения отражателей, мощности и стадии развития облака скорости перемещения ПРО меняются в широких пределах – от нескольких метров в секунду до $17-30 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Собственная гравитационная скорость падения ПРО «Углен» составляет $0,6-0,7 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, ПРО «Фольга» - $0,7-0,8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.

Вне суперячейкового облака, за изолинией отражаемости $\eta_{10}=10^{-12} \text{ см}^{-1}$ во фронтальной части (под навесом радиоэха) до удалений от облака 4 – 6 км, наблюдаются восходящие потоки со скоростями $1 - 10 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ до температурных уровней $-1...-10^\circ\text{C}$ и ниже. Внутри облака, во фронтальной части за изолинией отражаемости $\eta_{10}=10^{-12} \text{ см}^{-1}$, ограниченной по горизонтали зоной выпадения града и по вертикали изолиниями температуры $-12...-18^\circ\text{C}$, наблюдаются нисходящие потоки со скоростями $1-10 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. В этой части облака значение водности составляет $q=0,04...3,54 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$, концентрация гидрометеоров $N=150...5000 \text{ м}^{-3}$ (при критическом диаметре частиц осадков $d_{кр}=1000 \text{ мкм}$), вертикальные скорости воздушных потоков незначительны. Такие условия являются оптимальными для активного воздействия на градовые процессы кристаллизующим реагентом – йодистым серебром. Отсутствие сильных воздушных потоков благоприятствует тому, что реагент не выносится из зоны воздействия, не успев проявить себя как льдообразующее средство. Температура $-12...-18^\circ\text{C}$ наиболее благоприятна для замораживания водяных капель йодистым серебром. Наличие в облаке переохлажденной жидкокапельной части приводит к росту твердых ледяных частиц за счет капель и водяного пара. Наиболее интенсивно процесс перегонки водяного пара с жидких переохлажденных капель на ледяные частицы протекает при температуре -12°C , при которой разность давлений насыщенного водяного пара над льдом и над водой достигает максимального значения [5].

Исходя из вышеизложенного, рекомендуется вносить кристаллизующий реагент в суперячейковые градовые облака на температурный уровень $-11...-20^\circ\text{C}$ во фронтальную часть градового облака, ограниченную по горизонтали изолиниями радиолокационной отражаемости $\eta_{10}=10^{-9}...10^{-11} \text{ см}^{-1}$ (в зону роста и зону формирования условий зарождения и роста града). Время внесения кристаллизующего реагента определяется моментом формирования крупнокапельной ($d_{кр}=10^3 \text{ мкм}$) переохлажденной зоны с концентрациями $N = (1,5...50) \cdot 10^2 \text{ м}^{-3}$, водностью $q=0,04...3,5 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$, что соответствует радиолокационной отражаемости $\eta_{10} = 10^{-9} ... 10^{-11} \text{ см}^{-1}$.

Дозировка реагента зависит от концентрации крупных капель в зоне воздействия. При водности $q=1...3 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$ концентрация 1000 мкм частиц составляет $N = (19...57) \cdot 10^2 \text{ м}^{-3}$ или 10^9 N в 1 км^3 . Если принять, что выход кристаллов в естественных условиях равен 10^{13} , коэффициент эффективности K , под которым понимается число кристаллов реагента, необходимое для получения одной замерзшей крупной капли, являющейся зародышем градины, составляет $1:500$, то на 1 км^3 обрабатываемой облачной зоны потребуется израсходовать $m=95...285 \text{ г}$ реагента.

ლიტერატურა-REFERENCES-ЛИТЕРАТУРА

1. Program on physics and chemistry of clouds and weather modification research // WMO Report N 26. Secretariat of the WMO. Geneva, Switzerland, 1996. – 40 pp.
2. Marwitz J.D. The structure and motion of severe hailstorm. Part III. Severely sheared storms // J. Appl. Met. – 1992. – Vol. 11, No 1.- PP. 189-201.
3. Бибилашвили Н.Ш. Некоторые вопросы методики и результаты исследования характера воздушных потоков в конвективных облаках и в их окрестностях // Тр. ВГИ. – 1977. – Вып. 21. – С. 104 - 109.
4. Богомоллов О.С., Калов Х.М., Пашкевич М.Ю. Исследование распространения пассивных радиолокационных отражателей в облаке и околооблачном пространстве // Тр. ВГИ.– 989.– Вып. 76. – С. 82–87.
5. Сулаквелидзе Г.К. Ливневые осадки и град. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 412 с.

უკ 551.509.6

მეტეოროლოგიურ პროცესებზე (მზლავრ კონვექციურ ღრუბლებზე) აქტიური ზემოქმედების შესახებ/კალოვი ხ. მ., კალოვი რ.ხ./საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული -2011.-ტ.117.-გვ. 100-102.-რუს.; რეზ. ქართ., ინგლ., რუს.

გამოკვლეულია იოდოვანი ვერცხლის ტიპის მაკროსტალიზებული რეაგენტით ჭექა-ქუხილისა და სეტყვის ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედების მეთოდი. წარმოდგენილია სეტყვის ღრუბლებისა და მათ მიდამოთა პარამეტრების განსაზღვრის ნატურული ექსპერიმენტების შედეგები, რაც რადიოლოკაციური მეთოდითაა განხორციელებული პასიური რადიოლოკაციური ამრეკლავებითა და პოლარიზაციული ბადის (პოლარიმეტრის)

საშუალებით. შემუშავებულია რეკომენდაციები ჭექა-ქუხილისა და სეტყვის ზეუჯრედოვან ღრუბლებში მაკრისტალიზებელი რეაგენტის შეტანის ადგილისა და რეაგენტის დოზირების დაზუსტებასთან დაკავშირებით. ბიბლიოგრაფია – 5 დასახელება.

UDC 551.509.6

The active influence on meteorological process (on thunderous and hail clouds)/Kalov Kh.M., Kalov R.Kh./Transactions of the Institute of Hydrometeorology, Georgian Tekhnical University. -2011. - ტ.117. – pp. 100-102. -Russ .; Summ. Georg.; Eng.; Russ

The method of active influence on thunderous and hail clouds by means of iodine-silver-type crystallizable reactant is considered. Outcomes of full-scale experiments for determination of dynamic parameters of thunderous clouds and their neighborhoods are presented. Experiments executed by means of radiolocating modus using passive radiolocating reflectors and polarization grating (polarimeter). Recommendations for de