

УДК 551. 509. 61, 551. 576. 1

## РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ПРОСВЕТЛЕНИЮ «ТЕПЛОЙ» СЛОИСТООБРАЗНОЙ ОБЛАЧНОСТИ В ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЕ

© 2012 Пашкевич М. Ю.<sup>1</sup>, Березинский Н. А.<sup>1</sup>, Березинский И. Н.<sup>1</sup>,  
Тапасханов В. О.<sup>2</sup>, Аджиев А. Х.<sup>2</sup>, Шаповалов А. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ГУП Высокоточный научно-исследовательский испытательный центр авиационной техники и вооружения, 360030, КБР, г. Нальчик, пр. Ленина, 2,  
e-mail: vniic@rambler.ru

<sup>2</sup> Высокоточный геофизический институт, г. Нальчик

Представлены результаты натурных экспериментов по расширению возможностей проведения оптических наблюдений атмосферы и космического пространства с поверхности Земли и обратно при наличии слоистообразной облачности. Эта задача решается путем создания в облаках зон просветления методами и средствами активных воздействий. Воздействия проводились на слоистообразные облака, наиболее часто препятствующие проведению таких наблюдений. Такие облака занимают значительные по площади поля и существуют над одним регионом длительное время. В статье описана методика проведения активных воздействий, состав наземной и бортовой аппаратуры, приведены результаты воздействия и характеристики зон просветления для двух типов облаков.

**Ключевые слова:** слоистообразная облачность, активные воздействия, реагенты, зона просветления, прозрачность.

Слоистообразная облачность оказывает существенное влияние на функционирование систем: оптической связи, ближней навигации; комплексов космического наблюдения земной поверхности, астрономических наблюдений с поверхности Земли; проведение поисково-спасательных работ в труднодоступных местах (горы, тайга, болота) и т.д. Она имеет высокую повторяемость в различных физико-географических районах, особенно в средних, высоких широтах и горах. Облака таких форм простираются на сотни километров и закрывают вертикальный обзор над отдельным пунктом от единиц часов до нескольких суток. Выпадающие осадки ухудшают видимость и в горизонтальной плоскости.

Цель экспериментальных исследований: разработка методов и технических средств, позволяющих создавать зоны просветления (ЗП) в слоистообразных облаках для создания возможности проводить всепогодные оптические исследования атмосферы (ОИА) и космического пространства с поверхности Земли, а также обозревать земную поверхность с космических и летательных аппаратов в оптическом диапазоне  $\lambda=0,4\div0,9$  мкм.

Задачи исследований: провести воздействия на слоистообразные облака, имеющие небольшое переохлаждение (от  $-4^{\circ}\text{C}$  до  $-10^{\circ}\text{C}$ ), для разработки методов и средств создания зон просветления с минимальными размерами  $500\times500$  м и длительностью их сохранения не менее 20 мин. и оценить пространственно-временную трансформацию образуемых зон просветления в оптическом диапазоне длин волн.

## Используемое оборудование

### Бортовое:

- система сбора и первичной обработки информации о температуре, влажности, давлении, траектории перемещения самолета, записи с видеокамер переднего и вертикального обзора;
- измерители термодинамических параметров (стратификации) атмосферы для различных высот;
- аппаратура цифровой связи с наземным командным пунктом (КП) для обмена данными;
- система горизонтального и вертикального обзора окружающего пространства и контроля процесса воздействия;
- средства воздействия на облака: жидкий азот, сухой лед, грубодисперсный аэрозоль;
- система энергоснабжения на различные напряжения сети;
- кислородная система жизнеобеспечения бортоператоров в негерметичном отсеке самолета.



Рис. 1. Стойка с аппаратурой на борту самолета



Рис. 2. Видеокамеры прямого и вертикального обзора

На рисунке 1 показана фотография стойки с аппаратурой, установленной на борту самолета-лаборатории АН-12, а на рисунке 2 – фотография видеокамер горизонтального и вертикального обзоров, установленных в кабине пилотов на рабочем месте штурмана.

На рисунке 3а показана фотография датчиков измерительных приборов, установленных на заглушке иллюминатора – вид снаружи самолета, а на рисунке 3б – те же приборы – вид изнутри самолета-лаборатории.

### Наземные средства:

- телескоп для регистрации прозрачности атмосферы на линии визирования (ФГУП «РФЯЦ – ВНИИЭФ»);
- прибор контроля спектральной прозрачности атмосферы под различными углами визирования (ФГУП «РФЯЦ – ВНИИЭФ»);
- метеорадиолокатор МРЛ-5 для индикации типа облачности, размера, скорости и направления перемещения облаков, верхней и нижней границы облачности;



Рис. 3а. Блок приборов на заглушке иллюминатора



Рис. 3б. Блок приборов с охранными кронштейнами

1 – инфракрасный измеритель температуры «Кельвин»; 2 – блок согласования «Кельвина»; 3 – датчик измерителей температуры и влажности ИВТМ-7; 4 – датчик давления

- видеочкамера для регистрации изменения картины облачности в зените над полигоном;
- аппаратура цифровой связи с самолетом-метеолабораторией, обеспечивающая передачу информации о параметрах атмосферы, местонахождении и траектории перемещения самолета, видеобзора самолета в горизонтальной и вертикальной плоскостях, параметров процесса воздействия;
- система полуавтоматического моделирования параметров облаков, процесса воздействия и контроля сходимости результатов математического моделирования авиационного воздействия.

#### **Используемые реагенты:**

- сухой лед (твердая углекислота);
- жидкий азот;
- дозированные упаковки с грубодисперсным порошком (цементом).

Гранулы сухого льда размером 3–20 мм в облачную среду вводятся мерной емкостью медленной просыпкой через воронку.

Жидкий азот вводится в облачную среду из сосудов Дьюара через металлические трубки созданием избыточного давления в сосудах.

Цемент расфасовывается в картонные коробки, уплотненные изнутри упаковочной бумагой с обвязкой капроновым шнуром. При сбрасывании упаковки шнур разрывает коробку. Нисходящий поток, создаваемый падающим цементом, противодействует восходящему потоку и разрушает облако.

#### **Подготовка экспериментов**

В период подготовки к проведению экспериментов:

- проведен анализ статистических данных метеоусловий в районе работ и даны рекомендации по срокам проведения испытаний;
- проведен анализ отечественного и зарубежного опыта в части разработки методов и средств активного воздействия на облака с целью создания ЗП, необходимых для проведения ОИА;

- определен состав бортового аппаратурно-программного комплекса для проведения АВ;
- разработаны предложения по методам и способам создания зон просветления в атмосфере;
- разработана методика АВ засевом различных реагентов (углекислота, жидкий азот, цемент) с самолета для создания ЗП в облаках с требуемыми для ОИА основными параметрами;
- оборудован самолет-лаборатория аппаратурой для проведения натурных испытаний;
- проведена подготовка к испытаниям на полигоне.

### **Основные результаты подготовительного периода:**

1. Предложен проект методики создания зон просветления в слоистообразной облачности внесением хладореагентов и грубодисперсных порошков.
2. Разработана методика и программа испытаний с использованием средств активного воздействия на облака с помощью самолета АН-12.
3. Проведены натурные испытания на полигоне «Кызбурун» (Кабардино-Балкарская Республика).

### **Проведение исследований**

После анализа прогностических данных о состоянии атмосферы, спутниковых, радиолокационных, самолетных и визуальных наблюдений в районе полигона принималось коллегиальное решение о проведении работ. В день вылета запускался радиозонд, по численной модели выполнялся предварительный расчет, вырабатывались рекомендации для воздействия.

Перед вылетом к самолету доставлялись необходимые для воздействия реагенты. Уточнялся район работ и эшелоны полетов. Проводилась подготовка полетных документов и приборов к вылету. Производилось развертывание наземных регистрирующих приборов.

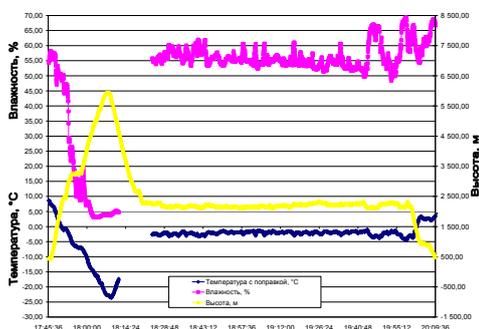
После вылета при подъеме самолета производилось вертикально-горизонтальное зондирование атмосферы по приборам, установленным на борту с определением температуры, направления и скорости ветра, типа, балльности, ярусности и мощности облаков по высотам, строился годограф ветра по высотам. Зондирование производилось до верхней кромки облаков верхнего яруса или до высоты 6000 м при низком расположении облаков. Данные зондирования заносились в компьютер и в полуавтоматическом режиме передавались по радиосвязи на наземный пункт наблюдения. Производилось уточнение расчетов по теоретической модели. Уточненный алгоритм воздействия по радиосвязи сообщался на борт самолета.

### **Эксперимент 03.05.2007 г.**

Воздействие проводилось сухим льдом с высоты ~ 50–100 м над облаком и расходом 1 кг/км. Так как температура в облаке была  $-2 \div -3^{\circ}\text{C}$  (см. рис. 4), что выше порога кристаллизующего действия сухого льда ( $-4^{\circ}\text{C}$ ), то с 19 ч. 15 мин. расход увеличен до 2 кг/км, чтобы увеличить хотя бы конденсационное действие реагента. С той же целью с 19 ч. 45 мин. реагент вносился непосредственно в облако. Всего за время воздействия на облака с 18:26 до 19:58 было израсходовано 504 кг сухого льда.

Самолетные данные метеопараметров атмосферы показаны на рис. 4.

### Метеорологические параметры атмосферы



### Ветер и облачность по высотам

Высота, м	Ветер направление/скорость град./км/ч.	Тип облака, балльность, Н <sub>нижн.</sub> /Н <sub>верхн.</sub> М/М
300	320/30	Слоистые, слоисто-кучевые: St, Sc, 8 баллов 900/2300
600	320/30	
1 500	300/45	
2 000	290/55	
3 000	270/70	
4 000	270/70	
5 000	260/70	

Облачность и распределение ветра с высотой

Рис. 4. Метеорологические параметры атмосферы по самолетным измерениям 03.05.2007 г.

Состояние облачности до воздействия показано на рис 5. Зона просветления, показанная на рис 6, сформировалась на расстоянии 25–30 км в азимуте 110 от расчетной точки вследствие медленного действия реагента при надпороговой температуре и невозможности сделать упреждение для внесения реагента при воздействии по условиям безопасности полетов в горах.

Как известно, технология просветления облаков основана на использовании разности насыщающего давления водяного пара над водой и льдом. При введении в облако искусственных ядер кристаллизации, окружающие облачные капли испаряются, а ледяные кристаллы растут и выпадают из облака в виде осадков. По мнению сотрудников ЦАО [Боровиков и др., 1961], при воздействии на облака сухим льдом процесс образования ледяных кристаллов проходит в два этапа. На первом происходит спонтанная конденсация водяного пара, а на втором – замерзание образовавшихся капель. По-видимому, при высокой (надпороговой) температуре образовавшиеся капли слишком мелкие и не замерзают, а растут за счет конденсации, т.е. в два-три раза медленнее ледяных частиц [Качурин, 1961]. Поэтому зона просветления образуется и расширяется, гораздо медленнее по сравнению с расчетными значениями.



Рис. 5. Облачность 03.05.2007 г. до воздействия в 17 ч. 45 мин.

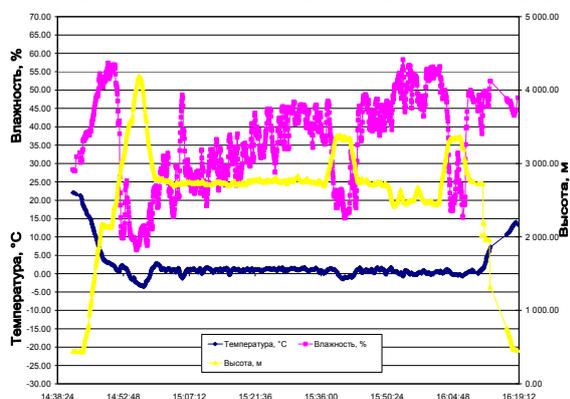


Рис. 6. Зона просветления 03.05.2007 г. в 19 ч. 40 мин.

### Эксперимент 11.05.2007 г.

Состояние метеорологических параметров атмосферы в районе проведения работ в этот день по самолетным измерениям показано на рисунке 7.

Метеорологические параметры атмосферы



Ветер и облачность по высотам

Н, м	Ветер Аз/V град./км/ч.	Тип облака, балльность, Н <sub>нижн.</sub> /Н <sub>верхн.</sub> М/М
0	180/12	Кучевые, слоисто-кучевые: С <sub>1</sub> , С <sub>с</sub> , 7б, 1800/2500
100	180/12	
600	250/15	
900	250/15	
1 500	250/15	
2 000	250/15	
3 000	290/50	
4 000	290/60	

Рис. 7. Метеопараметры атмосферы 11.05.2007 г. при проведении воздействия

Ввиду того, что температура в облаках была положительной, было принято решение проводить воздействие грубодисперсным реагентом. Упаковки с цементом сбрасывались в верхнюю кромку облаков при прохождении самолета непосредственно над полигоном. Траектория полета самолета-лаборатории при воздействии показана на рисунке 8.

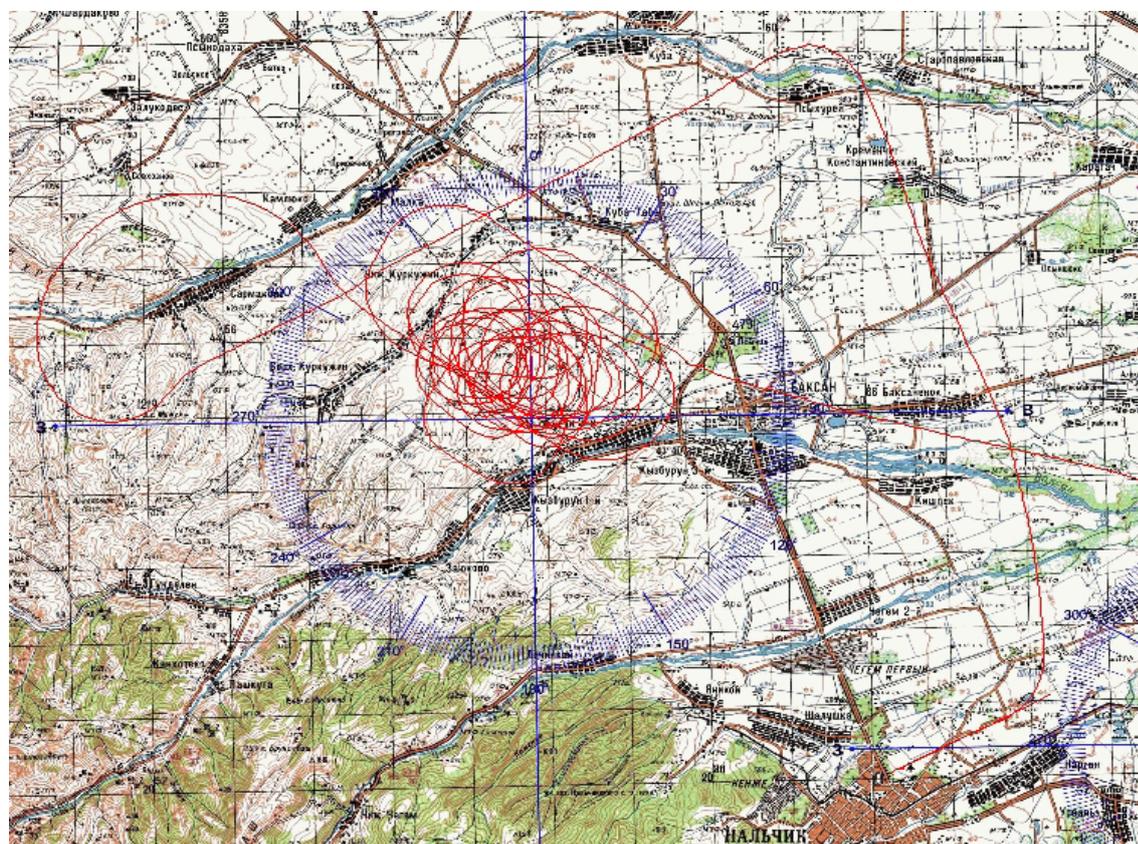


Рис. 8. Карта полета самолета-метеолaborатории 11.05.2007 г. при поведении воздействия

В эксперименте использовано 20 упаковок с цементом по 25–30 кг каждая. Интервал времени воздействия на облака с 15:09 до 16:02. Наибольших размеров окно прозрачности достигло в 15:50–16:00. В растворе угла 120–140 небесной сферы небо полностью очистилось от облаков. Слабая кучевая облачность осталась лишь вблизи линии горизонта до угла возвышения 20–30 во всех азимутальных направлениях. Состояние облачности до начала воздействия, вид полигона в окне прозрачности облаков и состояние облачности на подходах к полигону во время воздействия показаны на рисунке 9.

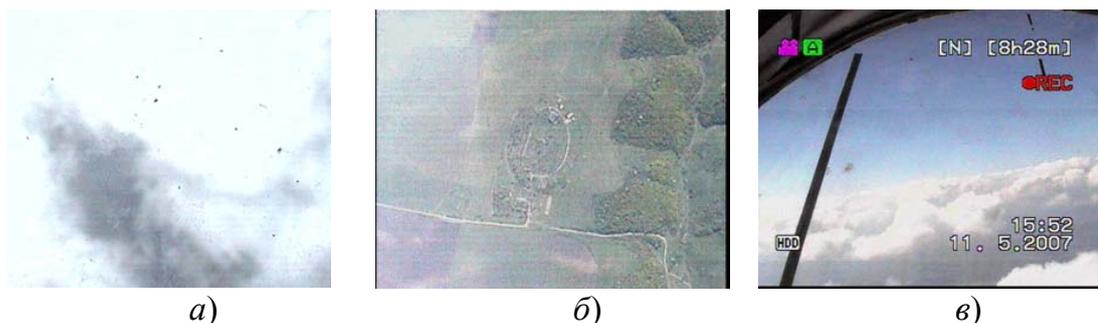


Рис. 9. Состояние облачности в период воздействия 11.05.2007 г.:

а) состояние облачности до начала воздействия; б) вид полигона в окне прозрачности облаков; в) состояние облачности, наплывающей на полигон во время воздействия в 15 км от полигона, Аз. 250

Динамика изменения прозрачности атмосферы во время воздействия показана на рисунке 10. Прозрачность атмосферы на линии визирования достигла ~ 100%.

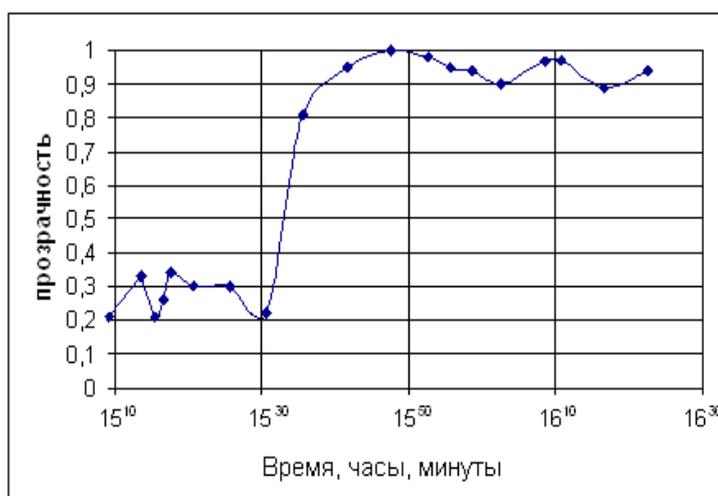


Рис. 10. Динамика изменения прозрачности атмосферы во время воздействия. Интервал времени воздействия на облака с 15:09 до 16:02. Окончание воздействия – 53-я мин. от начала воздействия

### Закрытие зоны просветления

После окончания воздействия окно прозрачности постепенно стало уменьшаться и перемещаться на восток. В 16 ч. 20 мин. появились облака в зените. Окно прозрачности еще оставалось в северном направлении (по направлению ветра), по азимуту с угловыми размерами ~ 80, по углу места ~ 60. Облачность по всему небу

продолжала возрастать и в 16 ч. 56 мин. достигла ~ 90%. Осталось совсем малое окно в северном направлении от места воздействия. Время существования 100% прозрачности атмосферы в зенитном направлении составило ~ 20 мин. На линии визирования хорошая прозрачность атмосферы (не менее ~ 50%) сохранялась в течение ~ 50 мин.

### Заключение

– проведенные эксперименты показали, что наряду с воздействием на переохлажденные облака (ранее проводившиеся эксперименты), можно создавать зоны просветления и в «теплых» облаках;

– в эксперименте по воздействию на «теплую» облачность хорошее действие за счет вовлечения и гигроскопичности показал цемент, ранее использовавшийся для разрушения восходящих потоков мощных конвективных облаков;

– в эксперименте удалось создать в кучевой облачности ЗП с 90–100% прозрачностью атмосферы в растворе угла 120–140 небесной сферы со временем существования ~ 40 минут;

– проведение работ на низкие облака в условиях высокогорья, с применением авиации, требует дальнейшей проработки;

– исходя из актуальности проблемы и достигнутых результатов, считаем целесообразным дальнейшее проведение исследований в этом направлении;

ГУП «ВНИИЦ АТВ» имеет опыт работ по подавлению различной облачности (улучшение погодных условий в мегаполисах) и увеличению мощности конвективных процессов:

– при работе по искусственному увеличению осадков в Ставропольском крае в 1996 г. были обработаны кучевые облака с верхней границей 5,6–6,2 км. В результате воздействия они развились до 10–12 км и дали ливневые осадки с мощной грозовой активностью.

– 21 марта 1998 года при метеозащите г. Ташкента 40 минут потребовалось на подавление 90 км гряды растущих облаков с верхней границей 9,6 км. Был достигнут полный эффект разрушения мощной облачной системы.

– в Ставрополе 20 сентября 1997 г. при работе по метеозащите города [Пашкевич и др., 2005] одним самолетом воздействие проводилось на грозовой фронт с верхней границей облаков 7,5–8 км. Грозовой фронт был разрушен.

### Литература

1. Боровиков А. М., Гайворонский И. И., Зак Е. Г., Костарев В. В., Мазин И. П., Минервин В. Е., Хргиан А. Х., Шметтер С. М. Физика облаков. Л.: Гидрометеоздат, 1961. – 459 с.

2. Качурин Л. Г. Физические основы воздействия на атмосферные процессы. Л.: Гидрометеоздат, 1961. – 456 с.

3. Пашкевич М. Ю., Березинский Н. А., Лашманов Ю. К. Проведение авиационных работ по улучшению погодных условий // Доклады Всероссийской конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы. Нальчик. 23–25 октября 2001 г. СПб.: Гидрометеоздат, 2005. – С. 86–102.

## **RESULTS OF NATURAL EXPERIMENTS ON TRANSLUCENCE OF «WARM» STRATIFORM CLOUD COVER IN FOOTHILL ZONE**

**Pashkevich M. Yu.<sup>1</sup>, Berezinskiy N. A.<sup>1</sup>, Berezinskiy I. N.<sup>1</sup>, Tapaskhanov V. O.<sup>2</sup>, Adzhiev A. Kh.<sup>2</sup>, Shapovalov A. V.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> High-altitude mountain Center for Air Materiel and Weapons Research, Nalchik, Russia

<sup>2</sup> High-Mountain Geophysical Institute, Nalchik, Russia

Results of natural experiments to enhance the capacity of the optical observations of the atmosphere and outer space from Earth's surface and back in the presence of stratiform clouds are presented. The problem is solved by creating zones of clearing in the clouds by methods and means of active effects. The impact was performed on stratiform clouds, the most frequently making difficulties for such observations. These clouds occupy large areas and exist over the region for a long time. Technique of active impacts, terrestrial and airborne equipment configuration, the results of the impact and zone characteristics of translucence for the two types of clouds are given.

**Keywords:** stratiform cloud cover, active impacts, reagents, clarification zone, transparency.