

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕХНОЛОГИЙ АКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ОБЛАКА

Частухин А.В.<sup>1</sup>, Ким Н.С.<sup>1</sup>, Корнеев В.П.<sup>1</sup>, Петрунин А.М.<sup>1</sup>, Щукин Г.Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> – АНО «Агентство атмосферных технологий», г. Москва, Россия, [attech@mail.ru](mailto:attech@mail.ru)

<sup>2</sup> – ВКА им. А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия

**Аннотация.** В работе исследованы экологические аспекты применения технологий активного воздействия на облака с целью искусственного регулирования осадков. На основе анализа экспериментальных материалов по загрязнению окружающей среды при проведении активных воздействий в России и за рубежом делается вывод об экологической безопасности применения используемых в этих работах реагентов.

Ключевые слова: активные воздействия, реагенты, экологическая безопасность, облака.

Экологическая безопасность применяемых при активных воздействиях (АВ) реагентов подтверждена многолетними исследованиями их влияния на окружающую среду. Однако результаты таких исследований широкой общественности мало известны. Для того, чтобы внести определенную ясность в эти проблемы, рассмотрим реагенты, используемые при проведении работ по АВ на облака, технологии проведения воздействий, а также результаты исследований, посвященные этим вопросам, полученные в специализированных НИИ России и за рубежом.

В качестве реагентов используются, в основном, вещества, обладающие высокой льдообразующей способностью в переохлажденной облачной среде - льдообразующие аэрозоли и хладореагенты. Гигроскопические реагенты используются преимущественно при воздействиях на теплые облака и в работах по АВ на территории России практически не применяются. Отдельную группу представляют порошкообразные реагенты, используемые для подавления развития (разрушения) конвективных облаков.

Существуют три основных способа доставки реагента в облака: ракетный, самолетный и посредством наземных аэрозольных генераторов.

В СССР был накоплен значительный опыт использования льдообразующих реагентов в работах по борьбе с градом с использованием противоградовых ракет. В настоящее время интенсивные работы по ИУО с использованием противоградовых ракет проводятся в Китае. В российских технологиях АВ льдообразующие реагенты вводятся в облака в основном с помощью специальных самолетных пиротехнических генераторов (патроны, шашки). В других странах (Франция, Испания, Бразилия и т.д.) для целей АВ применяют наземные генераторы, когда реагент сжигается в горючих смесях и с восходящими потоками воздуха поступает в облака.

В мировой практике АВ, включая Россию, наибольшее распространение получили льдообразующие пиротехнические составы на основе йодистого серебра (AgI). Для засева облаков по модификации осадков самолетным методом российскими предприятиями выпускаются пиропатроны двух типов: ПВ-50М калибра 50 мм и ПВ-26-01 калибра 26 мм.

В качестве хладореагентов в российских технологиях АВ используются сухой лед (CO<sub>2</sub>) и жидкий азот (N<sub>2</sub>).

При проведении работ по уменьшению осадков и борьбе с градом для подавления развития конвективных облаков или их разрушения применяют также грубодисперсные порошкообразные реагенты (цемент, белая глина, окись меди, песок и т.д.).

Спрогнозировать уровень загрязнения окружающей среды серебром при работах по модификации осадков можно, проанализировав данные о содержании компонентов

реагента в районах систематического и интенсивного его применения, например, в районах проведения противорадовых работ. Исследованиями установлено, что концентрация серебра в воздухе в сезоны градозащиты на Северном Кавказе составляла в среднем от  $6,4 \cdot 10^{-5}$  до  $8,3 \cdot 10^{-5}$   $мкг/м^3$  [1], в Молдавии – 0,001–0,043  $мкг/м^3$  [2], что на несколько порядков ниже величины предельно допустимых концентраций (ПДК = 10  $мкг/м^3$ ). В водоемах защищаемой территории за весь девятилетний период наблюдений после сезонов противорадовой защиты концентрация серебра находилась в пределах 1,7–7,4  $мкг/л$ , а в водоемах контрольной территории – 0,9–4,1  $мкг/л$  при ПДК серебра в воде 50  $мкг/л$ . Природные источники поступления серебра в атмосферу оцениваются примерно в 70 т/год, антропогенные – в 2290 т/год.

При использовании для борьбы с градом или для увеличения осадков наземных генераторов попадание льдообразующего реагента в почву и в водоемы возможно двумя путями: при непосредственном взаимодействии аэрозольной струи из генератора с подстилающей поверхностью и выпадение реагента с осадками. Проведенные оценки [3] показали, что количество йодистого серебра, осаждаемого на поверхность земли вблизи места установки генератора пренебрежимо мало по сравнению с общим количеством йодида серебра, поступившим в атмосферу. Эти оценки подтверждаются экспериментальными данными, полученными при изучении загрязнения почвы после проведения работ по активным воздействиям на территории Греции [5], где воздействие выполнялось в основном с помощью наземных генераторов, и данными, полученными на территории Сьерра-Невады (США) [4], где также применялись наземные генераторы.

Экологическая безопасность применения при АВ хладореагентов достаточно очевидна. При использовании твердой углекислоты и жидкого азота происходит их переход в газообразное состояние и смешение с атмосферным воздухом, природными составляющими которого они являются.

При оценках возможного отрицательного влияния АВ на окружающую среду часто акцентируют внимание на применении порошкообразных реагентов, в частности, цемента. ПДК цемента в воздухе – 6,0  $мг/м^3$ . Достаточной нормой реагента для засева облаков мощностью 1 км является 5 кг порошка, а для мощных кучевых и кучево-дождевых облаков – 25–30 кг. Анализ суммарного расхода порошкообразного реагента при проведении работ по созданию благоприятных погодных условий в мегаполисах показывает, что максимальное количество выпадающего грубодисперсного порошка на 1  $км^2$  не превышает 20–30 г за один день воздействий.

Таким образом, реализуемые проекты по активному воздействию на облака не представляют угрозы загрязнения окружающей среды используемыми реагентами в районах многолетних работ.

#### Литература

1. Воробьева Т.И. О влиянии противорадовых работ на изменение концентрации серебра на Северном Кавказе - Труды ВГИ, 1982, вып. 51, с. 127-139.
2. Потапов Е.И. Влияние долговременных работ по активным воздействиям на градовые процессы в Республике Молдова на содержание компонентов кристаллизующих реагентов в объектах природной среды и характеристики ледяных ядер // В сб.: Вопросы физики облаков. Атмосферные аэрозоли, активные воздействия. Сборник статей памяти Н.О. Плауде. – Обнинск, ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2015, с. 281–303.
3. Фукс Н.А. Механика аэрозолей. Издательства АН СССР, Москва, 1955, 351 с.
4. Stone, R.H. (1986). Sierra Lakes Chemistry Study// Final Report to Southern California Edison Co., Contract No. C2755903.
5. Tsiouris E.S., A.F. Aravanopoulos, N.L. Papadoyiannis, K.M. Sofoniou, N. Polyzopoulos, M.M. Christodoulou, F.V. Samanidou, A.G. Zachariadis, H.-I.A. Constantinidou (2002a). Soil Silver Content of Agricultural Areas Subjected to Cloud Seeding with Silver Iodide//Fresenius Environmental Bulletin, 11, 697-702.

## ENVIRONMENTAL ASPECTS OF ACTIVE CLOUD IMPACT TECHNOLOGIES

**Chastukhin A.V.<sup>1</sup>, Kim N.S.<sup>1</sup>, Korneev V.P.<sup>1</sup>, Petrunin A.M.<sup>1</sup>, Shchukin G.G.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> – ANO «Agency of atmospheric technologies», Moscow, Russia, [attech@mail.ru](mailto:attech@mail.ru)

<sup>2</sup> – *Mozhaisky military space academy, Saint Petersburg, Russia*

**Abstract.** Ecological aspects of weather modification technologies for the purpose of artificial regulation of precipitation are investigated. Based on the analysis of experimental materials on environmental pollution during the active actions of the Russia and abroad conclusion about the environmental safety of the use of reagents in these works.

Keywords: weather modification, reagents, ecological safety, clouds.