

УДК 551.509.9

## ВЫБОР АЭРОЗОЛЯ ДЛЯ БОРЬБЫ С РАДИАЦИОННЫМИ ЗАМОРОЗКАМИ

М.Т. Абшаев\*, А.М. Абшаев\*, Х.Ж. Малкаров\*\*, Л.Т. Созаева\*

\* ФГБУ "Высокогорный геофизический институт", г. Нальчик

\*\* Научно-производственный центр «Антиград», г. Нальчик

**1. Введение.** Радиационное выхолаживание земной поверхности за счет инфракрасного теплового излучения является основной причиной формирования радиационных заморозков, наносящих серьезный ущерб сельскохозяйственным культурам. В качестве одного из наиболее распространенных методов защиты от радиационных заморозков применяется метод создания дымовых завес, обеспечивающий парниковый эффект [2, 4].

Задача состоит в том, чтобы найти дисперсность искусственного аэрозоля, которая способна обеспечить максимальный парниковый эффект при минимальных затратах диспергируемого аэрозоля, т.е. обеспечить максимальное поглощение и отражение инфракрасного излучения поверхности земли в окне прозрачности атмосферы  $8,5 < \lambda < 11$  мкм.

**2. Методика расчета.** Отражаемость  $\eta(\lambda, m, r)$  и объемные коэффициенты ослабления  $k_{oc}(\lambda, m, r)$  и поглощения  $k(\lambda, m, r)$  зависят от длины волны  $\lambda$ , дисперсности и диэлектрических свойств аэрозоля. Если слой аэрозоля является полидисперсной средой и состоит из сферических частиц, то значения отражаемости, коэффициентов ослабления и поглощения могут быть рассчитаны по формулам:

$$\eta(\lambda, m, r) = \int_0^{\infty} n(r) \sigma(\lambda, m, r) dr, \quad (1)$$

$$k_{oc}(\lambda, m, r) = \int_0^{\infty} n(r) \sigma_{oc}(\lambda, m, r) dr, \quad (2)$$

$$k_n(\lambda, m, r) = \int_0^{\infty} n(r) \sigma_n(\lambda, m, r) dr, \quad (3)$$

где  $r$  – радиус аэрозольных частиц;  $\lambda$  – длина волны;  $m$  – комплексный показатель преломления вещества частицы ( $n$  – показатель преломления и  $\kappa$  – показатель поглощения);  $n(r)$  – функция распределения аэрозольных частиц по размерам;  $\sigma(\lambda, m, r)$ ,  $\sigma_{oc}(\lambda, m, r)$  и  $\sigma_n(\lambda, m, r)$  – поперечные сечения обратного рассеяния, ослабления и поглощения, которые рассчитываются в соответствии с классической теорией рассеяния Ми.

Для выбора оптимальной дисперсности аэрозоля, обеспечивающей максимальное ослабление инфракрасного излучения в окне прозрачности атмосферы, целесообразно положить, что аэрозоль монодисперсный.

При сжигании дымообразующего состава в единице объема создается число частиц аэрозоля  $N$ , которое определяется общей массой  $M$  диспергируемого дымообразующего вещества и объемом диспергирования

$$N = \frac{3M}{4\pi r^3 \rho V} \quad (4)$$

где  $\rho \approx 1,35$  г/см<sup>3</sup> – плотность частиц сажи;  $V$  – объем диспергирования, равный  $V = L \cdot l \cdot h$  ( $L$  – длина пути диспергирования в м;  $l$  – ширина области диспергирования в м;  $h$  – толщина слоя аэрозоля в м).

Полагая, что масса аэрозоля, диспергируемого в единице объема  $M/V = 1$  г/м<sup>3</sup> и с учетом (4) выражения (1 - 3) примут вид:

$$\eta = 0,177 \frac{\sigma}{r^3}, \quad (5)$$

$$k_{oc} = 0,177 \frac{\sigma_{oc}}{r^3}, \quad (6)$$

$$k_n = 0,177 \frac{\sigma_n}{r^3}, \quad (7)$$

где  $\eta$ ,  $k_{oc}$ ,  $k_n$  – выражено в м<sup>-1</sup>;  $\sigma$ ,  $\sigma_{oc}$ ,  $\sigma_n$  – в мкм<sup>2</sup>;  $r$  – в мкм.

Согласно закону Бугера, интенсивность проходящего через аэрозольную среду излучения  $J$  определяется выражением:

$$J = J_0 e^{-k_{oc} h}, \quad (8)$$

где  $J_0$  – интенсивность падающего излучения.

Степень уменьшения интенсивности восходящего инфракрасного излучения земли  $\tau$  в аэрозольном слое толщиной  $h$ , может быть рассчитана по формуле:

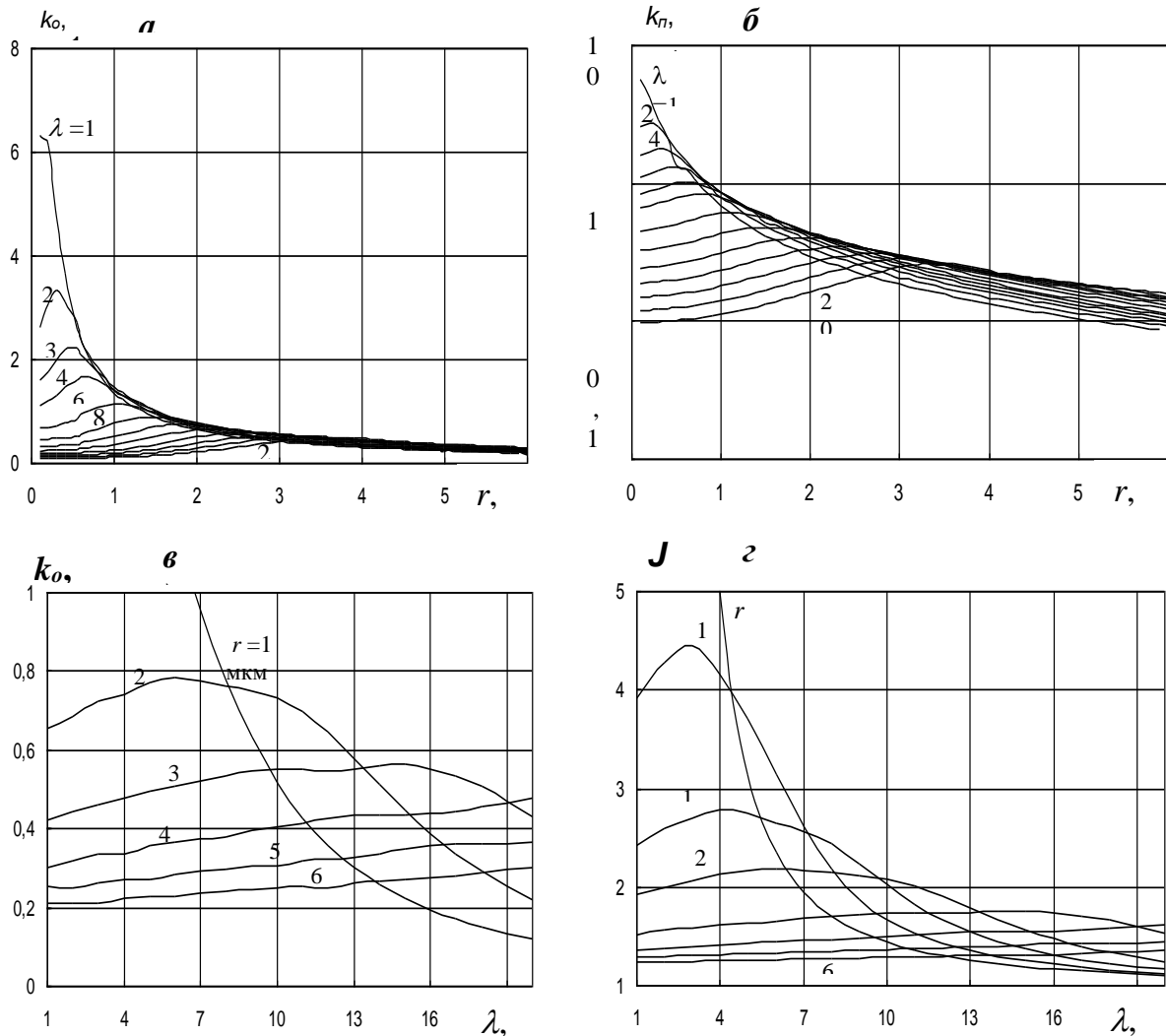
$$\tau = \frac{J_0}{J} = e^{k_{oc}h} \quad (9)$$

### 3. Рассеяние, ослабление и поглощение инфракрасного излучения аэрозолем сажи

Расчет рассмотренных интегральных характеристик распространения электромагнитных волн в аэрозольной среде проведен по строгой дифракционной теории Ми для размеров частиц аэрозоля  $1 < r < 20$  мкм с шагом  $\Delta r = 0,1$  мкм для длин волн  $1 < \lambda < 20$  мкм с шагом  $\Delta \lambda = 1,0$  мкм. Были проведены расчеты отношения

коэффициентов рассеяния, поглощения и отражаемости к коэффициенту ослабления:  $\frac{K_p}{K_{oc}}$ ,  $\frac{K_n}{K_{oc}}$  и  $\frac{\eta}{K_{oc}}$ . В

качестве комплексных показателей преломления на данных длинах волн использовались комплексные показатели преломления для сажи.



На рис. 1а и 1б показана зависимость коэффициента ослабления и поглощения от размера аэрозоля, а на рис. 1в – от длины волны.

На рис. 1г представлено семейство кривых зависимости потерь интенсивности инфракрасного излучения в аэрозольном слое от длины волны. Из этого рисунка следует, что двукратное уменьшение интенсивности инфракрасного излучения может быть достигнуто при толщине аэрозольного слоя  $h = 1$  м, с массовой концентрацией  $1 \text{ г/м}^3$  и дисперсностью  $1,0 < r < 2,0$  мкм.

Однако, учитывая, что продолжительность заморозков обычно составляет несколько часов, необходимо подобрать размер аэрозоля, имеющий минимальную скорость гравитационного оседания при достаточно высокой поглощательной способности. Кроме того, необходимо учесть, что реальные источники аэрозоля (дымовые шашки) обычно создают слой аэрозоля достаточно быстро увеличивающийся во времени за счет турбу-

ლენტოი დიფფუზიი დო ნესკოლკიხ დესათკოვ მეტროვ. დეტალное рассмолтрение этого вопроса является предметом дальнейшего исследования. С учетом этих дополнительных факторов можно полагать, что для защиты от заморозков спектр аэрозоля должен иметь максимум в диапазоне размеров  $1,0 < r < 2,0$  мкм.

#### Заключение

Оптимальный для предотвращения радиационных заморозков парниковый эффект может создать аэрозольный слой с содержанием  $N \geq 1,77 \cdot 10^{11}$  м<sup>-2</sup> частиц аэрозоля радиусом  $1,5 \div 2$  мкм.

Для широкого применения предлагаемого метода целесообразно создать специальные генераторы непрерывного действия с производительностью около 0,1 кг/с аэрозоля размером  $1,5 \div 2$  мкм. Один такой генератор, установленный на наветренной стороне защищаемой территории, может обеспечить защиту 20 - 40 га.

#### ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. Абшаев М.Т., Бурцев И.И., Ваксенбург С.И., Шевела Г.Ф. Руководство по применению радиолокаторов МРЛ-4, МРЛ-5 и МРЛ-6 в системе градозащиты. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 230 с.
2. Абшаев М.Т., Малкаров Х.Ж. Метод защиты от радиационных заморозков // Труды ВГИ. 2004. Вып. 92.
3. Золотарев В.М., Морозов В.Н., Смирнова Е.В. Оптические постоянные природных и технических сред. Справочник. – Л.: Химия, 1984. – 216 с.
4. Малкаров Х.Ж. Ослабление инфракрасного излучения в слое искусственного аэрозоля // Труды молодых ученых КБ ИЦ РАН. – 2003.
5. Патент РФ, МКИ G01 J 29/08. Способ и устройство защиты от заморозков / Абшаев М.Т. и др. № 2069945. 1994. Заявка от 24.06.1993 №930331104/23.
6. Вопросы защиты растений от заморозков /Под ред. докт. ф.м. наук Юдина М.И./ // Тр. Главной геофизической обсерватории. – Л.: Гидрометеиздат, 1948. – 156 с.
7. Годунов С.К., Рябенкий В.С. Разностные схемы. – М.: Наука, 1977. 440 с.
8. Ильин В.О. Анализ конечно-разностных схем численного решения уравнения адвекции. – Метеорология и гидрология. – 1983, № 6. с. 13 - 24.
9. Марчук Г.И., Дымников В.П., Залесный В.Б. Математические модели в геофизической гидродинамике и численные методы их реализации. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 296 с.
10. Созаева Л.Т., Малкаров Х.Ж. Оптимизация дисперсности искусственного аэрозоля для защиты растений от радиационных заморозков // Сборник статей V Конференции молодых ученых и аспирантов КБИЦ РАН, Нальчик, 2004.

#### UDC 551.509.9

**AEROSOL SELECTION FOR SUPPRERSSION RADIATION FROSTS.** Abshaev M.T., Abshaev A.M., Malkarov Kh.Zh./ Transactions of the Institute of Hydrometeorology, Georgian Technical University. -2013. -V.119. -pp. 120-122 -Рус.; Summ. Eng., Russ.

The questions of optimization of radiation frosts suppression methods, based on creation of artificial aerosol layers and frogs are considered. The purpose of this task is to find out dispersion of artificial aerosol which is capable to provide maximal greenhouse effect at minimal spending of used aerosol, it et to provide maximal absorption and back-reflection of infrared radiation from ground surface in atmosphere transparency window  $8,5 < \lambda < 11$  micron.

#### УДК 551.509.9

**ВЫБОР АЭРОЗОЛЯ ДЛЯ БОРЬБЫ С РАДИАЦИОННЫМИ ЗАМОРОЗКАМИ./** М.Т. Абшаев, А.М. Абшаев, Х.Ж. Малкаров, Л.Т. Созаева/ Сб. Трудов Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета. -2013.- т.119.-с.120-122 -Рус., Рез. Англ., Рус.

Рассматриваются вопросы оптимизации методов защиты от радиационных заморозков, основанных на создании искусственных дымовых завес и туманов. Задача состоит в том, чтобы найти дисперсность искусственного аэрозоля, которая способна обеспечить максимальный парниковый эффект при минимальных затратах диспергируемого аэрозоля, т.е. обеспечить максимальное поглощение и отражение инфракрасного излучения с поверхности земли в окне прозрачности атмосферы  $8,5 < \lambda < 11$  мкм.

