

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.122.103>**ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА НА ЧАСТИЦАХ ОКСИДА ЦИНКА И ПИРОТЕХНИЧЕСКОГО СОСТАВА АД-1 НА ИХ ЛЬДООБРАЗУЮЩИЕ СВОЙСТВА**

Научная статья

Хучунаев Б.М.¹, Геккиева С.О.², Будаев А.Х.^{3,*}¹ ORCID : 0000-0002-6606-5996;² ORCID : 0000-0002-8369-812X;³ ORCID : 0000-0003-3481-8663;^{1, 2, 3} Высокогорный геофизический институт, Нальчик, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (budayalim[at]yandex.ru)

Аннотация

Исследования в области активных воздействий на облака являются одним из фундаментальных направлений работы Высокогорного геофизического института. Среди множества задач этого направления исследований следует выделить исследования льдообразующих свойств многих веществ (пиротехнические составы с иодистым серебром, нанотрубки оксида цинка).

Одновременно с исследованиями льдообразующей активности веществ ведутся лабораторные эксперименты по изучению влияния электрических характеристик облака на процессы образования ледяной фазы на частицах оксида цинка. В настоящей статье представлены результаты исследования влияния напряженности электрического поля и электрического заряда на частицах оксида цинка и пиротехнического состава АД-1 на их льдообразующие свойства.

Ключевые слова: электрический заряд, напряженность электрического поля, реагент, льдообразующие частицы, удельный выход.

STUDIES OF THE EFFECT OF ELECTRIC FIELD STRENGTH AND ELECTRIC CHARGE ON ZINC OXIDE PARTICLES AND AD-1 PYROTECHNIC COMPOSITION ON THEIR ICE-FORMING PROPERTIES

Research article

Khuchunaev B.M.¹, Gekkieva S.O.², Budaev A.K.^{3,*}¹ ORCID : 0000-0002-6606-5996;² ORCID : 0000-0002-8369-812X;³ ORCID : 0000-0003-3481-8663;^{1, 2, 3} High-Mountain Geophysical Institute, Nalchik, Russian Federation

* Corresponding author (budayalim[at]yandex.ru)

Abstract

Research in the field of active effects on clouds is one of the fundamental directions of work of the High-Mountain Geophysical Institute. Among many tasks of this direction of research, study of ice-forming properties of many substances (pyrotechnic compositions with iodyrite, zinc oxide nanotubes) should be highlighted.

Simultaneously with the research of ice-forming activity of substances, laboratory experiments are conducted to study the influence of cloud electric characteristics on the processes of ice phase formation on zinc oxide particles. This paper presents the results of studies of the influence of electric field strength and electric charge on zinc oxide particles and AD-1 pyrotechnic composition on their ice-forming properties.

Keywords: electric charge, electric field strength, reagent, ice-forming particles, specific yield.

Введение

Вопросы влияния электрических сил на фазовые и микроструктурные характеристики облаков и туманов вызывают интерес многих исследователей. Эти вопросы изучались как теоретически, так и экспериментально. В результате было уточнено представление о механизме влияния знака заряда на конденсационный рост капель и дано его теоретическое обоснование, изучено влияние поверхностного заряда капли на скорость нуклеации льда, сформулирована физическая концепция этого явления, получены эмпирические данные о влиянии ионизации среды и постоянного внешнего электрического поля на замерзание переохлажденных капель воды [1].

В работах по активным воздействиям на градовые процессы внесение реагента происходит в мощные кучево-дождевые облака, имеющие сильные электрические поля и большое количество заряженных гидрометеоров. Наличие электрического поля и заряда на частицах реагента в атмосфере может влиять на удельный выход льдообразующих ядер при проведении работ по изменению погоды [2], [3].

Поэтому изучение влияния напряженности электрического поля и заряда на частицах на льдообразующую эффективность реагентов и пиротехнических составов является актуальной задачей.

Методы и принципы исследования

Исследования, проведенные за последние годы в этом направлении показывают, что рост зародышевых частиц осадков из паровой фазы зависит от напряженности электрического поля, заряда кристаллизующего ядра и от

реализации того или иного механизма роста [4]. При нахождении частицы в электрическом поле происходит ионная зарядка. Ионы, движущиеся в воздухе, сталкиваются с частицей, осаждаются на ее поверхности. Обратные ионы не могут возвратиться из-за того, что они должны обладать определенной энергией для преодоления потенциального барьера на границе раздела сред. Таким образом, происходит накопление ионов на частице [5].

Под действием электрических сил процесс укрупнения частиц сводится к коагуляционному. Для условий, наблюдаемых в облаках, преобладает «диффузионный» механизм зарядки частиц, «контактная» зарядка преобладает в этих условиях для частиц размером более 0,1 мкм [6], [7]. Размер частиц реагента от 0,02 до 10 мкм, следовательно, зарядка частиц реагента будет происходить «контактным» и «диффузионным» механизмами зарядки [8].

Методика изучения влияния напряженности электрического поля на льдообразующую эффективность частиц оксида цинка и пиротехнического состава АД-1.

Предварительно определенное количество порошка цинка или пиросостава АД-1 взвешивается на электронных весах и загружается на графитовую подложку устройства для возгонки реагента. На дно облачной камеры устанавливаются термостатированные подложки, накрытые крышками. В камере с помощью ультразвукового парогенератора создается искусственная облачная среда. После чего на пластины конденсатора подается высокое напряжение с высоковольтного выпрямителя. На устройство для возгонки подается ток, происходит возгонка исследуемого реагента. После возгонки воздух в камере перемешивается вентилятором и с появлением в поле зрения первых кристалликов поочередно открывают подложки и осаждают на них кристаллы. Каждая подложка изучается в поле оптического микроскопа, подсчитывается количество кристаллов в кадре, затем на компьютере производится расчет удельного выхода [9].

Основные результаты

В рамках исследований проведены серии экспериментов по изучению влияния зависимости удельного выхода льдообразующих ядер заряженных частиц оксида цинка от температуры. Эксперименты проводились в температурном диапазоне от -5 до -14 °С и полярности пластин конденсатора «0», «+» и «0», «-».

В таблице 1 и на рисунке 1 представлены результаты проведенных исследований.

Таблица 1 - Зависимость удельного выхода льдообразующих ядер заряженных частиц оксида цинка от температуры

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.122.103.1>

Без поля		Отриц. заряд. част.		Положит. заряд. част.	
t, °С	Удельный выход ($N \cdot 10^{12}$), Γ^{-1}	t, °С	Удельный выход ($N \cdot 10^{12}$), Γ^{-1}	t, °С	Удельный выход ($N \cdot 10^{12}$), Γ^{-1}
-13,9	2,8	-13,6	0,6	-11	6,4
-12,9	1,8	-12,5	0,8	-10,8	4,2
-11,3	2,01	-12,5	1	-9,5	5,6
-11,1	0,91	-12,5	0,6	-8,9	0,9
-10,5	2,84	-12,2	0,7	-8,5	1,1
-10,1	5,4	-11,2	0,8	-7,9	4,1
-8,9	1,02	-11,2	2,3	-7,8	3,2
-8,2	1,5	-10	5,5	-6,4	2,3
-7,1	1,1	-8,5	1,4	-6,1	2,6
-6,9	2,9	-8	2,2	-5,7	1,9
-6,8	1,3	-7,9	2,4	-	-
-5,4	2,3	-7	0,8	-	-
-	-	-4,9	3	-	-

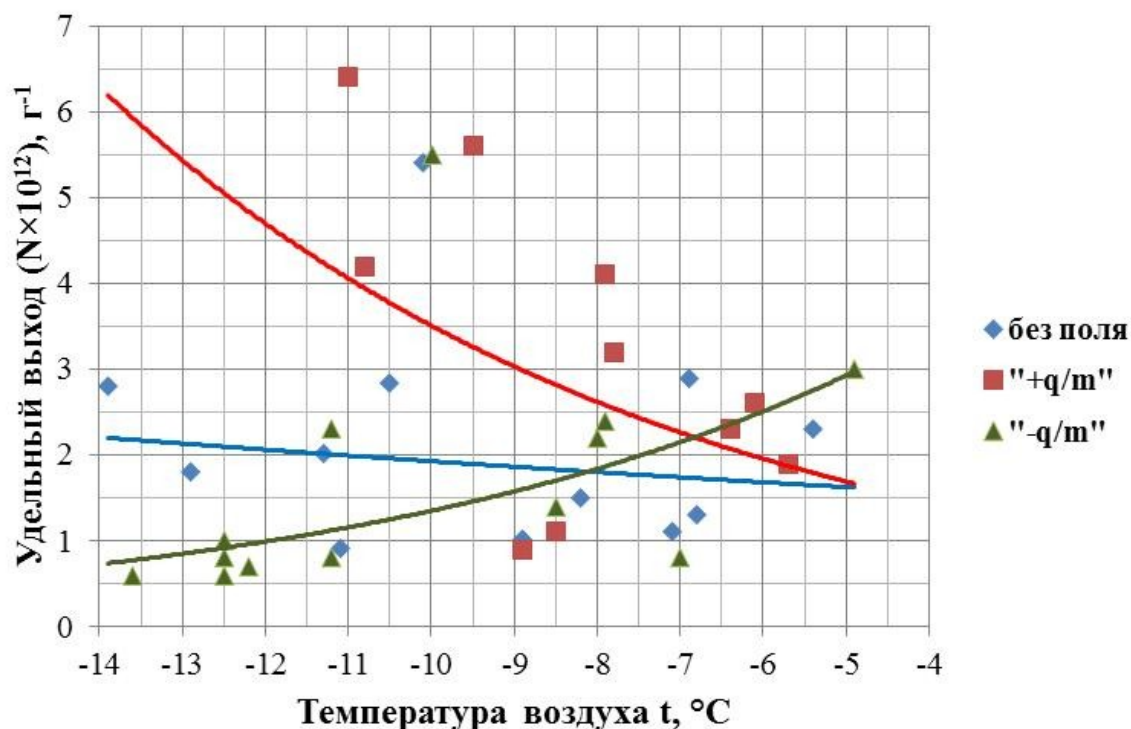


Рисунок 1 - Зависимость удельного выхода льдообразующих ядер заряженных частиц оксида цинка от температуры

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.122.103.2>

Из таблицы и графика видно, что рост кристаллов льда на положительно заряженных частицах оксида цинка происходит активнее, чем на отрицательно заряженных частицах. Особенно заметны различия в температурном диапазоне от -10 до -13 °C. Но при температурах выше -7 °C отрицательно заряженные частицы оксида цинка обладают большей льдообразующей активностью, чем положительно заряженные частицы.

В температурном диапазоне от -8 до -14 °C удельный выход отрицательно заряженных частиц оксида цинка меньше, чем у незаряженных частиц. В температурном диапазоне от -5 до -8 °C удельный выход отрицательно заряженных частиц оксида цинка больше, чем у незаряженных частиц. В температурном диапазоне от -5 до -14 °C удельный выход положительно заряженных частиц оксида цинка больше, чем у незаряженных частиц.

Исследования под электронным микроскопом показали, что частицы возгонки оксида цинка при наличии электрического поля образуют комплексы из нанотрубок. Такие комплексы являются льдообразующими ядрами, чем больше размер комплекса, тем выше температура образования кристаллов [10].

Серии экспериментов по изучению влияния напряженности электрического поля на льдообразующую эффективность пиросостава АД-1 проводились в температурном диапазоне от -10 до -4 °C и напряженностях электрического поля от $3,75 \times 10^4$ до 3×10^5 В/м.

В таблице 2 и на рисунке 2 представлены зависимости удельного выхода частиц пиротехнического состава АД-1 от напряженности электрического поля.

Таблица 2 - Зависимость удельного выхода частиц пиротехнического состава АД-1 от напряженности электрического поля

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.122.103.3>

t, °C	Удельный выход ($N \cdot 10^{12}$), $г^{-1}$			
	37,5 кВ/м	75 кВ/м	150 кВ/м	300 кВ/м
10-9	6,2	6,4	4,2	7,5
7-8	4	3,8	2,7	5,2
5-6	2,5	1,8	2,4	2,2
3-4	2		2	2,7

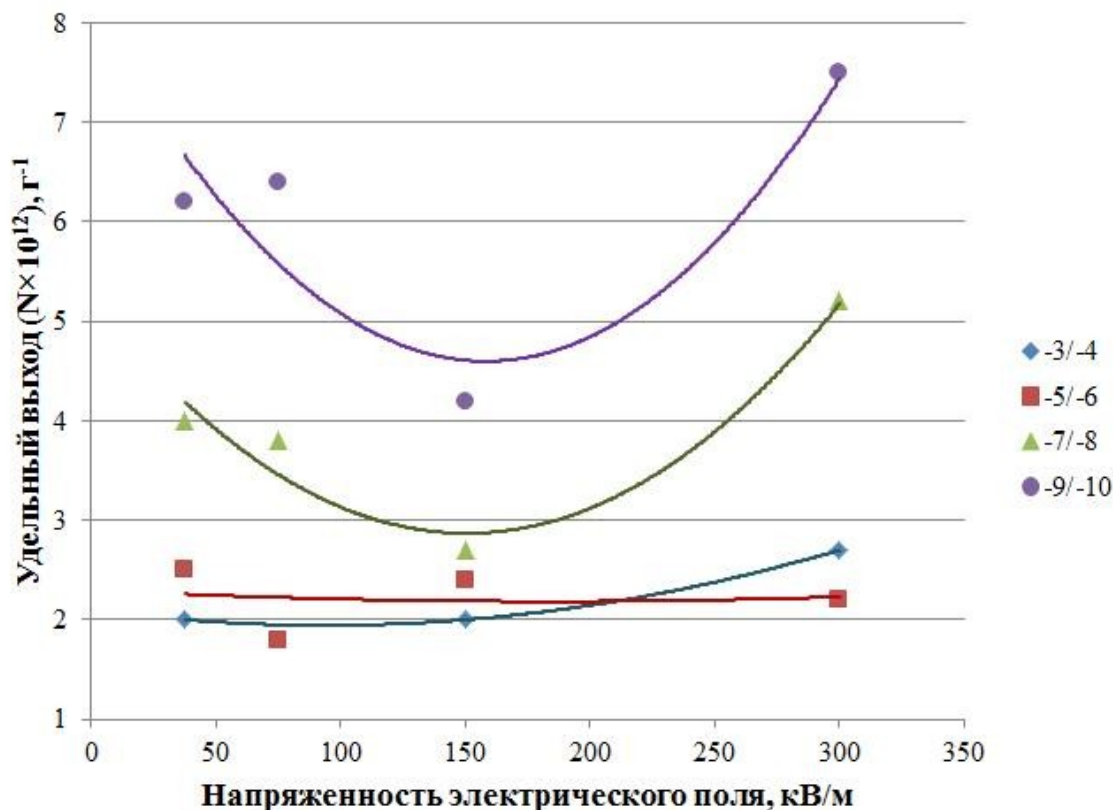


Рисунок 2 - Зависимость удельного выхода частиц пиротехнического состава АД-1 от напряженности электрического поля

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.122.103.4>

Как видно из таблицы и графика, с увеличением напряженности электрического поля до $1,5 \times 10^5$ В/м удельный выход льдообразующих ядер уменьшается. При дальнейшем увеличении напряженности электрического поля удельный выход льдообразующих ядер увеличивается. Разница между максимальным и минимальным значениями удельного выхода в температурном диапазоне от -9 до -10 °C составляет 1,6 раза. Разница между максимальным и минимальным значениями удельного выхода в температурном диапазоне от -7 до -8 °C составляет 1,86 раза. Разница между максимальным и минимальным значениями удельного выхода в температурном диапазоне от -3 до -6 °C незначительна.

Заключение

В процессе лабораторных экспериментов выработана методика изучения влияния напряженности электрического поля на льдообразующую эффективность оксида цинка.

В результате исследования влияния заряда на частицах реагента и электрического поля на удельный выход льдообразующих ядер получено, что для частиц оксида цинка получено, что рост кристаллов льда на положительно заряженных частицах происходит активнее, чем на отрицательно заряженных частицах. Особенно заметны различия в температурном диапазоне от -10 до -13 °C. Но при температурах выше -7 °C отрицательно заряженные частицы оксида цинка обладают большей льдообразующей активностью, чем положительно заряженные частицы.

С увеличением напряженности электрического поля до $1,5 \times 10^5$ В/м удельный выход льдообразующих ядер пиросостава АД-1 уменьшается. При дальнейшем увеличении напряженности электрического поля удельный выход льдообразующих ядер пиросостава АД-1 увеличивается. Разница между максимальным и минимальным значениями удельного выхода в температурном диапазоне от -9 до -10 °C составляет 1,6 раза. Разница между максимальным и минимальным значениями удельного выхода в температурном диапазоне от -7 до -8 °C составляет 1,86 раза.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Калов Р.Х. Исследование влияния электрических зарядов и электрических полей на эффективность льдообразующих реагентов дис. ...канд. null: 25.00.30 : защищена 2001-03-16 : утв. 2001-10-24 / Р.Х. Калов – Нальчик: 2001. – 128 с.
2. Красногорская Н.В. Экспериментальное исследование эффективности столкновения и слияния заряженных капель равных размеров Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана / Н.В. Красногорская – М.: Наука, 1973. – 9 т.
3. Синькевич А.А. Вопросы физики облаков. Сборник избранных статей ГГО / А.А. Синькевич, В.Д. Степаненко, Ю.А. Довгалюк – СПб: Астерион, 2008. – 513 с.
4. Верещагин О.А. Высоковольтные электротехнологии (учебное пособие) / О.А. Верещагин – М.: МЭИ, 1999. – 204 с.
5. Ивлев Л.С. Физика атмосферных аэрозольных систем / Л.С. Ивлев – СПб.: НИИХ СПбГУ, 1999. – 76 с.
6. Аджиев А.Х. Анализ данных многолетних атмосферно-электрических наблюдений на территории Северо-Кавказского региона. / А.Х. Аджиев, З.М. Кереева, А.Г. Клово и др. // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. – 2020. – № 674. – с. 75-79.
7. Хучунаев Б.М. Аппаратура, методика и предварительные результаты измерения удельного заряда на частицах реагента, образующихся при возгонке пиротехнических составов. / Б.М. Хучунаев, С.О. Геккиева, А.Х. Будаев // Труды ГГО. – 2020. – № 599. – с. 128-139.
8. Хучунаев Б.М. Методы определения льдообразующей эффективности противорадовых изделий на лабораторных установках. / Б.М. Хучунаев, С.О. Геккиева, А.Х. Будаев // Наука. Инновации. Технологии. – 2021. – № 3. – с. 105-119.
9. Степаненко В.Д. Исследование влияния электрических разрядов на фазовые и микроструктурные преобразования воды в облаках. / В.Д. Степаненко, Ю.А. Довгалюк, А.А. Синькевич и др. // Метеорология и гидрология; – Вып. 3. – М.: НИЦ «Планета», 2002. – с. 39-50.
10. Емельянов В.Н. Результаты разработки новых пиротехнических составов льдообразующего аэрозоля для средств активного воздействия на облака. / В.Н. Емельянов, П.А. Несмеянов, Н.Ю. Эрландц и др. // Труды юбилейной конференции, посвященной 40-летию начала производственных работ по защите от града; – Нальчик: Печатный двор, 2011. – с. 259-260.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kalov R.X. Issledovanie vliyaniya e'lektricheskix zaryadov i e'lektricheskix polej na e'ffektivnost' l'dobrazuyushhix reagentov [Study of the influence of electric charges and electric fields on the efficiency of ice-forming reagents] dis....of PhD in Natural sciences: 25.00.30 : defense of the thesis 2001-03-16 : approved 2001-10-24 / R.X. Kalov – Nal'chik: 2001. – 128 p. [in Russian]
2. Krasnogorskaya N.V. E'ksperimental'noe issledovanie e'ffektivnosti stolknoveniya i sliyaniya zaryazhenny'x kapel' ravnuy'x razmerov [Experimental study of the efficiency of collision and merging of charged droplets of equal size] Bulletin of the Academy of Sciences of the Soviet Union. Physics of the atmosphere and ocean / N.V. Krasnogorskaya – M.: Nauka, 1973. – 9 vol. [in Russian]
3. Sin'kevich A.A. Voprosy' fiziki oblakov. Sbornik izbranny'x statej GGO [Problems of the physics of clouds. Collection of selected articles of the MGO] / A.A. Sin'kevich, V.D. Stepanenko, Yu.A. Dovgalyuk – SPb: Asterion, 2008. – 513 p. [in Russian]
4. Vereshhagin O.A. Vy'sokovol'tny'e e'lektrotexnologii (uchebnoe posobie) [High-voltage electrical technologies (textbook)] / O.A. Vereshhagin – M.: ME'I, 1999. – 204 p. [in Russian]
5. Ivlev L.S. Fizika atmosfery'x ae'rozol'ny'x sistem [Physics of atmospheric aerosol systems] / L.S. Ivlev – SPb.: NIIX SPbGU, 1999. – 76 p. [in Russian]
6. Adzhiev A.X. Analiz danny'x mnogoletnix atmosferno-e'lektricheskix nablyudenij na territorii Severo-Kavkazskogo regiona [Data analysis of long-term atmospheric-electrical observations on the territory of the North Caucasus region]. / A.X. Adzhiev, Z.M. Kerefova, A.G. Klovo et al. // Trudy' Voenno-kosmicheskoy akademii im. A.F. Mozhajskogo [Proceedings of the Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky]. – 2020. – № 674. – p. 75-79. [in Russian]
7. Xuchunaev B.M. Apparatura, metodika i predvaritel'ny'e rezul'taty' izmereniya udel'nogo zaryada na chasticax reagenta, obrazuyushhixsya pri vozgonke pirotehnicheskix sostavov [Apparatus, methodology and preliminary results of measuring the specific charge on reagent particles formed during the sublimation of pyrotechnic compositions]. / B.M. Xuchunaev, S.O. Gekkieva, A.X. Budaev // Trudy' GGO [Proceedings of the MGO]. – 2020. – № 599. – p. 128-139. [in Russian]
8. Xuchunaev B.M. Metody' opredeleniya l'dobrazuyushhej e'ffektivnosti protivogradovy'x izdelij na laboratorny'x ustanovkax [Methods for determining the ice-forming efficiency of anti-hail products on laboratory installations]. / B.M. Xuchunaev, S.O. Gekkieva, A.X. Budaev // Nauka. Innovacii. Texnologii [Science. Innovation. Technologies]. – 2021. – № 3. – p. 105-119. [in Russian]
9. Stepanenko V.D. Issledovanie vliyaniya e'lektricheskix razryadov na fazovy'e i mikrostrukturny'e preobrazovaniya vody v oblakax [Investigation of the influence of electric discharges on phase and microstructural transformations of water in clouds]. / V.D. Stepanenko, Yu.A. Dovgalyuk, A.A. Sin'kevich et al. // Meteorology and Hydrology; – Issue 3. – M.: NICz «Planeta», 2002. – p. 39-50. [in Russian]
10. Emel'yanov V.N. Rezul'taty' razrabotki novy'x pirotehnicheskix sostavov l'dobrazuyushhego ae'rozolya dlya sredstv aktivnogo vozdejstviya na oblaka [Results of the development of new pyrotechnic compositions of ice-forming aerosol for means of active influence on clouds]. / V.N. Emel'yanov, P.A. Nesmeyanov, N.Yu. E'rlandcz et al. // Proceedings of the jubilee

conference, dedicated to the 40th anniversary of the beginning of production works on protection from hail; – Nal'chik: Pechatny'j dvor, 2011. – p. 259-260. [in Russian]