

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РОСТА И ТАЯНИЯ ГРАДИН, ЗАМЕРЗАНИЯ КАПЕЛЬ, ГЕТЕРОГЕННОЙ НУКЛЕАЦИИ ЛЬДА

¹Гвелесиани А.И., ¹Орджоникидзе А.А., ²Хуродзе Т.В.

¹Институт геофизики им. Михаила Нодиа Тбилисского государственного университета им.

И. Джавахишвили, 0160, Тбилиси, ул. М. Алексидзе, 1, anzor_gvelesiani@yahoo.com

²Институт прикладной математики им. Н. Мусхелишвили Грузинского технического университета

Кроме широкомасштабных натуральных и теоретических исследований в непосредственной связи с разработкой проблемы воздействия на облака и, в частности, на градовые процессы, под руководством и непосредственным участием А.И. Карцивадзе проводились исследования элементарных процессов эволюции облачных частиц в естественных условиях и при искусственном воздействии.

Были проведены обширные исследования структуры и физических свойств естественных градин, что позволило получить новые сведения, необходимые для развития теории образования и роста градин. Была развита теория таяния градин с учетом действительной толщины воды на их поверхности, позволяющая количественно интерпретировать явление сплющивания градин в теплой части атмосферы. Одновременно были проведены эксперименты по моделированию процесса таяния градин. Теоретически и экспериментально исследована кинетика и гидродинамика отрыва жидких пленок воды с поверхности ледяных частиц различной формы и столкновения капель воды с ними с учетом сопровождающих эти процессы фазовых переходов при наличии и отсутствии внешнего электрического поля [1-4].

Исследования, проведенные в 1962 – 1972 гг. были посвящены экспериментальному изучению влияния электрических полей на процессы кристаллизации капель чистой воды, водных растворов электролитов и капель, содержащих суспензии различных веществ, а также на процесс образования и роста кристаллов льда на частичках различных веществ.

Результаты опытов по исследованию замерзания капель водных растворов различных солей во внешнем постоянном электрическом поле показывают, что с возрастанием их концентрации до величины порядка 10^{-1} моль/л степень повышения температуры замерзания (ΔT) увеличивается, достигает своего максимума, а при дальнейшем повышении концентрации резко снижается до нулевого значения. Снятые кинограммы процессов замерзания тех же растворов в сосудах показали, что при изменении направления внешнего поля всякий раз твердая фаза зарождается именно в той части раствора, где повышена концентрация катионов.

Сопоставление координационных чисел анионов и катионов этих солей, их радиусов и величин изменения под действием ионов, потенциальных барьеров, разделяющих соседние положения равновесия молекул воды с величиной ΔT , выявляют тесную корреляционную связь между ними [5-13].

Экспериментально было показано, что процесс льдообразования определяется величиной и направлением электрического поля заряженного кристалла-затравки. Объясняется это тем, что направленные электрические силы влияют на расположение молекул воды вблизи поверхности твердого тела и приводит к возникновению льдоподобных структурных образований, способствующих повышению вероятности кристаллизации воды.

Эксперименты позволили выявить, что при неизменной концентрации водяного пара и температуры окружающей среды, отрицательный потенциал стимулирует образование

преимущественно игольчатых форм ледяных кристаллов, тогда как положительный способствует образованию ледяных отложений неправильной формы. С ростом отрицательного потенциала увеличивается и скорость роста игольчатого кристалла льда [14-20].

Выявлено, что учет электрического поля в процессах дискретного захвата ледяной поверхностью переохлажденных капель приводит к существенно отличным результатам по сравнению с ранее известным. В момент столкновения деформированная капля обволакивается ледяной коркой (дендритная кристаллизация). В зависимости от значения внешних параметров (переохлаждение, электрическое поле, высота падения) образуются различные формы ледяных отложений, что будет определять характер упаковки примерзающих капель к поверхности градины и, в конечном счете, плотность последней.

Создан измерительный комплекс для исследования электризации облачных элементов, позволяющий изучить механизмы контактного и ионного заряжения

Лабораторные эксперименты, проведенные за тот же промежуток времени, имели своей целью моделирование процессов электризации искусственной облачной среды и способов воздействия на эти процессы. Опыты, проведенные в термобарокамере Института геофизики показали, что путем введения твердых частиц в искусственную облачную среду, состоящую из жидкого водного аэрозоля, можно изменить её электрическое состояние. Для порошкообразных реагентов удалось получить некоторые количественные характеристики воздействия, позволившие оценить коэффициенты передачи заряда при контактировании твердых и жидких частиц с последующим разрушением контакта, коэффициент отскока и др.

После ввода в эксплуатацию экспериментального комплекса по физике облаков, с 1975 года сотрудниками Института геофизики были выполнены работы по её оснащению необходимыми установками и измерительной аппаратурой. В частности были разработаны и изготовлены установки для исследования процесса роста и таяния градин, которые отличаются от известных экспериментальных установок такого назначения тем, что весь процесс роста и таяния градин изучается в условиях, когда она свободно взвешена на воздушном потоке или в затопленной струе облачной среды, чем достигается максимальное приближение к естественным условиям. С использованием этих установок выполнены исследования указанных процессов и получены новые результаты [4, 21-25]

Измерены скорости роста градин при различной влажности и температуре искусственной облачной среды. Изучены физические характеристики и определены условия строения слоистой структуры при мокром, сухом и смешанном режимах роста градин. Для нейтральной и заряженной облачной среды при сухом и мокром режимах роста измерены коэффициенты захвата облачных частиц градинами. При заряджении получено более высокое значение коэффициента захвата по сравнению с процессом в нейтральной среде [26-30].

Разработано и смонтировано стробоскопическое устройство для измерения аэродинамических характеристик градин различных форм и размеров. Уточнены установившиеся скорости свободного падения и другие аэродинамические характеристики падающих градин, что позволило получить исходные данные для теоретических расчетов процесса роста и таяния градин различных форм, плотности и размеров [31].

В ряде работ развивается оригинальная схема исследования механизма стимулирования льдообразование на частицах атмосферного аэрозоля. Разработана теоретическая модель гетерогенной нуклеации на модифицированных частицах аэрозоля. При этом использовано обобщенное уравнение гетерогенной нуклеации, учитывающее зависимость межфазовой удельной поверхностной энергии от перенасыщения водяного пара [20].

Лабораторное моделирование окисления частиц аэрозоля растительного происхождения в озонированной среде показало, что процесс окисления протекает в соответствии с кинетической реакцией первого порядка и резко изменяются их электрические характеристики.

Окисленные частицы аэрозоля антропогенного (сажа) и растительного (ликоподий) происхождения инициируют появление ледяных кристаллов в переохлажденном тумане уже при температуре -6° - -8°C с величиной выхода, равной 10^{11} и 10^8 соответственно.

С помощью сканирующего дифференциального калориметра изучено структурирование и фазовые превращения в слое воды, адсорбированной на окисленных озоном частицах аэрозоля сажи. На основе полученных результатов развивается эмпирическая модель

механизма стимулирования гетерогенной нуклеации льда. В частности, было показано, что в озонированной среде аэрозоли неактивных веществ приобретают существенную льдообразующую активность. Сопоставление результатов лабораторного эксперимента с данными полевых наблюдений, указывающих на низкое содержание озона в градовых условиях и высокого его содержания при интенсивных грозах, не сопровождающихся градом, позволило выдвинуто гипотезу, согласно которой отсутствие града при интенсивных грозах должно быть вызвано самозасевом градоопасных облаков естественными льдообразующими аэрозолями, активированными атмосферным озоном, обильно возникающим в облаках при грозовых разрядах. Указанная гипотеза нашло свое последовательное развитие и место в схеме взаимодействия конвективной облачности с малыми примесями в атмосфере [14,20,32-35].

Лабораторные эксперименты по исследованию спектра размеров и концентрации ледяных кристаллов, возникающих на частицах реагентов, а также опыты по изучению процесса роста градин в искусственно кристаллизующей облачной среде, позволили получить обоснованные нормы расхода льдообразующих реагентов, необходимых для дальнейшего усовершенствования методики воздействия на градовые процессы [20,24,25,32,34].

Литература

1. Гвелесиани А.И., Карцивадзе А.И., Махарашвили П.И., Окуджава А.М. Опыты по изучению процесса таяния градин. Тр. Всесоюзного Научного Совецания по активным воздействиям на градовые процессы. Тбилиси, 1964, с. 150-156.
2. Карцивадзе А.И. Таяние градин в потоке теплого водного аэрозоля. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 25, вып. I, Тбилиси, «Мецниереба», 1967.
3. Gvelesiani A., Kartsivadze A. On the melting of spherical Hailstons. Proc. of the Int. Conf. on Cloud Physics, Toronto, Canada, 1968.
4. Kartsivadze A., Okujava A., Lapinskas V., Chikhladze V. The Modeling of Hailstone Growth and Melting Processes. Proc. Of the Int. Cloud Physics Conf. Boulder, Colorado, 1976.
5. Гвелесиани А.И., Карцивадзе А.И., Махарашвили П.И., Окуджава А.М. К вопросу замерзания капель водных растворов солей. Сообщ. АН ГССР, том XXXVI, III, Тбилиси, «Мецниереба», 1964.
6. Габарашвили Т.Г., Карцивадзе А.И. О замерзании капель водных растворов солей. Сообщ. АН ГССР, том XXXVI, III, Тбилиси, «Мецниереба», 1964.
7. Габарашвили Т.Г., Карцивадзе А.И. Установка для изучения элементарных процессов эволюции облачных частиц. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, физ. облаков, 25, I, Тбилиси, «Мецниереба», 1967.
8. Габарашвили Т.Г., Карцивадзе А.И. О замерзании водных растворов солей в электрическом поле. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 25, вып. I, Тбилиси, «Мецниереба», 1967.
9. Gabarashvili T., Kartsivadze A. Influence of electric Charge Upon ice Forming activity of artifcal Nuclei. Proc. Of the Int. Conf. on condensation and ice nuclei. Prague, Viena, 1967.
10. Gabarashvili T., Kartsivadze A. Influence of electric fields upon processes of ice nucleus formation. Proc. of the Int. Conf. on Cloud Physics, Toronto, Canada, 1968.
11. Карцивадзе А.И., Габарашвили Т.Г., Гвелесиани А.И. Лабораторные исследования эволюции облачных элементов. Тр. VIII всесоюзн. конф. по физ. обл. и акт. возд., Ленинград, 1970.
12. Габарашвили Т.Г., Карцивадзе А.И. О механизме роста заряженных кристаллов льда в паре. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 2, Тбилиси, «Мецниереба», 1972, с. 229-232.
13. Карцивадзе А.И. К расчету температуры замерзания водных растворов солей. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 32, Тбилиси, «Мецниереба», 1973.
14. Гзиришвили Т.Г., Карцивадзе А.И., Чочишвили К.М., Бибилури Л.Ш. О возможной роли озона в образовании ледяных зародышей. II Всесоюз. сим. по соврем. пробл. атм. озона, Тбилиси, 1978.

15. Гзиришвили Т.Г., Карцивадзе А.И. Некоторые результаты исследования процесса гетерогенного фазового перехода. Всесоюз. конф. по физ. обл. и акт. возд. на них, Обнинск, 1979.
16. Гзиришвили Т.Г., Карцивадзе А.И. К вопросу определения критических значений перенасыщения в случае гетерогенной нуклеации. Всесоюз. конф. по физ. обл. и акт. возд. на них, Обнинск, 1979.
17. Карцивадзе А.И., Гзиришвили Т.Г., С., Кокрашвили Т.Г. Влияние пересыщения пара на процесс гетерогенной нуклеации. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 47, Тбилиси, «Мецниереба», 1980, с. 18-30.
18. Качурин Л.Г., Карцивадзе А.И., Андросенко В.Я., Бибилури Л.Ш., Блиадзе Т.Г., Григоров Н.О., Окуджава А.М. Льдообразующая активность струи пересыщенного водяного пара. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 52, Тбилиси, «Мецниереба», 1984, с. 75-80.
19. Качурин Л.Г., Карцивадзе А.И., Андросенко В.Я., Григоров Н.О., Окуджава А.М., Блиадзе Т.Г. Исследование льдообразующей активности некоторых реагентов при диспергировании их в сверхзвуковой струе пересыщенного водяного пара. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т.52, Тбилиси, «Мецниереба», 1984, с. 74-79.
20. Гзиришвили Т.Г., Карцивадзе А.И., Окуджава А.М. Гетерогенная нуклеация льда. Тбилиси, «Мецниереба», 1984, 140 с.
21. Карцивадзе А.И., Окуджава А.М., Чихладзе В.А. Установка для исследования роста и таяния градин и некоторые предварительные результаты опытов, проведённых в ней. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР т. XL, Тбилиси, «Мецниереба», 1977, с. 13-21
22. Карцивадзе А.И., Лапинскас В.А., Лукин Ю.М., Окуджава А.М., Савостин П.С., Унгиадзе Н.М., Центрадзе М.В., Шавердов Г.Ш. Лабораторный комплекс для моделирования физических процессов образования облаков и осадков. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. XL, Тбилиси, «Мецниереба», 1977, с. 5-12.
23. Карцивадзе А.И., Окуджава А.М., Зеделашвили Т.Г. Экспериментальный комплекс института геофизики АН ГССР для моделирования процессов, протекающих в облаках. Всесоюз. конф. по физ. обл. и акт. возд. на них, Обнинск, 1979.
24. Amiranashvili A.G., Bliadze T.G., Chiabrishvili N.G., Gzirishvili T.G., Kirkitadze D.D., Nodia A.G., Odisharia M.A., Okujava A.M. Laboratory modelling of the transformation of microphysical and electrical properties of artificial water fogs. Proc. 1st Int. Conf. on Fog and Fog Collection, Vancouver, Canada, July 19-24, 1998, p. 333-335
25. Amiranashvili A., Bliadze T., Chiabrishvili N., Chikhladze V., Gzirishvili T., Kirkitadze D., Nodia A., Odisharia M., Okujava A. Complex for laboratory modelling of microphysical and electrical properties of aerodisperse formations. Proc. Int. Conf. Dedicated to Memory of Prof. A. Sutugin, Moscow, Russia, June 26-30, 2000, p. 54-55.
26. Блиадзе Т.Г., Окуджава А.М., Салиашвили Т.Н. Влияние электрических зарядов капель на скорость роста свободно взвешенных моделей градин. Тез. док. симп. КАПГ «Взаимосвязь региональных и глобальных процессов в атмосфере и гидросфере», Тбилиси, «Мецниереба», 1988.
27. Блиадзе Т.Г. Скорость роста градин при различной влажности и температуре искусственной облачной среды, Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, т. 60, Тбилиси, 2008, с. 219–222.
28. Блиадзе Т.Г. Физические характеристики градин при различных режимах их роста. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, т. 60, Тбилиси, 2008, с. 223–229.
29. Блиадзе Т.Г. Связь скорости роста размеров и массы градин с температурой и влажностью моделируемой облачной среды. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, т. 64, Тбилиси, 2013, с. 178-185.
30. Блиадзе Т.Г. Исследование интегрального коэффициента захвата облачных частиц градинами при различных условиях их роста. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, т. 64, Тбилиси, 2013, с. 186-195.
31. Блиадзе Т.Г., Карцивадзе А.И., Окуджава А.М., Салуквадзе Т.Г. К вопросу об исследовании аэродинамических характеристик свободно падающих градин, Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 44, Тбилиси, «Мецниереба», 1978, с. 112-118.

32. Gzirishvili T.G. An Aerosol Ice-Forming Activation Mechanism. J. Rech. Atmos., 19, No (2-3), 1985, p. 309-314.
33. Харчилава Д.Ф., Амиранашвили А.Г. Исследование вариаций атмосферного озона в Грузии. Результаты исследований по международным геофизическим проектам, МГК, М., 1988, 114 с.
34. Амиранашвили А.Г., Гзиришвили Т.Г. Аэрозоли и ледяные кристаллы в атмосфере. Тбилиси, «Мецნიერება», 1991, 113 с.
35. Amiranashvili A.G., Amiranashvili V.A., Gzirishvili T.G., Kharchilava J.F., Tavartkiladze K.A. Modern Climate Change in Georgia. Radiatively Active Small Atmospheric Admixtures, Institute of Geophysics, Monograph, Trans. of M. Nodia Institute of Geophysics of Georgian Acad. of Sci., ISSN 1512-1135, vol. LIX, 2005, 128 p.

სეტყვის ზრდისა და დნობის, წვეთების გაყინვისა და ყინულის ჰეტეროგენური ნუკლეაციის პროცესების ექსპერიმენტული მოდელირება

გველესიანი ა., ორჯონიკიძე ა., ხუროძე თ.

რეზიუმე

წარმოდგენილია საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის გეოფიზიკის ინსტიტუტში სეტყვის მარცვლების ზრდის და ლღვობის პროცესების ექსპერიმენტული მოდელირების, წვეთების გაყინვის და ყინულის ჰეტეროგენული ნუკლეაციის დარგში ჩატარებული ნამუშევრების მნიშვნელოვანი რაოდენობის მიმოხილვა.

EXPERIMENTAL SIMULATION OF THE PROCESSES OF GROWTH AND THAWING OF HAIL STONES, FREEZING OF DROPS, HETEROGENEOUS NUCLEATION OF ICE

Gvelesiani A., Orjonikidze A., Khurodze T.

Abstract

The work gives a survey of significant number of works on the experimental simulation of the processes of growth and thaw of hail stones, freezing of drops and heterogeneous nucleation of ice, conducted at Institute of Geophysics of the Academy of Science of Georgia.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РОСТА И ТАЯНИЯ ГРАДИН, ЗАМЕРЗАНИЯ КАПЕЛЬ, ГЕТЕРОГЕННОЙ НУКЛЕАЦИИ ЛЬДА

Гвелесиани А.И., Орджоникидзе А.А., Хуродзе Т.В.

Реферат

Представлен обзор значительного количества работ по экспериментальному моделированию процессов роста и таяния градин, замерзания капель и гетерогенной нуклеации льда, проводимых в Институте геофизики АН Грузии.