

Гидрометеорология и экология. 2023. № 71. С. 231—248.
Hydrometeorology and Ecology. 2023;(71):231—248.

МЕТЕОРОЛОГИЯ. ОБЗОР

Научная статья
УДК 551.509.616+551.576
doi: 1033933/2713-3001-2023-71-231-248

Искусственные атмосферные облачные образования: обзор исследований

***Александр Павлович Доронин, Вячеслав Михайлович Петроченко,
Наталья Александровна Козлова, Георгий Георгиевич Щукин,
Виктор Викторович Филиппёнок***

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Россия,
vmpetrochenko@mail.ru

Аннотация. В статье на основе предложенной классификации атмосферных облачных образований приведены результаты системного анализа методов и технических средств целенаправленного (целевого) создания искусственных атмосферных облачных образований (искусственных облаков и туманов — ИОТ), а также показаны уровни разработки рассмотренных методов. Приведен анализ публикаций по теме создания ИОТ и определены задачи, решаемые с их помощью.

Ключевые слова: атмосферные облачные образования, антропогенные искусственные атмосферные облачные образования, искусственные облака и туманы

Для цитирования: Доронин А. П., Петроченко В. М., Козлова Н. А., Щукин Г. Г., Филиппёнок В. В. Искусственные атмосферные облачные образования: обзор исследований // Гидрометеорология и экология. 2023. № 71. С. 231—248. doi: 1033933/2713-3001-2023-71-231-248.

METEOROLOGY. REVIEW

Original article

Artificial atmospheric cloud formations: state and prospects of research

***Alexander P. Doronin, Vyacheslav M. Petrochenko, Natalya A. Kozlova,
Georgiy G. Shchukin, Victor V. Filippenok***

Military Space academy named after A. F. Mozhaisky

Summary. The article presents a classification of atmospheric cloud formations, which includes, along with clouds and fogs of natural origin, also anthropogenic atmospheric cloud formations of an unintentional nature, accompanying human economic activity, and intentional nature (artificial clouds and fogs purposefully created by man).

© Доронин А. П., Петроченко В. М., Козлова Н. А., Щукин Г. Г., Филиппёнок В. В., 2023

Based on a systematic analysis of patent materials and information sources in this subject area, possible methods for creating artificial clouds and fogs are summarized, indicating the level of their implementation.

It is shown that at present it is possible to create the following types of artificial clouds and fogs: artificial cirrus crystalline clouds, artificial convective clouds, artificial wavy clouds, artificial fogs, artificial low-altitude water-aerosol formations. Some results of field experiments on the creation of artificial fogs and clouds of various forms in our country and abroad are presented.

The list of solved applied tasks in the creation of artificial clouds and fogs is defined. The possibility of solving such problems is shown by the example of destroying thunderstorms, hail in large areas with the help of artificial cirrus clouds and by the example of destroying frost with the help of artificial fogs created by thermo kinetic installations.

Keywords: atmospheric cloud formations, anthropogenic artificial atmospheric cloud formations, artificial clouds and fogs

For citation: Doronin A. P., Petrochenko V. M., Kozlova N. A., Shchukin G. G., Filippenok V. V. Artificial atmospheric cloud formations: state and prospects of research. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2023;(71):231—248. (In Russ.). doi: 1033933/2713-3001-2023-71-231-248.

Введение

Одной из отличительных негативных особенностей XXI века является увеличение числа опасных природных явлений, которые могут способствовать образованию стихийных бедствий и возникновению чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного характера (наводнения, засухи, лесные пожары, заморозки и др.). В отдельных случаях ущерб от ряда ЧС природного характера может составлять десятки и даже сотни миллиардов рублей. Например, ущерб от катастрофических наводнений в Дальневосточном регионе в 2013 году составил 527 млрд. руб., а размер ущерба, нанесенного в Иркутской области в 2019 году, оценен в 25 млрд. руб. [1]. Проблема, связанная с разработкой системы мер, методов и средств, позволяющих в значительной мере снизить, а лучше, конечно, полностью исключить, негативные последствия ЧС природного характера, является актуальной.

В нашей стране, наряду с традиционными мерами борьбы с опасными природными явлениями (строительство плотин, водохранилищ, каналов, противоселевых и противолавинных защитных сооружений, модернизация и расширение наземной гидрометеорологической сети, развитие авиационного и космического компонентов национальной системы мониторинга и прогнозирование опасных гидрометеорологических явлений и др.), значительное внимание уделяется вопросам искусственного изменения атмосферных процессов и явлений.

Обобщение и детальный анализ работ в данной предметной области показывает, что наиболее существенные результаты достигнуты к настоящему времени в области модифицирования облаков и туманов, наблюдающихся при значениях температуры воздуха ниже нуля градусов Цельсия. Доказательством этому утверждению могут служить мероприятия по вызыванию искусственных осадков для тушения лесных пожаров, а также регулярно проводимые мероприятия по воздействию на слоистообразные, волнистообразные и конвективные облака над мегаполисами с целью обеспечения хорошей погоды в дни государственных праздников [2, 3, 4].

Наряду с проведением и расширением такого рода работ в нашей стране в последние годы стало все больше уделяться внимания также и разработке методов и средств, позволяющих целенаправленно создавать искусственные атмосферные облачные образования для очищения атмосферы от пыли в зонах песчаных и угольных наземных карьеров, локализации выбросов в районах аварий на предприятиях газо- и нефтеперерабатывающих предприятий, АЭС и др.

Исходя из этого, целью работы является оценивание уровня разработки методов и средств целенаправленного создания искусственных туманов и облаков различных видов и определение перспектив их практической реализации.

Классификация атмосферных облачных образований

Научно-технический прогресс и бурное развитие промышленной базы государства привели к тому, что в природе, наряду с естественными облаками и туманами, стало возможным также и создание атмосферных облачных образований антропогенного происхождения как непреднамеренного, так и преднамеренного (целенаправленного, целевого) характера.

С учетом детализации существующей в настоящее время классификации облаков и туманов [5, 6] в настоящей работе предлагается классификация атмосферных облачных образований (АОО), представленная на рис. 1.

Отличительной особенностью предлагаемой классификации атмосферных облачных образований является то, что она дополняется классификацией искусственных антропогенных атмосферных образований непреднамеренного характера, связанных с хозяйственной деятельностью человека, и преднамеренного (целенаправленного) характера (искусственные облака и туманы).

Вследствие этого представляется важным рассмотреть физические основы и методы целенаправленного (целевого) создания искусственных атмосферных облачных образований (искусственных облаков и туманов).

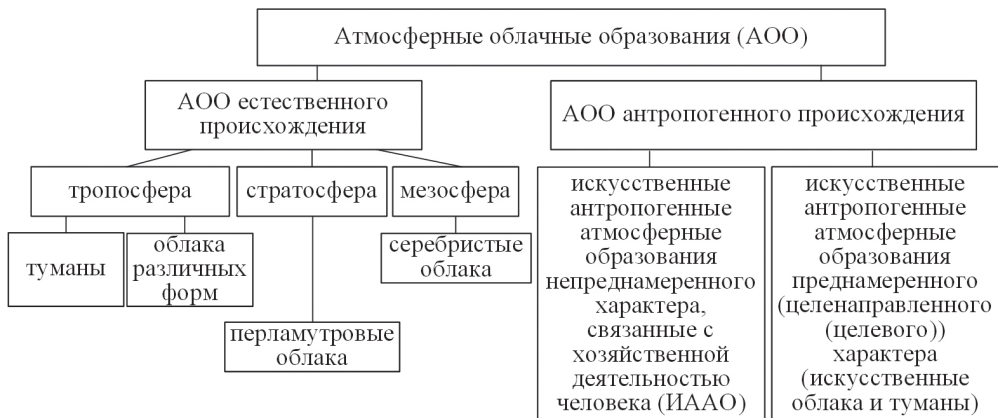


Рис. 1. Классификация атмосферных облачных образований.

Fig. 1. Classification of atmospheric cloud formations.

Физические основы, методы и технические средства создания искусственных облаков и туманов

Интерес к проблеме создания ИОТ обусловлен следующими обстоятельствами:

1. Искусственные облака и туманы являются по существу новым видом антропогенных атмосферных облачных образований (см. рис. 1).

2. Искусственные облака и туманы позволяют решать различные прикладные задачи, перечень которых приводится ниже.

3. Искусственные облака и туманы могут быть созданы в разные сезоны года, в различных физико-географических районах России в широком диапазоне высот (от земной поверхности до тропопаузы).

4. Искусственные облака и туманы, в частности искусственные перистые кристаллические облака, созданные на большой территории, позволяют осуществлять воздействия на процессы создания и эволюции крупных барических образований, например, тропических циклонов.

Методы создания искусственных облаков и туманов базируются на следующих положениях [7, 8]:

— способности некоторых химических веществ (в частности, гигроскопических) способствовать образованию капель тумана (облака);

— существовании в атмосфере слоев с пересыщением водяного пара над льдом;

— наличии в пограничном слое атмосферы неустойчивой стратификации температуры воздуха ($\gamma > \gamma_a$).

Результаты анализа информационных материалов по созданию искусственных облаков и туманов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Методы создания искусственных облаков и туманов

Methods of creating artificial clouds and fogs

Вид искусственных облаков (туманов)	Сущность метода	Источник	Уровень разработки метода		
			ТИ	ЛИ	НЭ
1. Искусственные перистые кристаллические облака	1.1. Использование продуктов сгорания топлива, выбрасываемых в атмосферу двигателями летательных аппаратов	[6]	+	+	+
	1.2. Внесение дополнительной влаги в атмосферу путем диспергирования с помощью специальных устройств, установленных на самолете	[8, 9]	+	+	–
	1.3. Диспергирование хладореагентов, с помощью специальных устройств, размещенных на самолетах	[10]	+	+	+
	1.4. Диспергирование частиц йодистого серебра (AgI) с помощью пиропатронов-генераторов или генераторов аэрозолей AgI	[10]	+	+	+

Продолжение табл. 1

Вид искусственных облаков (туманов)	Сущность метода	Источник	Уровень разработки метода		
			ТИ	ЛИ	НЭ
2. Искусственные конвективные облака	2.1. Использование устройств, создающих вертикальные струи теплого воздуха	[11, 12]	+	+	+
	2.2. Диспергирование гигроскопических веществ в атмосферу с помощью специальных устройств, размещенных на самолете (в тропосфере)	[13]	+	-	-
	2.3. Распыление мелкодисперсной сажи (в тропиках) с помощью специальных устройств, размещенных на самолете	[14]	+	+	-
	2.4. Изменении альbedo подстилающей поверхности	[15]			
	2.4.1. Создание асфальтовых покрытий	[15]	+	+	-
	2.4.2. Создание искусственных островов в крупных водоемах и морях	[15].	+	+	-
	2.4.3. Окрашивание подстилающей поверхности	[16]	+	-	-
	2.5. Использование плоских зеркал, отражающих солнечные лучи в одном направлении	[17]	+	-	-
	2.6. Создание влажных восходящих потоков воздуха в совокупности с применением охлаждающих систем для охлаждения подтянутого воздуха	[18]	+	-	-
	2.7. Внесение в восходящий поток или межоблачные промежутки льдообразующих реагентов совместно с ионогенным гигроскопическим веществом с преимуществом преобладанием отрицательных ионов	[19]	+	-	-
	2.8. Создание восходящего потока воздуха в атмосфере	[12, 20]	+	-	-
	3. Искусственные волнистообразные облака	2.9. Комбинированный метод			
2.9.1. Применение метеотронов совместно с дымовыми шашками		[11]	+	+	+
2.9.2. Применение термокинетических систем для диспергирования водных растворов гигроскопических веществ и их смесей определенной концентрации		[21]	+	+	+
2.10. Использование специальных ракет, вызывающих торнадо небольшой мощности и запускаемых с земли, из верхних слоев атмосферы либо из-под воды, что предпочтительно		[22]	+	-	-
2.11. Использование авиационных или ракетных средств, оснащенных генераторами (ракетами) для диспергирования химических веществ, активирующих образование облаков		[23]	+	-	-
2.12. Использование потока отрицательных ионов, вводимых в восходящие потоки воздуха		[24]	+	-	-
3.1. Применение вертолетов		[25]	+	+	+
3.2. Применение пиротехнических составов на основе гигроскопических веществ, доставляемых в атмосферу с помощью самолета		[4, 26]	+	+	+
3.3. Применение хладореагентов, доставляемых в атмосферу с помощью самолета		[4, 6]	+	+	-

Вид искусственных облаков (туманов)	Сущность метода	Источник	Уровень разработки метода		
			ТИ	ЛИ	НЭ
4. Искусственные туманы	3.4. Применение кристаллизующих веществ, доставляемых в атмосферу с помощью самолета	[4, 6]	+	+	–
	3.5. Комбинированный метод по п. 2.9.2	[21]	+	+	+
	3.6. Освобождение акваторий от льда (с помощью ледоколов или взрывных средств)	[6]	+	+	+
	3.7. Использование выбросов из труб морских судов	[6]	+	+	+
	3.8. Диспергирование воды в подинверсионный слой атмосферы при низких отрицательных значениях температуры воздуха (ниже минус 20—25 °С)	[6]	+	+	+
	3.9. Применение гигроскопических веществ, диспергируемых в атмосферу с помощью специальных наземных установок	[13, 21]	+	+	+
	4.1. Применение гигроскопических веществ, диспергируемых в атмосферу с помощью специальных наземных установок	[13, 21]	+	+	+
	4.2. Применение пиротехнических составов на основе гигроскопических веществ	[27]	+	+	+
	4.3. Применение хладореагентов	[4]	+	+	+
	4.4. Применение кристаллизующих веществ	[4]	+	+	+
5. Искусственные низковысотные водно-аэрозольные образования	4.5 Комбинированный метод по п. 2.9.2	[21]	+	+	+
	4.6. Метод по п. 3.6	[6, 7]	+	+	+
	4.7. Метод по п. 3.8	[6]	+	+	+
	5.1. Диспергирование воды в атмосферу	[28]	+	+	+
	5.2. Комбинированный метод				
	5.2.1. Метод по п. 5.1 совместно с ПАВ	[28]	+	+	+
	5.2.2. Метод по п. 2.9.2 совместно с ПАВ	[21]	+	+	+
6. Искусственные облака в верхней атмосфере земли	5.3. Комбинированные завесы				
	5.3.1. Метод по п. 2.9.2 совместно с дымами	[6, 21]	+	+	+
	5.3.2. Метод по п. 2.9.2 совместно с шашками и ТДА (тепловой дымовой аппарат)	[6, 21]	+	+	+
	6.1. Использование ракет или КА оснащенных генераторами для диспергирования частиц химического вещества (например, йодистого серебра) или фрактальных частиц различных металлов (нанометаллы), жидкого нагретого реагента	[29, 30]	+	–	–
	6.2. Использование ракет или КА, оснащенных емкостью с реагентами и управляемыми источниками сжатого газа, в качестве которого могут использоваться заряды пиротехнического взрывчатого вещества или аккумуляторы высокого давления	[31]	+	–	–
6.3. Распыление в околоземном пространстве аэрозольных частиц на высоте, где концентрация электрических частиц превышает значение 10^3 г/см ³	[32]	+	–	–	

Примечание: ТИ — теоретические исследования; ЭИ — экспериментальные исследования (в том числе и численный эксперимент); НЭ — натуральный эксперимент.

Приведенный в табл. 1 термин «искусственные низковысотные водно-аэрозольные образования» относится к атмосферным образованиям в приземном слое атмосферы, созданным при использовании специальных тепловых машин с установленным на них авиационным двигателем (в частности, ТМС-65Д и ТДАЗ), в сопло которого подается в большом количестве вода для создания насыщенной водяным паром локальной области. Образование тумана в этом случае происходит на небольшой площади (сотни-тысячи м²), при этом время его существования определяется временем работы двигателя. Именно малые значения пространственно-временных характеристик искусственных низковысотных водно-аэрозольных образований являются основным отличительным признаком, позволяющим выделить их в самостоятельный вид искусственных атмосферных облачных образований. Для увеличения времени существования таких атмосферных образований в сопло двигателя ТМС-65Д вводятся, наряду с водой, и ПАВ. Эта операция на 10—15 мин увеличивает продолжительность жизни таких атмосферных образований.

Анализ приведенных в табл. 1 данных позволяет сделать следующие выводы.

Во-первых, уровень разработки методов создания искусственных облаков и туманов изменяется от теоретических исследований до натуральных экспериментов. При этом можно отметить, что натурные эксперименты проведены в отношении перистых кристаллических облаков (1.1, 1.3, 1.4), искусственных жидко-капельных конвективных облаков (2.1, 2.9.1, 2.9.2), искусственных жидко-капельных (3.1, 3.2, 3.5, 3.6, 3.7) и кристаллических (3.3, 3.4, 3.8, 3.9) волнистообразных облаков, искусственных теплых (4.1, 4.2, 4.5, 4.6) и кристаллических (4.3, 4.4, 4.7) туманов и низковысотных водно-аэрозольных образований (5.1, 5.2, 5.3).

Во-вторых, хотя к настоящему времени ни один из приведенных в табл. 1 методов создания искусственных облаков и туманов не доведен до уровня оперативного применения, представляется возможным выделить те из них, которые уже в самое ближайшее время могут найти самое непосредственное применение на практике. К ним относятся методы создания на больших площадях искусственных кристаллических перистых и волнистообразных облаков, образуемых с помощью самолетов, а также искусственных конвективных облаков, создаваемых на основе наземных термокинетических систем, способных применять водные растворы гигроскопических веществ. Кроме того, в дополнение к вышеуказанным методам следует также указать методы создания искусственных жидкокапельных волнистообразных облаков, туманов и низковысотных водно-аэрозольных образований на гораздо меньших площадях.

В-третьих, для создания искусственных облаков различных видов необходимо использование самолетов, оборудованных устройствами для выброса в атмосферу химических веществ и водных рецептур, а также термокинетических установок различных типов, выпускаемых отечественной промышленностью (например, ТМС-65Д, ТДА-3, ТДА-2К и др.). Для создания конвективных облаков целесообразно использование термокинетических установок с вертикальным расположением сопла, либо с его максимально возможным подъемом по вертикали (например, ТМС-65Д с углом подъема до 15°). Для создания туманов и низковысотных водно-аэрозольных образований предпочтительно использование термокинетических установок.

Для убедительности выводов приводятся некоторые результаты натуральных экспериментов по созданию искусственных облаков и туманов.

Необходимо отметить, что за рубежом также проводятся широким фронтом аналогичные работы в области разработки методов создания искусственных облаков и туманов и технических средств их реализации [10, 14, 16, 17, 18, 22, 23, 26, 27].

Результаты натуральных экспериментов по созданию искусственных облаков и туманов

Разработка физических основ, методов и технических средств создания искусственных облаков и туманов позволила приступить к проведению натуральных экспериментов. Несмотря на большое разнообразие методов и технических средств создания искусственных облаков и туманов практическая реализация их оказалась довольно сложной. В ряде исследований приводятся результаты немногочисленных натуральных экспериментов в этом направлении. Описание условий подготовки, проведения и контроля результатов является далеко не полным.

За рубежом первые натуральные эксперименты по созданию искусственных кристаллических облаков в верхней тропосфере были проведены в начале 50-х годов прошлого века [33]. В одном из экспериментов засев безоблачной атмосферы осуществлялся путем диспергирования твердой углекислоты (CO_2) с помощью авиационных средств. Расход реагента составлял 450 г/км пути полета самолета протяженностью 16 км. В результате засева CO_2 наблюдалось образование искусственных облаков, состоящих из ледяных кристаллов неправильной формы. Ширина облачного слоя составляла порядка 3 км, а время его существования — более 3 часов. В последующих экспериментах расход углекислоты составлял 1 кг/км.

В нашей стране были проведены эксперименты по созданию конвективных облаков с помощью метеотронов, представляющих собой устройства на базе нескольких турбореактивных двигателей типа РД-3М и РД-3М-500 [11]. Натурные эксперименты по изучению возможности создания кучевых облаков проводились летом 1966 г. в Риге. Все эксперименты выполнялись при безоблачной погоде или при наличии некоторого количества облаков верхнего или среднего яруса в условиях внутримассовой погоды, обусловленной наличием антициклона или размытого барического поля. Подробно условия проведения и результаты опытов по созданию искусственных облаков приведены в [11]. Большая часть экспериментов выполнялась с 9 ч 30 мин до 10 ч мск. Согласно проведенным экспериментам, в 9 опытах из 15 над установкой образовывались облака, которые никогда не развивались до стадии более мощной, чем кучевые облака хорошей погоды. Максимальные горизонтальные размеры облаков не превышали 600 м, а их вертикальная протяженность была в пределах 300 м, при чем в пяти случаях облака образовывались в результате сжигания дымовых шашек и имели форму разорвано-кучевых облаков.

Описание ряда экспериментов по созданию некоторых видов искусственных атмосферных облачных образований с помощью ТМС-65Д приведено в работе [34]. Внешний вид данной установки показан на рис. 2.

Работы проводились в теплое полугодие в Поволжье при положительных значениях температуры воздуха, скорости ветра — не более 4—5 м/с, влажности



Рис. 2. Тепловая машина ТМС-65Д.

Fig. 2. TMS-65D heatengine.

воздуха — не более 90—95 % и не менее 50—55 %. Применялись водные растворы мочевины, поваренной соли, ПАВ и их смеси различных концентраций.

В качестве примера на рис. 3 и 4 приведены результаты экспериментов по созданию искусственных туманов и волнистообразных облаков.



Рис. 3. Создание искусственных туманов с помощью ТМС-65Д.

Fig. 3. Creation of artificial fogs using TMS-65D.

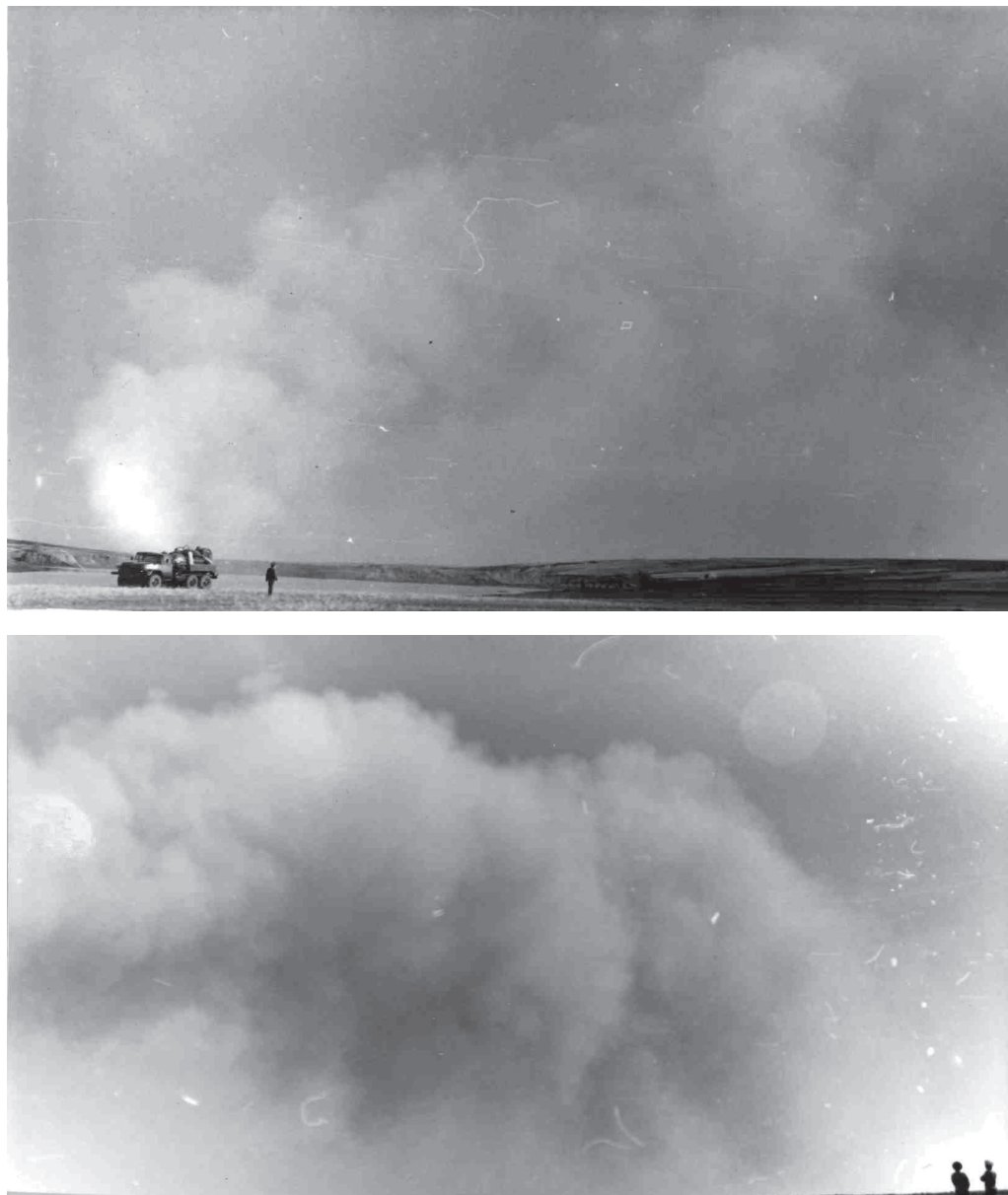


Рис. 4. Создание искусственных волнистообразных облаков с помощью ТМС-65Д.

Fig. 4. Creation of artificial wavy clouds using TMS-65D.

При использовании ТМС-65Д протяженность искусственного тумана составляла несколько км (до 4—5 км), ширина — 0,3—0,5 км, толщина — 100—300 м. Существенное влияние на образование искусственного тумана (наряду с ветром) оказывает влажность воздуха. Установлено, что при влажности менее 70 % время его жизни связано непосредственно с временем работы двигателя ТМС-65Д. При влажности воздуха более 80 % оно значительно больше, составляя десятки минут.

Кроме указанных выше искусственных атмосферных облачных образований, ТМС-65Д может быть также применена и для создания конвективных облаков. Возможность решения такой задачи была наглядно продемонстрирована в работе [34]. Это связано с тем, что особенностью данной установки является возможность регулирования подъема сопла двигателя в вертикальной плоскости (до 15°). В этом случае обеспечивается доставка химических веществ, находящихся в водном растворе, после введения его в сопло двигателя на значительную высоту в атмосфере, вплоть до уровня конденсации. В экспериментах исследовались водные растворы таких химических реагентов, как: хлористый кальций, карбамид, аммиачная селитра, а также водные растворы их смесей заданной концентрации. Фрагменты проведенного в натуральных условиях эксперимента по решению поставленной задачи показаны на рис. 5.

Как видно из приведенных данных на рис. 5, искусственное конвективное облако превратилось в мощно-кучевое. Это можно объяснить тем, что уровень конденсации располагался на незначительной высоте, до которого достигала струя с реагентом от сопла двигателя ТМС-65Д, при этом ветер был слабый, а влажность воздуха высокая (85—90 %). Инверсия в пограничном слое не наблюдалась.

В результате проведенных работ можно сделать вывод о том, что создание искусственных облаков и туманов может быть выполнено с помощью технических средств типа ТМС-65Д, способных осуществлять диспергирование водных растворов различных химических веществ.

Работы по созданию искусственных облаков и туманов неразрывно связаны с проведением исследований по оцениванию влияния применяемых химических веществ на состояние природной среды как в районах проведения экспериментов, так и за их пределами. Выполненные в этом направлении исследования [34, 35] позволили сделать вывод о том, что применяемые водные рецептуры для создания искусственных облаков и туманов не наносят практически никакого вреда природной среде.

Результаты натуральных экспериментов по созданию искусственных облаков и туманов позволяют определить перечень решаемых в этом случае прикладных задач. В первом приближении в него могут войти такие хозяйственные и экологические задачи, как: борьба с заморозками и интенсифицирование таяния снега на сельскохозяйственных полях с помощью искусственных туманов, предотвращение образования тропических циклонов и радиационных туманов путем создания искусственных перистых кристаллических облаков, очищение атмосферы мегаполисов и песчаных (угольных) карьеров от загрязняющих веществ и пыли и др.

В качестве примеров решения перечисленных выше задач в работе рассмотрены возможность создания мезомасштабных облачных полей для борьбы с грозами, градом, туманами [9] и способ борьбы с заморозками искусственными туманами с помощью термокинетических установок.

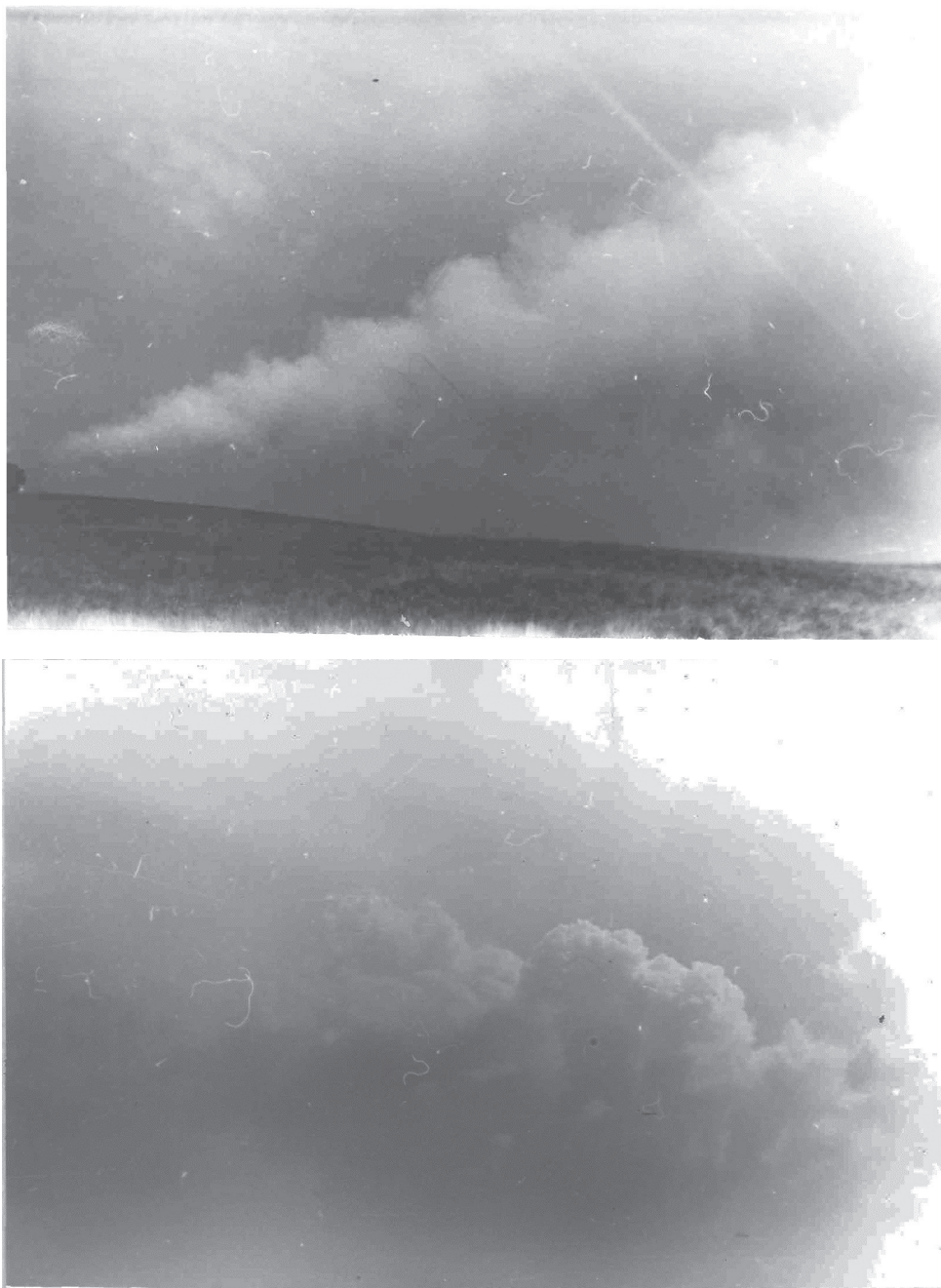


Рис. 5. Фрагмент эксперимента по созданию конвективных облаков.

Fig. 5. Fragment of an experiment on the creation of convective clouds.

Согласно расчетам, приведенным в [9], для создания перистых кристаллических облаков на площади $100 \times 100 \times 0,3$ км в течение трех часов потребуется один самолет типа Ту-104, оснащенный установкой для диспергирования капель воды радиусом от 2 до 10 мкм общей массой 10 т. Следует заметить, что при сгорании 30 т керосина в атмосферу дополнительно к 10 т воды в атмосферу будет выделено еще 42 т воды, т.е. в течение 3-х часового полета самолет-оператор ежесекундно вводит 4,815 кг водяного пара. Этого суммарного количества водяного пара достаточно для получения величины дополнительной абсолютной влажности, равной $0,0785 \text{ г/м}^3$, что существенно увеличивает образование облачных элементов с созданием сплошного поля перистых облаков.

Во втором случае расчеты показывают, что для защиты полей сельхозугодий от заморозков на площади 2×4 км для создания теплого тумана необходимо 4 машины ТМС-65Д и 4 машины АРС-14 в течение трех часов. Расход химического реагента (карбамида марки Б) для приготовления 20 % водного раствора данного вещества составит в этом случае порядка 5 тонн.

Сравнительный анализ стоимости предлагаемого водного раствора для создания искусственного тумана в качестве средства защиты сельхозкультур от заморозка с дымовой аэрозольной завесой, создаваемой на аналогичной площади с применением тех же технических средств (4 машины ТМС-65Д и 4 машины АРС-14) в течение трех часов при сжигании 25 тонн смеси на основе нефтепродуктов, показывает, что в первом случае стоимость такого мероприятия будет в 6 раз меньше, чем при использовании дымовой аэрозольной завесы.

Выводы

1. Искусственные облака и туманы являются по существу новым видом антропогенных атмосферных образований, которые могут быть целенаправленно созданы человеком для практического использования в различных регионах нашей страны.

2. На основе системного анализа патентных материалов и информационных источников в данной предметной области обобщены возможные методы создания искусственных облаков и туманов. Рассмотренные в работе методы и средства их создания в ряде случаев прошли экспериментальную проверку в натуральных условиях в различных районах России и в разные сезоны года и показали принципиальную возможность создания искусственных теплых туманов, искусственных теплых волнистообразных облаков и облаков вертикального развития.

3. Используемые для создания искусственных облаков и туманов химические кристаллообразующие реагенты и водные растворы гигроскопических веществ не наносят заметного вреда природе.

4. Определен перечень решаемых прикладных задач при создании искусственных облаков и туманов. Возможность решения таких задач показана на примере борьбы с грозами, градом на больших территориях с помощью искусственных перистых облаков и на примере борьбы с заморозками с помощью искусственных туманов, создаваемых термокинетическими установками.

Список литературы

1. Краснопеев С. М., Неров И. О., Бугаец А. Н. Потенциал ДЗЗ для восстановления высокодетальной ЦМР заглавливаемой зоны прирусловой поймы крупных рек // Геоинформатика. 2022. № 4. С. 28—35. doi:10.47148/1609-364X-2022-4.
2. Доронин А. П., Гончаров И. В., Петrochenko В. М., Козлова Н. А., Тимошук А. С. Исследование характеристик конвективных облаков над центральным районом европейской части России применительно к проблеме профилактики возникновения лесных пожаров и борьбы с ними // Ученые записки РГГМУ. 2018. № 50. С. 28—40.
3. Козлов В. Н., Доронин А. П., Петrochenko В. М. Экологическая опасность лесных пожаров и методы ее предотвращения // Ученые записки РГГМУ. 2017. № 48. С. 234—248.
4. Корнеев В. П., Колосков Б. П., Бычков А. А., Петрунин А. М., Частухин А. Б. Активные воздействия на облака с целью улучшения условий погоды в мегаполисах // Метеорология и гидрология. 2022. № 7. С. 61—70.
5. Андреев А. О., Дукальская М. В., Головина Е. Г. Облака: происхождение, классификация, распознавание. / Под ред. д-ра геогр. наук А. И. Угрюмова. Учебное пособие. СПб.: РГГМУ, 2007, 228 с.
6. Мазуров Г. И., Акселевич В. И., Биденко С. И. Облачные мезонеоднородности и возможности управления их эволюцией в целях создания локальных благоприятных условий погоды. СПб.: «Технолит», 2013. 191 с.
7. Доронин А. П., Козлов С. И., Петrochenko В. М., Филиппёнок В. В. Искусственные атмосферные образования: методы и технические средства, области применения // Труды ВКА имени А. Ф. Можайского. 2022. Вып. 685. С. 108—115.
8. Козлов В. Н., Мазуров Г. И., Доронин А. П., Коршун Н. А. Физические основы искусственного образования облачности в верхней тропосфере // Труды Главной геофизической обсерватории имени А. И. Воейкова. 2014. Вып. 570. С. 261—273.
9. Зайцев В. А., Кудрявцев Б. П., Ледохович А. А. Возможности и пути создания полей искусственных облаков // Метеорология и гидрология. 1977. № 3. С. 3—9.
10. Detwiler A., Pratt R. Clear-air seeding: opportunities and strategies // Journal of Weather Modification. 1984. V. 16. № 1. P. 46—60.
11. Вульфсон Н. И., Левин Л. М. Метеотрон как средство воздействия на атмосферу. М.: Московское отделение Гидрометеоздата, 1987. 130 с.
12. Патент № 2732710 Российская Федерация, МПК A01G 15/00 (2006.01). СПК A01G 15/00 (2020.02). Способ создания искусственных облаков и осадков: № 2019110769: заявл. 11.04.2019: опубл. 22.09.2020, бюл. № 27 / Абшаев М. Т.: патентообладатели: Абшаев М. Т. (Россия); Общество с ограниченной ответственностью «Научно-Производственный Центр «Антиград» (Россия); Национальный Центр по Метеорологии Объединенных Арабских Эмиратов.
13. Патент № 2045164 Российская Федерация, МПК A01G 15/00 (1995.01). Устройство для создания тумана и облаков: № 93016204/23: заявл. 29.03.1993: опубл. 10.10.1995 / Козлов В. Н.: заявитель и патентообладатель: Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова.
14. Gray W. M., Frank W. M., Corrin M. L. and Stokes C. A. Weather modification by carbon dust absorption of solar energy // Colorado state university. 1974. Res. Rep. № 225. 190 p.
15. Дессенс А. Можем ли мы изменить климат? Л.: Гидрометеоздат, 1969. 115 с.
16. Патент № 2440684 Франция, МПК A01G 15/00. CPC A01G 15/00. Создание облаков, вызывающих осадки, путем окрашивания почвы: № 7831789: заявл. 10.11.1978: опубл. 06.06.1980, вид публикации B1 / заявители: RASKIN LUCILE.
17. Патент № 2366789 Франция, МПК A01G 15/00. CPC A01G 15/00. Система формирования дождевых облаков — использует отраженный свет от плоских зеркал для нагрева воздуха, в котором вода конденсируется на высоте: № 7628930: заявл. 17.09.1976: опубл. 05.05.1978, вид публикации A1 / заявители: LAFAURE HENRI FRANCOIS.
18. Патент № 2490067 Франция, МПК A01G 15/00. CPC A01G 15/00. Криогенное устройство для формирования дождевого облака — выполнено в виде воздушного шара, закрепленного полыми тросами, по которым сжиженный газ и влажный воздух закачиваются в атмосферу: № 8019969: заявл. 16.09.1980: опубл. 19.03.1982, вид публикации A1 / заявители: BELHAMRIBERNARD.

19. Патент № 2191499 Российская Федерация, МПК A01G 15/00 (2000.01). Способ управления погодой: № 2000110406/13; заявл. 13.04.2000; опубл. 27.10.2002, бюл. № 30 / Будко Е. А., Козлов В. Н., Лихачев А. В., Окунев С. М.: заявители Будко Е. А., Козлов В. Н., Лихачев А. В., Окунев С. М.: патентообладатель: Козлов В. Н.
20. Патент № 2462026 Российская Федерация, МПК A01G 15/00 (2006.01). Способ создания восходящего потока воздуха в атмосфере и устройство для его осуществления (гелиатор): № 2011111351/13; заявл. 28.03.2011; опубл. 27.09.2012, бюл. № 27 / Павлюченко В. П.: патентообладатель: Учреждение Российской академии наук Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН (ФИАН).
21. Патент № 2377765 Российская Федерация, МПК A01G 13/06 (2006.01). A01G 15/00 (2006.01). Раствор для создания теплых искусственных туманов и облачности нижнего яруса: № 2008121073/12; заявл. 26.05.2008; опубл. 10.01.2010, бюл. № 1 / Серебренников Б. В., Клюев А. М., Ключин А. В., Григорьев А. А., Ферезанова М. В., Сотников Н. В.: заявитель и патентообладатель: Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Саратовский военный институт биологической и химической безопасности (СВИБХБ).
22. Патент № 2411813 Великобритания, МПК A01G 15/00. CPC A01G 15/00. Способ формирования дождевых облаков: № 0405221; заявл. 09.03.200; опубл. 21.04.2004, вид публикации А / заявители: BRODSKI STANISLAV, BRODSKI YEVGENY.
23. Патент № 1491088 Европейское патентное ведомство, МПК A01G 15/00 E01H 13/00. CPC A01G 15/00. Изменение погоды по технологии рояльского дождевания (посредством технологии формирования дождя): № 03020550; заявл. 17.09.2003; опубл. 29.12.2004, вид публикации В1 / заявители: HISMAJESTYKINGBHMIBOL.
24. Патент № 2115296 Российская Федерация, МПК A01G 15/00 (1995.01). E01H 13/00 (1995.01). Способ изменения погоды в локальных зонах приземной атмосферы: № 97110297/13; заявл. 25.06.1997; опубл. 20.07.1998 / Пестов Д. А.: заявитель и патентообладатель: Пестов Д. А.
25. Мазуров Г. И., Нестерук В. Н. Физико-метеорологические условия образования облачных следов за вертолетами // Труды ГМЦ. 1982. Вып. 217. С. 66—78.
26. Патент № 4653690 США, МПК A01G 15/00. CPC A01G 15/00 Y10S 149/117. Способ получения кучевых облаков: № 06668050; заявл. 05.11.1984; опубл. 31.03.1987, вид публикации А / St. Amand Pierre, Mathews Larry A. заявители: The United States of America as represented by the Secretary of the Navy.
27. Edward E. Hindman Water droplet fogs formed from pyrotechnically generated condensation nuclei // Journal of Weather Modification. 1978. V. 10. № 1. P. 77—96.
28. Авторское свидетельство № 651754 СССР, МПК A01G 15/00 (2000.01). Устройство для создания искусственного тумана: № 2393715; заявл. 02.08.1976; опубл. 15.03.1979 / Козлов В. Н., Соболев А. Д., Соболев В. Д.; заявитель: Военный инженерный Краснознаменный институт им. А. Ф. Можайского.
29. Авторское свидетельство № 140630 СССР, МПК A01G 15/00 (2000.01). Пиротехнический состав для снаряжения противораковых ракет и патронов: № 684510; заявл. 03.11.1960; опубл. 00.00.1960 / Вернидуб И. И., Шишминцев В. В.; заявители: Вернидуб И. И., Шишминцев В. В.
30. Авторское свидетельство № 1007062 СССР, МПК G01W 1/08 (2000.01). Способ создания искусственных облаков в верхних слоях атмосферы и устройство для его осуществления: № 3412304; заявл. 05.12.1981; опубл. 23.03.1983 / Игнатенко В. И., Мусеев А. С., Степанов А. Б., Шидловский А. А.; заявитель: Центральное конструкторское бюро гидрометеорологического приборостроения Госкомгидромета СССР.
31. Патент № 2007070 Российская Федерация, МПК A01G 15/00 (1990.01). Способ создания искусственного облака в верхней атмосфере земли и устройство для его осуществления: № 925048108; заявл. 16.06.1992 / Гарбузенко В. Ф., Клюев О. Ф., Матухин П. Г., Портнягин Ю. И., Соколов В. В., Шамшев К. Н., Шидловский А. А.: заявитель и патентообладатель: Научно-производственное объединение «Тайфун».
32. Патент № 2264081 Российская Федерация, МПК A01G 15/00 (2000.01). Способ искусственного образования облаков: № 2001114690/12; заявл. 31.05.2001; опубл. 20.03.2003, бюл. № 8 / Лапшин В. Б., Палей А. А.: патентообладатель: Лапшин В. Б.
33. Хоббс П. В. Научные основы, методы и результаты активных воздействий на облака / Изменение погоды человеком. М.: Изд-во «Прогресс», 1972. С. 52—53.

34. A. P. Doronin, Yu. V. Kuleshov, M. V. Petrochenko and G. G. Shchukin Methods of changing the thunderstorm electricity by modifying convective clouds natural and artificial origin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 698 (2019) 044022 doi:10.1088/1757-899X/698/4/044022.
35. Ким Н. С., Корнеев В. П., Частьухин А. В., Шукин Г. Г. Экологические аспекты российских технологий активных воздействий на облака // Ученые записки РГГМУ. 2017. №46. С. 91—99.

References

1. Krasnopeev S. M., Nerov I. O., Bugaets A. N. Remote sensing potential for restoration of a highly detailed DEM of the flooded zone of the riverine floodplain of large rivers. *Geoinformatika* = Geoinformatics. 2022, 4: 28—35. (In Russ.). DOI:10.47148/1609-364X-2022-4.
2. Doronin A. P., Goncharov I. V., Petrochenko V. M., Kozlova N. A., Tymoshchuk A. S. Investigation of the characteristics of convective clouds over the central region of the European part of Russia in relation to the problem of prevention of forest fires and their control. *Uchenyye zapiski RGGMU = Proceedings RSHU*. 2018, 50: 28—40. (In Russ.).
3. Kozlov V. N., Doronin A. P., Petrochenko V. M. Ecological danger of forest fires and methods of its prevention. *Uchenyye zapiski RGGMU = Proceedings RSHU*. 2017, 48: 234—248. (In Russ.).
4. Korneev V. P., Koloskov B. P., Bychkov A. A., Petrunin A. M., Chastukhin A. B. Active effects on clouds in order to improve weather conditions in megacities. *Meteorologiya i gidrologiya = Meteorology and hydrology*. 2022, 7: 61—70. (In Russ.).
5. Andreev A. O., Dukalskaya M. V., Golovina E. G. *Oblaka: proiskhozhdeniye, klassifikatsiya, raspoznavaniye = Clouds: origin, classification, recognition*. Edited by Doctor of Geographical Sciences A. I. Ugrumov. Study guide. St. Petersburg, publishing house of RGGMU, 2007: 228 p. (In Russ.).
6. Mazurov G. I., Akselevich V. I., Bidenko S. I. *Mezonevrogeniya oblakov i vozmozhnosti upravleniya ikh evolyutsiyey dlya sozdaniya lokal'nykh blagopriyatnykh pogodnykh usloviy = Cloud mesoneurogenities and the possibilities of controlling their evolution in order to create local favorable weather conditions*. St. Petersburg: "Technolit", 2013: 191 p. (In Russ.).
7. Doronin A. P., Kozlov S. I., Petrochenko V. M., Filippenok V. V. Artificial atmospheric formations: methods and technical means, areas of application. *Trudy VKA imeni A. F. Mozhayskogo = Proceedings of the A. F. Mozhaysky VKA*. 2022, 685: 108—115. (In Russ.).
8. Kozlov V. N., Mazurov G. I., Doronin A. P., Korshun N. A. Physical bases of artificial cloud formation in the upper troposphere. *Trudy GGO = Proceedings of the Main Geophysical Observatory named after A. I. Voeikov*. 2014, 570: 261—273. (In Russ.).
9. Zaitsev V. A., Kudryavtsev B. P., Ledokhovich A. A. Possibilities and ways of creating artificial cloud fields. *Meteorologiya i gidrologiya = Meteorology and hydrology*. 1977, 3: 3—9. (In Russ.).
10. Detwiler A., Pratt R. Sowing in clean air: opportunities and strategies. *Journal of Weather Change*. 1984, 16, 1: 46—60.
11. Wolfson N. I., Levin L. M. *Meteotron kak sredstvo vozdeystviya na atmosferu. Meteotron as a means of influencing the atmosphere*. Moscow: Moscow Department of Hydrometeoizdat, 1987: 130 p. (In Russ.).
12. Patents No. 2732710 RU, IPC A01G 15/00 (2006.01). SEC A01G 15/00 (2020.02). Method of creating artificial clouds and precipitation : No. 2019110769 : applic. 11.04.2019 : Published: 22.09.2020 Byul. No. 27 / *Abshaev M. T.* (RU) : Patent holders : *Abshaev M. T.* (RU), Limited Liability Company "Scientific and Production Center "Antigrad" (RU), National Center for Meteorology of the United Arab Emirates (AE).
13. Patents No. 2045164 RU, IPC A01G 15/00 (1995.01). Device for creating fog and clouds : No. 93016204/23 : applic. 29.03.1993 : Published: 10.10.1995 / *Kozlov V. N.* : Applicant and patent holder : A. I. Voeikov Main Geophysical Observatory.
14. Gray W. M., Frank W. M., Corrin M. L. and Stokes K. A. Weather change due to the absorption of solar energy by carbon dust. *University of Colorado*, 1974, 225: 190 p.
15. Dessens A. *Mozhem li my izmenit' klimat? = Can we change the climate? L.*: Hydrometeoizdat, 1969: 115 p.
16. Patent No. 2440684 FR, IPC A01G 15/00. CPC A01G 15/00. Creation of clouds causing precipitation by staining the soil : No. 7831789 : applic. 10.11.1978 : Published: 06.06.1980, Type of publication B1 / Applicants : RUSKIN LUCILLE.

17. Patent No. 2366789 FR, IPC A01G 15/00. CPC A01G 15/00. Rain cloud formation system - uses reflected light from flat mirrors to heat the air in which water condenses at altitude : No. 7628930 : applic. 17.09.1976 : Published: 05.05.1978, Type of publication A1 / Applicants : LAFORT HENRI FRANCOIS.
18. Patent No. 2490067 FR, IPC A01G 15/00. CPC A01G 15/00. Cryogenic device for forming a rain cloud - made in the form of a balloon fixed with hollow cables through which liquefied gas and moist air are pumped into the atmosphere : No. 8019969 : applic. 16.09.1980 : Published: 19.03.1982, Type of publication A1 / Applicants : BEL HAMRI BERNARD.
19. Patents No. 2191499 RU, IPC A01G 15/00 (2000.01). Weather control method : No. 2000110406/13 : applic. 13.04.2000 : Published: 27.10.2002 Byul. No. 30 / *Budko E. A., Kozlov V. N., Likhachev A. V., Okunev S. M.* : Applicant : Budko E. A., Kozlov V. N., Likhachev A. V., Okunev S. M. : Patent holder : Kozlov V. N.
20. Patents No. 2462026 RU, IPC A01G 15/00 (2006.01). Method of creating an upward airflow in the atmosphere and a device for its implementation (heliator) : No. 2011111351/13 : applic. 28.03.2011 : Published: 27.09.2012 Byul. No. 27 / *Pavlyuchenko V. P.* : Patent holder : Opening of the Russian Academy of Sciences, P. N. Lebedev Academic Institute of the Russian Academy of Sciences (FIAP).
21. Patents No. 2377765 RU, IPC A01G 13/06 (2006.01). A01G 15/00 (2006.01). Solution for creating warm artificial fogs and clouds of the lower tier : No. 2008121073/12 : applic. 26.05.2008 : Published: 10.01.2010 / *Serebrennikov B. V., Klyev A. M., Klyuzhin A. V., Grigorov A. A., Ferezanova M. V., Sotnikov N. V.* : Applicant and patent holder : Federal state educational institution of higher professional education Saratov state institute of biological and chemical safety (SVIBXB).
22. Patent No. 2411813 UK, IPC A01G 15/00. PDA A01G 15/00. Method of forming rain clouds : No. 0405221 : applic. 09.03.2004 : Published: 21.04.2004, Type of publication A / Applicants : BRODSKI STANISLAV, BRODSKI YEVGENY.
23. Patent No. 1491088 EP, IPC A01G 15/00 E01H 13/00. Changing the weather using Royal sprinkling technology (through rain forming technology) : No. 03020550 : applic. 17.09.2003 : Published: 29.12.2004, Type of publication B1 / Applicants : HIS MAJESTY KING BHUMIBOL.
24. Patents No. 2115296 RU, IPC A01G 15/00 (1995.01). E01H 13/00 (1995.01). Method of changing the weather in local zones of the surface atmosphere : No. 97110297/13 : applic. 25.06.1997 : Published: 20.07.1998 / *Pestov D. A.* : Applicant and patent holder : Pestov D. A.
25. Mazurov G. I., Nesteruk V. N. Physico-meteorological conditions of formation of cloud tracks behind helicopters. *Trudy GMTS = Proceedings GMC.* 1982, 217: 66—78. (In Russ.)
26. Patent No. 4653690 US, IPC A01G 15/00. CPC A01G 15/00 Y10S 149/117. Cumulus cloud production method : No. 06668050 : applic. 05.11.1984 : Published: 31.03.1987, Type of publication A / *St. Amand Pierre, Mathews Larry A.* Applicants : The United States of America as represented by the Secretary of the Navy.
27. Hindman E. E. Water droplet mists formed from pyrotechnically generated condensation nuclei. *Journal of Weather Modification.* 1978, 10. 1: 77—96
28. Copyright certificate No. 651754 SU, IPC A01G 15/00 (2000.01). Device for creating artificial fog : No. 2393715 : applic. 02.08.1976 : Published: 15.03.1979 / *Kozlov V. N., Sobolev A. D., Sobolev V. D.* : Applicant : A. F. Mozhaisky Military engineering red banner institute.
29. Copyright certificate No. 140630 SU, IPC A01G 15/00 (2000.01). Pyrotechnic composition for the equipment of anti-hail missiles and cartridges : No. 684510 : applic. 03.11.1960 : Published: 00.00.1960 / *Vernidub I. I., Shishmintsev V. V.* : Applicant : Vernidub I. I., Shishmintsev V. V.
30. Copyright certificate No. 1007062 SU, IPC G01W 1/08 (2000.01). A method for creating artificial clouds in the upper atmosphere and a device for its implementation : No. 3412304 : applic. 05.12.1981 : Published: 23.03.1983 / *Ignatenko V. I., Museev A. S., Stepanov A. B., Shidlovsky A. A.* : Applicant : Central design bureau of hydrometeorological instrumentation of the USSR state committee for hydro-meteorology.
31. Patents No. 2007070 RU, IPC A01G 15/00 (1990.01). A method for creating an artificial cloud in the upper atmosphere of the earth and a device for its implementation : No. 925048108 : applic. 16.06.1992 / *Garbuzenko V. F., Klyuev O. F., Matukhin P. G., Portnyagin Y. I., Sokolov V. V., Shamshev K. N., Shidlovsky A. A.* : Applicant and patent holder : Scientific and production association «Typhoon».

32. Patents No. 2264081 RU, IPC A01G 15/00 (2000.01). Method of artificial cloud formation : No. 2001114690/12 : applic. 31.05.2001 : Published: 20.03.2003, Byul. No. 8 / *Lapshin V. B., Paley A. A.* : Patent holder : Lapshin V. B.
33. Hobbs P. V. Scientific foundations, methods and results of active effects on clouds. *In the book: "Human weather change"*. M.: Progress Publishing House, 1972: 52—53.
34. Doronin A. P., Kuleshov Yu. V., Petrochenko M. V. and Shchukin G. G. Methods of changing the thunderstorm electricity by modifying convective clouds natural and artificial origin. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 698 (2019) 044022 doi:10.1088/1757-899X/698/4/044022.
35. *Kim N. S., Korneev V. P., Chastukhin A. V., Shchukin G. G.* Ecological aspects of Russian technologies of active impacts on clouds. *Uchenyye zapiski RGGMU = Scientific notes of RGGMU*. 2017. 46: 91—99.

Информация об авторах

Доронин Александр Павлович, доктор технических наук, профессор, Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского, профессор кафедры технологий и средств геофизического обеспечения, doronin52@mail.ru.

Петроченко Вячеслав Михайлович, кандидат технических наук, доцент, Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского, доцент кафедры технологий и средств геофизического обеспечения, vmpetrochenko@mail.ru.

Козлова Наталья Александровна, кандидат географических наук, Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского, научный сотрудник военного института (научно-исследовательского), kozlova.nat2012@mail.ru.

Щукин Георгий Георгиевич, доктор физико-математических наук, профессор, Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского, профессор кафедры технологий и средств геофизического обеспечения, ggshchukin@mail.ru.

Филиппёнок Виктор Викторович, Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского, адъюнкт, vitya.fil@mail.ru.

Information about authors

Doronin Alexander Pavlovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, A. F. Mozhaisky Military Space Academy, Professor of the Department of Technologies and Means of Geophysical Support.

Petrochenko Vyacheslav Mikhailovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Military Space Academy named after A. F. Mozhaisky, Associate Professor of the Department of Technologies and Means of Geophysical Support.

Kozlova Natalia Aleksandrovna, Candidate of Geographical Sciences, Military Space Academy named after A. F. Mozhaisky, researcher at the Military Institute (research).

Shchukin Georgiy Georgievich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, A. F. Mozhaisky Military Space Academy, Professor of the Department of Technologies and Means of Geophysical Support.

Filippenok Viktor Viktorovich, Military Space Academy named after A. F. Mozhaisky, adjunct.

Конфликт интересов: конфликт интересов отсутствует.

Статья поступила 10.04.2023

Принята в печать 14.05.2023

The article was received on 10.04.2023

The article was accepted 14.05.2023