

УДК [551.576+551.509.616]:551.509.68(470.3)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК
КОНВЕКТИВНЫХ ОБЛАКОВ НАД ЦЕНТРАЛЬНЫМ РАЙОНОМ
ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ
ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПРОБЛЕМЕ ПРОФИЛАКТИКИ
ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ И БОРЬБЫ С НИМИ**

*А.П. Доронин, И.В. Гончаров, В.М. Петроченко,
Н.А. Козлова, А.С. Тимощук*

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

Выполнено исследование характеристик конвективных облаков применительно к проблеме их модифицирования по материалам самолетного зондирования атмосферы ТАЭ-7,7 м над аэродромом Внуково (Москва) за 1953—1964 годы. С учетом наличия в нашей стране средств модифицирования облаков и полученных в настоящей работе количественных оценок пригодности конвективных облаков к вызыванию из них искусственных осадков сделан вывод о целесообразности проведения работ по воздействию на облака в целях профилактики возникновения лесных пожаров и борьбы с ними в месяцы теплого полугодия.

Ключевые слова: конвективные облака, модифицирование, искусственные осадки, оценки пригодности, профилактика возникновения лесных пожаров.

**INVESTIGATION THE CHARACTERISTICS OF CONVECTIVE
CLOUDS OVER THE CENTRAL REGION OF EUROPEAN
TERRITORY OF RUSSIA IN RELATION TO THE PROBLEM TO
PREVENT THE FOREST FIRES AND TO STRUGGLE WITH THEM**

*A.P. Doronin, I.V. Goncharov, V.M. Petrochenko,
N.A. Kozlova, A.S. Timoshchuk*

A.F. Mozhaysky Military-Space Academy

The study of the characteristics of convective clouds in relation to the problem of their modification was carried out according to the materials of TAE-7.7 m aircraft sounding of the atmosphere over the airport Vnukovo (Moscow) for the period 1953—1964. Given the availability of the means of modifying clouds in our country and quantitative evaluations of suitability for inducing artificial precipitation from convective clouds obtained in this work, the conclusion about expediency of carrying out work on cloud modification to prevent forest fires and struggle with them in the warm months is made.

Keywords: convective clouds, modification, artificial precipitation, evaluations of suitability, prevention of forest fires.

Введение

Среди основных проблем, характерных для современного этапа развития общества, особое место занимает проблема, связанная с лесными пожарами. В качестве примера можно привести ситуацию, сложившуюся в 2010 году в европейской части страны, где начиная с середины июня более двух месяцев стояла аномальная

жара, которая привела к засухе и способствовала развитию лесных пожаров. Всего с начала пожароопасного периода 2010 года в РФ произошло более 29 тысяч природных пожаров на общей площади 927,5 тысяч гектаров. В пожарах погибло более 50 человек, сгорело 2,5 тысячи домов [7]. По данным Всемирного центра мониторинга пожаров, площадь, пройденная пожарами на природных территориях РФ в 2010 году с начала года по 13 августа, составила не менее 10—12 миллионов гектаров. Пожары затронули порядка 60 федеральных заповедников и национальных парков, в которых погибли реликтовые леса, другие эталонные экосистемы, нанесен урон популяциям редких видов флоры и фауны [5].

Помимо гибели лесов, лесные пожары приводят к существенному ухудшению экологической обстановки вследствие поступления в атмосферу из мест возникновения лесных и торфяных пожаров значительного количества загрязняющих примесей [11].

Так, например, при лесоторфяных пожарах 2010 года в атмосферу поступило огромное количество взвешенных частиц («черный углерод»), «парниковые» и химически активные газы (окись углерода, оксид азота, диоксид серы), органические соединения (аммиак, формальдегид, фенолы, бенз(о)пирен, альдегиды, диоксины) и другие соединения. В результате этих пожаров в РФ в 2010 году, по оценке геобиоцентра Мюнхенского университета (Германия), в атмосферу планеты было выброшено от 30 до 100 млн тонн двуокиси углерода, и в конце июля 2010 года концентрация этого газа в районе Москвы превысила 120 частиц на миллион [5].

Многие вещества, находящиеся в дыме при торфяно-лесных пожарах, причиняют ущерб здоровью населения. По данным Минздравсоцразвития [5], в июле 2010 года число смертей по России в годовом исчислении возросло на 8,6 %. В некоторых из охваченных пожарами и/или задымлением регионах смертность в июле 2010 года возросла по сравнению с июлем 2009 года более значительно: в Москве на 50,7 %, в Ивановской области на 18,3 %, в Московской и Тульской областях на 17,3 %, в Республике Татарстан на 16,6 %, в Рязанской, Ульяновской, Тамбовской и Липецкой областях на 13,5; 13,0; 11,1 и 13,5 % соответственно.

В Московской области число больных, которым требовалась госпитализация, летом 2010 года увеличилась на 17 %. Возросло также число обращений граждан по поводу сердечно-сосудистых заболеваний и бронхиальной астмы. По данным Департамента здравоохранения Правительства Москвы, на 9 августа 2010 года дополнительная ежедневная смертность жителей города от аномально высокой температуры и задымления в Москве достигала 320—340 человек. Число вызовов «скорой помощи» и обращений к врачам увеличилось на 20 %, общее число госпитализаций возросло на 10 %, и в частности госпитализаций детей — на 17 % [7].

Пожар можно рассматривать как своего рода неуправляемый реактор, химические превращения в котором протекают с выделением в атмосферу огромного — пропорционального масштабу явления — количества самых разных продуктов горения, пиролиза, термоокислительной деструкции. Используемые при тушении пожара вещества также вносят свой вклад в загрязнение окружающей среды.

Ситуация усугубляется тем, что токсичные продукты, образующиеся в результате пожара и при его тушении, могут распространяться на значительные

территории, попадать через грунтовые воды в реки, выпадать и оседать в виде токсичных дождей и туманов. Основными опасными факторами пожаров, влияющими на окружающую среду, являются токсичные вещества: диоксид и оксид углерода, диоксид серы, оксиды азота, хлористый водород, синильная кислота, продукты пиролиза и неполного сгорания, фосген, альдегиды, кетоны, другие химические соединения органического и неорганического происхождения [11].

Борьба с лесными пожарами требует привлечения больших материальных затрат. Например, в Канаде на борьбу с лесными пожарами ежегодно тратится свыше 70 млрд долларов, а в США эта цифра еще в два раза больше [3].

Существующие средства борьбы с лесными пожарами (пожарные машины, авиационные средства и др.) не способны в полной мере решить эту проблему. В связи с этим весьма актуальными являются исследования как по разработке эффективных методов тушения лесных пожаров, так и по внедрению в оперативную практику способов предотвращения их возникновения [9].

В настоящей работе предлагается использовать геофизические методы, т.е. методы, основанные на модифицировании атмосферных процессов и явлений. Анализ работ в области модифицирования атмосферных процессов и явлений показывает, что в этом случае полезными могут быть методы и средства воздействия на конвективные облака с целью вызывания искусственных осадков.

Модифицирование конвективных облаков имеет много аспектов, требующих проведения специальных исследований, и в частности:

- обоснования физических основ воздействия на конвективные облака;
- получения количественных оценок пригодности к модифицированию таких облаков в конкретных физико-географических районах;
- обоснования выбора химических реагентов и технических средств их доставки в облака и диспергирования;
- изучения характеристик конвективных облаков (фазовая структура, вертикальная протяженность, температурный режим и т.д.);
- разработки методик воздействия на конвективные облака;
- оценки результатов модифицирования конвективных облаков;
- разработки технологической схемы воздействия на облака и т.д.

В соответствии с этим в настоящей работе представлены материалы исследований, позволяющие ответить на некоторые из перечисленных выше аспектов рассматриваемой проблемы. В частности, приведены результаты исследования характеристик конвективных облаков над центральным районом европейской части России применительно к проблеме профилактики возникновения лесных пожаров и борьбы с ними. При исследовании характеристик конвективных облаков над выбранным районом использовался подход, предложенный в работе [10].

Характеристика исходного материала и методика его обработки

Основным исходным материалом для выполнения настоящей работы стали протоколы сетевого самолетного зондирования атмосферы (СЗА) ТАЭ-7,7 м над аэропортом Внуково (Москва).

Метод СЗА состоит в следующем. На специально оборудованном самолете-зондировщике Ли-2 поднимались два бортаэролога, которые производили визуальные и инструментальные наблюдения за высотой и характером нижней и верхней границы облачных слоев, микроструктурой и водностью облаков, болтанкой и обледенением самолета, осадками, оптическими явлениями и т.д. Давление, температура и влажность воздуха определялись с помощью специального самописца — самолетного метеографа. Достижимая высота определялась потолком подъема самолета-зондировщика Ли-2 и составляла 6,0—6,5 км. Подъем производился в районе аэродрома по кругу радиусом не более 50 км с постоянным углом тангажа. Время на подъем составляло 55—60 минут [12].

Самолетное зондирование атмосферы производилось в 3—6 и 15—18 часов местного солнечного времени. Иногда зондирование производилось чаще — до четырех раз в сутки — в научно-исследовательских целях. Более подробно методика СЗА описана в работе [12]. Для решения задач специальных исследований авторами на основании материалов СЗА в аэропорту Внуково (Москва), представленных в сборнике таблиц ТАЭ-7,7 м за 1953—1964 годы, была составлена соответствующая выборка.

В выборку вошли случаи наблюдения за внутримассовыми облаками *Cu hum.* (кучевые плоские), *Cu med.* (кучевые средние) и *Cu cong.* (мощные кучевые, не дававшие осадков) при проведении самолетного зондирования в 15—18 часов (т.е. в период максимального развития конвекции) с 1 апреля по 30 сентября за указанные годы. Объем выборки составил 843 случая.

Выбор данного исходного материала за указанный период обусловлен тем, что именно в это время в нашей стране производилось регулярное самолетное зондирование атмосферы (два раза в сутки на 28 станциях страны) с целью получения конкретных характеристик различных видов облачности в определенных физико-географических районах. Следует отметить, что самые точные и надежные характеристики облаков могут быть получены только с помощью самолетного зондирования. Никакими другими способами такой высокой точности измерений характеристик облаков достичь невозможно [12]. В середине шестидесятых годов прошлого столетия регулярное самолетное зондирование атмосферы в нашей стране было прекращено и до настоящего времени так и не было возобновлено. Авторы полагают, что поскольку физика образования и развития конвективных облаков за период, прошедший после прекращения СЗА, не изменилась, то выполненные в те годы наблюдения за характеристиками облаков не устарели и соответствуют требованиям современного этапа исследований. В связи с этим авторы статьи сочли возможным использовать имеющиеся в нашей стране материалы самолетного зондирования для получения эмпирических характеристик облаков.

В таблице ТАЭ-7,7 м не всегда указывались значения температуры на уровне верхней границы конвективных облаков, особенно для *Cu cong.* В связи с этим их вычисляли по двум ближайшим точкам замеров на указанном уровне верхней границы облака вне облачных сред исходя из реального градиента температуры в данном слое. Тем же способом вычислялась высота изотерм 0 и -10°C .

Значения высоты верхней границы облаков *Cu cong.* определялись для основного поля облачности и по отдельным наиболее высоким вершинам облаков *Cu med.* За высоту верхней границы облаков при этом принималось наибольшее значение.

Кроме того, рассматривалось фазовое состояние облаков. В случае отсутствия в журнале ТАЭ-7,7 м записей о фазовом состоянии облаков оно оценивалось по графику повторяемости различных фаз облаков в зависимости от температуры [2].

При обработке СЗА было установлено, что вертикальная протяженность *Cu hum.* составляет 200—500 м, *Cu med.* — от 500 до 1000 м. За нижний предел при отнесении результатов наблюдений к *Cu cong.* было принято значение 1000 м. Из приведенных в работе [14] данных видно, что в районе Москвы значения вертикальной протяженности, равные 3000 м, равновероятны как для *Cu cong.*, так и для *Cb*. Поэтому данную величину можно принять за пограничное значение вертикальной протяженности облаков этих форм облаков. Однако вертикальная протяженность облаков не является решающим условием для перехода от стадии *Cu cong.* к *Cb*. Переход к стадии *Cb* связан с изменением фазового строения облака, началом оледенения вершины и выпадением ливневых осадков, достигающих поверхности Земли [16].

В рассматриваемую выборку включены случаи наблюдения облаков, не дающих ливневых осадков, достигающих поверхности Земли. Поэтому все случаи наблюдений облаков мощностью свыше 1000 м отнесены к стадии *Cu cong.*

Ниже приведены результаты, касающиеся конвективных облаков применительно к проблеме их модифицирования с целью вызывания искусственных осадков.

Характеристики конвективных облаков над районом Москвы применительно к проблеме модифицирования

Исследование конвективных облаков применительно к проблеме модифицирования связано с получением данных о ряде их характеристик, одной из которых является повторяемость форм конвективных облаков. Данные о повторяемости конвективных облаков различных форм по месяцам теплого полугодия приведены на рис. 1 [4].

Из анализа данных, представленных на рис. 1, видно, что наибольшей повторяемостью в послеполуденные часы характеризуются облака *Cu cong.* Максимум повторяемости облаков *Cu hum.* и *Cu med.* приходится на апрель и сентябрь, причем повторяемость *Cu hum.* в указанные месяцы несколько выше, чем *Cu med.* Приведенный ход повторяемости форм конвективных облаков хорошо согласуется как с физикой процесса, так и с результатами, полученными другими авторами для аналогичного периода времени по данным исследовательских полетов в районе Москвы [14, 15].

Средняя повторяемость наблюдаемых форм конвективных облаков за три летних месяца (июнь — август) составила: *Cu hum.* 7 %, *Cu med.* 8 %, *Cu cong.* 85 %.

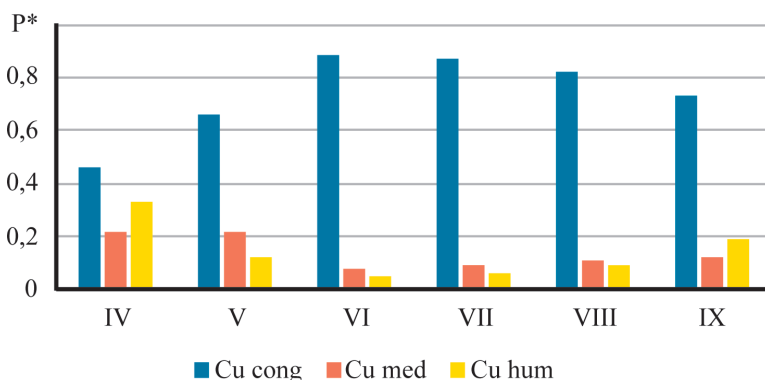


Рис. 1. Повторяемость различных форм конвективных облаков по месяцам теплого полугодия.

В целом за теплое полугодие облака Cu hum. наблюдались в 12 % случаев, Cu med. — в 13 %, Cu cong. — в 75 % случаев.

Следовательно, можно сделать вывод о том, что основным объектом воздействия над рассматриваемым районом в теплое полугодие являются облака Cu cong.

Анализ материалов в области модифицирования конвективных облаков показывает, что положительный результат при воздействии на облака этих форм возможен не всегда, а только лишь при определенном сочетании их характеристик. Так, в частности, в результате проведения многочисленных натуральных экспериментов был получен критерий пригодности конвективных облаков к модифицированию с целью вызывания искусственных осадков [13]. Согласно этому критерию, пригодными к воздействию считались облака, удовлетворяющие следующим условиям:

- толщина облаков не менее 2000 м,
- температура воздуха на уровне верхней границы облаков не выше -5°C ,
- фазовое состояние облаков капельное или смешанное.

В соответствии с этим в работе получены данные об указанных выше характеристиках конвективных облаков применительно к проблеме вызывания искусственных осадков.

На рис. 2 приведены гистограмма и кумулята распределения температуры воздуха на уровне верхней границы для всего ансамбля исследуемых облаков за теплое полугодие.

В табл. 1 приведены данные, характеризующие осредненные значения температуры воздуха на уровне верхней границы облаков всех исследуемых форм по месяцам, за летний период и в среднем за полугодие.

Таблица 1

Средние значения температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) на уровне верхней границы облаков всех исследуемых форм								
Месяц	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Лето	Полугодие
$T_{\text{ВГО}}$	-11,3	-9,3	-8,9	-7,4	-6,8	-7,8	-7,7	-8,6

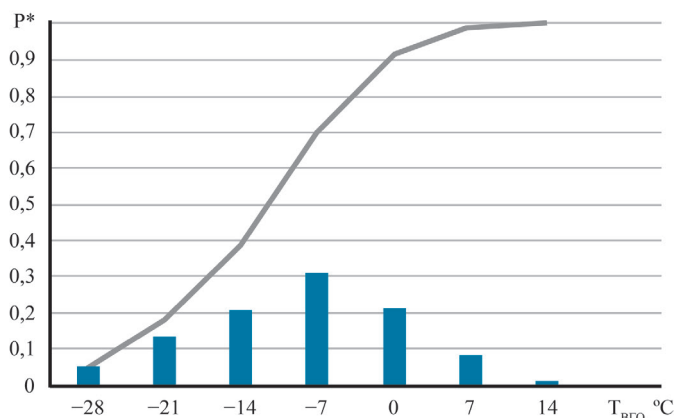


Рис. 2. Гистограмма и кумюлята распределения повторяемости температуры воздуха на уровне верхней границы конвективных облаков всех исследуемых форм.

В среднем температура воздуха на уровне верхней границы всех конвективных облаков составляет $-8,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в летние месяцы эта величина равна $-7,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. От апреля к маю температура повышается на $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, достигая в августе за счет прогрева нижней тропосферы максимального значения, равного $-6,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. В сентябре она понижается на $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Рассмотрим значения температуры воздуха на уровне вершин мощных кучевых облаков, не дававших осадков ко времени проведения зондирования (табл. 2).

Таблица 2

Средние значения температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$)
на уровне вершин мощных кучевых облаков, не дававших осадков

Месяц	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Лето	Полугодие
$T_{\text{вгв}}$	-11,5	-14,1	-15,7	-18,3	-20,1	-18,4	-17,4	-15,9

Из анализа табл. 2 видно, что при прогреве атмосферы среднемесячная температура воздуха на уровне вершин облаков постепенно понижается и достигает минимального значения $-20,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ в августе. Средняя сезонная температура несколько ниже, чем средняя за полугодие. Это связано с общим прогревом тропосферы к середине августа.

На рис. 3 приведены гистограмма и кумюлята распределения температуры на уровне вершин мощных кучевых облаков, не дававших осадков ко времени проведения зондирования.

При сопоставлении гистограмм на рис. 2 и 3 отчетливо виден сдвиг значений повторяемости в сторону более низких температур для мощных кучевых облаков, не дававших осадков, пропорциональный возрастанию вертикальной мощности облаков. В 65 % случаев на уровне верхней границы этих облаков температура составляет от $-12,0$ до $-24,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. При этом в 42 % случаев вершины Cu cong. , не дававших осадков ко времени проведения СЗА, расположены выше изотермы $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

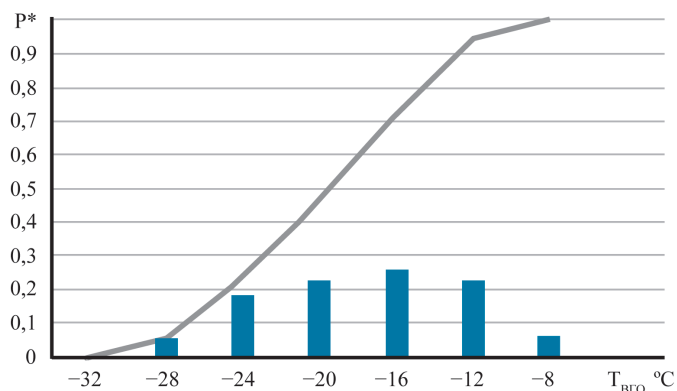


Рис. 3. Гистограмма и кумюлята распределения повторяемости температуры воздуха на уровне верхней границы мощных кучевых облаков, не дававших осадков.

Группу облаков *Cu cong.* необходимо рассматривать отдельно вследствие того, что по фазовой структуре данные облака являются смешанными. Температура воздуха на уровне нижней границы этих облаков обычно составляет 5—10 °С. От основания до уровня нулевой изотермы облако состоит из капель воды, а выше, до уровня изотермы -20 °С, — из снежинок и переохлажденных капель воды, которые здесь преобладают; выше уровня изотермы -20 °С преобладают снежинки и ледяные кристаллы [16].

Таким образом, полученные данные о температуре воздуха на уровне верхней границы конвективных облаков свидетельствуют о возможности получения положительного результата при воздействии на них с целью вызывания искусственных осадков, поскольку они удовлетворяют критерию пригодности.

Другим параметром облаков, входящим в критерий пригодности, является их вертикальная мощность. Ниже представлены данные, относящиеся к этой характеристике конвективных облаков. Так, на рис. 4 приведены гистограмма и кумюлята распределения мощности конвективных облаков всех исследуемых форм.

Оказалось, что наиболее часто встречались облака мощностью 1—2 км (45 %). Облака *Cu cong.* мощностью более 2 км наблюдались в 37 % случаев. Среднемесячные значения мощности конвективных облаков в зависимости от их формы приведены в табл. 3.

Таблица 3

Среднемесячные значения мощности (км) конвективных облаков

Форма облаков	Месяц						Сезон	Полугодие
	IV	V	VI	VII	VIII	IX		
<i>Cu hum.</i>	0,29	0,34	0,39	0,37	0,37	0,38	0,37	0,33
<i>Cu med.</i>	0,85	0,96	0,89	0,92	0,82	0,94	0,86	0,91
<i>Cu cong.</i> , не дававшие осадков	3,02	3,84	3,71	3,80	3,00	2,67	3,43	3,05

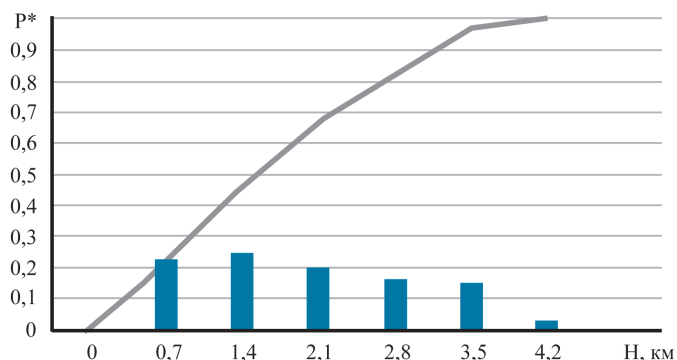


Рис. 4. Гистограмма и кумулята распределения повторяемости мощности конвективных облаков всех исследуемых форм.

Из полученных данных следует, что в среднем за полугодие мощность облаков *Cu hum.* составляет 330 м, облаков *Cu med.* — 910 м. Мощность *Cu cong.* в среднем за летний сезон составила 2,97 км, за полугодие — 2,54 км, а в случае облаков, не дававших осадков, — 3,43 и 3,05 км соответственно.

В среднем вертикальная мощность облаков *Cu cong.*, не дававших осадков, достигает максимального значения 3,84 км в мае.

Следует отметить, что вертикальная мощность облаков *Cu cong.*, образующихся при циклонических условиях, в среднем почти на 500 м больше, чем мощных кучевых облаков, образующихся при антициклонических условиях [13].

На рис. 5 приводятся гистограмма и кумулята распределения вертикальной мощности облаков *Cu cong.*, не дававших осадков ко времени проведения СЗА.

Как следует из работы [14], в среднем повторяемость различных градаций вертикальной мощности облаков *Cu cong.* существенно различается в зависимости от синоптических условий образования облаков. Над Центральным районом

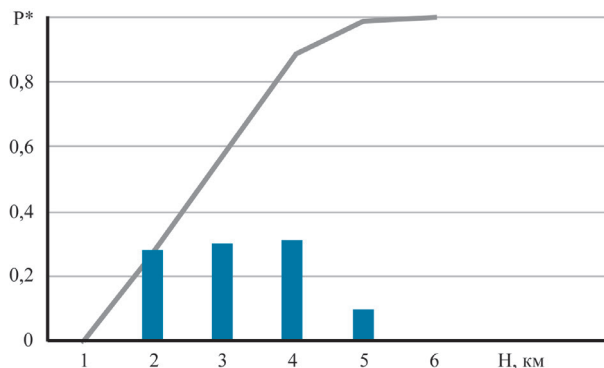


Рис. 5. Гистограмма и кумулята распределения повторяемости толщины конвективных облаков, не дававших осадков.

европейской части России в антициклонических условиях конвективные облака вертикальной мощностью до 3,5 км встречаются в 80 % случаев, мощностью более 3,5 км — в 20 % случаев, в циклонических условиях — в 55 и 45 % случаев соответственно.

Значительный интерес для проведения работ по воздействию на конвективные облака вызывают характеристики вертикальной мощности переохлажденной части облаков. Эти данные приводятся в табл. 4 для конвективных облаков различных форм.

Таблица 4

Средние значения мощности (км)
переохлажденной части конвективных облаков различных форм

Форма облаков	Месяц						Сезон	Полугодие
	IV	V	VI	VII	VIII	IX		
Cu hum.	0,15	0,11	0,09	0,05	0,03	0,12	0,06	0,09
Cu med.	0,74	0,57	0,35	0,33	0,26	0,59	0,32	0,47
Cu cong., не дававшие осадков	2,17	2,65	2,72	2,38	2,43	2,63	2,54	2,49

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что вертикальная мощность переохлажденной части облаков Cu hum. в среднем за сезон составляет всего 60 м, за полугодие — 90 м; при этом максимум наблюдается в апреле, а в августе такие облака в большинстве случаев развиваются в слое воздуха ниже нулевой изотермы.

У облаков Cu med. переохлажденная часть в среднем за сезон составляет 320 м. Максимум, равный 740 м, наблюдается в апреле, а в августе это значение уменьшается почти втрое.

Наибольшее значение мощности переохлажденной части облаков Cu cong., не дававших осадков, составляет 2,72 км в июне, среднее значение за сезон — 2,54 км, за полугодие — 2,49 км. Однако различия по месяцам у этой группы облаков существенно меньше — около 200—300 м. При циклонических условиях вертикальная мощность переохлажденной части Cu cong. на 300—400 м больше, чем при антициклонических [13].

На рис. 6 приведены гистограмма и кумулята повторяемости вертикальной мощности переохлажденной части облаков Cu cong. ($\Delta H_{п.ч.}$) не дававших осадков. Из рисунка следует, что в 72 % случаев она составляет 1,1—2,5 км. Повторяемость значений $\Delta H_{п.ч.}$ более 2,5 км составляет 19 %.

В общем случае в соответствии с физикой процессов осадкообразования, чем больше $\Delta H_{п.ч.}$, тем более вероятно выпадение ливневых осадков из Cu cong.

Синоптические условия, в которых развиваются конвективные облака, оказывают определенное влияние на размеры их переохлажденной части. В среднем облака Cu cong. с мощностью переохлажденной части до 1,5 км в 80 % случаев развиваются в антициклонических условиях, в 65 % случаев — в циклонических [13].

На основании полученных выше данных о характеристиках конвективных облаков, а также с учетом критерия пригодности к воздействию с целью вызывания

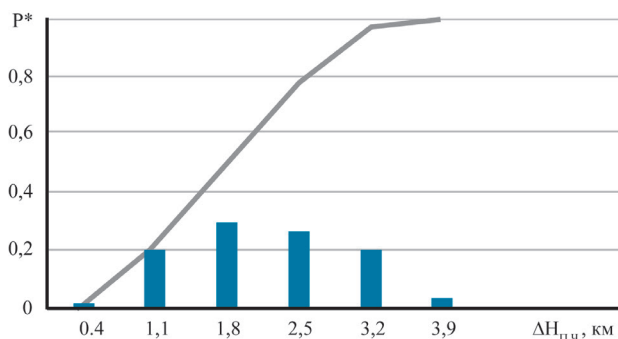


Рис. 6. Гистограмма и кумулята распределения повторяемости мощности переохлажденной части конвективных облаков, не дававших осадков.

искусственных осадков в настоящей работе получены количественные оценки пригодности к модифицированию облаков $Cu \text{ cong.}$ над районами Москвы в теплое полугодие (рис. 7).

Как следует из данных, приведенных на рис. 7, в среднем за теплое полугодие в районе Москвы мощные кучевые облака, из которых не выпадали осадки ко времени максимального развития конвекции, пригодны к вызыванию искусственных осадков в 48 % случаев. Максимум повторяемости (55 %) наблюдается в мае, минимум (32 %) — в сентябре. Такое распределение значений повторяемости пригодных к вызыванию осадков мощных кучевых облаков можно объяснить тем, что в среднем тропосфера более прогрета в августе, нежели в мае.

Принимая во внимание тот факт, что лесные пожары причиняют большой материальный и экологический ущерб, полученные в настоящей работе оценки пригодности конвективных облаков к вызыванию искусственных осадков (особенно,

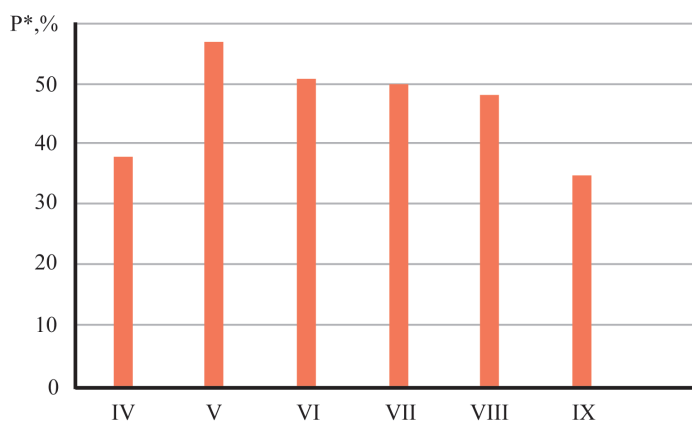


Рис. 7. Повторяемость пригодности к вызыванию искусственных осадков мощных кучевых облаков, не дававших осадков, над районами Москвы.

в период май — июль) указывают на целесообразность проведения воздействий на облака, прежде всего, в целях профилактики возникновения пожаров. В отдельных случаях искусственные осадки из конвективных облаков могут быть единственным средством тушения лесных пожаров на больших территориях при наличии благоприятных синоптических условий [6].

Следует отметить, что метод вызывания искусственных осадков из конвективных облаков нашел применение в практике тушения и профилактики возникновения лесных пожаров [1]. Для доставки химических реагентов и их диспергирования в настоящее время могут быть использованы самолеты типа Ан-12, Ан-26, Ан-30, Ил-78 и другие, оснащенные специальными генераторами для диспергирования кристаллизующих реагентов (например, йодистого серебра) и установками для применения хладореагентов (в частности, твердой углекислоты и жидкого азота) [8].

С учетом наличия в нашей стране средств модифицирования облаков, а также принимая во внимание полученные в настоящей работе количественные оценки пригодности конвективных облаков к воздействию с целью вызывания искусственных осадков, можно сделать вывод о целесообразности проведения работ по воздействию на конвективные облака с целью профилактики возникновения лесных пожаров и борьбы с ними.

Выводы

1. По материалам самолетного зондирования атмосферы ТАЭ-7,7 м над аэродромом Внуково (Москва) за 1953—1964 годы было выполнено исследование характеристик конвективных облаков применительно к проблеме их модифицирования с целью вызывания искусственных осадков для профилактики возникновения лесных пожаров и борьбы с ними. Показано, что в месяцы теплого полугодия основным объектом воздействия над рассматриваемым районом являются мощные кучевые облака (Cu cong.). Средняя повторяемость таких облаков летом составляет 85 %, в теплое полугодие — 75 %.

2. Исследование характеристик конвективных облаков (вертикальная мощность облаков и переохлажденной их части, температура на уровне верхней границы и фазовая структура облаков) показало, что они во многих случаях удовлетворяют требованиям критерия пригодности конвективных облаков к воздействию с целью вызывания осадков. Получены количественные характеристики пригодности мощных кучевых облаков к вызыванию искусственных осадков над районами Москвы, которая в среднем за теплое полугодие составляет 48 %.

3. С учетом наличия в нашей стране средств модифицирования облаков и полученных в настоящей работе количественных оценок пригодности конвективных облаков (в частности, мощных кучевых облаков) к вызыванию искусственных осадков сделан вывод о целесообразности проведения работ по воздействию на конвективные облака в целях профилактики возникновения лесных пожаров и борьбы с ними.

Список литературы

1. *Арцыбашев Е.С.* Тушение лесных пожаров искусственно вызываемыми осадками из облаков. М.: Лесная промышленность, 1973. 209 с.
2. *Боровиков А.М., Демидова Е.М.* К вопросу о фазовом состоянии облаков различных форм // Труды ЦАО. 1965. Вып. 64. С. 28—35.
3. *Доронин А.П., Белевич М.В., Никульшин Б.Ю., Кильчанский Е.Е., Понеделко И.А., Прохоренко П.А.* Геофизические методы профилактики возникновения лесных пожаров и борьбы с ними // Межрегиональный научный семинар «Экология и космос», 8—9 февраля 2010 года. СПб, изд-во ВКА им. А.Ф. Можайского, 2010. С. 137—144.
4. *Доронин А.П., Гончаров И.В., Петроченко В.М., Козлова Н.А.* Исследование повторяемости форм конвективных облаков над центральными районами России в интересах решения прикладных задач // Матер. IV Всерос. науч. конф. «Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды» / Под общ. ред. Ю.В. Кулешова. СПб, изд-во ВКА имени А.Ф. Можайского, 2016. 355 с.
5. Заключение Общественной комиссии по расследованию причин и последствий природных пожаров в России в 2010 г. – URL: http://www.yabloko.ru/mneniya_i_publikatsii/2011/05/14 (дата обращения: 2.03.2017).
6. *Козлов В.Н., Доронин А.П., Петроченко В.М.* Экологическая опасность лесных пожаров и методы ее предотвращения // Ученые записки РГГМУ. 2017. № 48. С. 234—248.
7. *Козлов В.Н., Доронин А.П., Мазуров Г.И., Акселевич В.И.* Возможности предотвращения засух искусственно вызванными осадками // Метеоспектр. 2012. № 1. С. 88—99.
8. *Колосков Б.П., Корнеев В.П., Щукин Г.Г.* Методы и средства модификации облаков, осадков и туманов. СПб, изд-во РГГМУ, 2012. 341 с.
9. *Кулешов Ю.В., Доронин А.П., Фролов К.О.* Методика расчета параметров операции по созданию искусственных перистых кристаллических облаков в интересах решения экологических проблем, связанных с лесными пожарами / Труды I Всерос. науч. конф. «Экология и космос» им. акад. К.Я. Кондратьева, февраль 2014 г., Санкт-Петербург. СПб, изд-во ВКА им. А.Ф. Можайского, 2015. С. 311—315.
10. *Кулешов Ю.В., Доронин А.П., Фролов К.О., Хайруллин К.Ш.* Физико-статистический анализ пригодности атмосферных условий в Архангельской области для решения задач планирования и организации работ по созданию искусственных туманов // Ученые записки РГГМУ. 2016. № 42. С. 134—147.
11. *Малинин В.Р., Фомин А.В., Звонов В.С.* Пожары и экология // Мониторинг. 1995. № 2. С. 39—41.
12. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. М.: Гидрометеиздат, 1958. Вып. 4, Ч. 4. 150 с.
13. *Прихотько Г.Ф.* Искусственные осадки из конвективных облаков. Л.: Гидрометеиздат, 1968. 175 с.
14. *Селезнева Е.С.* О границах и вертикальной мощности конвективных облаков // Труды ГГО. 1959. Вып. 93. С. 3—21.
15. *Синькевич А.А.* Некоторые результаты самолетных измерений термических характеристик мощных кучевых облаков, переходящих в кучево-дождевые // Труды ГГО. 1989. Вып. 497. С. 41—50.
16. *Славин И.А.* Термодинамика гроз. Л.: изд-во ЛВИКА им. А.Ф. Можайского, 1969. С. 27—34.